

ESTUDO DO RISCO DE HIDROPLANAGEM EM CONCORDÂNCIAS VERTICAIS

DANIEL JORGE DOS SANTOS SOARES NOGUEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais,

AGRADECIMENTOS

No início deste trabalho quero realizar um agradecimento especial aos meus pais que, apesar do desconhecimento da área, proporcionaram-me condições mínimas para que os longos anos de estudo terminassem com o sentimento de dever cumprido. Para além disso quero agradecer a eles e a restantes familiares o apoio dado principalmente nas alturas mais complicadas deste longo percurso.

De seguida, quero agradecer aos meus colegas, que me acompanharam ao longo dos últimos anos e me ajudaram tanto a nível de estudo como em proporcionar momentos mais descontraídos, fundamentais para que o nervosismo dos estudos não estivesse permanente ao longo deste tempo e que o bem-estar pessoal se mantivesse mais tempo. Quero especialmente agradecer aos colegas que me ajudaram nos momentos mais difíceis.

Por último, gostaria de agradecer ao Professor Adalberto França pelo auxílio dado directamente para a realização do presente trabalho e pelos conhecimentos transmitidos ao longo do último semestre.

RESUMO

A hidroplanagem é um fenómeno diretamente dependente do contacto exercido por um pneu com a textura do pavimento. Existem vários tipos de hidroplanagem, entre as quais podemos destacar a hidroplanagem dinâmica e a hidroplanagem viscosa.

Este fenómeno depende de vários fatores, entre os quais podemos enumerar as características dos pneus, especialmente a sua largura, as características da textura do pavimento, a espessura da lâmina de água e a velocidade de circulação dos veículos.

A espessura da lâmina de água é condicionada pela intensidade de precipitação, a extensão das linhas de corrente e a sua inclinação. A intensidade de precipitação deve ter em atenção a reação que o condutor terá com a redução da distância de visibilidade, nomeadamente diminuição de velocidade de circulação para as grandes intensidades. A linha da corrente de água e a inclinação dependem das características geométricas do traçado, principalmente a largura do pavimento e as inclinações longitudinais e transversais.

As concordâncias foram os alvos principais deste trabalho, sem ser negligenciado a existência de disfarce de sobre-elevação que interfere na drenagem superficial. O disfarce de sobre-elevação pode ser realizado através de modelos lineares ou modelos parabólicos de 3º grau.

A partir de um método iterativo foram calculadas várias linhas de corrente para diferentes disposições geométricas do traçado e analisada a influência que a variação do raio de uma curva vertical tem sobre o risco de ocorrência de hidroplanagem. Para além disso foram verificadas as diferenças à drenagem superficial proporcionadas por uma camada de desgaste constituída por betão betuminoso ou betão betuminoso drenante.

Palavras-chave: Hidroplanagem, Pneumático, Geometria do traçado, Concordâncias verticais, Pavimentos.

ABSTRACT

The hydroplaning phenomenon relies upon the contact between a tire and the texture of the pavement surface, for this, the tire characteristics (particularly its width), the texture of pavement surface, the water film thickness and the vehicle's speed are the most decisive factors.

This phenomenon can occur in various forms, in which dynamic hydroplaning and viscous hydroplaning are the most fundamental.

Rainfall rate, water flow line length and its slope are the main aspects that influence water film thickness.

Rainfall rates can be a cause of speed decrease, especially during periods of heavy rainfall (higher rainfall rate), when drivers have a shorter sight distance. The length of water flow lines and its slope depends on the track design, especially the pavement's width and the transverse or longitudinal slope.

Vertical curves were the main target of this research. Superelevation runoff was also considered due to its function on superficial drainage, using linear or parabolic models.

Through an iterative method, the impact of vertical curve radius changes on the probability of hydroplaning phenomenon occurrences was studied. Additionally, the difference in superficial drainage caused by a pavement surface made of asphalt concrete or porous asphalt concrete was also studied.

Keywords: Hydroplaning, tire, track geometry, vertical curves, pavements.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. ÂMBITO	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.4. MÉTODO	2
1.5. ESTRUTURA	2
 2. O FENÓMENO DA HIDROPLANAGEM - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	 3
2.1. O INÍCIO DO FENÓMENO DE HIDROPLANAGEM	3
2.2. TIPOS DE HIDROPLANAGEM	6
2.2.1. INTRODUÇÃO	6
2.2.2. HIDROPLANAGEM VISCOSA	6
2.2.3. HIDROPLANAGEM DINÂMICA	6
2.2.4. HIDROPLANAGEM POR SELAGEM DO PNEU	7
2.2.5. HIDROPLANAGEM POR DESVULCANIZAÇÃO	7
2.2.6. HIDROPLANAGEM REAL/COMBINADA – MODELO DAS 3 ZONAS E 4 FASES	8
2.3. ASPETOS QUE INTERFEREM NA OCORRÊNCIA DE HIDROPLANAGEM	10
2.3.1. INTRODUÇÃO	10
2.3.2. OS PNEUS DOS VEÍCULOS	10
2.3.3. A TEXTURA DO PAVIMENTO	14
2.3.3.1. Definições e valores	14
2.3.3.2. Macrorugosidade elevada e microrugosidade elevada	17
2.3.3.3. Macrorugosidade elevada e microrugosidade baixa	17
2.3.3.4. Macrorugosidade baixa e microrugosidade elevada	18
2.3.3.4. Macrorugosidade baixa e microrugosidade baixa	18
2.3.4. ENSAIO DA MANCHA DE AREIA	19

2.3.5. AVALIAÇÃO DA TEXTURA COM LASER	21
2.3.6. CAMADAS DE DESGASTE UTILIZADAS NAS ESTRADAS	22
2.3.6.1. Betão betuminoso	22
2.3.6.2. Betão betuminoso drenante.....	22
2.3.6.3. Micro-betão betuminoso rugoso	23
2.3.6.4. Revestimento superficial betuminoso	24
2.3.7. A ESPESSURA DA LÂMINA DE ÁGUA.....	24
2.3.7.1. Introdução	24
2.3.7.2. Berthier (1967)	25
2.3.7.3. Gallaway (1979).....	25
2.3.7.4. França (1988)	25
2.3.7.5. Anderson (1998)	28
2.3.8. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO.....	29
2.3.9. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	29
2.3.10. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE	30
2.3.11. GEOMETRIA DA VIA	32
2.3.11.1. Preâmbulo.....	32
2.3.11.2. Concordância Vertical.....	33
2.3.11.3. Disfarce de Sobre-elevação	34
2.3.12. VELOCIDADE	40

3. MÉTODO DE ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM TROÇO EM RELAÇÃO À HIDROPLANAGEM..... 43

3.1. MÉTODO DE CÁLCULO DA LINHA DE FLUXO CRÍTICA	43
3.2. APRESENTAÇÃO DOS CASOS ESTUDADOS	47
3.3. REVISÃO NORMATIVA	47
3.3.1. TRAÇADO EM PLANTA.....	47
3.3.1.1. Critério da Confortabilidade e Segurança	48
3.3.1.2. Critério Ligado ao Disfarce de sobre-elevação	48
3.3.1.3. Critério Estético.....	49
3.3.1.4. Critério Ótico	49
3.3.2. TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL	50
3.3.2.1. Inclinação máxima dos traneis.....	50

3.3.2.2. Concordância verticais	50
3.3.3. PERFIL TRANSVERSAL.....	53
3.3.3.1. Faixa de rodagem.....	53
3.3.3.2. Inclinação transversal.....	53
3.3.3.3. Bermas	55
3.4. CASOS DE ESTUDO.....	55
3.4.1. INTRODUÇÃO	55
3.4.2. CASO A.....	56
3.4.3. CASO B.....	57
3.4.4. CASO C.....	59
3.4.5. CASO D.....	60
3.4.6. CASO E.....	61
3.4.7. CASO F	63
3.4.8. CASO G	63
3.5. CÁLCULO DA VELOCIDADE DE HIDROPLANAGEM	64
 4. ANÁLISE DE RESULTADOS	 67
4.1. INTRODUÇÃO	67
4.2. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	67
4.2.1. CASO A.....	67
4.2.2. CASO B.....	72
4.2.3. CASO C.....	75
4.2.3.1. Faixas de rodagem com 2 vias	76
4.2.3.2. Faixas de rodagem com 3 vias	86
4.2.4. CASO D.....	89
4.2.4.1. Faixas de rodagem com 2 vias	89
4.2.4.2. Faixas de rodagem com 3 vias	92
4.2.5. CASO E.....	95
4.2.6. CASO F	96
4.2.7. CASO G	99
 5. CONCLUSÕES	 101
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	102
BIBLIOGRAFIA	103
ANEXO A1	A.1

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 - Coeficiente de atrito de deslizamento em função do estado do piso	4
Fig. 2.2 - Representação da circulação de um pneu sobre um piso molhado.....	4
Fig. 2.3 - Interação água-pneu em função da velocidade.....	5
Fig. 2.4 - Exemplificação das cargas do pneu sobre o pavimento e a lâmina de água.....	7
Fig. 2.5 - Deformação por desvulcanização.....	8
Fig. 2.6 - Desenvolvimento da hidroplanagem combinada.....	9
Fig. 2.7 - A diferença de coeficiente de atrito oferecido entre um pneu liso e um pneu com um desenho de ranhuras em piso molhado.....	11
Fig. 2.8 - Aparência de um pneu com variação da carga vertical.....	12
Fig. 2.9 - Configuração das fibras de um pneu diagonal	13
Fig. 2.10 - Configuração das fibras de um pneu radial	13
Fig. 2.11 - Velocidade de hidroplanagem em ordem à pressão e do tipo de pneumáticos.....	14
Fig. 2.12 - Ilustração da microtextura e da macrotextura	15
Fig. 2.13 - Dimensão de cada tipo de textura	16
Fig. 2.14 - Influência da textura da camada de desgaste	16
Fig. 2.15 - Representação de um piso com micro e macrotextura abertas	17
Fig. 2.16 - Representação de um piso com microtextura fechada e macrotextura aberta	18
Fig. 2.17 - Representação de um piso com microtextura aberta e macrotextura fechada	18
Fig. 2.18 - Representação de um piso com microtextura fechada e macrotextura fechada.....	19
Fig. 2.19 - Sequência do ensaio da mancha de areia	20
Fig. 2.20 - Princípio de medição e resultados obtidos	21
Fig. 2.21 - Modelo teórico para uma camada de desgaste rugosa.....	26
Fig. 2.22 - Modelo teórico para uma camada de desgaste polida	27
Fig. 2.23 - Intensidade de precipitação em função da velocidade de tráfego e da distância de visibilidade através da fórmula de Ivey	31
Fig. 2.24 - Intensidade de precipitação em função da velocidade de tráfego e da distância de visibilidade através da fórmula de Ivey para as normas da AASHTO	31
Fig. 2.25- Exemplo de um troço com disfarce de sobre-elevação e linhas de corrente existentes.....	33
Fig. 2.26 - Disfarce de sobre-elevação através do modelo linear em faixa de extradorso de estradas de faixas separadas	35
Fig. 2.27 - Disfarce de sobre-elevação através do modelo linear em faixa de intradorso de estradas de faixas separadas	35
Fig. 2.28 - Modelo parabólico tipo 1	36

Fig. 2.29 - Modelo parabólico de 3º grau tipo 2 em clóide	37
Fig. 2.30 - Modelo parabólico de 3º grau tipo 2 em alinhamento reto.....	38
Fig. 2.31 - Velocidade crítica de hidroplanagem segundo Gallaway et al e Agrawal et al.....	42
Fig. 3.1 - Ilustração das linhas de fluxo consideradas em cálculo	43
Fig. 3.2 - Exemplo de tabela de cálculo utilizada no estudo	44
Fig. 3.3 - Exemplo de representação de Autocad para casos onde existe sobreposição de várias linhas de água num ponto	46
Fig. 3.4 - Desenho de uma concordância convexa	51
Fig.3.5 - Desenho de uma concordância côncava	52
Fig. 3.6 - Representação dos perfis do caso A	56
Fig. 3.7 - Representação de uma linha de corrente que ocorre no caso B.....	57
Fig. 3.8 - Exemplificação de uma curva de transição em planta (a escala não real).....	58
Fig. 3.9 - Perfil em planta e longitudinal do caso C	59
Fig. 3.10 - Drenagem da linha corrente crítica do caso C	60
Fig. 3.11 - Perfil longitudinal do caso D	60
Fig. 3.12 - Drenagem superficial (Caso D)	61
Fig. 3.13 - Perfil longitudinal do caso E	62
Fig. 3.14 - Drenagem superficial crítica no caso E	63
Fig. 3.15 - Representação em planta do caso G (a escala não real).....	63
Fig. 3.16 - Exemplo de tabela utilizada no cálculo da velocidade crítica de hidroplanagem	65
Fig. 4.1 – Esboço da drenagem superficial num exemplo do caso A. (Concordância Côncava, faixas separadas).....	67
Fig. 4.2 - Esboço da linha de corrente do caso B	73
Fig. 4.3 - Perfil em planta, longitudinal e esboço da linha de corrente (Caso C).....	76
Fig. 4.4 – Drenagem superficial do caso D	89
Fig. 4.5 – Drenagem superficial crítica no Caso E	95
Fig. 4.6 - Perfil em planta, longitudinal e esboço da linha de corrente (Caso F)	97
Fig. 4.7 – Disposição geométrica do caso G.....	99

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 2.1 - Macrorugosidade mínima regulamentar	21
Quadro 2.2 - Fuso granulométrico de um betão betuminoso em camada de desgaste.....	22
Quadro 2.3 - Fuso granulométrico de um betão betuminoso drenante	23
Quadro 2.4 - Fuso granulométrico de uma camada de desgaste de micro-betão betuminoso rugoso.....	24
Quadro 2.5 - Tabela para cálculo de L_d e δ do modelo parabólico de 3º grau	37
Quadro 2.6 -Valores mínimos para o comprimento de L_d	39
Quadro 2.7 – Valores da sobre-elevação ao longo de uma curva de transição longa (modelo parabólico de 3º grau)	40
Quadro 3.1 – Inclinação máxima dos traineis	50
Quadro 3.2 - Raios e desenvolvimentos mínimos das Concordâncias Convexas	51
Quadro 3.3 – Raios e Desenvolvimentos Mínimos das Concordâncias Côncavas.....	52
Quadro 3.4 – Sobre-elevação	54
Quadro 3.5 – Valores Máximos para a transição da sobre-elevação	54
Quadro 3.6 – Largura de Bermas.....	55
Quadro 3.7 – Raios de Concordâncias e largura das vias e bermas	56
Quadro 4.1 – Resultados obtidos para linhas de corrente críticas do caso A	68
Quadro 4.2 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso A)	68
Quadro 4.3 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway	69
Quadro 4.4 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson	69
Quadro 4.5 - Resultados obtidos paraas linhas de corrente críticas do caso A (concordâncias côncavas)	70
Quadro 4.6 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso A, concordâncias côncavas)	71
Quadro 4.7 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso A, concordâncias côncavas)	71
Quadro 4.8 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso A, concordâncias côncavas)	72
Quadro 4.9 - Características das curvas de transição estudadas	73
Quadro 4.10 - Resultados obtidos para o caso B	73
Quadro 4.11 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso B)	74

Quadro 4.12 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (caso B).....	74
Quadro 4.13 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (caso B).....	75
Quadro 4.14 – Resultados obtidos para o caso C, $V_t=80$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias.....	77
Quadro 4.15 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias).....	77
Quadro 4.16 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias).....	77
Quadro 4.17 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias).....	78
Quadro 4.18 – Resultados obtidos para o caso C, $V_t=100$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias....	78
Quadro 4.19 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias).....	79
Quadro 4.20 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias).....	79
Quadro 4.21 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias).....	80
Quadro 4.22 - Resultados obtidos para o caso C, $V_t=120$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias.....	80
Quadro 4.23 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=120$ km/h, 2 vias).....	81
Quadro 4.24 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=120$ km/h, 2 vias).....	81
Quadro 4.25 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=120$ km/h, 2 vias).....	82
Quadro 4.26 - Resultados obtidos para o caso C, $V_t=80$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias (concordâncias côncavas).....	82
Quadro 4.27 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias).....	83
Quadro 4.28-Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias).....	83
Quadro 4.29 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias).....	84
Quadro 4.30 – Resultados obtidos para o caso C, $V_t=100$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias (concordâncias côncavas).....	84
Quadro 4.31 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias).....	85
Quadro 4.32 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway ((Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias).....	85

Quadro 4.33 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias).....	86
Quadro 4.34 - Resultados obtidos para o caso C, $V_t=100$ km/h com faixas de rodagem de 3 vias	86
Quadro 4.35 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 3 vias)	87
Quadro 4.36 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=100$ km/h, 3 vias)	87
Quadro 4.37 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 3 vias).....	88
Quadro 4.38 - Quadro comparativo de velocidade de hidroplanagem em função do raio da curva vertical	88
Quadro 4.39 – Resultados obtidos para o caso D, $V_t=80$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias.....	89
Quadro 4.40- Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso D, $V_t=80$ km/h, 2 vias)	90
Quadro 4.41-Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso D, $V_t=80$ km/h, 2 vias).....	90
Quadro 4.42-Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=80$ km/h, 2 vias).....	91
Quadro 4.43 - Resultados obtidos para o caso D, $V_t=100$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias	91
Quadro 4.44 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=100$ km/h, 2 vias).....	91
Quadro 4.45 - Resultados obtidos para o caso D, $V_t=120$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias	92
Quadro 4.46 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=120$ km/h, 2 vias).....	92
Quadro 4.47 – Resultados obtidos para o caso D, $V_t=80$ km/h com faixas de rodagem de 3 vias.....	92
Quadro 4.48 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=80$ km/h, 3 vias).....	93
Quadro 4.49 - Resultados obtidos para o caso D, $V_t=100$ km/h com faixas de rodagem de 3 vias	93
Quadro 4.50 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=100$ km/h, 3 vias).....	93
Quadro 4.51 - Resultados obtidos para o caso D, $V_t=120$ km/h com faixas de rodagem de 3 vias	94
Quadro 4.52 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=120$ km/h, 3 vias).....	94
Quadro 4.53 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso E).....	95
Quadro 4.54 – Resultados obtidos para o caso D, $V_t=120$ km/h com o modelo de disfarce parabólico (sofisticado)	97

Quadro 4.55 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso F)	98
Quadro 4.56 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso F)	98
Quadro 4.57 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso F)	98
Quadro 4.58 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso G)	99
Quadro 4.59 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso G)	100
Quadro 4.60 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso G)	100

SÍMBOLOS

μ_a – coeficiente de atrito devido à adesão na área seca

μ_{aw} – coeficiente de atrito devido à adesão na área molhada

μ_h – coeficiente de atrito devido à histerese

μ_w – coeficiente de atrito do pavimento inundado

a [m] - largura da faixa de rodagem

A_a [m] – altura do método da mancha de areia

a_c [m/s³] – sobreaceleração normal, no caso igual a 0,5 m/s³

c [m] – comprimento da área de contacto do pneu

D [m] – desenvolvimento da concordância

d [m] - deslocamento real em cada avanço

d^*i – múltiplo usado para calcular a inclinação crítica

DV [m] – distância de visibilidade do condutor

f [mm/h] – taxa de infiltração do pavimento

h [mm] – espessura da lâmina de água

H/S [mm] – altura de areia do ensaio da mancha de areia

i [°] – inclinação do ponto (X;Z) onde se encontra a gota de água

i [°] - inclinação do trainel precedente à concordância

i [°] – inclinação transversal no início da clotóide

il [°] - inclinação longitudinal do ponto (X;Z) onde se encontra a gota teórica

i_p [m³/m².s] – intensidade de precipitação

i_p [mm/h] – intensidade de precipitação

i_{pe} [mm/h] – intensidade de precipitação efetiva

it [°] - inclinação transversal do ponto (X;Z) onde se encontra a gota teórica

K [m^{1/3}/s] – coeficiente de rugosidade

l [m] – desenvolvimento das linhas de escoamento

l [m] – largura da área de contacto do pneu

L [m] – o comprimento da curva de transição

L' [m] – o comprimento da zona de disfarce de sobre-elevação

L_d [m] – o comprimento da reta abrangida no disfarce

n [°] – coeficiente de Manning

Nr [°] – número de Reynolds

p [°] – inclinação média das linhas de escoamento

p [kPa] – pressão de enchimento dos pneus

q [m³/s/m] – caudal escoado por unidade de largura

R [m] – raio da curva circular

R [m] – raio da concordância

R [m] - raio mínimo da clotóide

R [mm] – raio médio do círculo obtido pelo espalhamento da areia

Se [°] - sobre-elevação da curva circular

SL (m) – sobrelargura aplicada à curva

S_x [°] – inclinação transversal no ponto x

t [m]- incremento transversal por metro longitudinal

t_c [min] – tempo de concentração

V [mm³] – volume de material espalhado

V_b [km/h] – velocidade base

V_c [km/h] – velocidade de circulação do veículo

V_h [km/h] – velocidade crítica de hidroplanagem

V_h Agr. [km/h] – velocidade crítica de hidroplanagem calculada através da expressão de Agrawall

V_h Gal. [km/h] – velocidade crítica de hidroplanagem calculada através da expressão de Gallaway

V_t [km/h] – velocidade de tráfego

x [m] - Posição longitudinal da gota de água

z [m]- Posição transversal da gota de água

Z_1, Z_2, Z_3 – áreas das zonas 1, 2 e 3

ε_1 [mm] – altura das asperezas do pavimento

u [m²/s] - viscosidade cinemática da água

ω [°] – razão entre o comprimento da linha de corrente e a raiz da inclinação média

ABREVIATURAS

ASTM – American Society of Testing Materials

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

EP – Estradas de Portugal

ESDU – Engineering Sciences Data Unit

IC – Itinerários Complementares

IP – Itinerários Principais

JAЕ – Junta Autónoma de Estradas

NASA - National Aeronautics and Space Administration

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A realização de um projeto de uma via de comunicação, como é o caso das vias rodoviárias, deve satisfazer diversos critérios. Dentro destes critérios é possível enumerar a segurança, a comodidade, os custos de construção, os custos de exploração, os custos de manutenção e o impacte ambiental.

A sinistralidade rodoviária é, infelizmente, um problema que direta ou indiretamente é presenciado por cada cidadão de um país, como Portugal. Devido à elevada taxa de sinistralidade comparada com os restantes países europeus, os acidentes rodoviários são uma das principais causas de óbitos.

A segurança é assim um dos critérios que não deve ser negligenciado.

Os acidentes podem ter as mais diversas causas, entre as quais podemos destacar o excesso de velocidade e o excesso de álcool. Estas causas são variáveis difíceis de prever uma vez que dependem do comportamento do condutor. Existem em alguns pontos do país os chamados pontos negros, locais onde a incidência de acidentes é alta, e aí normalmente estão associados defeitos das estradas, como defeitos geométricos, patologias de pavimentos e falta de sinalização.

A hidroplanagem é um fenómeno que pode causar acidentes, por vezes com consequências graves devido à velocidade em que ocorrem, normalmente superior a 80 km/h.

Para evitar este fenómeno é preciso que as vias rodoviárias construídas proporcionem uma boa drenagem superficial da água da chuva para que a espessura da lâmina de água sobre o pavimento seja diminuta e facilite o contacto que um pneu consegue exercer com esta superfície.

Todos os pontos onde a inclinação principal (conjugação da inclinação longitudinal com a inclinação transversal) seja próxima de 0% podem apresentar dificuldades para o escoamento rápido da água.

Assim as concordâncias verticais, que podem encontrar-se situadas entre traineis com inclinação de sinal oposto, possuem pontos onde a inclinação longitudinal é igual a 0% e próxima deste valor. Assim um estudo do fenómeno da hidroplanagem ao longo destes elementos pode ser importante para verificação de segurança.

1.2. ÂMBITO

A hidroplanagem é um fenómeno que está diretamente ligado à sinistralidade rodoviária sendo uma possível causa de diversos acidentes. Este fenómeno depende de diversas variáveis, entre as quais podemos destacar a velocidade de circulação dos veículos, a intensidade de precipitação, a características da textura do pavimento e a as características geométricas do traçado.

Este trabalho preenderá maior atenção à ocorrência deste fenómeno em função das características geométricas nomeadamente a ocorrência em curvas verticais. Esta análise será feita sem que haja negligência dos outros factores, apesar de não serem o alvo principal desta dissertação.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo da dissertação prende-se essencialmente no estudo do risco de hidroplanagem em concordâncias côncavas e convexas, nomeadamente na verificação da incompatibilidade dos raios propostos pelas Normas do Traçado, por questões de visibilidade, no desempenho da drenagem superficial.

1.4. MÉTODO

Este trabalho começa com uma revisão bibliográfica onde são descritos diversos aspectos diretamente ligados ao fenómeno em estudo, desde a sua forma de desenvolvimento, os seus tipos e os factores que o influenciam. Posteriormente, é apresentado o método utilizado para cálculo das linhas de corrente críticas e respectivas inclinações e a partir destas as velocidades críticas de hidroplanagem. Após a apresentação dos resultados obtidos são elaborados alguns comentários de verificação caso a caso e comparação entre casos.

1.5. ESTRUTURA

No capítulo 1 é realizado uma breve descrição do tema trabalhado, dos objetivos e do método utilizado.

No capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica onde se apresenta trabalhos de outros autores sobre informação relacionada com o tema da corrente dissertação.

No capítulo 3 é apresentado o método utilizado para o cálculo das linhas de corrente crítica, espessuras das lâminas de água e das velocidades críticas de hidroplanagem.

No capítulo 4 são apresentados os resultados dos cálculos efetuados e feitos alguns comentários sobre estes.

No capítulo 5 são indicadas e explicadas as conclusões que o autor determinou com o desenvolvimento do trabalho em causa. Para além disto são propostos possíveis desenvolvimentos futuros do tema.

2

O FENÓMENO DA HIDROPLANAGEM - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O INÍCIO DO FENÓMENO DE HIDROPLANAGEM

Um veículo que circula ao longo de uma via de circulação adapta o seu movimento de acordo com as características que encontra para exercer este fim. A velocidade de circulação numa determinada secção de uma via, depende das características geométricas da estrada, das características do pavimento, das características do veículo, das condições meteorológicas e, mais que tudo, da percepção que o condutor tem destas condições e da sua vontade.

As condições meteorológicas influenciam muito a velocidade que se deve adotar para executar uma condução segura e cómoda. Em dias de sol, em que os pisos das estradas se encontram secos, o coeficiente de aderência depende apenas do contacto existente entre o pneu e o pavimento.

Assim, o coeficiente de aderência depende:

- Da adesão entre a superfície da estrada e o pneu:

Quanto maior for a velocidade de circulação, menor será o tempo de contacto de um ponto da estrada com o pneu e assim aderência por adesão diminui. As características da borracha dos pneus e a macrotextura da camada de desgaste, tem um papel importante no grau de aderência por adesão existente.

- Da histerese dos pneus, que está relacionada com a macrotextura da camada de desgaste. Este comportamento existe devido à deformabilidade do pneu em movimento que à medida que um ponto do pneu perde o contacto com o pavimento não tem tempo para recuperar a posição inicial. O pneu encontra-se permanentemente deformado ao longo de toda a sua extensão. Esta deformação aumenta com a velocidade.

Na combinação dos dois efeitos e de acordo com os estudos de Fristed e Norrbom em piso seco, citados por França em seus apontamentos, a adesão no atrito de deslizamento tende a crescer com a velocidade até um certo valor. A partir deste valor a aderência tende a decrescer.

Em piso molhado, o comportamento é completamente diferente visto que a parcela relativa à adesão perde-se devido ao aumento das dificuldades de contacto entre o pneu e a superfície microrugosa do pavimento.

Em estudos para a NASA, Dreher e Horne (1963), determinaram distintos coeficientes de atrito fornecido por um pavimento seco e por um pavimento molhado.

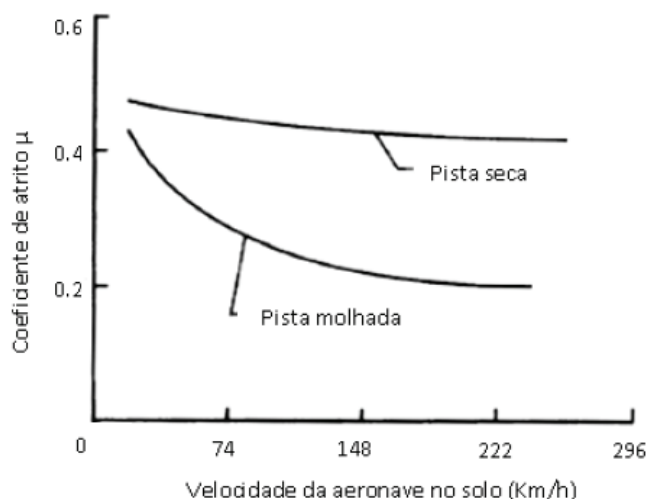


Fig. 2.1 - Coeficiente de atrito de deslizamento em função do estado do piso (Horne e Dreher (1963), adaptado por Francisco (2009))

Verifica-se que, com a presença de água sobre o piso, o atrito exercido no contacto entre a roda e o pneu diminui e assim a segurança diminui. Desta forma conclui-se que a água sobre os pavimentos não combina com uma condução segura e cómoda.

Um pneu que circule sobre um piso com presença de água ao longo do seu movimento tem necessidade, à medida que avança, de fazer escoar a água que se encontra debaixo do pneu para garantir o contacto entre o pneu e o pavimento. Este processo é dificultado uma vez que um objeto rolante (pneu) encontra um fluido ou contaminante cuja inércia é o estado em repouso, Horne e Dreher (1963). A imagem seguinte ilustra o trabalho que um pneu executa para conseguir avançar num piso molhado. É visível uma porção de água empurrada pelo pneu que ocupa o local onde esta água se encontrava.

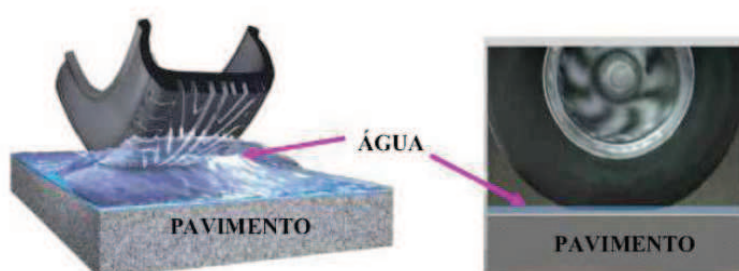


Fig. 2.2 - Representação da circulação de um pneu sobre um piso molhado (Silva (2008))

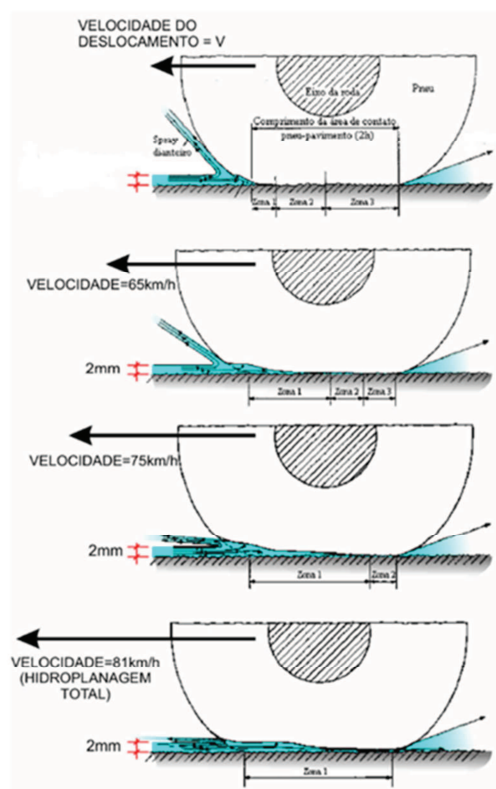


Fig. 2.3 - Interação água-pneu em função da velocidade (Adaptado de Salpico (2009))

A imagem anterior (Fig. 2.3) ilustra as consequências que ocorrem quando um pneumático atravessa uma lâmina de água sobre um pavimento a diferentes velocidades. A uma relativamente baixa velocidade um pneu com o contributo do desenho dos seus rastros, consegue escoar uma grande percentagem de água (Hidroplanagem Parcial). Assim, a área de contacto que consegue estabelecer com o pavimento é relativamente grande. À medida que a velocidade aumenta, a capacidade de expulsão de água diminui. É visível pela sequência de imagens que o *spray* de água expelida diminui com o aumento de velocidade de circulação. Consequentemente, a área de contacto pneu-pavimento diminui até ao ponto em que o pneu é totalmente levantando do pavimento. É neste momento que ocorre a hidroplanagem total do veículo.

Em 1963, através de vários de estudos experimentais, Horne e Dreher indicaram alguns aspetos que se manifestaram ao longo dos ensaios. Entre estes aspetos fazem parte:

- Destacamento da pegada do pneu;
- *Spin-Down* da roda;
- Perda de resistência à travagem;
- Perda de estabilidade direcional.

O destacamento da pegada do pneu decorre devido à existência de pressões hidrodinâmicas provocadas pela camada de água não expulsa sob a roda. Através da diminuição da área de contacto, a água que se encontra sob o pneu cria pressões ascensionais que, quando equivalem à pressão de enchimento ou a ultrapassam, provocam o levantamento do objeto rolante, Horne e Dreher (1963).

Spin-down da roda é um fenómeno que pode ocorrer em situação de hidroplanagem total. Este fenómeno manifesta-se por uma desaceleração repentina ou perda total da rotação da roda. Isto

acontece porque à medida que a roda avança, as pressões hidrodinâmicas que intervêm na roda atuam fora do eixo central de rotação da roda. A força resultante destas pressões atua na zona dianteira da roda criando um momento de sentido inverso ao sentido da rotação e anula completamente ou quase a inércia de movimento da roda, Horne e Dreher (1963).

Após o levantamento das rodas de um veículo, este exerce contacto apenas com a massa líquida. Esta massa não oferece coeficientes de atrito ou aderência suficientes que possam contribuir para o controlo do veículo. Assim, um automóvel numa situação de hidroplanagem total torna-se num objeto que desliza livremente sobre uma superfície lisa e líquida. Um bloqueio das rodas não provoca travagem do veículo que se encontra em deslizamento e também uma mudança de direção das rodas não provoca mudança de direção do veículo. Nesta situação, até ventos fortes podem mudar a trajetória de um veículo automóvel. Encontramo-nos portanto numa situação de controlo nulo de condução.

2.2. TIPOS DE HIDROPLANAGEM

2.2.1. INTRODUÇÃO

Segundo Rodrigues Filho (2006) e Salpico (2009), o fenómeno da hidroplanagem resume-se em 4 diferentes tipos:

- Hidroplanagem viscosa;
- Hidroplanagem dinâmica;
- Hidroplanagem por desvulcanização;
- Hidroplanagem por selagem do pneu;
- Situação que combina vários tipos (realidade).

2.2.2. HIDROPLANAGEM VISCOSA

Este tipo de hidroplanagem ocorre em situações de frenagem, devido à viscosidade da água que é expulsa pelo pneu da sua área de contacto com o pavimento. Este fenómeno ocorre a velocidades inferiores à velocidade crítica de hidroplanagem.

Para que esta situação ocorra, o pavimento normalmente mais liso, por vezes por acumulação de borracha de pneumáticos devido ao desgaste de circulação, é facilmente coberto por uma lâmina de água, com pequena espessura (no mínimo 0,6 mm, Salpico (2009)), que foi alvo de contaminação por materiais argilosos ou siltosos ou fluídos de origem petrolífera que provocam um aumento da viscosidade da água, Rodrigues Filho (2006) e Francisco (2009).

2.2.3. HIDROPLANAGEM DINÂMICA

A hidroplanagem dinâmica é a versão mais frequente deste fenómeno, Salpico (2009), e é aquela à qual se deve prestar maior atenção. Este fenómeno ocorre sempre que exista uma lâmina de água que, quando é percorrida por um pneu desenvolve uma pressão hidrodinâmica capaz de igualar ou ultrapassar a carga exercida pelo pneu (hidroplanagem total).

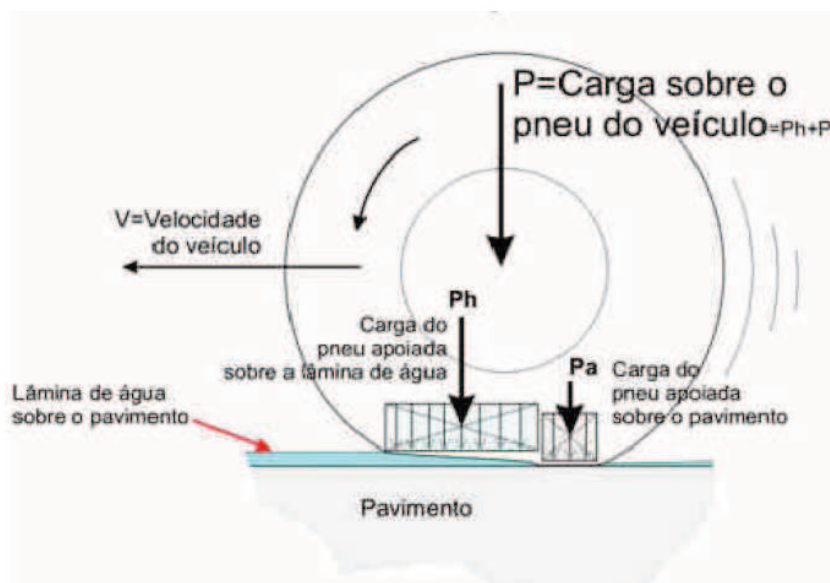


Fig. 2.4 - Exemplificação das cargas do pneu sobre o pavimento e a lâmina de água (Extraído de Salpico (2009))

A imagem anterior (Fig. 2.4) ilustra a distribuição da carga exercida pelo pneu sobre o pavimento e sobre a lâmina de água. À medida que a roda avança, a sua zona dianteira apoia-se sobre parte da água que não foi expulsa pelo pneu. Nesta zona, o pneu exerce parte da sua carga sobre a lâmina de água (P_h). Parte do pneu, de onde foi expulsa a água, exerce a sua carga sobre o pavimento uma vez que existe ainda uma área de contacto entre o pneu e o pavimento.

A velocidade a partir da qual a lâmina de água provoca o arrasto hidrodinâmico, é chamada de Velocidade Crítica de Hidroplanagem Dinâmica (V_h). Existem vários estudos desenvolvidos onde se prevê o valor da velocidade de hidroplanagem dependente de alguns fatores que têm um papel preponderante no fenómeno de hidroplanagem.

Segundo Salpico (2009), quando um veículo circula a uma velocidade ligeiramente mais baixa que a velocidade crítica de hidroplanagem e é executada uma travagem ou o veículo é sujeito a acelerações centrífugas devido às curvas ou forças laterais devidas às correntes de vento, o veículo pode tornar-se descontrolado sem que ocorra hidroplanagem total.

Este fenómeno ocorre em situação de hidroplanagem parcial (Salpico 2009) e é o que ocorre com mais frequência nas estradas. Não deixam, no entanto, de ter consequências graves (Donald *et al* (1996) citado por Salpico (2009)).

2.2.4. HIDROPLANAGEM POR SELAGEM DO PNEU

Se um veículo for sujeito a uma travagem brusca com bloqueamento total das rodas, sobre um pavimento molhado e com a microtextura lisa, devido à rigidez do pneu amolecido por aquecimento e fricção, ocorrerá um deslizamento sobre a superfície líquida (Salpico (2009)).

2.2.5. HIDROPLANAGEM POR DESVULCANIZAÇÃO

Sempre que um veículo intersete uma lâmina de água a uma velocidade superior à velocidade crítica de hidroplanagem, é sujeito a hidroplanagem total. Devido à rotação inexistente e à macrotextura do

pavimento com o qual existe fricção com o pneu, este objeto composto por borracha é sujeito a ações repetidas que torna o material da área de contacto pneu pavimento num material aquecido, com deformações plásticas em detrimento das qualidades elásticas que o caracterizam a temperaturas ambiente. Este fenómeno provoca deformações que são irrecuperáveis no pneu como é possível ver na imagem seguinte (Fig. 2.5):



Fig. 2.5 - Deformação por desvulcanização (Goodyear (2003), adaptado por Rodrigues Filho (2006))

Se o pavimento possui uma macrotextura lisa, a hidroplanagem ocorrerá como uma hidroplanagem viscosa, e a roda só ganhará rotação a uma velocidade muito inferior à velocidade crítica de hidroplanagem uma vez que o estado plástico da borracha dos pneumáticos provoca perdas de adesão e desgaste (Rodrigues Filho (2006) e Francisco (2009)).

2.2.6. HIDROPLANAGEM REAL/COMBINADA – MODELO DAS 3 ZONAS E 4 FASES

A ocorrência de apenas um tipo de hidroplanagem é extremamente invulgar. Normalmente, o fenómeno de hidroplanagem é uma combinação de tipos diferentes. A NASA realizou ensaios onde é demonstrado que para velocidades distintas, o pneu encontra até 3 zonas distantes de comportamento em relação à hidroplanagem (Rodrigues Filho (2006) e Francisco (2009)).

Segundo Rodrigues Filho existem 3 zonas tipo de área contacto pneu-pavimento:

- Zona 1 (Z1): área coberta por uma lâmina de água de espessura representativa (hidroplanagem dinâmica);
- Zona 2 (Z2): área coberta por uma fina lâmina de água (hidroplanagem viscosa);
- Zona 3 (Z3): área em que a água é totalmente expulsa da área de contacto entre o pneu e o pavimento.

A zona 1 caracteriza uma área de contacto direto entre o pneu e a lâmina de água. O pneu sujeito a pressões dinâmicas deforma-se de tal forma que a quantidade de água que se encontra sobre o pneu é relativamente espessa.

A zona 2, uma zona intermédia, ilustra uma situação onde uma finíssima película de água se encontra sob o pneu, que devido à velocidade do fluido e à velocidade do pneu não consegue ser expulsa totalmente desta área, impedindo o contacto direto com o pavimento. Devida à microtextura do pavimento, podem existir pequenos pontos de asperezas do pavimento onde as tensões de contacto são superiores às pressões hidrodinâmicas. Uma superfície mais áspera é melhor para garantir um maior

número de pontos de contacto.

A zona 3, zona “seca” ilustra uma situação em que a não presença de água permite que haja um contacto directo entre o pneu e o pavimento. Este contacto garante uma aderência que depende apenas das características do pneu e do pavimento.

A seguinte imagem (Fig. 2.6) mostra o desenvolvimento da hidroplanagem e os tipos de zonas que encontramos na área de contacto do pneu com o pavimento:

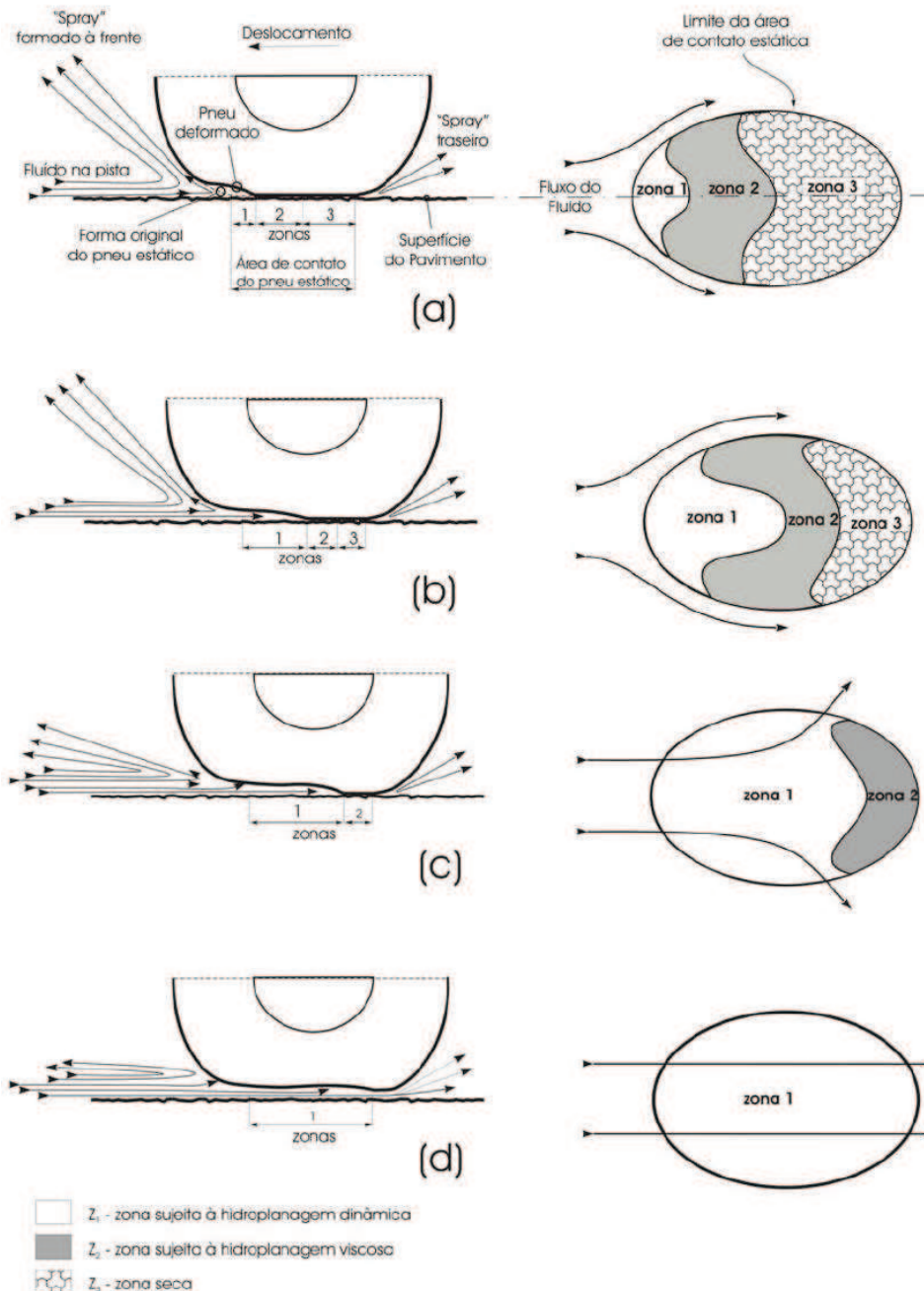


Fig. 2.6 - Desenvolvimento da hidroplanagem combinada (Balkwill (2003), por Rodrigues Filho (2006))

O caso a) ilustra uma situação em que a velocidade é baixa e a zona sujeita a pressões hidrodinâmicas

é pequena. Uma grande porção de água é escoada através dos *sprays* de água que se formam com relativa grande intensidade à frente e na traseira do pneu. É verificável uma pequena zona do pneu sujeita a hidroplanagem viscosa.

Com um ligeiro aumento da velocidade (caso b)) a área de pneu sujeita a pressões hidrodinâmicas aumenta e no sentido oposto a área de contacto com o pavimento diminui. Encontramo-nos numa situação de hidroplanagem parcial.

No caso c) onde se circula a uma velocidade muito próxima da velocidade de hidroplanagem, a zona 3 desaparece e o pneu fica restrito a uma área sobre a lâmina de água e a outra área sujeita a hidroplanagem viscosa. Nesta situação, uma travagem, uma mudança de direção ou um vento forte podem contribuir para que ocorra a hidroplanagem devido às características de viscosidade da zona 2.

No último caso, caso d) a velocidade crítica de hidroplanagem é ultrapassada e o pneu é sujeito à hidroplanagem total.

Segundo Rodrigues Filho (2006) e Francisco (2009), se não forem consideradas a resistência ao movimento e a resistência hidrodinâmica da água, o coeficiente de atrito do pneu pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$\mu_w = \frac{Z1 \times \mu_h + Z2 \times (\mu_{aw} + \mu_h) + Z3 (\mu_a + \mu_h)}{A} \quad (2.1)$$

Onde:

μ_w – coeficiente de atrito do pavimento inundado;

μ_a – coeficiente de atrito devido à adesão na área seca;

μ_h – coeficiente de atrito devido à histerese;

μ_{aw} – coeficiente de atrito devido à adesão na área molhada;

$Z1, Z2, Z3$ – áreas das zonas 1, 2 e 3.

2.3. ASPETOS QUE INTERFEREM NA OCORRÊNCIA DE HIDROPLANAGEM

2.3.1. INTRODUÇÃO

Na ocorrência de hidroplanagem interferem significativamente vários parâmetros:

- As características dos pneus dos veículos, particularmente a sua largura;
- Características da textura do pavimento, particularmente a macrotextura;
- Espessura da lâmina de água, muito condicionada pela intensidade de precipitação, extensão das linhas de corrente e sua inclinação;
- A velocidade de circulação dos veículos.

2.3.2. OS PNEUS DOS VEÍCULOS

A influência dos pneumáticos na velocidade de hidroplanagem é menor que a dos outros aspetos. Um pneu com uma pressão de enchimento adequada à circulação do veículo e cujos rastros possuam a profundidade mínima regulamentar, garante uma boa drenagem de água.

Segundo o Código da Estrada, a profundidade mínima legal para as ranhuras do pneu é de 1,6 mm.

A pressão de enchimento é, entre as características do pneumático, uma das que mais influência tem no valor de velocidade crítica de hidroplanagem.

Segundo os estudos realizados por Horne e Dreher em 1963, na presença de uma lâmina de água com espessura superior à profundidade das ranhuras do pneu, existe uma boa correlação entre a velocidade crítica de hidroplanagem e a pressão de enchimento.

$$V_h = 6,34 \times \sqrt{p} \quad (2.2)$$

Onde p é a pressão de enchimento em kPa e V_h (km/h) é a velocidade crítica de hidroplanagem.

Esta expressão tem algumas limitações uma vez que não entra em consideração com a macro e microtextura do pavimento, o desenho das ranhuras do pneu, a largura de diferentes pneus e não é utilizável em casos cuja espessura da lâmina de água seja menor que a profundidade dos rastos.

O facto de um pneu possuir ranhuras contribui positivamente para que o coeficiente de atrito oferecido seja maior em pneus ranhurados do que em pneus lisos. A seguinte imagem (Fig. 2.7) mostra a conclusão obtida por Horne e Dreher (1963).

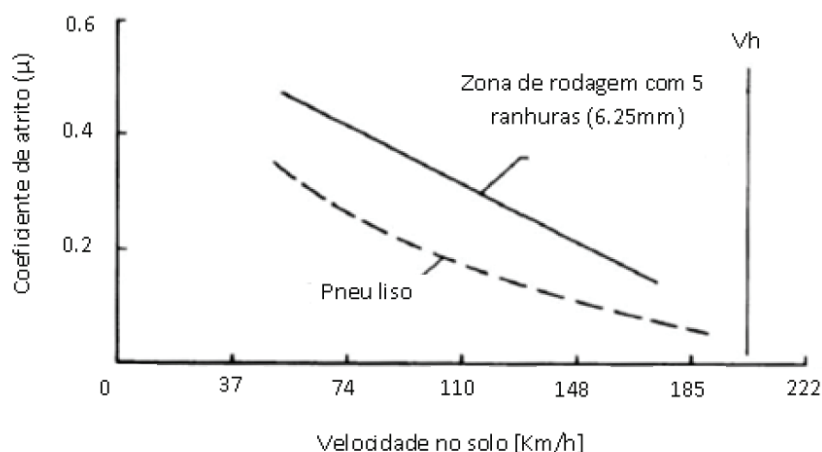


Fig. 2.7 - A diferença de coeficiente de atrito oferecido entre um pneu liso e um pneu com um desenho de ranhuras em piso molhado (Horne (1963) adaptado por Francisco (2009)).

A área de contacto de pneu com o pavimento interfere na velocidade de hidroplanagem uma vez que quanto mais largo for o pneu, mais difícil é para fazer escoar a água sob o pneu.

Segundo Horne *et al* (1986), o aspeto da área de contacto interfere com a velocidade de hidroplanagem. Um pneu com a mesma pressão de enchimento mas com carga diferentes possui um AAC completamente diferente. Adiante se definirá o significado deste parâmetro.

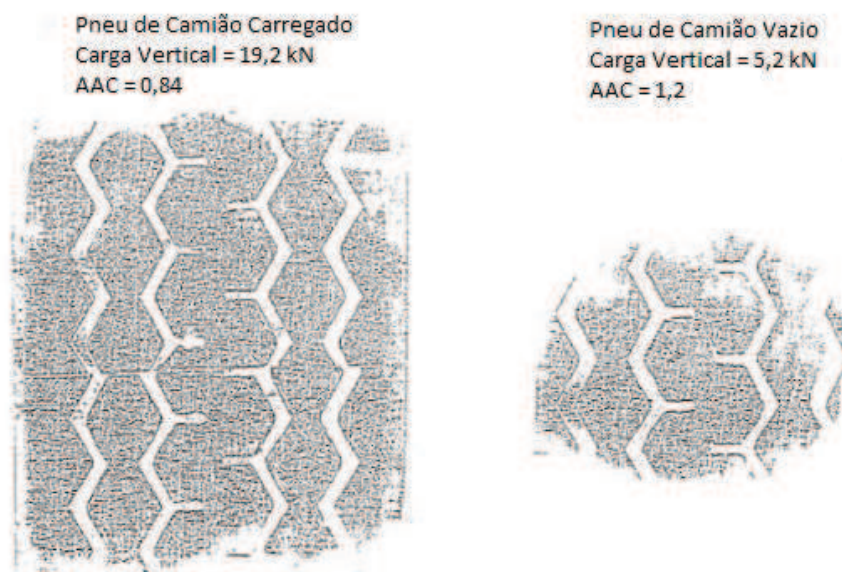


Fig. 2.8 - Aparência de um pneu com variação da carga vertical (Adaptado de Horne (1986))

Através do trabalho realizado por Horne *et al* (1986), é possível verificar que para uma mesma pressão de enchimento, o pneu possui uma maior área de contacto quando se encontra solicitado com uma maior carga.

A partir do mesmo estudo foi determinado que:

$$AAC = l/c \quad (2.3)$$

Onde:

l [m] – largura da área de contacto do pneu;

c [m] – comprimento da área de contacto do pneu.

É visível pela imagem anterior (Fig. 2.8) que o valor de AAC diminui com o aumento de carga uma vez que, apesar de a largura da área de contacto ser praticamente igual, o comprimento aumenta relativamente bastante, em termos comparativos.

Através destes estudos Horne *et al* (1986) determinaram que para AAC a variar entre 0,4 e 1,4:

$$V_h \approx 83.364 - 27.6 \times AAC + 7.9892 \times \sqrt{p} \quad (2.4)$$

Onde:

V_h [km/h] – velocidade crítica de hidroplanagem;

p [kPa] – pressão de enchimento dos pneus.

É assim visível, através do estudo mais recente de Horne *et al* (1986), que a influência do contacto do pneu, principalmente a largura do pneu, é mais sentida que a pressão de enchimento de um pneu.

Para finalizar a caracterização dos pneumáticos, a forma de construção do pneu também interfere no valor da velocidade de hidroplanagem. Segundo Van Es *et al* (2001) referenciado por Rodrigues Filho (2006), o valor da velocidade de hidroplanagem para um pneu radial é diferente da velocidade para um pneu diagonal.

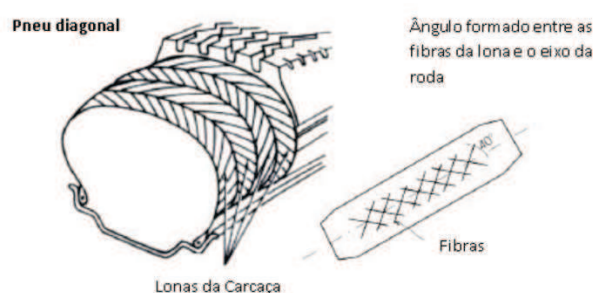


Fig. 2.9 - Configuração das fibras de um pneu diagonal (Wong (2001), adaptado por Rodrigues Filho (2006))

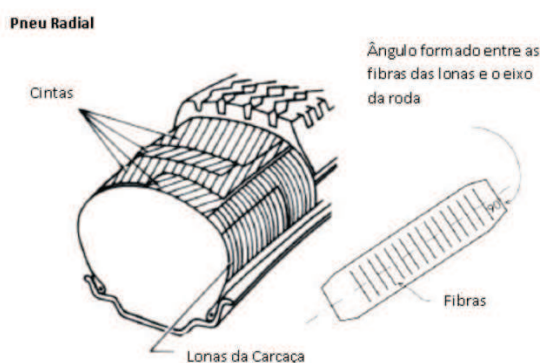


Fig. 2.10 - Configuração das fibras de um pneu radial (Wong (2001), adaptado por Rodrigues Filho (2006))

As duas imagens anteriores ilustram a disposição em que são colocadas as fibras das lonas dos pneus. Uma vez que a distribuição das fibras de um pneu diagonal não é perpendicular em relação ao eixo longitudinal do pneu, as fibras oferecem maior resistência à deformação por serem mais solicitadas e assim as áreas de contacto para mesma carga é menor.

Segundo Van Es *et al*, (Rodrigues Filho (2006)), o valor da velocidade critica de hidroplanagem é cerca de 27% superior para um pneu diagonal que um pneu radial.

A seguinte imagem (Fig 2.11) ilustra a conclusão observada por Van Es *et al* através de ensaios:

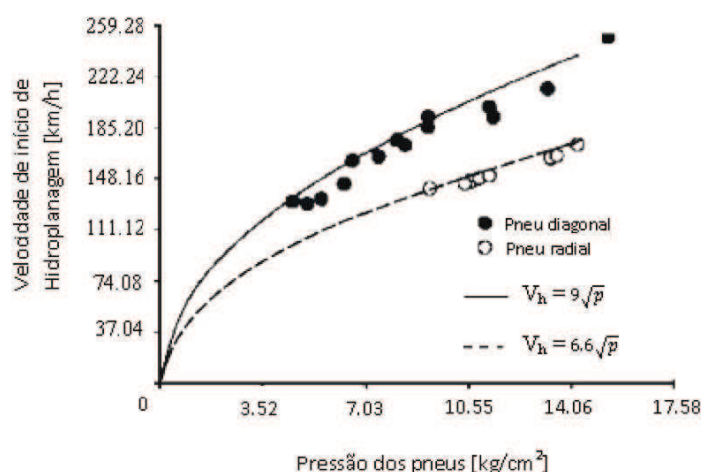


Fig. 2.11 - Velocidade de hidroplanagem em ordem à pressão e do tipo de pneumáticos (Van Es *et al* (2001), adaptado por Francisco (2009))

2.3.3. A TEXTURA DO PAVIMENTO

2.3.3.1. Definições e valores

O pavimento rodoviário, mais precisamente a camada de desgaste, tem um papel fundamental no desempenho dos pneumáticos relativamente à aderência ao piso. Uma vez que esta é a superfície que desenvolve o contacto que determina a aderência que um pneu possui ao solo, as suas características são importantes para determinar o nível de segurança que se possui com determinado piso. Por outro lado, uma vez que é sobre a camada de desgaste que drena a água das chuvas que se precipitam sobre a faixa de rodagem, é formado um escoamento de superfície livre sobre a plataforma de rodagem. A textura desta camada é importante para determinar a espessura da lâmina de água que drena à superfície.

O desenvolvimento de forças de atrito em piso seco ou molhado, a resistência ao movimento e o desgaste dos pneus são alguns dos aspetos que são influenciados pela textura da superfície da camada de desgaste e, de acordo com o seu desempenho, determina a sua qualidade funcional (Branco *et al* (2006))

A textura da camada de desgaste influencia, resumidamente, a segurança de circulação de um veículo, os custos de operação (devido à resistência ao movimento e ao desgaste dos pneus), conforto e qualidade ambiental devido, principalmente à poluição sonora (Pereira (2010)).

Existe atualmente uma vasta gama de betão a ser utilizado em camadas de desgaste. Esta gama pode ser resumida em 3 tipos diferentes, dos quais fazem parte o betão de cimento, o betão betuminoso e o betão betuminoso drenante. Em Portugal, devido à sua reduzida utilização, a camada de desgaste de betão de cimento, pertencente à gama dos pavimentos rígidos, pode ser desprezada do estudo. O betão betuminoso drenante acaba por ser um substituto do betão betuminoso em troços potencialmente problemáticos a nível de drenagem (Soares (2011)).

A avaliação da textura de uma camada de desgaste pode ser feita a 4 escalas distintas (Francisco (2009)):

- Microtextura;
- Macrotextura;
- Megatextura;
- Irregularidade.

A microtextura corresponde à rugosidade dos agregados individualmente considerados de uma mistura betuminosa ou de um betão de cimento. A sua rugosidade tem gamas de $1\ \mu\text{m}$ a $0,5\ \text{mm}$ de comprimento de onda e de $1\ \mu\text{m}$ a $0,2\ \text{mm}$ de amplitude vertical. Esta escala de dimensão torna esta textura impossível de se distinguir a olho nu mas é perceptível ao tato (Soares (2011)).

A macrotextura é caracterizada pela dimensão dos agregados, pela sua forma, pela curva granulométrica e pelo índice de vazios da mistura. Esta textura tem uma gama de $0,5\ \text{mm}$ a $50\ \text{mm}$ de comprimento de onda e $0,2\ \text{mm}$ a $10\ \text{mm}$ de amplitude vertical (Soares (2011)).

Na imagem seguinte (Fig. 2.12) é ilustrada a diferença entre as duas mais pequenas escalas de textura: a microtextura e a macrotextura:

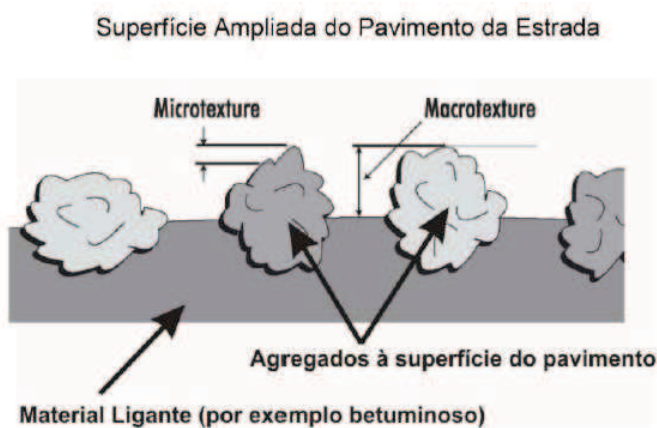


Fig. 2.12 - Ilustração da microtextura e da macrotextura (Salpico (2009))

A megatextura é caracterizada por anomalias na estrada, entre as quais podemos destacar as rodeiras, os pequenos buracos, as juntas ou fissuras de maiores dimensões. A sua gama de valores varia entre 50 a $500\ \text{mm}$ de comprimento de onda e $1,0$ a $50\ \text{mm}$ de amplitude vertical (Soares (2011)).

A irregularidade é uma deformação que ultrapassa os valores da megatextura. A existência de deformações desta dimensão tem impacto negativo na eficácia da condução, na comodidade, no ruído, na economia e no desgaste do veículo. Estas duas últimas escalas, por serem anomalias graves ficarão fora deste estudo.

No seguinte quadro (Fig. 2.13) apresenta-se resumidamente a gama de valores da dimensão de cada escala de textura:

Designação	Intervalo de dimensões aproximado	
	Comprimentos de onda (horizontal)	Amplitudes (vertical)
Microtextura	0-0,5mm	0-0,2mm
Macrotextura	0,5-50mm	0,2-10mm
Megatextura	50-500mm	1,0-50mm

Fig. 2.13 - Dimensão de cada tipo de textura (Alves (2007), adaptado por Pereira (2010))

Na seguinte imagem (Fig. 2.14), pretende-se ilustrar a influência de cada escala de textura em diversos aspetos relacionados com a circulação automóvel:

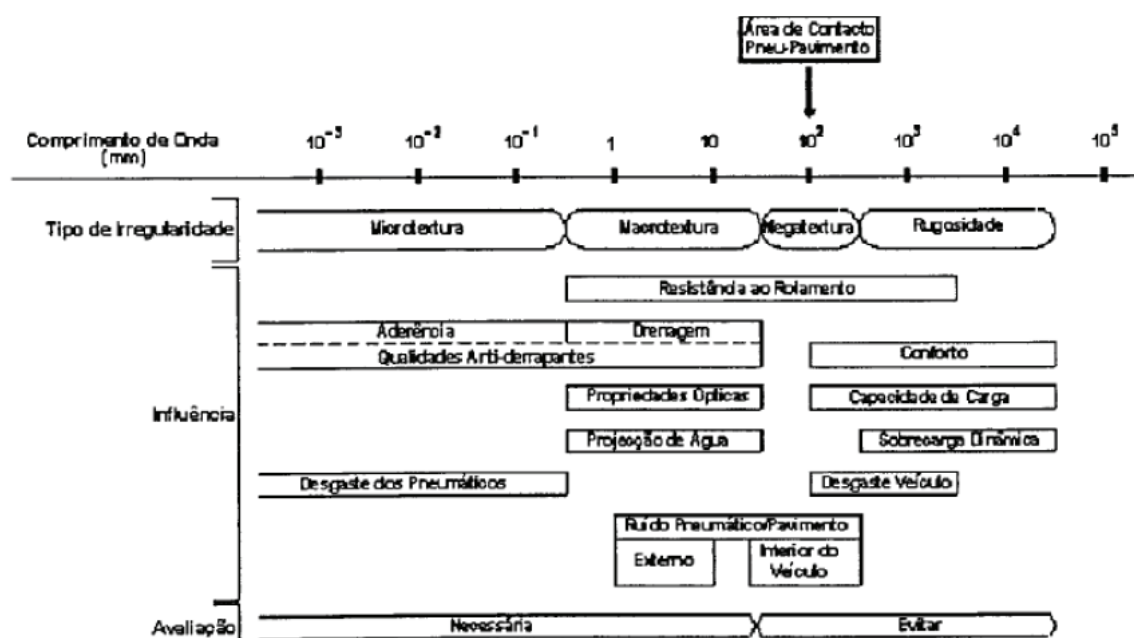


Fig. 2.14 - Influência da textura da camada de desgaste (Alves (2007) adaptado por Pereira (2010))

A partir de uma análise à imagem anteriormente apresentada, é possível verificar que tanto a micro como a macrotextura tem qualidades antiderrapantes uma vez que influenciam o atrito em piso seco ou molhado. A microtextura é importante na aderência do pneu, uma vez que é a rugosidade de cada agregado exposto ao ar onde o pneu exerce contacto. Devido à existência deste contacto, a microtextura tem um papel importante no desgaste dos pneus devido aos microdeslizamentos da borracha do pneu à medida que este avança. Aumentando um pouco a escala, a macrotextura tem um papel fulcral a nível da drenagem da água das chuvas, uma vez que grande parte da água drena entre os agregados da camada de desgaste, ou seja, entre os vazios existentes na camada de desgaste. Adicionalmente, a projeção de água através de *sprays* depende desta escala da textura, tal como a resistência ao rolamento que interfere com o consumo de combustível e o ruído no exterior do veículo, formado com contacto entre o pneu e o pavimento. A megatextura tem grande influência no ruído no interior do veículo, na resistência ao deslocamento como a macrotextura e no desgaste do veículo. As

irregularidades influenciam negativamente o conforto e o desgaste do veículo.

Através da análise anterior, verificou-se que apenas a micro e a macrotextura têm influência na aderência e na drenagem da água. Por esta razão, vão ser apresentados alguns casos distintos onde se conjugam diferentes tipos de macrotextura e de microtextura.

Tendo por base o estudo do professor França (1988) e de Rodrigues Filho (2006) serão considerados os seguintes casos de combinação de texturas:

- Macrorugosidade elevada e microrugosidade elevada;
- macrorugosidade elevada e microrugosidade baixa;
- macrorugosidade baixa e microrugosidade elevada;
- macrorugosidade baixa e microrugosidade baixa.

2.3.3.2. Macrorugosidade elevada e microrugosidade elevada

Uma camada de desgaste que se caracteriza por esta textura é o revestimento superficial betuminoso novo e com gravilha de dimensões superiores a 8 mm.

Um pavimento seco com estas características oferece um coeficiente de atrito ligeiramente mais baixo que uma camada de desgaste com microrugosidade baixa. O facto de a microrugosidade ser elevada previne a ocorrência de hidroplanagem viscosa sobre este piso. Devido à existência de uma macrotextura aberta, elevada, existe maior número de espaços para a água das chuvas poder escoar, e assim o risco de hidroplanagem dinâmica pode diminuir (Rodrigues Filho (2006) e Francisco (2009)).

Na seguinte imagem ilustra-se a aparência de uma camada de desgaste com a textura aqui apresentada:



Fig. 2.15 - Representação de um piso com micro e macrotextura abertas (ESDU (1971), extraído de Rodrigues Filho (2006))

2.3.3.3. Macrorugosidade elevada e microrugosidade baixa

O revestimento superficial betuminoso polido (muito usado) pode ser uma mistura betuminosa que reúna estas características (França (1988))

A microrugosidade baixa torna a aderência em piso seco deste tipo de mistura idêntica à de uma mistura de textura completamente fechada. Devido a esta microtextura baixa, o risco de derrapagem, com chuva, é alto. No entanto, devido ao escoamento de parte da água pelas aberturas caracterizadoras do macrotextura aberta, a velocidade de ocorrência da hidroplanagem viscosa não é tão baixa como uma camada com uma mistura de textura fechada e lisa (Rodrigues Filho (2006) e Francisco (2009)).

Na seguinte imagem ilustra-se a aparência de uma camada de desgaste com a textura aqui apresentada:

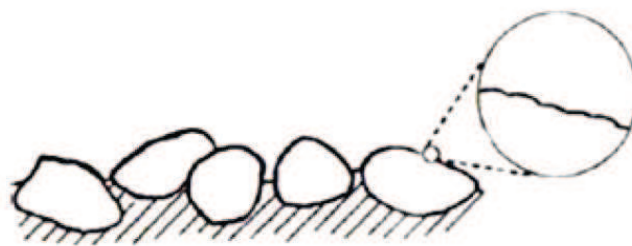


Fig 2.16 - Representação de um piso com microtextura fechada e macrotextura aberta (ESDU (1971), extraído de Rodrigues Filho (2006)).

2.3.3.4. Macrorugosidade baixa e microrugosidade elevada

Este tipo de mistura pode ser exemplificado pelo betão betuminoso rugoso (França (1988)). Interpreta-se aqui a palavra rugoso como estando o betuminoso em estado novo.

Devido à existência de uma microgurosidade alta, o contacto existente entre o pneu e o pavimento é menor do que numa superfície lisa e assim, em piso seco, a aderência é ligeiramente menor do que uma superfície com textura lisa. Esta ocorrência é compensada pelo comportamento em piso molhado que devido à microtextura existirá sempre uma quantidade grande de minúsculos pontos que se mantêm secos e previnem a ocorrência da hidroplanagem viscosa. A macrotextura fechada não evita a existência de um risco médio/alto de hidroplanagem dinâmica uma vez que a quantidade de água que drena a um plano inferior do topo das asperezas do pavimento é menor (Rodrigues Filho (2006)).

A próxima imagem ilustra a disposição de uma camada de desgaste com este tipo de textura:

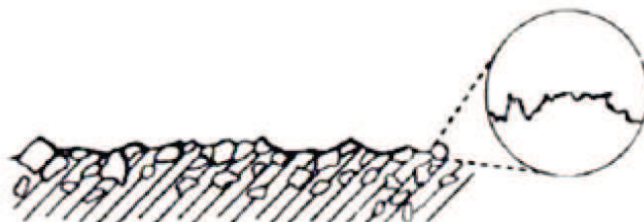


Fig. 2.17 - Representação de um piso com microtextura aberta e macrotextura fechada (ESDU (1971), extraído de Rodrigues Filho (2006)).

2.3.3.5. Macrorugosidade baixa e microrugosidade baixa

O betão betuminoso polido (muito usado) é uma mistura betuminosa que reúne estas características a nível de textura (França (1988)).

Uma mistura que possua uma textura deste tipo confere uma boa aderência aos pneumáticos quando o piso se encontra seco. Grande parte das perdas do coeficiente de atrito deve-se à adesão. Quando nos encontramos em situação meteorológica adversa, nomeadamente precipitação, os coeficientes de atrito de um piso com esta configuração de textura superficial inverte-se. O reduzido atrito oferecido deve-se à facilidade com que se forma lâminas de água que perturbem o estabelecimento do contacto entre o pneu e o pavimento. Quanto mais fechada for a textura, maior quantidade de água existirá à superfície. Num piso com estas condições, o valor da velocidade crítica de hidroplanagem é extremamente mais baixa do que em camadas de desgaste com outro tipo de textura (Rodrigues Filho (2006)).

Uma mistura deste tipo deve ser evitada em locais onde a velocidade de circulação é alta e as inclinações transversais e longitudinais são muito reduzidas. A colocação de órgãos de drenagem longitudinais (drenos longitudinais) e fendas transversais (*grooving*) contribuem para melhorar as condições de drenagem desta camada superior.

A próxima imagem ilustra a disposição de uma camada de desgaste com este tipo de textura:



Fig. 2.18 - Representação de um piso com microtextura fechada e macrotextura fechada (ESDU (1971), extraído de Rodrigues Filho (2006)).

2.3.4. ENSAIO DA MANCHA DE AREIA

A informação relativamente à textura superficial de um pavimento é importante para conhecer a qualidade funcional da sua camada de desgaste. Para recolher esta informação é preciso utilizar pelo menos um ensaio que permita caracterizar a textura de pavimentos. Segundo Branco *et al* (2006) a textura superficial pode ser medida através de dois ensaios distintos. O primeiro ensaio que é possível utilizar é o ensaio da “mancha de areia”. O outro ensaio que pode ser utilizado é o ensaio com raios laser, genericamente conhecido como “Rugolaser”. Para o cálculo da espessura da lâmina de água é preciso saber as características da textura e alguns autores utilizam os parâmetros deste ensaio para determinar a velocidade crítica de hidroplanagem. O ensaio da mancha de areia avalia a macrorugosidade.

O ensaio da mancha de areia pode ser aplicado em qualquer tipo de pavimento em betão betuminoso ou betão de cimento. O ensaio consiste por um espalhamento de um volume de areia sobre a camada de desgaste. Através do conhecimento da área de superfície de espalhamento, é possível conhecer as depressões da macrotextura de um pavimento.

A seguinte imagem (Fig. 2.19) mostra a sequência de espalhamento e medição do ensaio de mancha de areia:



Fig. 2.19 - Sequência do ensaio da mancha de areia (Alves (2007), retirado de Soares (2011))

O material utilizado é constituído por um recipiente com determinado volume de areia, placa de madeira, circular com suporte vertical para manuseamento e uma régua. O ensaio deve ser feito em pelo menos 5 pontos num eixo longitudinal afastados 1 m entre si. Após a colocação da areia sobre a área a ensaiar, deve fazer o espalhamento através de movimentos circulares para que a mancha resultante tenha uma forma aproximadamente circular. O diâmetro da mancha deve ser feito ao milímetro (Branco *et al* (2006))

O diâmetro da mancha pode ser obtido através de um média de 3 a 4 medições de diâmetro em locais diferentes da mancha, uma vez que o círculo obtido pelo ensaio pode não ser perfeito (Soares (2011)).

Com a medida do diâmetro da mancha conhecido, a profundidade média da textura superficial pode ser obtida a partir da seguinte fórmula (Branco *et al* (2006)):

$$Aa = \frac{V}{\pi \times R^2} \quad (2.5)$$

Onde:

Aa [mm] – profundidade média da textura superficial;

V [mm³] – volume de material espalhado;

R [mm] – raio médio do círculo obtido pelo espalhamento da areia.

A Estradas de Portugal, EP, estabeleceu em Caderno de Encargos, em 2009, valores mínimos para a macrorugosidade da superfície do pavimento, conforme a tipologia da camada de desgaste:

Quadro 2.1 - Macrorugosidade mínima regulamentar (Estradas de Portugal (2009), extraído de Soares (2011))

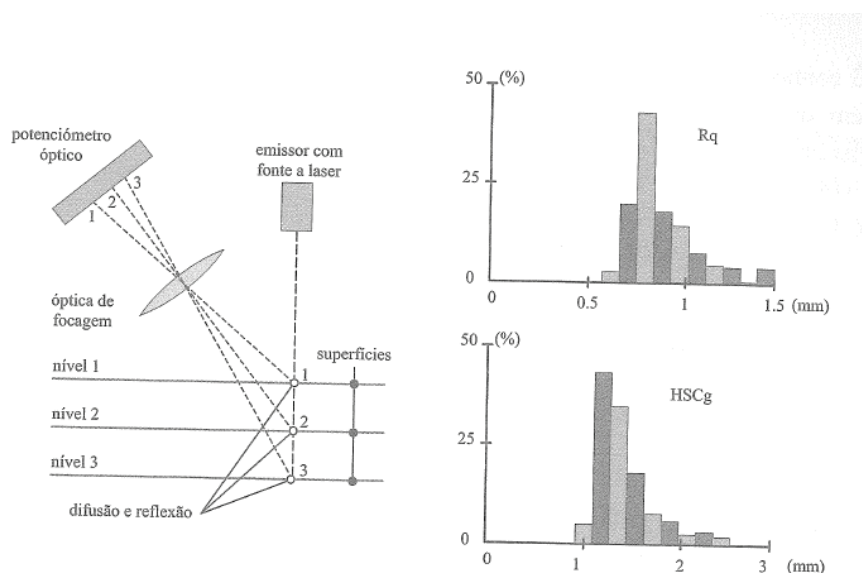
Tipo de mistura betuminosa	Altura de areia (mm)
Betão de cimento	$Aa \geq 0,4$
Micro-betão betuminoso rugoso	$Aa \geq 1,0$
Betão betuminoso rugoso	$Aa \geq 1,0$
Betão betuminoso	$Aa \geq 0,7$
Betão betuminoso drenante	$Aa \geq 1,2$

2.3.5. AVALIAÇÃO DA TEXTURA COM LASER

Tendo em atenção a apresentação do ensaio de mancha de areia, é de reparar que este ensaio tem uma limitação, mais precisamente na recolha de dados relativos à microtextura do pavimento. Como a microtextura da camada de desgaste tem impacto funcional do pavimento em relação à hidroplanagem viscosa, o seu conhecimento permite uma melhor previsão do risco deste tipo de fenómeno.

A avaliação com raios laser permite obter esta informação de uma forma contínua. O equipamento utilizado pode estar inserido na corrente de tráfego durante a realização dos ensaios. A velocidade do ensaio pode decorrer entre 40 e 90 km/h. Basicamente, o equipamento é constituído por uma fonte emissora de raios laser e por um potenciómetro ótico que é recetor das ondas refletidas pelo pavimento. O equipamento mede a uma cadência alta a distância entre o emissor e a superfície a analisar. Normalmente, as medições obtidas são valores médios para extensões de 10 metros. Os dados estatísticos podem fornecer a rugosidade R_q e o parâmetro de altura de areia HS (Branco *et al* (2006))

A próxima imagem ilustra o método de medição e os resultados obtidos:

Fig. 2.20 - Princípio de medição e resultados obtidos (Extraído de Branco *et al* (2006))

2.3.6. CAMADAS DE DESGASTE UTILIZADAS NAS ESTRADAS

Ao longo desta secção pretende-se apresentar de uma forma breve as características de diferentes tipos de misturas utilizadas em camada de desgaste. Pretende-se assim caracterizar as misturas utilizadas em secção corrente das faixas de rodagem das estradas em Portugal. Por este facto, não se caracterizarão as lamas asfálticas, utilizadas essencialmente no tratamento de algumas patologias de pavimentos, como colmatação de fissuras. Do mesmo modo se excluirão as argamassas betuminosas e o betão de cimento.

Assim ao longo dos próximos parágrafos serão descritos as seguintes misturas:

- Betão Betuminoso;
- Betão Betuminoso Drenante;
- Micro-Betão Betuminoso Rugoso;
- Revestimento Superficial Betuminoso.

2.3.6.1. Betão Betuminoso

O betão betuminoso é mistura utilizada essencialmente para realização de camadas de desgaste. A dimensão máxima dos seus agregados varia entre 10 e 14 mm. A fração granulométrica desta mistura pode absorver cerca de 2% da água que drena superficialmente. Esta mistura deve incluir na sua composição um mínimo de 3% de filler calcário ou 2% de filler de cal hidráulica para promover a adesão de betume com o agregado (essencialmente na presença de areis ou matérias britados de origem granítica). Por vezes é necessário a utilização de um aditivo incluído no ligante (Branco *et al* (2006)).

Segundo Branco *et al*, o caderno de encargos da JAE apresenta os seguintes valores para a curva granulométrica desta mistura:

Quadro 2.2 - Fuso granulométrico de um betão betuminoso em camada de desgaste (Adaptado de Branco *et al* (2006))

Abertura das malhas dos peneiros ASTM	Percentagem de passados pelo peneiro
16,0 mm	100
12,5 mm	80-88
9,5 mm	66-76
4,75 mm	43-55
2,00 mm	25-40
0,425 mm	10-18
0,180 mm	7-13
0,075 mm	5-9

2.3.6.2. Betão Betuminoso Drenante

Esta mistura betuminosa tem sido cada vez mais utilizada devido às suas características de porosidade que facilitam a drenagem superficial de águas, reduz o ruído produzido pela circulação dos veículos e não prejudica a visibilidade em dias de condições meteorológicas adversas por projecção de água pelos

pneumáticos de outros veículos (Soares (2011)). Outro benefício obtido é uma poupança do combustível utilizado em viagem porque a resistência ao rolamento dos pneus é menor (Branco *et al* (2006)).

No sentido oposto, uma camada de desgaste realizada a partir desta mistura tem uma maior vulnerabilidade, devido ao índice de vazios, na formação de gelo no pavimento (Soares (2011)). Esta formação de gelo tem a desvantagem de poder fissurar o pavimento, por se formar no interior dos poros. Assim a sua utilização em zonas de proeminência de temperaturas baixas é de evitar. Outro inconveniente que esta camada pode provocar prende-se no facto de perdas das suas capacidades de drenagem devido à colmatção dos poros. Segundo Branco *et al* (2006), ao fim de 5 a 6 anos um pavimento sem manutenção pode deixar de cumprir as suas funções de drenagem. Uma vez colmatado, este pavimento é severamente mais perigoso que um betão betuminoso normal, visto que um condutor na presença de um pavimento drenante não reduz a velocidade tão drasticamente em presença de chuva por confiar nas características que esta mistura oferece. Assim podem ocorrer hidroplanagens dinâmicas a velocidades com ordem de grandeza superior que em betão betuminoso.

A porosidade desta camada de betuminoso deve variar entre os 22 e 30%. O facto de a granulometria de agregados utilizados nesta mistura ser descontínua permite que a porosidade possa atingir estes valores. A espessura normalmente utilizada para esta mistura deve rondar os 4 cm. Uma característica funcional que distingue esta mistura de outras é o facto de a drenagem da água ser realizada por percolação através da camada de desgaste. O betume utilizado na produção deste betume deve ser modificado com polímeros. A sua temperatura de amolecimento (método anel e bola, EN1427) não deve ser menor do que 60°C. A penetração obtida por ensaio de penetração normalizado com agulha (EN1426) deve variar entre 55 e 100 décimas de milímetro (Branco *et al* (2006)).

Os agregados utilizados neste pavimento devem utilizar as seguintes características granulométricas:

Quadro 2.3 - Fuso granulométrico de um betão betuminoso drenante (Adaptado de Branco *et al* (2006)).

Abertura das malhas dos peneiros ASTM	Percentagem de passados pelo peneiro
19,0 mm	100
12,5 mm	80-100
9,5 mm	50-80
4,75 mm	15-30
2,00 mm	10-22
0,850 mm	6-13
0,075 mm	3-6

2.3.6.3. Micro-betão Betuminoso Rugoso

Esta mistura é utilizada em camadas de desgaste com uma espessura delgada a rondar os 3 cm. Possui características de resistência estrutural ainda um pouco desconhecidas. A sua porosidade deve variar entre os 3 e 6%. Os agregados utilizados neste pavimento devem utilizar as seguintes características granulométricas:

Quadro 2.4 - Fuso granulométrico de uma camada de desgaste de micro-betão betuminoso rugoso (Adaptado de Branco *et al* (2006)).

Abertura das malhas dos peneiros ASTM	Percentagem de passados pelo peneiro
12,5 mm	100
9,5 mm	80-100
4,75 mm	30-42
2,00 mm	22-32
0,850 mm	15-26
0,425 mm	12-24
0,180 mm	9-18
0,075 mm	7-12

2.3.6.4. Revestimento Superficial Betuminoso

Este tipo de camada é obtido a partir de espalhamento de uma ou mais camadas de ligante betuminoso e posterior espalhamento de agregado. Este procedimento juntamente com a compactação cria uma superfície de agregados incrustados no betume obtendo-se uma superfície muito rugosa (Branco *et al* (2006)).

2.3.7. A ESPESSURA DA LÂMINA DE ÁGUA

2.3.7.1. Introdução

A espessura da lâmina de água tem uma importância fundamental na ocorrência de hidroplanagem, uma vez que o comportamento de um veículo em pisos molhados depende da capacidade que um pneu tem para expulsar a água que drena superficial da área de contacto pneu com o pavimento. Este dado é então importantíssimo para se poder calcular a velocidade crítica de hidroplanagem.

A espessura de uma lâmina de água depende de vários fatores entre os quais podemos destacar a intensidade de precipitação, a geometria da via e as características da textura superficial do pavimento.

Este último fator já foi apresentado no capítulo anterior. Ao longo deste trabalho, procurou-se respeitar as características mínimas determinadas em Caderno de Encargos da Estradas de Portugal.

A intensidade de precipitação a considerar ao longo do estudo vai ser alvo de um critério futuramente apresentado e por último a geometria da via irá depender de cada caso de estudo abordado.

Ao longo do tempo foram adotadas várias fórmulas para calcular a espessura da lâmina de água. Neste trabalho vão ser abordadas as fórmulas dos seguintes autores:

- Berthier (1967);
- Gallaway (1979);
- França (1988);
- Anderson (1998);

A partir das diferentes abordagens será feita uma pequena comparação com um caso prático para

determinar o afastamento existente entre expressões.

2.3.7.2. Berthier (1967)

Segundo França (1988), Berthier usou o método de Manning-Strickler para o cálculo da altura de água em relação à superfície do pavimento. Considerando o raio hidráulico de uma superfície ilimitada chegou à seguinte expressão:

$$h = \left(\frac{l \times ip \times 10^{-5}}{36 \times K \times \sqrt{p}} \right)^{3/5} \quad (2.6)$$

Onde:

h [m] – altura de água em relação à superfície do pavimento;

l [m] – desenvolvimento das linhas de escoamento;

ip [mm/h] – intensidade de precipitação;

K [$m^{1/3}/s$] – coeficiente de rugosidade;

p [°] – inclinação média das linhas de escoamento.

Uma grande restrição a este método é o facto de Berthier ter considerado que a linha de escoamento da água da chuva se desenvolver numa superfície perfeitamente lisa. Esta consideração é restritiva uma vez que, como já explicado no capítulo relativo à textura dos pavimentos, a camada de desgaste, felizmente não é perfeitamente lisa. Por isso mesmo, as camadas de desgaste com bom desempenho drenante são bastante rugosas.

2.3.7.3. Gallaway (1979)

Este método determinado por Gallaway em 1979, considera o comprimento total das linhas de escoamento e a inclinação média da linha de escoamento, é depois utilizado pelo mesmo autor para determinar a velocidade crítica de hidroplanagem por uma fórmula proposta pelo mesmo autor (Chesterton (2006))

$$h = 0.01485 \times \left[\frac{Aa^{0.11} \times l^{0.43} \times ip^{0.59}}{p^{0.42}} \right] - Aa \quad (2.7)$$

Onde:

Aa [m] – altura do método da mancha de areia.

2.3.7.4. França (1988)

Na sua tese de doutoramento, (França (1988)), adaptou fórmulas de cálculo da espessura da lâmina de água tendo em atenção a textura tipo de 4 misturas betuminosas distintas (Betão betuminoso polido, betão betuminoso, revestimento superficial polido e revestimento superficial rugoso). Considerando

uma textura com geometria regular, modelo teórico de representação simplificado, e com a aplicação da expressão de Manning-Strickler, foram obtidas 4 fórmulas distintas.

Revestimento superficial betuminoso rugoso

Para este caso, tipo de textura, foi utilizado o seguinte modelo teórico:

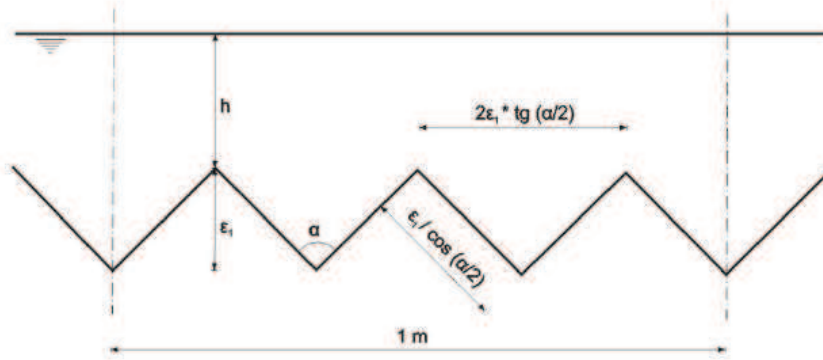


Fig. 2.21 - Modelo teórico para uma camada de desgaste rugosa (Extraído de França (1988))

Sendo considerado este modelo teórico, a secção molhada por faixa de metro pode ser obtida pela seguinte fórmula (França (1988)):

$$S = h + \frac{\varepsilon_1}{2} \quad (2.8)$$

O perímetro molhado, aplicando o mesmo modelo pode ser obtido por (França (1988)):

$$\chi = \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (2.9)$$

O raio hidráulico é obtido pelo quociente entre a área da secção molhada e o perímetro molhado. A partir do desenvolvimento desta fórmula para o modelo teórico em estudo, o raio hidráulico obtido é:

$$R_h = \left(h + \frac{\varepsilon_1}{2} \right) \times \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2.10)$$

Após o desenvolvimento da fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = K \times S \times R_h^{2/3} \times p^{1/2} \quad (2.11)$$

França (1988), considera que para um revestimento superficial com uma altura de areia (Aa) igual a 2,5 mm e por desenvolvimento de uma altura das asperezas do pavimento (μ) de 5 mm. Para um pavimento com coeficiente de rugosidade de 35, a equação para o cálculo da espessura da lâmina de água para um revestimento superficial rugoso é:

$$h = \left[\frac{l \times ip}{35 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{2/3} \times p^{1/2}} \right]^{0,6} - \frac{0,005}{2} \quad (2.12)$$

Onde:

h [m] – altura da lâmina de água acima das cristas das asperezas;

l [m] – comprimento da linha de escoamento;

p [m] – inclinação média da linha de escoamento;

ip [$m^3/m^2.s$] – intensidade de precipitação.

Revestimento superficial betuminoso polido

Para este tipo de camada de desgaste França (1988), considerou o seguinte modelo teórico:

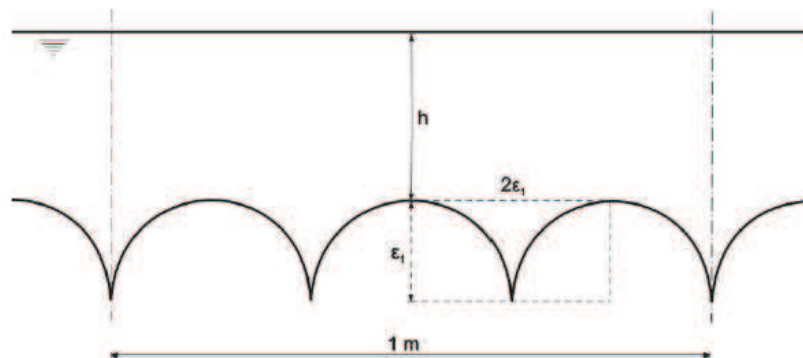


Fig. 2.22 – Modelo teórico para uma camada de desgaste polida (Extraído de França (1988))

Para este modelo teórico e uma camada de desgaste com uma altura de asperezas ϵ_1 igual a 4,5 mm, obteve-se a seguinte fórmula (França (1988))

$$h = \left[\frac{l \times ip}{50 \times \left(\frac{2}{\pi}\right)^{2/3} \times p^{1/2}} \right]^{0,6} - 0,00096 \quad (2.13)$$

Betão betuminoso rugoso

Para calcular a espessura da lâmina de água de uma camada superficial com esta mistura foi utilizado o modelo teórico de um revestimento superficial rugoso. Considerando que a altura das asperezas é de 2,4 mm com uma abertura de agregados $\alpha=100^\circ$, obteve-se a seguinte fórmula (França (1988)):

$$h = \left[\frac{l \times ip}{50 \times (\sin 50^\circ)^{2/3} \times p^{1/2}} \right]^{0,6} - \frac{0,0024}{2} \quad (2.14)$$

Betão betuminoso polido

Para este caso foi considerado o modelo teórico de um revestimento superficial polido e para uma altura de asperezas diminuta, μ igual a 0,2 mm (França (1988)):

$$h = \left(\frac{l \times ip}{70 \times p^{1/2}} \right)^{0,6} - \frac{0,0002}{2} \quad (2.15)$$

As expressões (2.12) e (2.15) têm, em relação às iniciais correções nos valores de K.

2.3.7.5. Anderson (1998)

Para o cálculo das espessura da lâmina de água, Anderson *et al* (1998) considerou um modelo unidimensional a utilizar no programa em estudo neste trabalho de 1998, o PAVDRN. Este programa é utilizado para avaliar a drenagem superficial de pavimentos. A fórmula utilizada por este autor considera um modelo para calcular o coeficiente de Manning (n), que determina a rugosidade do pavimento em estudo, em função da viscosidade cinemática da água (Anderson (1998)).

$$h = \left[\frac{n \times l \times ip_e}{36,1 \times p^{0,5}} \right]^{0,6} - Aa \quad (2.16)$$

Onde:

ipe [mm/h] – intensidade de precipitação efetiva.

Em que:

$$ipe = ip - f \quad (2.17)$$

Sendo,

ip [mm/h] – índice de precipitação;

f [mm/h] – taxa de infiltração do pavimento.

O valor de Manning (n) pode ser obtido pela seguinte fórmula para o pavimento em análise:

Betão betuminoso:

$$n = 0,0823 \times N_r^{-0,174} \quad (2.18)$$

Betão betuminoso drenante:

$$n = \frac{1.490 \times p^{0.306}}{N_r^{0.424}} \quad (2.19)$$

Onde:

N_r [] – número de Reynolds é igual:

$$N_r = \frac{q}{\nu} \quad (2.20)$$

Sendo:

q [m³/s/m] – caudal escoado por unidade de largura;

ν [m²/s] - viscosidade cinemática da água.

2.3.8. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

A precipitação é um fenómeno hidrológico que tem grande influência na espessura da lâmina de água que drena a superfície de um pavimento rodoviário. Para uma mesma superfície, quanto maior for a quantidade de água da chuva precipitada, maior será a espessura da lâmina de água. Assim este aspeto deve requerer alguma atenção para que se efetuem estudos representativos da realidade.

Para além da espessura da lâmina de água que interfere com o contacto entre o pneu e o pavimento, a precipitação reduz a visibilidade que um condutor possui sobre a sua envolvente. Esta ocorrência diminui a segurança da condução.

Segundo França (1988), para o estudo do fenómeno de hidroplanagem, é preciso utilizar uma intensidade de precipitação que não obrigue os condutores a reduzir a velocidade de circulação por falta de visibilidade. O mesmo autor considera que uma precipitação cuja intensidade seja menor ou igual à de uma chuvada forte não obriga, ou quase não obriga a uma redução de velocidade. Assim, segundo Lenard citado por Lencastre e Franco (1992), uma chuva forte é uma chuvada cuja precipitação varie entre 15 mm/h a 20 mm/h. No seu estudo, França considerou duas chuvadas tipo, uma para uma velocidade de 80 km/h em estradas de 2 vias e outra para estradas de faixas separadas. A primeira precipitação tipo considerada foi de 24,1 mm/h e a segunda de 15 mm/h. As duas precipitações têm uma frequência de ocorrência de 4 vezes por ano, sendo a primeira para um tempo de precipitação de 20 minutos e a segunda de 30 minutos.

2.3.9. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração que indica o tempo máximo que uma gota demora a chegar à secção crítica é importante neste estudo, uma vez que a precipitação só contribui na totalidade na quantidade de água a drenar se o tempo de precipitação for superior ao tempo de concentração. Se $t_p > t_c$, toda a água que cai numa área coincidente com uma linha de corrente de uma estrada drena na totalidade pela secção crítica.

Segundo Confort, (2001) o tempo de concentração pode ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$tc = \frac{6,99007 \times l^{0,6} \times n^{0,6}}{ip^{0,4} \times p^{0,3}} \quad (2.21)$$

Sendo:

t_c [min] – tempo de concentração;

l [m] – comprimento da linha de água;

n [] – coeficiente de Manning;

ip [mm/h] – intensidade de precipitação;

p [m/m] – inclinação da linha de água.

2.3.10. DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE

Previamente foi apresentada a visão apresentada por França (1988) relativamente à distância de visibilidade e a intensidade de precipitação a considerar para executar um estudo de risco de hidroplanagem.

Ivey em (1975), citado por Soares (2011), apresentou uma fórmula que relaciona a distância de visibilidade com a intensidade de precipitação e a velocidade de um veículo. Esta fórmula adotada pelas normas americanas da AASHTO apresenta a seguinte forma (Anderson *et al* (1998)):

$$DV = \frac{354407,276}{ip^{0,68} \times Vc} \quad (2.22)$$

Sendo:

DV [m] – distância de visibilidade do condutor;

Vc [Km/h] – velocidade de circulação do veículo.

Soares (2011) realizou um estudo em que comparava esta fórmula com as distâncias de paragem estabelecidas pelas normas da EP para diferentes velocidades. A partir desta análise, o mesmo autor calculou valores de intensidades de precipitação teóricos para um condutor exercer uma condução em segurança. Estes valores são teóricos porque como se verá, os valores resultantes serão exagerados. A seguir apresenta-se um quadro (Fig. 2.23) com análise realizada por Soares:

Velocidade de Tráfego (km/h)	Distância de visibilidade de paragem da EP (m)	Intensidade de precipitação máxima (mm/h)	Tipo de Precipitação
70	100	320,2	Tempestade Violenta
80	120	201,3	Tempestade Violenta
90	150	121,9	Tempestade Violenta
100	180	79,9	Aguaceiro Muito Violento
110	220	51,7	Aguaceiro Violento
120	250	37,7	Aguaceiro Violento
130	320	23,3	Chuva Forte
140	390	15,6	Chuva Forte

Fig. 2.23 - Intensidade de precipitação em função da velocidade de tráfego e da distância de visibilidade através da fórmula de Ivey (Extraído de Soares (2011))

A partir deste quadro é visível que esta fórmula não se adapta à Norma Portuguesa uma vez que para velocidades mais baixas, as intensidades de precipitação são muito altas. Estas intensidades de precipitação não oferecem condições de segurança adequadas, sendo que a redução de velocidade por parte de um condutor é significativa.

Harrigan (1999), citado por Soares, realizou um estudo idêntico para as distâncias de visibilidade impostas pelas normas americanas da AASHTO:

Velocidade de Tráfego (km/h)	Distância de visibilidade de paragem da AASHTO (m)	Intensidade de precipitação máxima (mm/h)
80	145	151
88	167	106
96	198	73
104	221	55
112	259	39

Fig 2.24 - Intensidade de precipitação em função da velocidade de tráfego e da distância de visibilidade através da fórmula de Ivey para as normas da AASHTO (Harrigan (1999), Extraído de Soares (2011))

As normas americanas indicam distâncias de visibilidade de paragem de AASHTO inferiores que as normas da EP e assim as intensidades de precipitação são inferiores que as calculadas para as normas portuguesas. No entanto, as intensidades de precipitação resultantes da fórmula de Ivey são ligeiramente altas. Uma vez que ao longo deste estudo vai se procurar analisar casos em que condutor não reduza a velocidade devido à precipitação, o autor assume que irá adaptar as intensidades utilizadas por França (1988), para analisar o risco de hidroplanagem em estradas de 2 vias e estradas de vias múltiplas com faixas de rodagem separadas por sentido (2x2 e 2x3 vias).

2.3.11. GEOMETRIA DA VIA

2.3.11.1. Preâmbulo

As características geométricas de uma via são também muito condicionantes no fenómeno da hidroplanagem. As características que importam reter para o estudo desta ocorrência prendem-se com a largura de uma plataforma, na inclinação da rasante e do perfil transversal ao longo da sua quilometragem.

Os casos de hidroplanagem têm maior probabilidade de ocorrência em zonas onde a inclinação da plataforma é próxima de 0%, seja em perfil longitudinal, seja em perfil transversal porque segundo as fórmulas da hidráulica geral, em escoamento com superfície livre, para inclinações com baixa ordem de grandeza, quanto menor for a inclinação maior será a altura de água para um mesmo caudal escoado.

Uma plataforma de drenagem larga é mais problemática visto que normalmente o caminho que uma linha de corrente terá de percorrer para escoar para o exterior da faixa de rodagem deverá ser maior. Para além disto, a quantidade de água que se acumula ao longo de uma linha de corrente é maior quanto maior é o seu comprimento. Este caso não é tão problemático se existir algum método que intersete linhas de corrente e facilite a drenagem superficial. Estes métodos incluem a colocação de drenos longitudinais ou a colocação de *grooving* (ranhuras transversais) ao longo da superfície do pavimento (Anderson *et al* (1998)).

Tendo em atenção os desenhos geométricos em que a inclinação é próxima de 0% em perfil longitudinal ou perfil transversal, deve-se estudar o caso em que existe uma concordância vertical ou o caso em que existe um disfarce de sobre-elevação.

No primeiro caso, se existir uma concordância vertical, côncava ou convexa, que faz ligação entre dois traneis com inclinação de sinal contrário, existirá um ponto em que a inclinação longitudinal da rasante é igual a 0%. Quando isto acontece, esse ponto será o ponto mais alto de uma concordância convexa ou o ponto mais baixo de uma concordância côncava.

No segundo caso sempre que exista uma curva circular cujo raio seja menor que 2500 metros para estradas de duas vias, ou seja menor que 5000 metros para estradas de faixas separadas, é preciso executar um disfarce de sobre-elevação para a via ou a faixa exteriores em que haja variação de inclinação transversal entre valores de sinais opostos (JAE (1994)). Esta situação obriga que haja uma quilometragem onde uma secção tenha uma inclinação transversal de 0%.

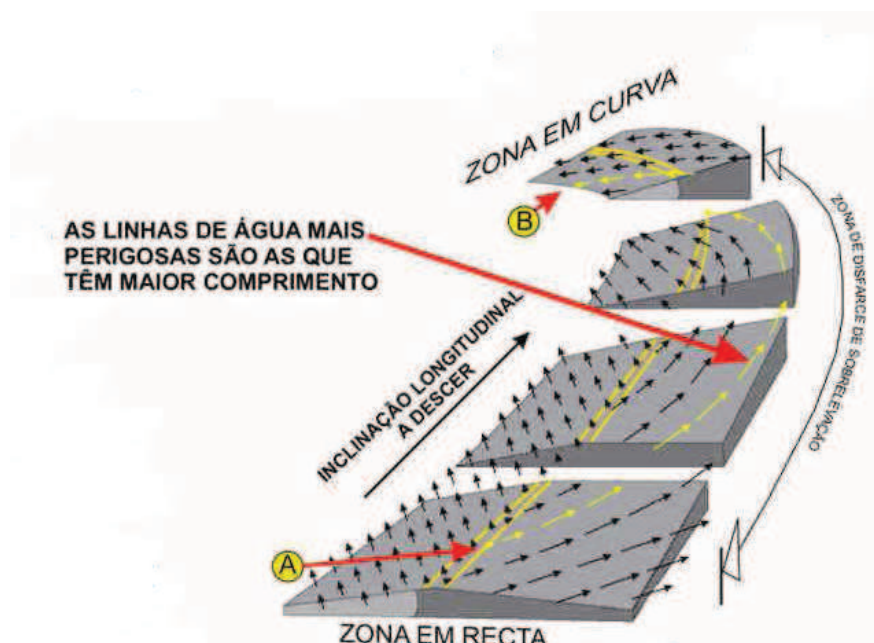


Fig. 2.25- Exemplo de um trecho com disfarce de sobre-elevação e linhas de corrente existentes (Adaptado de Salpico (2009))

Na figura anterior (Fig. 2.25) é visível um exemplo de um trecho de uma estrada de 2 vias onde exista a transição de um trecho em reta para um trecho em curva circular. Para este caso aplicado o disfarce de sobre-elevação para inverter o sinal da inclinação da via mais exterior para diminuir a aceleração centrífuga existente em curva e assim aumentar a segurança de circulação. É visível por este exemplo que em casos em que haja este dispositivo geométrico, a linha de corrente maior é considerada a linha crítica para o fenómeno em estudo. Esta linha de corrente crítica tem a característica de inverter o sentido do escoamento no ponto onde a via em perfil transversal é igual a 0%.

2.3.11.2. Concordância vertical

A concordância vertical é um elemento geométrico cuja função é unir dois traineis com valor de inclinação diferente. Normalmente este elemento pode ser executada com forma circular ou parabólica para que a variação não seja realizada em quebra e ser feito de uma forma mais suave possível. Devido à maior facilidade de cálculo, a forma parabólica é sem dúvida a mais utilizada. Esta curva é caracterizada simplesmente pelo raio da curva e pelo desenvolvimento.

Quanto maior for o raio de uma curva vertical, mais lenta será a variação da inclinação, ou seja di/dt será menor. A Norma do Traçado de 1994 estabelece valores mínimos para este elemento, seja côncavo ou convexo. Estes valores serão apresentados num capítulo referente ao método de cálculo. O desenvolvimento de uma curva vertical pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$D = R \times (i_1 - i_2) \quad (2.23)$$

Sendo:

D [m] – desenvolvimento da concordância;

R [m] – raio da concordância;

i_1, i_2 [°] – inclinação dos traínéis entre os quais está inserida a curva vertical.

A seguinte equação é utilizada para representar uma curva vertical, considerando o sistema de eixos com origem no ponto de tangência traínel/concordância.

$$y = ix - \frac{x^2}{2R} \quad (2.24)$$

Este elemento é alvo de estudo visto que a forma como é feita a variação de inclinação longitudinal pode contribuir em alguns casos negativamente para a ocorrência do fenómeno dinâmico em estudo. Isto é totalmente agravado se ao longo deste troço existir inclinações transversais também próximas de 0. Esta ocorrência só acontecerá se existir um disfarce de sobre-elevação no mesmo troço, visto que a Norma do Traçado indica que a inclinação transversal mínima para um troço em reta será de 2,5% para pavimentos flexíveis. Esta inclinação facilita como se verá mais tarde a drenagem em pontos baixos ou pontos altos de uma curva vertical.

2.3.11.3. Disfarce de sobre-elevação

Este dispositivo geométrico é muito importante para aumentar a segurança da circulação em curva. O disfarce de sobre-elevação pode ser realizado de vários modelos, ou seja, diferentes leis de variação podem ser utilizadas para fazer a variação entre duas inclinações transversais distintas. Entre os métodos de disfarce de sobre-elevação fazem parte dois modelos essenciais:

- Modelo de disfarce linear;
- Modelo de disfarce parabólico de 3º grau.

Modelo linear

Este método caracteriza-se essencialmente pela variação a um ritmo constante da inclinação transversal da via de extradorso ou intradorso. Esta variação constante pode ser simplesmente caracterizada por uma inclinação δ . Esta inclinação representa a diferença entre a inclinação do bordo interior de uma faixa de rodagem ou o eixo da via em estradas de 2 vias e a inclinação do bordo exterior da faixa de rodagem.

O seguinte caso, ilustra em faixa de extradorso de estradas de faixas separadas a diferença entre as inclinações dos bordos no método linear.

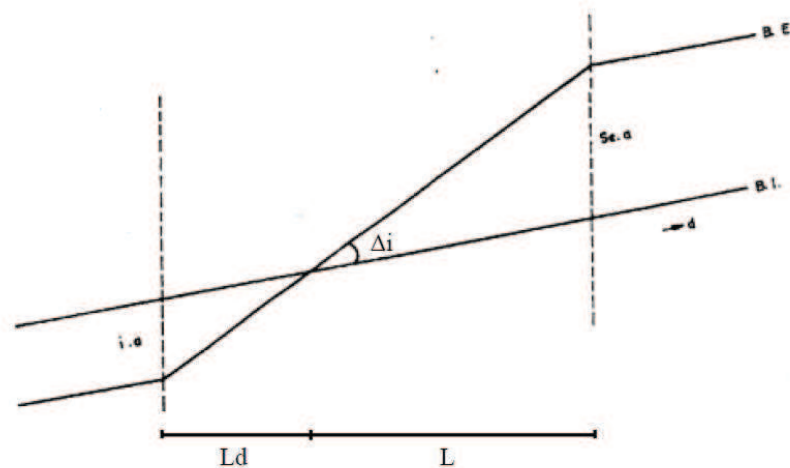


Fig. 2.26 - Disfarce de sobre-elevação através do modelo linear em faixa de extradorso de estradas de faixas separadas (França (2008), extraído de Francisco (2009))

Em estradas de vias múltiplas na faixa de extradorso, normalmente em método linear o disfarce de sobre-elevação é aplicado através de uma geometria que permita que a inclinação transversal de 0% se localize no ponto de osculação reta/ curva de transição. Isto significa que em reta a inclinação transversal varia de $-i$ a 0 % ao longo de um troço com extensão L_d e na curva de transição mesma inclinação varia de 0 a Se , sendo Se a sobre-elevação em curva circular. O comprimento desta curva depende do método imposto na Norma do Traçado relativo ao cálculo do parâmetro mínimo de uma curva de transição, apresentado em capítulo posterior.

Na figura seguinte apresenta-se a configuração geométrica deste método em faixa de intradorso:

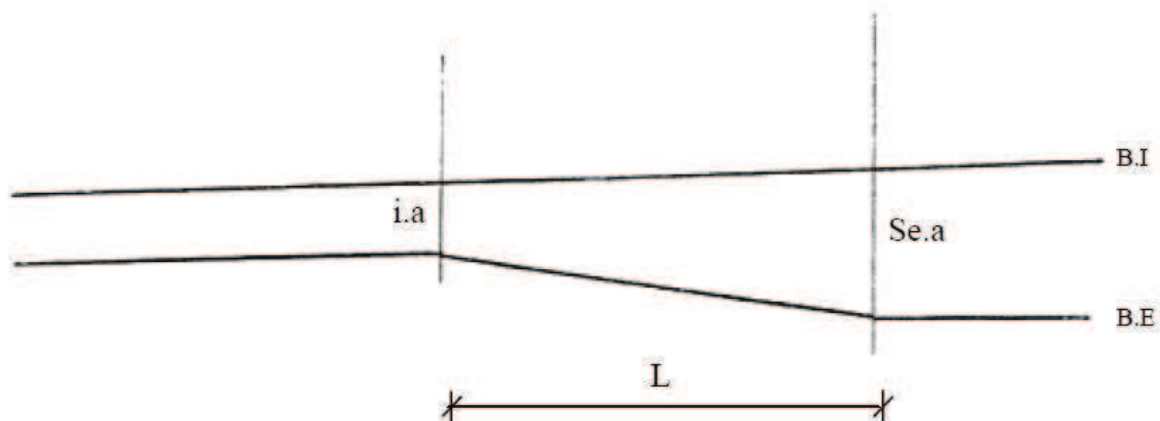


Fig. 2.27 - Disfarce de sobre-elevação através do modelo linear em faixa de intradorso de estradas de faixas separadas (França (2008), extraído de Francisco (2009))

Na faixa de intradorso o disfarce é realizado apenas ao longo da curva de transição sendo que a inclinação transversal varia de i a Se sem que haja inversão do sinal da inclinação. Por este facto, o

disfarce de sobre-elevação em faixa de intradorso não é problemático para o fenómeno de hidroplanagem.

Modelo parabólico de 3º grau

Este modelo de disfarce é muito aplicado em troços onde o modelo linear não é uma boa solução em termos de drenagem superficial.

Este modelo tem grande aplicação em casos em que o traçado da estrada reúna algumas das seguintes características (França (2011b)):

- Pequenas inclinações longitudinais;
- Grandes larguras das faixas de rodagem;
- Maiores velocidades de circulação;
- Maiores extensões dos disfarces de sobrelevação.

Este modelo, aplicado como medida contra a hidroplanagem pode seguir dois tipos diferentes.

Tipo 1

O modelo parabólico tipo 1 apresenta a seguinte configuração:

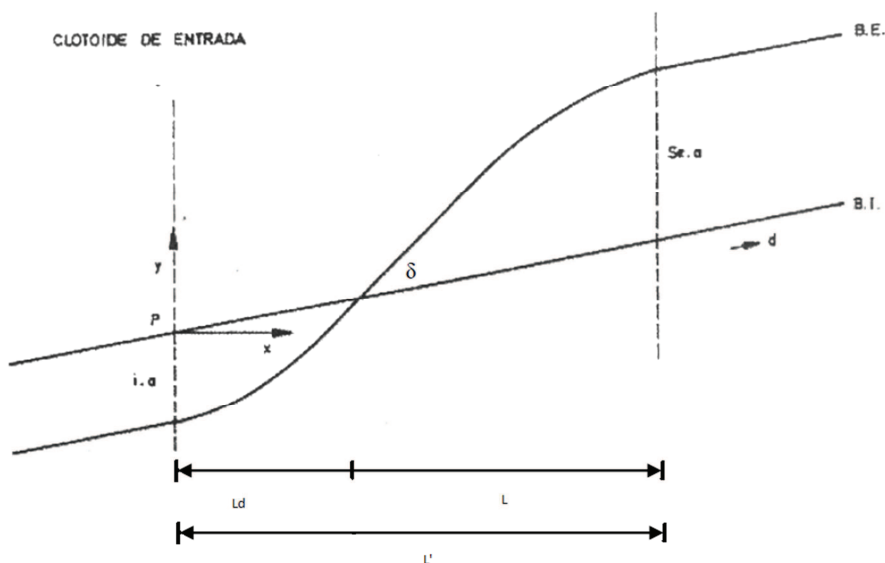


Fig. 2.28 - Modelo parabólico tipo 1 (Adaptado de Francisco (2009))

Este modelo é caracterizado pela seguinte fórmula (França (2011b)):

$$S_x = \left(3 - \frac{2x}{L'}\right) \times \left(\frac{x}{L'}\right)^2 \times (Se + i) - i \quad (2.25)$$

Esta configuração assume a seguinte equação geral (França, 2011b):

$$S_x = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad (2.27)$$

Sendo A, B, C e D parâmetros de cálculo obtidos a partir de consideração de algumas condições para o seu cálculo. Entre estas condições fazem parte (França (2011b)):

A sobre-elevação no ponto de osculação da reta com a clotóide é igual a 0%;

A sobre-elevação no ponto de osculação da clotóide com a curva circular deve ser igual a Se;

A inclinação longitudinal do bordo exterior no ponto de osculação da curva de transição com a curva circular deve ser igual à inclinação do bordo interior;

A inclinação longitudinal do bordo exterior no ponto de osculação da reta com a clotóide deve ser igual à inclinação do bordo interior mais δ/a .

Assim, aplicando estas condições à equação geral, é obtida a seguinte fórmula (França (2011b)):

$$S_x = \frac{-2 \times Se + \delta/a \times L}{L^3} \times x^3 + \frac{3 \times Se - 2 \times \delta/a \times L}{L^2} \times x^2 + \delta/a \times x \quad (2.28)$$

Em alinhamento reto o disfarce de sobre-elevação apresenta a seguinte forma:

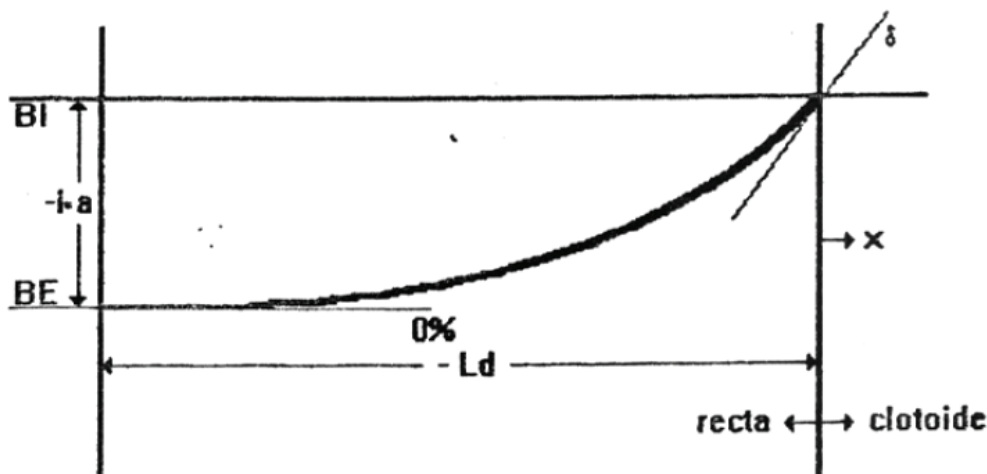


Fig. 2.30 - Modelo parabólico de 3º grau tipo 2 em alinhamento reto (Extraído de Francisco (2009))

A equação geral do disfarce de sobre-elevação em alinhamento reto é apresentado a seguir:

$$i_x = Gx^3 + Hx^2 + Ix + J \quad (2.29)$$

Tal como o caso anterior, G,H,I e J são parâmetros de cálculo determinados tendo em consideração as seguintes condições (França (2011b)):

A sobre-elevação no ponto de osculação da reta com a clotóide (x=0) é igual a 0%;

A sobre-elevação no ponto de início da zona de disfarce de sobre-elevação (x= Ld) deve ser igual a -i;

A inclinação longitudinal do bordo exterior no ponto de início
o do disfarce de sobre-elevação deve ser igual à inclinação do bordo interior;

A inclinação longitudinal do bordo exterior no ponto de osculação da reta com a clotóide deve ser igual à inclinação do bordo interior mais δ/a .

Assim, tendo em atenção as condições anteriores, a equação geral toma a seguinte forma:

$$i_x = \frac{2 \times i - \delta/a \times Ld}{Ld^3} \times x^3 + \frac{-3 \times i + 2 \times \delta/a \times Ld}{Ld^2} \times x^2 - \delta/a \times x \quad (2.30)$$

Para este caso, Ld deve tomar os seguintes valores mínimos tabelados em função da velocidade base:

Quadro 2.6 -Valores mínimos para o comprimento de Ld (França (2011b))

Vb (km/h)	Ld (m)
80	40
100	45/50
120	55
130	60
140	65

Após a tentativa de aplicação deste modelo por parte do autor em curvas de transição longas e sobre-elevação baixa que cumprem o critério ótico do dimensionamento de clotóides, verificou-se que o modelo apresenta um comportamento não recomendado como indica o seguinte quadro (Quadro 2.7):

Quadro 2.7 – Valores da sobre-elevação ao longo de uma curva de transição longa (modelo parabólico de 3º grau)

x (m)	Se (%)
0	0
100	6,17
200	7,95
300	6,92
400	4,69
500	2,81
600	2,50

Como é visível através do quadro, o modelo de disfarce parabólico de 3º grau cumpre as condições fronteira de sobre-elevações, nomeadamente sobre-elevação igual a 0% no ponto de osculação da curva de transição com a reta e 2,5% no ponto de osculação da curva de transição com a curva circular. No entanto, ao longo da curva de transição o modelo aplica inclinações transversais significativamente superiores à sobre-elevação desejada de 2,5%. Isto deve-se às características da expressão do modelo parabólico que aplicado em curvas longas, como é o caso, possui um ponto de inflexão da inclinação secundária em relação ao eixo da rasante ao longo da curva de transição.

Para evitar esta ocorrência a curva de transição de ser inferior ao seguinte comprimento, não obedecendo para alguns casos aos critérios óticos e estéticos do dimensionamento das clotóides:

$$L < \frac{3 \times S_e \times a}{\delta} \quad (2.31)$$

Em faixas de intradorso de estradas de vias múltiplas, o modelo de disfarce aplicado pode continuar a ser o modelo linear visto que a probabilidade de ocorrência de fenómenos de hidroplanagem é baixa e este modelo é suficiente para a resolução deste problema.

2.3.12. VELOCIDADE

A velocidade de circulação é uma variável com muita importância no fenómeno em estudo visto que a facilidade que um pneumático possui de expulsar uma lâmina de água da zona de contacto entre pneu e pavimento depende do tempo disponível para a água poder escoar antes de ser exercido o contacto. Este intervalo de tempo depende da velocidade de circulação do veículo.

Em estudos iniciais Horne e Dreher (1963) desenvolveram fórmulas a partir de ensaios experimentais que determinavam o valor da velocidade de hidroplanagem dinâmica do veículo em função das características dos pneumáticos. Estas fórmulas, apresentadas no capítulo relativo à influência de um pneumático no fenómeno de hidroplanagem tem bons resultados quando estamos perante uma lâmina de água com espessura superior à profundidade dos rastos dos pneus.

Segundo Huebner *et al* (1986), Agrawall *et al* e Gallaway *et al* determinaram duas fórmulas distintas

para o cálculo da velocidade de hidroplanagem, onde são considerados vários intervenientes, como a geometria da via, a espessura da lâmina de água e textura, exceto as características do pneu. Estas duas equações completam-se uma à outra visto que uma é aplicável para espessuras de lâmina de água inferiores a 2,413 mm e a outra para espessuras que ultrapassam esta medida (França (1988)).

Equação de Agrawall:

$$V = 96,899 \times h^{-0,259} \quad (2.32)$$

Sendo:

Vh [km/h] – velocidade crítica de hidroplanagem;

h [mm] – espessura da lâmina de água.

Esta equação tem um campo de aplicação limitado para espessuras de lâmina de água inferiores a 2,413 mm.

Equação de Gallaway:

$$V = 4,580 \times (1.181 \times \varepsilon_1 + 1)^{0,06} \times A \quad (2.33)$$

Onde A é o maior valor de:

$$A = \frac{12,639}{h^{0,06}} + 3,507 \quad (2.34)$$

$$A = \left[\frac{22,35}{h^{0,06}} - 4,970 \right] \times H/S^{0,14} \quad (2.35)$$

Sendo:

Vh [km/h] – velocidade crítica de hidroplanagem;

h [mm] – espessura da lâmina de água;

ε_1 [mm] – altura das asperezas do pavimento;

H/S [mm] – altura de areia do ensaio da mancha de areia.

Esta equação é aplicáveis os valores de espessuras de lâminas de água superiores a 2,413 mm.

A seguinte imagem pretende demonstrar, para uma determinada altura de areia do ensaio da mancha de areia, para uma determinada geometria e textura, a velocidade de hidroplanagem crítica em função da espessura do filme de água e a aplicação das duas equações:

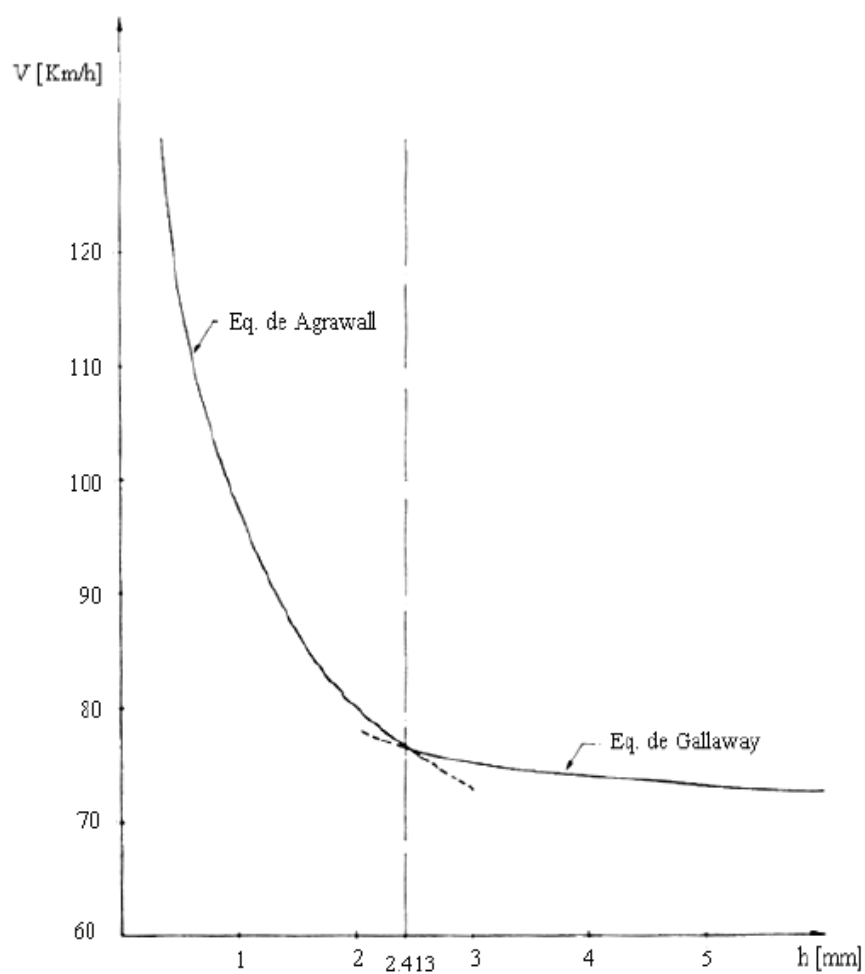


Fig. 2.31 - Velocidade crítica de hidroplanagem segundo Gallaway *et al* e Agrawal *et al* (Extraído de França (1988)).

3

MÉTODO DE ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM TROÇO EM RELAÇÃO À HIDROPLANAGEM

3.1. MÉTODO DE CÁLCULO DA LINHA DE FLUXO CRÍTICA

Para o estudo do risco de hidroplanagem foi considerado que cada linha de fluxo corporiza o caudal escoado em cada superfície de largura 1 m de largura e cujas fronteiras se situam a 0,5 m para cada lado da linha de fluxo. Assim com esta simplificação foi pesquisado para cada caso de estudo a linha de água mais crítica.

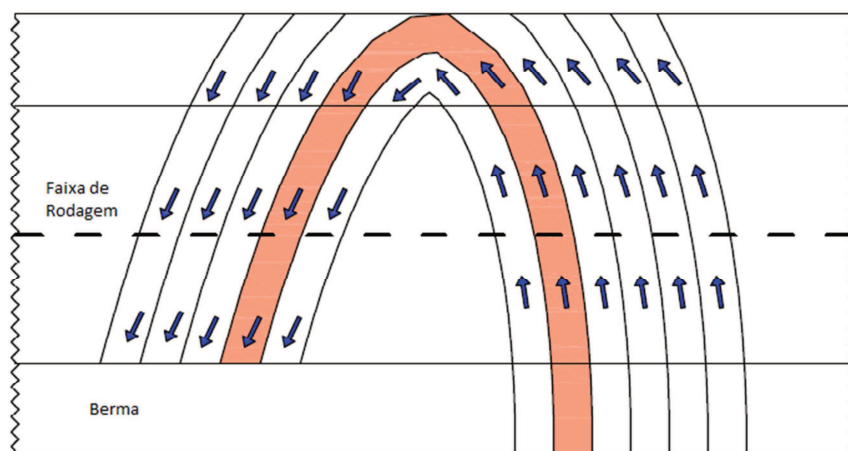


Fig. 3.1 - Ilustração das linhas de fluxo consideradas em cálculo

Acima é apresentada uma figura, reproduzida através do *software* Autocad, onde se demonstra este critério utilizado. As setas azuis indicam o sentido de escoamento das linhas de corrente para o caso apresentado. A uma cor distinta é destacada a linha de fluxo mais crítica uma vez que é a linha que percorre a maior distância até sair da plataforma de circulação.

Ao longo deste trabalho foi utilizado o *software* Excel para realizar o cálculo e determinar a linha de água mais crítica. Este método de cálculo teve por base o que foi aplicado pelo professor Adalberto França na sua tese de doutoramento em 1988.

Para conseguir a linha de água mais crítica determinou-se aplicando de forma iterativa uma tabela de cálculo uma linha que percorresse apenas a faixa de rodagem, ou seja uma linha que não cruzasse os bordos da faixa de rodagem. A linha de água mais crítica é influenciada pelo seu comprimento (l) e a inclinação dominante (p). Assim, por vezes procurou-se identificar a linha de água mais comprida, porque é a linha que recebe maior quantidade de água das chuvas. Por outro lado considerou-se ainda a linha com inclinação mais baixa, porque, conforme a hidráulica geral nos ensina, para o mesmo caudal e em escoamentos laminares, quanto menor for a inclinação maior será a altura da lâmina de água. Conforme se vê na Fig. 3.1, o percurso na berma pode ou não contar, considerando o seu percurso como acumulador de água mas excetuando-a quando no seu terminus dado que a circulação não se processa pela berma.

A seguir apresenta-se um exemplo de uma tabela de cálculo usada para a determinação do risco de hidroplanagem deste trabalho:

x (m)	z (m)	il	it	i	t (m)	d (m)	d*i
537,6	-1	3,51E-06	0,000632	0,000632	180,0526	1,000015	0,000632
537,5944	0	0,000267	0,000633	0,000687	2,368421	1,085482	0,000746
537,1722	1	0,000578	0,000744	0,000942	1,28852	1,265822	0,001192
536,3961	2	0,000927	0,000948	0,001326	1,022752	1,398572	0,001855
535,4184	3	0,0013	0,001206	0,001773	0,927679	1,364034	0,002418
534,4184	3,927679	0,001656	0,001469	0,002213	0,887155	1,336804	0,002959
533,4184	4,814835	0,002001	0,001732	0,002647	0,865496	1,322529	0,0035
532,4184	5,68033	0,002341	0,001995	0,003076	0,852228	1,313884	0,004041
531,4184	6,532558	0,002678	0,002258	0,003503	0,843374	1,308159	0,004582
530,4184	7,375932	0,003012	0,002521	0,003928	0,837101	0,175459	0,000689
530,2943	7,5						
$\Sigma =$							11,57076 0,022615

Fig. 3.2 – Exemplo de tabela de cálculo utilizada no estudo

Resumidamente apresenta-se o significado de cada coluna:

x [m] - Posição longitudinal da gota de água;

z [m]- Posição transversal da gota de água;

il []- inclinação longitudinal do ponto (X;Z) onde se encontra a gota teórica;

it []- inclinação transversal do ponto (X;Z) onde se encontra a gota teórica;

i [] – inclinação do ponto (X;Z) onde se encontra a gota de água;

t [m]- incremento transversal por metro longitudinal;

d [m]- deslocamento real em cada avanço;

d*i – múltiplo usado para calcular a inclinação crítica.

A partir desta tabela foi possível determinar um valor ω que é calculado a partir da divisão entre o comprimento da linha de água (l) sobre a raiz quadrada da inclinação dominante da linha de água (p) (França (1988)), cuja amplitude melhor traduzirá a linha de fluxo de maior risco.

$$\omega = l/\sqrt{p} \quad (3.1)$$

A primeira coluna indica a posição longitudinal onde se encontra a gota teórica no início do estudo do elemento que está a ser analisado.

A segunda coluna que indica a posição transversal da gota indica na realidade a distância da gota ao eixo da via no caso de uma estrada de 2 vias ou a distância ao bordo interior de uma faixa de rodagem unidirecional.

As duas colunas apresentadas são utilizadas para indicar as coordenadas num referencial XZ para encontrar a posição de uma gota de água ao longo de cada avanço.

A terceira coluna indica a inclinação longitudinal é calculada dependendo das características geométricas de cada caso da respetiva rasante.

Assim no capítulo onde se apresenta cada caso, indicam-se as equações que caracterizam a geometria do traçado. Tal como, a coluna anterior a inclinação transversal depende das características geométricas de cada caso, concretamente as leis de variação da sobre-elevação.

A inclinação da linha no ponto onde se encontra a gota de água é obtida a partir da raiz quadrada do quadrado da inclinação longitudinal mais o quadrado da inclinação transversal. (França (1988) e Salpico (2009))

$$i = \sqrt{i_l^2 + i_t^2} \quad (3.2)$$

Na generalidade, as inclinações ao longo deste trabalho são apresentadas como valor adimensional, podendo ser ocasionalmente apresentado sobre a forma de percentual (%).

O incremento linear transversal é obtido pelo quociente entre a inclinação transversal e a inclinação longitudinal.

$$t = i_t/i_l \quad (3.3)$$

O deslocamento real (metros) é calculado a partir da raiz quadrada da diferença entre as coordenadas X e Z de avanços consecutivos. Para se obter algum rigor no cálculo foi considerado que cada avanço tivesse no máximo 1 metro longitudinal ou 1 metro transversal.

$$d = \sqrt{(x_1-x_2)^2 + (z_1-z_2)^2} \quad (3.4)$$

O somatório dos deslocamentos reais de cada avanço de uma gota de água equivale ao comprimento total da linha de água.

$$\sum d = l \quad (3.5)$$

A partir da última coluna com o cálculo de uma média ponderada obtém-se a inclinação dominante p . O somatório da última coluna sobre o comprimento da linha de água indica a inclinação média da linha de água.

$$p = \frac{\sum(d \times i)}{l} \quad (3.6)$$

A partir deste último valor, e como foi explicado anteriormente, pode-se calcular o valor de ω . Este valor ω indica a gravidade do risco de hidroplanagem e a partir deste considerando características pluviais e características morfológicas do pavimento podemos obter a espessura da lâmina de água.

No caso das concordâncias côncavas onde se encontra um ponto mais baixo no centro da curva vertical, toda a água que caia na zona da concordância escoar em direção ao ponto mais baixo. Esta ocorrência provoca a existência de grandes áreas que drenam para o ponto mais baixo do traçado. Assim não se pode considerar que a lâmina de água com 1 metro de largura é representada apenas por uma linha de água crítica. Para este caso, foi considerada a existência de uma lâmina de água com um comprimento que receba toda a água drenada pela área que realmente existe. Para calcular esta área, são calculadas as linhas de água que limitam a área e com o auxílio do *software* Autocad 2011 são desenhadas a planta da zona do traçado crítica, as linhas limitadoras da área crítica de drenagem. A partir desta representação em desenho, é calculada a área existente entre linhas limite.

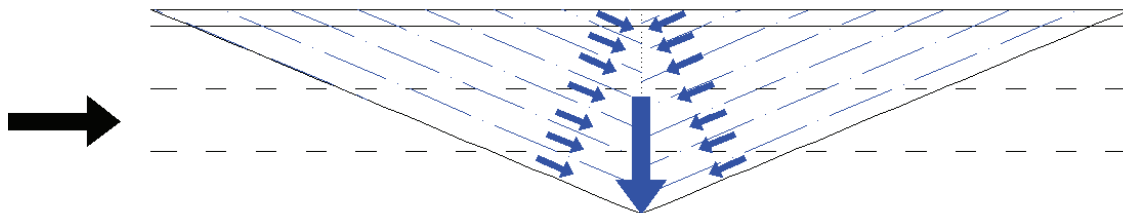


Fig. 3.3 - Exemplo de representação de Autocad para casos onde existe sobreposição de várias linhas de água num ponto

Como é visível no caso anterior, várias linhas de água convergem para uma linha e sucessivamente para um ponto do caso em estudo. Isto significa que existe uma grande área que drena para este ponto. Para determinar o comprimento da linha de água calcula-se a área da zona ou superfície decorada através de tramas azuis.

Com o valor da área e considerando que cada linha de água tem uma largura de 1 metro, o comprimento total da linha de água crítica fictícia (l_f) para este caso é igual ao valor da área.

$$l_f = \frac{A}{1} \Leftrightarrow l_f = A \quad (3.7)$$

O valor da inclinação é determinado pelas características geométricas do traçado. Neste caso existe uma linha para onde drena toda esta água com inclinação muito próxima de 0%.

3.2. APRESENTAÇÃO DOS CASOS ESTUDADOS

Ao longo deste trabalho foi procurado estudar uma série de configurações geométricas de uma via em que seja possível verificar a influência da existência de uma curva vertical para a drenagem da água superficial e, conseqüentemente do risco de ocorrência de hidroplanagem.

Relativamente à representação em planta, os casos abordados poderão ser relacionados com troços em reta, em curva de transição com zona de disfarce em reta e, por último, em curvas de transição consecutivas com viragem para sentidos opostos. Esta última disposição em planta cobrirá a maioria dos casos porque, como se verá adiante, será a situação que provocará maiores riscos nos exemplos estudados.

Em perfil longitudinal, o traçado dos troços estudados possuem na generalidade uma concordância vertical, côncava ou convexa, visto que este elemento geométrico é um dos alvos fundamentais deste trabalho. Em poucas vezes é calculado a linha de corrente crítica em perfis em trainel para comparar com linhas de corrente em curva vertical.

Relativamente ao perfil transversal da estrada, quando é estudado um troço em reta, a inclinação transversal de cada via será constante ao longo do seu desenvolvimento. Na presença de uma curva de transição cujo raio mínimo requiere a implementação de sobre-elevação de sinal ou valor diferente da inclinação transversal em reta para redução da acção da força centrífuga, o disfarce dos casos estudados é realizado através do modelo linear em curva de transição com comprimentos que obedecem aos critérios ópticos e estéticos do dimensionamento das curvas de transição segundo a Norma do Traçado (1994). Pontualmente são abordadas curvas de transição com disfarce realizado através do modelo parabólico.

3.3 REVISÃO NORMATIVA

Ao longo deste trabalho foram estudados diferentes casos de troços de estrada para verificação do risco de ocorrência de hidroplanagem. Os troços em análise satisfazem diferentes critérios propostos nas Normas de Traçado (JAE (1994)). Este documento estabelece valores característicos ou valores limites para o traçado em planta, traçado em perfil longitudinal e perfil transversal. Assim, neste capítulo, será apresentada uma pequena amostra dos elementos das Normas do Traçado (JAE (1994)) que foram aplicados em cada caso de estudo.

3.3.1. TRAÇADO EM PLANTA

Em casos em que foi considerada a existência de curvas de transição, foram implantadas curvas (clotóides) com parâmetros que obedecessem ao estipulado pela Norma do Traçado. A clotoíde é um tipo de curva de transição que varia linearmente a sua curvatura desde um valor nulo até $1/R$ na osculação com a curva circular adjacente. Esta curva de transição é definida pela seguinte forma:

$$A^2 = R \times L \quad (3.8)$$

Sendo

A [m] o parâmetro da clotóide;

R [m] o raio da curva circular e simultaneamente o raio mínimo da clotóide;

L [m] o comprimento da curva desde o ponto de raio infinito até o ao ponto de osculação com a curva circular.

Relativamente a este elemento, a Norma do Traçado determina que o seu parâmetro A deve obedecer a 4 critérios:

- Critério de Conforto e Segurança;
- Critério Ligado ao Disfarce de Sobrelevação;
- Critério Estético;
- Critério da Conforto Óptica.

3.3.1.1. Critério da Conforto e Segurança

O critério da Conforto e Segurança determina que a sobreaceleração normal não deve ultrapassar o valor de $0,5 \text{ m/s}^3$.

$$A \geq 0,1464 \times \sqrt{V_b^3 / ac} \quad (3.9)$$

Onde:

ac [m/s^3] – sobreaceleração normal, no caso igual a $0,5 \text{ m/s}^3$;

Vb [km/h] – velocidade base;

Esta expressão não considera o efeito benéfico causado pela introdução da sobre-elevação. Considerando este efeito a fórmula deste primeiro critério assume o valor mais adequado:

$$A \geq \sqrt{\frac{V_b \cdot R}{46,656 \cdot ac} \left[\frac{V_b^2}{R} - 127 \cdot (Se - i) \right]} \quad (3.10)$$

Onde:

R [m] – raio mínimo da clotóide;

Se [] – sobre-elevação no final da clotóide;

i [] – inclinação transversal no início da clotóide.

3.3.1.2. Critério Ligado ao Disfarce de Sobre-elevação

O desenvolvimento da sobre-elevação ocorre ao longo da extensão da curva de transição, e depende então do comprimento da curva de transição, da largura da faixa de rodagem em relação ao eixo de

rotação e da inclinação do bordo exterior da faixa de rodagem. A norma estabelece valores mínimos e máximos para a inclinação do bordo exterior. Assim o valor do parâmetro A a partir deste critério deve variar entre dois valores. A fórmula que resulta destas considerações é:

$$\sqrt{\frac{R.a.(Se-i)}{2 \times \Delta i_{max}}} \leq A \leq \sqrt{\frac{R.a.(Se-i)}{2 \times \Delta i_{min}}} \quad (3.11)$$

Em que:

R [m] - raio mínimo da clotóide;

a [m] - largura da faixa de rodagem;

Se [] - sobre-elevação da curva circular;

i [] – inclinação transversal no início da clotóide;

Δi_{max} ou Δi_{min} são valores adoptados como limite para a inclinação do bordo exterior em relação À do eixo.

3.3.1.3. Critério Estético

Uma curva de transição pouco extensa é considerada esteticamente pouco agradável. As Normas do Traçado consideram que a extensão de uma curva de transição deve ser suficientemente extensa de forma a ser percorrida, no mínimo, em 2 segundos.

Assim dependendo do raio da curva circular e da velocidade base, o parâmetro deve ser:

$$A \geq \sqrt{\frac{R.V_b}{1.8}} \quad (3.12)$$

Com:

Vb [km/h] – velocidade base

3.3.1.4. Critério Ótico

Para que haja boa percepção das clotóides, o angulo das tangentes deve ser pelo menos $1/18$ radianos e assim o seu parâmetro deve variar entre R e R/3. Para este caso então:

$$A \geq \frac{1}{3} R \quad (3.13)$$

O parâmetro final de uma clotóide deve ser o mais elevado dos 4 critérios para satisfazer a maioria dos critérios. O critério relacionado com o disfarce de sobre-elevação é normalmente desprezado por incompatibilidade de valores. Para grandes raios de curvas circulares o critério dominante é o critério

ótico, uma vez que obtêm os parâmetros maiores. Para os diferentes casos de estudo neste trabalho, uma vez que serão usadas curvas com grandes raios e pequenas sobrelevações, o comprimento das curvas de transição serão de $R/9$ metros de comprimento mínimo correspondente a $A = 1/3R$.

3.3.2. TRAÇADO EM PERFIL LONGITUDINAL

A definição da rasante de uma estrada depende da topografia do terreno, da directriz, da distância de visibilidade, dos custos de construção e da drenagem de águas pluviais. Para terrenos acidentados, uma rasante deve tentar adaptar-se às características do terreno para diminuir custos de construção e ter uma boa integração no meio ambiente. Para terrenos planos a rasante deve garantir que ocorra uma boa drenagem da água superficial. Assim a norma indica que a inclinação mínima de um trainel é de 0,5%.

O mesmo documento estabelece limites superiores de inclinação de traineis tendo em atenção a redução de velocidades dos veículos pesados e custos de exploração destes troços. Grandes inclinações de traineis exigem também grandes distâncias de travagem em descidas.

3.3.2.1. Inclinação máxima dos traineis

A inclinação máxima dos traineis é estabelecida, principalmente, para não exagerar os custos de exploração das vias e não provocar grandes perdas de velocidade principalmente para os veículos pesados, que em casos críticos como traineis de grande comprimento ou traineis com inclinação alta, provocariam grandes perdas de velocidade que podem acrescentar atraso ao restante tráfego.

Quadro 3.1 – Inclinação máxima dos traineis (JAE (1994))

Velocidade-base (Km/h)	Inclinação máxima desejável (%)
40	8
60	7
80	6
100	5
120	4
140	3

Para traineis de curta extensão (300m ou 600m) a Norma do Traçado autoriza acréscimos de 2% e 1% aos valores tabelados.

3.3.2.2. Concordâncias Verticais

São estabelecidos valores limite de raio de concordâncias verticais para que sejam garantidas um mínimo de visibilidade e de comodidade. Estas curvas podem ser circulares ou parabólicas. Nos casos

em estudo foram usadas apenas curvas parabólicas. Estas curvas devem adaptar-se ao máximo ao perfil do terreno para diminuir custos de construção.

Concordâncias convexas

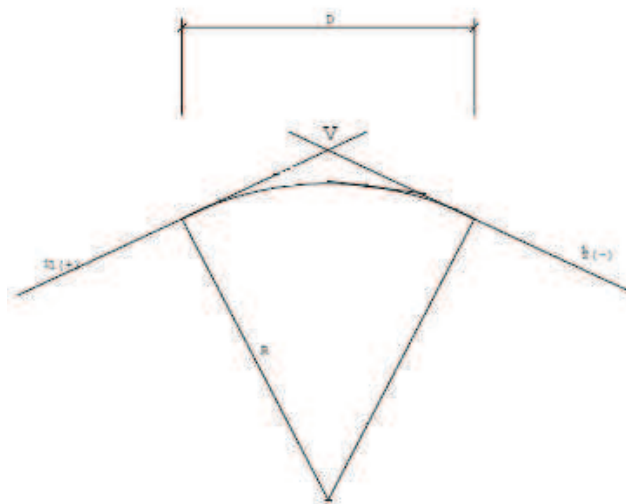


Fig. 3.4 - Desenho de uma concordância convexa (Adaptado de França (2011a))

Uma concordância convexa pode ter uma extensão superior ou inferior à distância de visibilidade de paragem. No caso em que a extensão do elemento for superior à distância de paragem, não há interesse prático relativo aos níveis de segurança existentes. A norma estabelece valores mínimos para os raios e para o desenvolvimento destas curvas para, neste último caso, assegurar um mínimo de conforto ótico aos condutores.

Quadro 3.2- Raios e desenvolvimentos mínimos das Concordâncias Convexas (JAE (1994))

Velocidade de Tráfego (km/h)	Raio mínimo (m)		Desenvolvimento mínimo (m)	
	Absoluto	Normal	Absoluto	Normal
40	1500	1600	40	60
50	1500	2100	50	60
60	2000	3000	60	120
70	3000	4200	70	120
80	5000	6000	80	120
90	7500	8500	90	120
100	9000	12500	100	120
110	12000	13000	110	120
120	14000	16000	120	120
140	20000	20000	140	140

Usar-se-á a velocidade de tráfego em IP's e IC's e a velocidade base nas restantes rodovias.

Concordâncias côncavas:

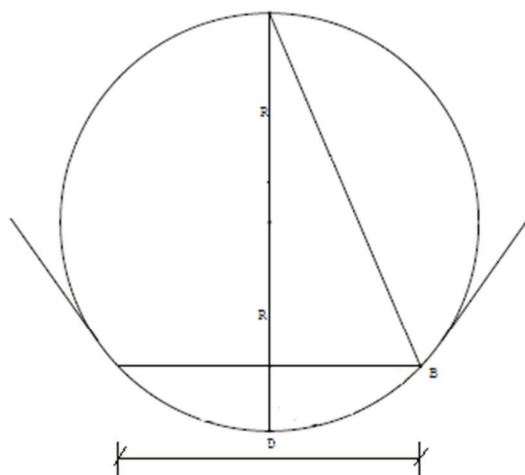


Fig.3.5-Desenho de uma concordância côncava (Adaptado de França (2011a))

O desenvolvimento e o raio mínimos das concordâncias côncavas são determinados para garantir a visibilidade noturna com os faróis e garantir uma comodidade tal para que a aceleração vertical existente ao longo de uma curva não ultrapasse os $0,25\text{m/s}^2$. A tabela seguinte mostra os valores admitidos:

Quadro 3.3 – Raios e Desenvolvimentos Mínimos das Concordâncias Côncavas (JAE (1994))

Velocidade do Tráfego (km/h)	Raio Mínimo Normal (m)	Desenvolvimento Mínimo (m)
40	800	60
50	1200	60
60	1600	120
70	2500	120
80	3500	120
90	4500	120
100	5500	120
110	6000	120
120	7000	120
140	8000	140

3.3.3. PERFIL TRANSVERSAL

3.3.3.1. Faixa de Rodagem

Largura das vias

Em estradas de 2 vias deve adotar-se na generalidade uma largura de via de 3,5 metros. Em Itinerários Principais (IP) e Itinerários Complementares (IC), para assegurar um afastamento adequado entre veículos pesados em estradas de 2 vias, deve assegurar-se um mínimo de 3,75 metros.

Em estradas de 2x2 vias, a largura das vias deve ser no mínimo 3,50 metros para uma VB inferior a 100 km/h e 3,75 metros para uma Vb maior que 100 km/h

Sobrelargura nas curvas

Ao longo de uma curva um veículo pesado devido às suas dimensões (comprimento e largura) varre uma maior largura de via, precisando em curvas de raio pequeno de uma largura superior à largura da via. Assim a norma recomenda que em curvas de raio inferior a 200 metros que a sobrelargura deve ser calculada pela seguinte expressão:

$$SL = 80/R \quad (3.14)$$

Sendo:

SL (m) – sobrelargura aplicada à curva;

R (m) – raio da curva circular.

A sobrelargura normalmente é introduzida no intradorso da curva, considerando o eixo de construção.

3.3.3.2. Inclinação transversal

Nos troços em reta, a inclinação transversal adotada depende do tipo de pavimento. Para pavimentos constituídos por misturas betuminosas a inclinação deverá ser 2,5%. Caso o pavimento seja de betão de cimento, essa inclinação baixa para 2%. Esta inclinação será sempre direcionada para o exterior da faixa de rodagem. Em estradas de 2x3 vias pode-se inclinar as vias interiores para o separador central.

Sobre-elevação

A sobre-elevação é importante para garantir segurança e comodidade da circulação em curva. O valor da sobre-elevação a escolher segundo a norma é independente da velocidade base uma vez que muitos condutores circulam a velocidades superiores. Este valor é dependente da velocidade específica de cada curva. Seguidamente apresenta-se um quadro retirado das normas representativo da sobre-elevação em função do raio da curva e do tipo e estrada.

Quadro 3.4 – Sobre-elevação (JAE (1994))

Estradas de 2 vias		Estradas com 2x2 vias	
Raio (m)	Sobre-elevação (%)	Raio (m)	Sobre-elevação (%)
≤ 450	7	≤ 900	7
525	6,5	1100	6,5
600	6,0	1300	6,0
700	5,5	1500	5,5
850	5	1750	5
1000	4,5	2000	4,5
1200	4,0	2250	4,0
1400	3,5	2600	3,5
1600	3,0	3000	3,0
$1900 \leq R \leq 2500$	2,5	$3500 \leq R \leq 5000$	2,5
≥ 2500	-	≥ 5000	-

Transição de sobre-elevação

A norma sugere que a transição da sobre-elevação seja efetuada ao longo da curva de transição.

O mesmo documento indica que o eixo de rotação ao longo do disfarce de sobre-elevação deverá ser preferencialmente o eixo da via em estradas de 2 vias e o bordo interior das faixas de rodagem unidirecionais.

São indicados também valores limites mínimos e máximos para inclinação do bordo exterior, ou seja valores que limitam a variação desta sobre-elevação.

Normalmente o valor mínimo será de: $i_{\min} (\%) = 0,1x$ a

a (distância do eixo de rotação ao bordo exterior da faixa de rodagem).

Este valor mínimo tem como objetivo garantir uma boa drenagem lateral.

Os valores máximos indicados para evitar grandes empenamentos da faixa dependem da velocidade base da via em projeto.

Quadro 3.5 – Valores Máximos para a transição da sobre-elevação (JAE (1994)).

Velocidade de Base	< 40	Entre 40 e 80	>80
(km/h)			
i máx (%)	1,5	1,0	0,8

No dimensionamento de curvas de transição, nomeadamente na escolha do parâmetro A da curva de transição, estes valores limite entram nos cálculos deste parâmetro.

No caso de se projetar em largas faixas de rodagem, o valor mínimo do disfarce de sobre-elevação ultrapassa o limite superior e neste caso é considerado apenas o valor máximo da norma.

Em curvas de transição para curvas circulares de grande raio, quando é considerado o disfarce linear estes limites acabam por ser ignorados na escolha do parâmetro da curva de transição uma vez que o Critério da Comodidade ótica estabelece valores altos para o parâmetro A. Para curvas com parâmetros altos, o seu comprimento será grande e no caso de se efetuar o disfarce linear ao longo da totalidade da curva de transição, obtemos valores baixíssimos para a variação do bordo exterior. Esta ocorrência provoca problemas graves de drenagem lateral, como se verificará nos estudos de casos efetuados neste trabalho. Para solução deste problema será estudado o disfarce parabólico da sobre-elevação.

3.3.3.3. Bermas

As bermas necessárias para o refúgio por avaria ou circulação de veículos de emergência aumentam a área pavimentada adjacente à faixa de rodagem. Este elemento que normalmente é pavimentado contribui para o aumento de água a ser drenada sobre a plataforma de circulação. A inclinação transversal das bermas é a mesma da faixa de rodagem adjacente. A largura de uma berma depende do tipo de estrada e do local da berma. Apresenta-se seguidamente um Quadro das normas do traçado que recomenda as larguras de bermas pavimentadas.

Quadro 3.6 – Largura de Bermas (JAE (1994))

Tipo de Estrada	Largura das Bermas Pavimentadas	
	Esquerda (m)	Direita (m)
Autoestradas	1,0	3,0
Estradas com 2 vias		
IP'S	2,5	2,5
IC'S	2,5	2,5
Outras Estradas	2,5	1,5

3.4. CASOS DE ESTUDO

3.4.1. INTRODUÇÃO

Ao longo do trabalho foi procurado verificar o risco de hidroplanagem em diversos casos de estudo. Tendo em atenção este aspeto, é considerado pelo autor, e através de uma rápida análise da Figura 2.31, onde se correlaciona a velocidade de hidroplanagem e a altura da lâmina de água, é possível desprezar o cálculo para troços onde a velocidade de tráfego seja igual ou inferior a 70 km/h porque o risco de hidroplanagem dinâmica a estas velocidades é muito reduzido. Assim, o autor considera o estudo para 3 velocidades de tráfego distintas, 80, 100 e 120 km/h.

Assim, a partir da análise da revisão normativa, é considerada as seguintes características comuns para os distintos casos de estudo.

Quadro 3.7 – Raios de Concordâncias e largura das vias e bermas (JAE (1994))

VT (km/h)	Raio das curvas verticais (m)		Largura das vias (m)	Largura das bermas (m)	
	Côncavas	Convexas		Berma interior	Berma exterior
80	3500	5000	3,5	1,0	2,5
100	5500	9000	3,5	1,0	2,5
120	7000	14000	3,75	1,0	3,0

3.4.2. CASO A

O caso A é o caso mais simples em estudo porque é composto por uma curva vertical que se desenvolve ao longo de uma reta. Este caso apresenta uma configuração geométrica semelhante à seguinte figura:

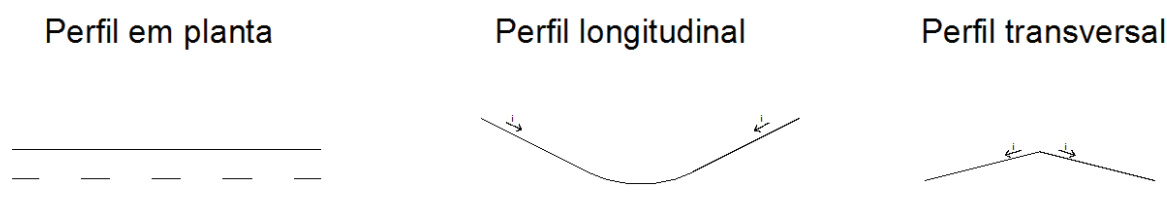


Fig. 3.6 - Representação dos perfis do caso A

Para este caso será estudado o risco de hidroplanagem em estradas de 2 vias e estradas de faixas separadas com 2 ou 3 vias. As diferentes faixas de rodagem são analisadas em curva vertical côncava ou convexa.

Para este caso, o cálculo das inclinações longitudinais e transversais são simplesmente obtidos. A inclinação longitudinal de um ponto é obtida a partir da derivada da equação geral das concordâncias (equação (2.24)) visto que não existe variação da inclinação transversal. Assim a equação utilizada para este cálculo apresenta a seguinte forma:

$$i_l = i - \frac{x}{R} \quad (3.15)$$

Sendo:

i [] - inclinação do trainel precedente à concordância;

x [m] - distância do ponto ao início da concordância;

R [m] – raio da curva vertical.

A inclinação transversal é constante e equivale à inclinação transversal mínima para pavimentos em misturas betuminosas, $i=2,5\%$.

Em concordância côncava, ilustrada no exemplo apresentado (Fig. 3.6), existe uma pequena concentração de água no ponto mais baixo do perfil longitudinal. Para uma melhor avaliação da água que drena para este ponto foram determinadas as linhas de corrente que determinam os limites da água que drena para o ponto mais e é determinada o comprimento fictício linha de corrente através da metodologia apresentada no ponto 3.1. em que se utiliza o *software* Autocad.

3.4.3. CASO B

O caso B é relativo à inserção de uma curva de transição ao longo de uma curva vertical. Este caso apenas foi estudado em concordâncias convexas. O modelo de disfarce utilizado neste caso é o método linear sendo que o comprimento de disfarce em reta (L_d) considerado é de 25 metros e a variação de inclinação transversal é de 2,5% a 0%. O comprimento da curva de transição, onde se efetua o restante disfarce, de 0% até Se (sobre-elevação em curva circular), é determinado na generalidade pelo critério ótico do dimensionamento de clotóides.

Numa plataforma com esta configuração, junto à zona de disfarce onde $i_t=0\%$ que se situa ligeiramente afastada do ponto mais alto da concordância convexa, a linha de corrente pode inverte o sentido de drenagem e percorre duas vezes a largura da faixa de rodagem. Este comportamento exemplifica-se na seguinte imagem:

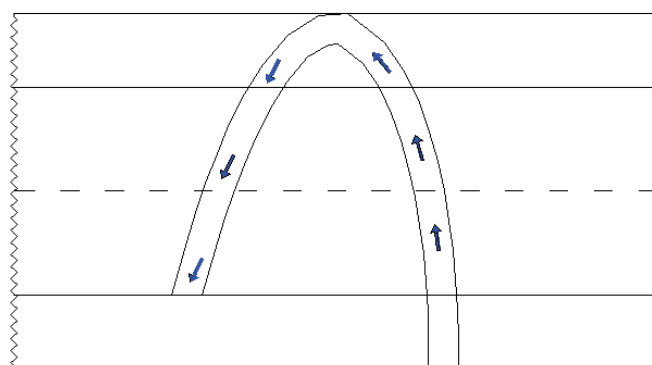


Fig. 3.7 - Representação de uma linha de corrente que ocorre no caso B

Para efetuar o cálculo da inclinação longitudinal ao longo deste troço é preciso ter em atenção dois aspetos que não estão presentes no caso em reta. O primeiro aspeto é relativo ao disfarce de sobre-elevação existente. Este aspeto exige que qualquer ponto da via que não se situe ao longo do eixo de referência da rasante não possua a mesma inclinação da rasante para determinada quilometragem.

Assim, é adicionada uma parcela à equação anterior para determinar a inclinação em qualquer ponto da plataforma. A seguinte equação é aplicada na zona de disfarce em reta:

$$i_l = i - \frac{x}{R} \pm \frac{z \cdot 0,025}{L_d} \quad (3.16)$$

Em curva de transição a adição desta parcela torna a equação com a seguinte forma:

$$i_l = i - \frac{x}{R} \pm \frac{z \cdot S_e}{L} \quad (3.17)$$

O segundo aspeto que é considerado para a transformação desta equação reside no facto de o comprimento da curva de transição variar com a localização do ponto transversalmente. Isto acontece porque apenas o eixo de referência ser uma clotóide e os bordos da faixa de rodagem serem apenas *offsets* do eixo de referência. Esta situação ilustra-se na seguinte imagem:

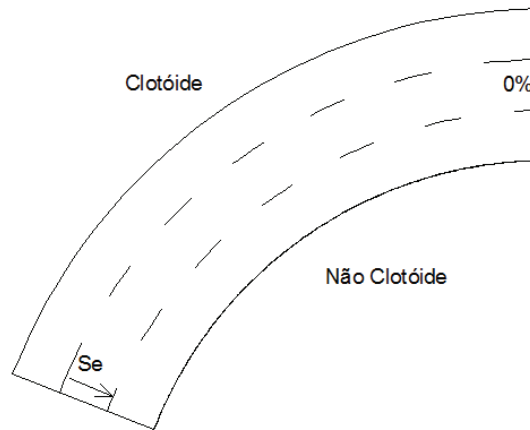


Fig. 3.8 - Exemplificação de uma curva de transição em planta (a escala não real)

Nesta imagem é possível verificar a diferença de comprimento das curvas entre o eixo referência (clotóide) e o bordo exterior da faixa de rodagem (não clotóide). O comprimento de uma curva fora do eixo de referência pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$L' = L - \tau \times z = L - \left(\frac{L}{2 \times R} \right) \times z \quad (3.18)$$

Sendo

L' [m] – o comprimento da curva de transição que atravessa o ponto z ;

L [m] – comprimento da clotóide;

z [m] – distância transversal do ponto onde se encontra a gota e o bordo de referência.

Assim, aplicando esta correção à fórmula de cálculo anterior, a inclinação longitudinal neste ponto pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$i_l = \left(i - \frac{x}{R} \pm \frac{z \cdot S_e}{L} \right) \times \left(\frac{L}{L - \left(\frac{L}{2 \times R} \right) \times z} \right) \quad (3.19)$$

A inclinação transversal, que varia ao longo do troço devido à aplicação de um disfarce de sobre-elevação com modelo linear, pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$i_t = S_e - \frac{S_e \times (x - P)}{L} \quad (3.20)$$

Sendo:

i_t [°] – inclinação transversal no ponto $[x; z]$;

P [m] – coordenada longitudinal do ponto onde se inicia a curva de transição.

3.4.4. CASO C

O caso C traduz uma situação em que existem duas curvas de transição consecutivas com as mesmas características exceto o sentido da curva, pois têm sentidos opostos. A localização do ponto onde a inclinação transversal é 0%, será o suficiente distante para que ocorra um movimento da linha de corrente semelhante ao da figura apresenta no caso B. Essa distância mínima permite que a linha de corrente se desenvolva em baixas inclinações longitudinais.

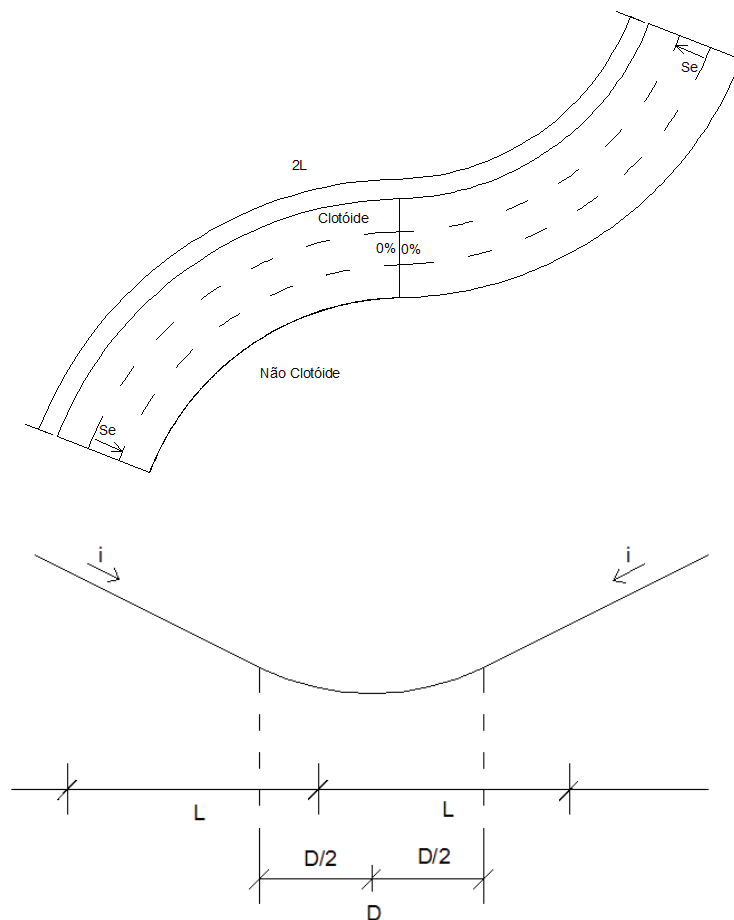


Fig. 3.9 - Perfil em planta e longitudinal do caso C

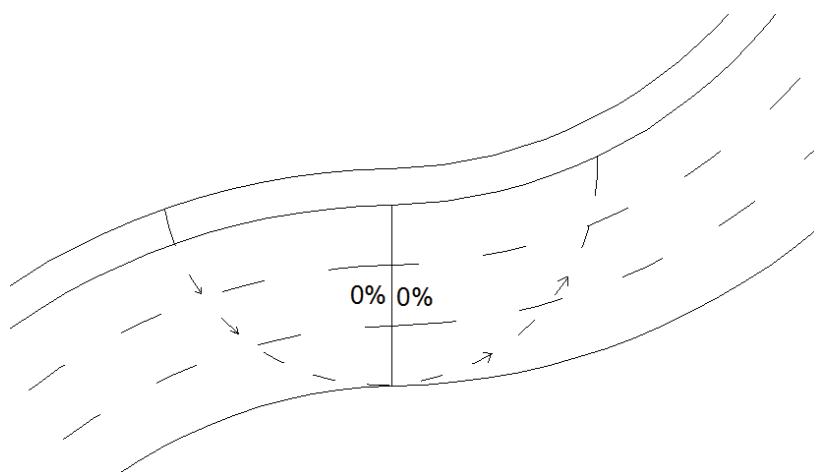


Fig. 3.10 - Drenagem da linha corrente crítica do caso C

Este caso é alvo de estudo em concordâncias convexas e em concordâncias côncavas. As fórmulas utilizadas para o cálculo das inclinações são precisamente as utilizadas no caso b, fórmula (3.19) e (3.20).

3.4.5. CASO D

O caso D representa uma situação em que a quilometragem em que ocorre o perfil transversal com inclinação igual a 0% coincide com o ponto mais alto de uma concordância. Esta situação origina a divergência das correntes para cada lado do ponto mais alto. A drenagem superficial em torno do ponto mais alto apresenta a seguinte disposição:

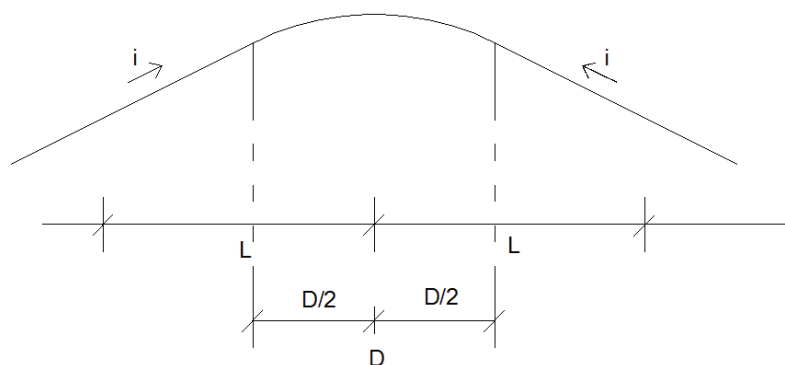


Fig. 3.11 - Perfil longitudinal do caso D

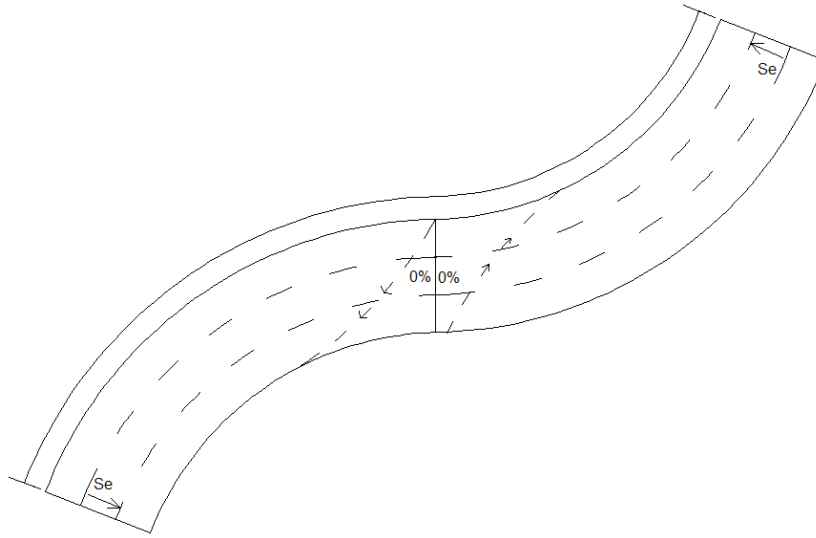


Fig. 3.12 - Drenagem superficial (Caso D)

As fórmulas utilizadas para cálculo das inclinações neste caso são precisamente as utilizadas nos casos anteriores.

O caso D e o caso E, que será posteriormente apresentado, apresentam uma particularidade geométrica que é alvo de atenção nos cálculos das linhas de correntes destes tipos. Na realidade o valor de x que indica a posição do ponto mais alto de uma concordância convexa da plataforma não coincide com o valor de x do ponto mais alto no eixo de referência (bordo interior). Esta ocorrência deve-se à existência do disfarce de sobre-elevação em torno desta zona de inclinação longitudinal reduzida. Como exemplo, o valor de x para o ponto mais alto no eixo de referência de uma concordância convexa simétrica em torno do ponto mais alto, cujo raio equivale a 5000 m e cujos traineis equivalem a uma inclinação de 6% é igual a:

$$0 = i - \frac{x}{R} \Leftrightarrow x = i \times R \Leftrightarrow x = 0,06 \times 5000 \Leftrightarrow x = 300 \text{ m}$$

Posteriormente se for calculado o ponto mais alto na berma interior da faixa de rodagem com a fórmula (3.18), o x obtido terá o seguinte valor:

$$0 = \left(0,06 - \frac{x}{5000} + \frac{-1 \times 0,025}{550} \right) \times \left(\frac{550}{550 - \left(\frac{550}{2 \times 550} \right) \times -1} \right) \Leftrightarrow x = 299,77 \text{ m}$$

3.4.6. CASO E

O caso E é semelhante ao caso D mas estudado em concordância côncava.

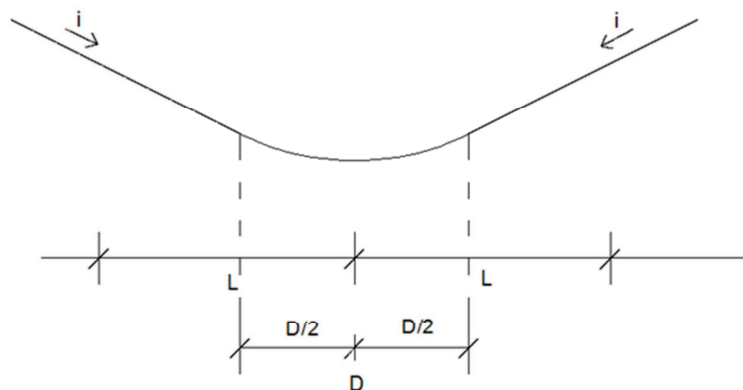


Fig. 3.13 - Perfil longitudinal do caso E

Esta separação foi considerada devido à diferença existente entre a drenagem superficial em concordância côncava e convexa. Enquanto em curva convexa a água diverge para cada trainel afastando-se do ponto mais alto, em concordância côncava a água converge para o ponto mais baixo. Tal como o caso anterior, o ponto mais baixo real não coincide com o ponto mais baixo do eixo de referência.

Este caso é extremamente perigoso, porque existe uma grande concentração de área que drena para este ponto mais baixo. Para além disto, existe uma pequena linha com inclinação extremamente baixa entre o ponto mais baixo do eixo de referência e o ponto mais baixo real. Que pode ser ilustrado pelos seguintes cálculos:

$$0 = i - \frac{x}{R} \Leftrightarrow x = i \times R \Leftrightarrow x = -0,06 \times -5000 \Leftrightarrow x = 300 \text{ m}$$

$$0 = \left(-0,06 + \frac{x}{5000} + \frac{7 \times 0,025}{550} \right) \times \left(\frac{550}{550 - \left(\frac{550}{2 \times 550} \right) \times 7} \right) \Leftrightarrow x = 298,62 \text{ m}$$

$$y_{(300;0)} = -0,06 \times 300 + \frac{300^2}{2 \times 5000} \Leftrightarrow y_{(300;0)} = -9 \text{ m}$$

$$y_{(298,62;7)} = -0,06 \times 298,62 + \frac{298,62^2}{2 \times 5000} - \left(0,025 - 0,025 \times \frac{(298,62 + 250)}{550} \right) \times 7$$

$$y_{(298,62;7)} = -9,00025 \text{ m}$$

Estes dois aspetos juntos originam espessuras altas das lâminas de água e riscos altíssimos de hidroplanagem. A drenagem superficial apresenta a seguinte disposição:

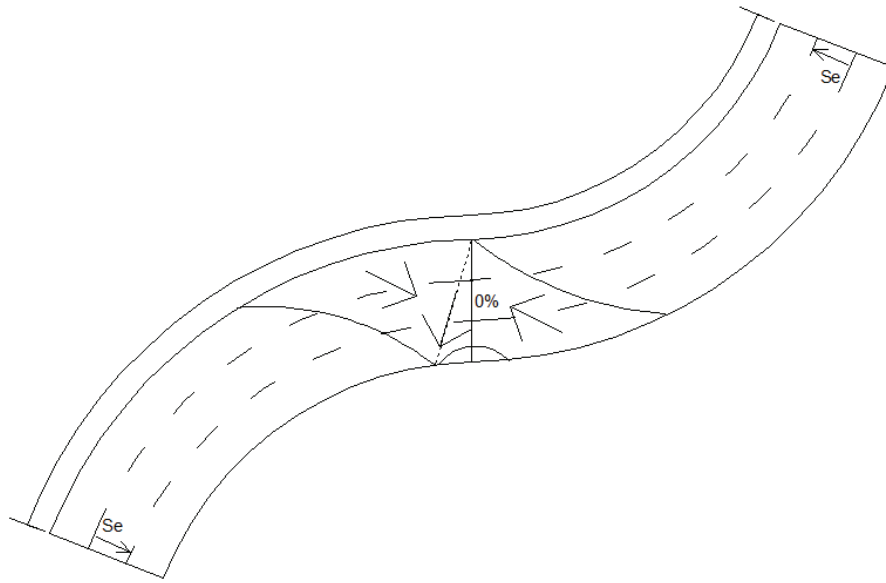


Fig. 3.14 - Drenagem superficial crítica no caso E

3.4.7. CASO F

Este caso é relativo à aplicação do modelo de disfarce de sobre-elevação parabólico para curvas de grande raio em concordância convexa. Esta análise é efetuada para verificar a diferença existente entre a drenagem com uma modelo de disfarce linear e o modelo de disfarce parabólico.

O modelo de disfarce aplicado foi o modelo sofisticado, tipo 2, cuja equação que a caracteriza é a fórmula (2.28).

3.4.8. CASO G

Este último caso é composto por duas curvas transição com o mesmo sentido intercaladas por uma reta com 50 metros de comprimento. Este troço encontra-se inserido numa concordância vertical côncava.

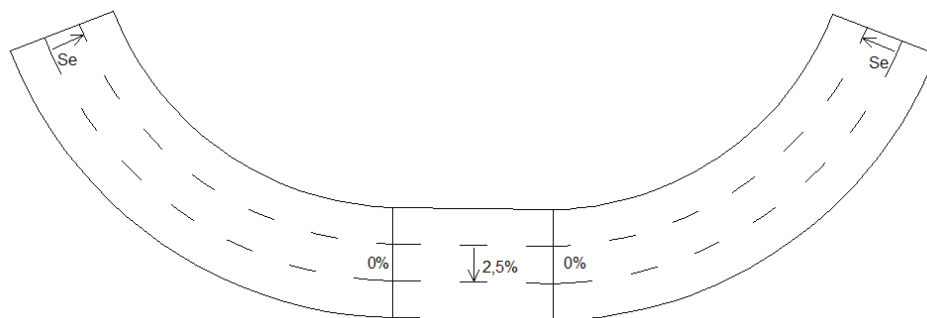


Fig. 3.15 - Representação em planta do caso G (a escala não real)

O objetivo desta análise prende-se na verificação do risco de hidroplanagem neste troço. Caso a ocorrência fosse confirmada, este fenómeno poderia ser resolvido com a redução da variação do disfarce. Não seria necessário inverter a água na plataforma para o perfil em reta, visto a distância entre as curvas ser pequena. Se em reta fosse aplicada uma inclinação transversal de 2,5% com o mesmo sentido das curvas de transição, a inversão da corrente de água não ocorreria e assim uma corrente de água apenas atravessava uma vez a faixa de rodagem. Esta ocorrência diminuiria assim o caudal de água drenado. Assim a drenagem superficial seria semelhante ao caso A.

3.5. CÁLCULO DA VELOCIDADE DE HIDROPLANAGEM

O risco de hidroplanagem, ao longo deste estudo, é avaliado através da comparação da velocidade de tráfego do troço em estudo e a velocidade a que pode ocorrer a hidroplanagem dinâmica para a espessura da lâmina de água obtida para uma intensidade de precipitação anteriormente escolhida. Ao longo dos pontos 2.3.8; 2.3.9 e 2.3.10, são apresentados diferentes considerações a tomar relativamente à intensidade de precipitação. Neste último ponto, o autor assume que irá admitir as intensidades de precipitação assumidas por França (1988).

Assim para uma velocidade de tráfego igual a 80 km/h a intensidade considerada é de 25 mm/h. A aplicação do método de Anderson (fórmula 2.16) para o cálculo da espessura da lâmina de água requer a consideração de uma intensidade de precipitação efetiva que equivale à quantidade de água que realmente drena à superfície, ou seja, é a quantidade de água que não infiltra no pavimento. Para a mistura de betão betuminoso, a taxa de infiltração considerada é igual a 0 mm/h (Soares (2011)).

Para uma camada de desgaste constituída por betão betuminoso drenante, a intensidade de precipitação efetiva, para um índice de precipitação de 25 mm/h, equivale a 10 mm/h. Para as velocidades de tráfego de 100 e 120 km/h foi considerada uma intensidade de precipitação de 15 mm/h e uma intensidade de precipitação efetiva de 5 mm/h.

Segundo Ribeiro (1995), as camadas drenantes perdem a porosidade que possuem ao longo do tempo. Esta ocorrência deve-se à acumulação de detritos de tamanho reduzido nos poros efetivos da camada betuminosa. Para os casos em estudo não foi considerado esse desenvolvimento, sendo que a colmatção de poros leva a que a drenagem vertical (infiltração da água no pavimento) reduza substancialmente e ocorra uma maior drenagem superficial. As características de drenagem de um pavimento colmatado assemelham-se à drenagem de um betão betuminoso corrente.

As características da macrorugosidade consideradas, altura de areia, equivalem aos valores mínimos tabelados na figura 2.20 para o betão betuminoso e betão betuminoso drenante, sendo 0,7 e 1,2 mm respectivamente. As alturas das asperezas são consideradas segundo Lucas (1969), sendo 3,5 vezes a altura de areia para betão betuminoso e 2,5 vezes a altura de areia para betão betuminoso drenante.

Para a verificação do risco de hidroplanagem foram utilizadas as fórmulas de Anderson (1998) e de Gallaway (1979). A primeira fórmula foi considerada porque é a fórmula mais recente de cálculo da espessura da lâmina de água apresentada ao longo da revisão bibliográfica, por considerar a viscosidade da água em função da temperatura como um parâmetro de escoamento e distintos valores de Manning (n). Para além disto apresentam fórmulas de cálculo do coeficiente de Manning para as duas camadas de desgaste avaliadas. A formulação de Gallaway apenas será considerada para pavimentos coroados por betão betuminoso para estabelecer uma comparação entre as fórmulas apresentadas entre os dois autores.

As tabelas utilizadas para o cálculo apresentam a seguinte configuração:

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	3,5	0,025	25	25	18,58	0,05	0,15	159,1	95,0
	8	0,025	25	25	42,47	0,04	0,58	111,8	85,7
	11,5	0,025	25	25	61,06	0,04	0,83	101,8	83,4
100	3,5	0,025	15	15	11,15	0,05	-0,04	-	-
	8	0,025	15	15	25,48	0,05	0,29	133,4	90,3
	11,5	0,025	15	15	36,63	0,04	0,49	116,8	86,8
120	3,75	0,025	15	15	11,95	0,05	-0,02	-	-
	8,5	0,025	15	15	27,08	0,05	0,32	130,0	89,6
	12,25	0,025	15	15	39,02	0,04	0,52	114,6	86,3

Fig. 3.16 - Exemplo de tabela utilizada no cálculo da velocidade crítica de hidroplanagem

Para o estudo da velocidade crítica de hidroplanagem foram utilizadas, em geral para cada caso, três tabelas com a configuração idêntica à da Fig. 3.16, sendo que normalmente a primeira tabela destina-se ao cálculo da velocidade crítica de hidroplanagem para o betão betuminoso com o cálculo da espessura da lâmina de água através da expressão de Anderson. A segunda tabela refere-se à mesma camada de desgaste mas onde a expressão utilizada é a de Gallaway. Por último, apresenta-se uma tabela relativa a uma camada de desgaste de betão betuminoso drenante.

Em geral, em todas as tabelas apresentam-se duas velocidades críticas. Isto acontece porque pelo que foi ilustrado na Fig. 2.31, a expressão utilizada para o cálculo da velocidade de hidroplanagem depende da espessura da lâmina. Assim para espessuras da lâmina de água inferiores a 2,413 mm é utilizada a expressão de Agrawall, fórmula (2.32), e para superiores é utilizada a expressão de Gallaway, fórmula (2.33). Assim as velocidades que interessam para o cálculo são as que encontram sombreadas a cores. Sempre que uma velocidade é sombreada a verde, significa que a velocidade crítica de hidroplanagem é superior à velocidade de tráfego em análise. Pelo contrário, as velocidades sombreadas a vermelho indicam que os casos em estudo não proporcionam condições de drenagem suficientes para as velocidades exigidas.

4

ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo 4 destina-se a ser a sequência de trabalho do anterior. Ao longo deste capítulo são apresentados os resultados dos casos descritos no capítulo 3. O conteúdo deste capítulo tem como base a recolha de dados obtidos no cálculo da linha de corrente. Entre estes dados fazem parte:

- l [m] – comprimento da linha de corrente crítica;
- p [m] – inclinação dominante da linha de corrente crítica.

A partir destes dados, são determinadas as velocidades críticas de hidroplanagem de cada caso e posteriormente elaborados alguns comentários relativos a estes resultados.

Todos os cálculos elaborados para determinar estes dados (l e p) são apresentados em anexo.

4.2. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Os presentes resultados de cada caso são apresentados pela mesma ordem pela qual se encontram descritos no capítulo 3.

4.2.1. CASO A

O primeiro caso é relativo a troços em reta. No próximo quadro apresentam-se os resultados relativos às 3 velocidades de tráfego estudadas para estradas de 2 vias e estradas de faixas separadas com 2 ou 3 vias por sentido.

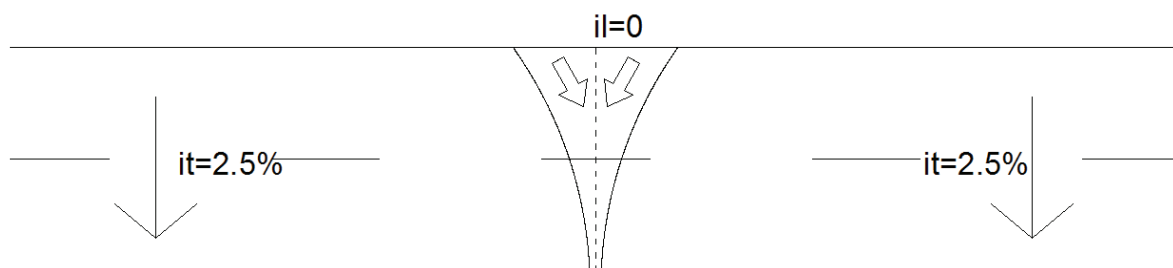


Fig. 4.1 – Esboço da drenagem superficial num exemplo do caso A. (Concordância Côncava, faixas separadas)

No próximo quadro são indicadas os diferentes dados recolhidos para o estudo em concordâncias convexas:

Quadro 4.1 – Resultados obtidos para linhas de corrente críticas do caso A

Vt (km/h)	Estradas de 2 vias			Estradas de 2x2 vias			Estradas de 2x3 vias		
	l (m)	p ()	ω ()	l (m)	p ()	ω ()	l (m)	p ()	ω ()
80	3,5	0,025	22,14	8,0	0,025	50,60	11,50	0,025	72,73
100	3,5	0,025	22,14	8,0	0,025	50,60	11,50	0,025	72,73
120	3,75	0,025	23,72	8,50	0,025	53,76	12,25	0,025	77,48

A partir dos dados recolhidos foram obtidos os seguintes resultados para as velocidades críticas de hidroplanagem:

Quadro 4.2 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso A)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	3,5	0,025	25	25	18,58	0,05	0,15	159,1	95,0
	8	0,025	25	25	42,47	0,04	0,58	111,8	85,7
	11,5	0,025	25	25	61,06	0,04	0,83	101,8	83,4
100	3,5	0,025	15	15	11,15	0,05	-0,04	-	-
	8	0,025	15	15	25,48	0,05	0,29	133,4	90,3
	11,5	0,025	15	15	36,63	0,04	0,49	116,8	86,8
120	3,75	0,025	15	15	11,95	0,05	-0,02	-	-
	8,5	0,025	15	15	27,08	0,05	0,32	130,0	89,6
	12,25	0,025	15	15	39,02	0,04	0,52	114,6	86,3

Quadro 4.3 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso A)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p (°)	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
80	3,5	0,025	25	25	0,12	168,0	17,9	19,4	96,5
	8	0,025	25	25	0,52	114,9	16,7	17,4	86,4
	11,5	0,025	25	25	0,75	104,4	16,4	16,9	84,0
100	3,5	0,025	15	15	-0,09	-	-	-	-
	8	0,025	15	15	0,20	146,7	17,4	18,7	92,8
	11,5	0,025	15	15	0,37	125,1	16,9	17,8	88,6
120	3,75	0,025	15	15	-0,07	-	-	-	-
	8,5	0,025	15	15	0,23	142,1	17,3	18,5	92,0
	12,25	0,025	15	15	0,41	122,4	16,8	17,7	88,0

Quadro 4.4 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso A)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p (°)	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	3,5	0,025	25	10	18,58	0,14	-0,29	-	-
	8	0,025	25	10	42,47	0,10	0,01	303,8	114,2
	11,5	0,025	25	10	61,06	0,08	0,17	152,4	93,8
100	3,5	0,025	15	5	11,15	0,17	-0,52	-	-
	8	0,025	15	5	25,48	0,12	-0,29	-	-
	11,5	0,025	15	5	36,63	0,10	-0,17	-	-
120	3,75	0,025	15	5	11,95	0,17	-0,50	-	-
	8,5	0,025	15	5	27,08	0,12	-0,27	-	-
	12,25	0,025	15	5	39,02	0,10	-0,14	-	-

Sendo:

V_t [km/h] – velocidade de tráfego;

l [m] – comprimento das linhas de corrente;

p [°] – inclinação médio das linhas de corrente;

ω [°] – razão entre o comprimento da linha de corrente e a raiz da inclinação média;

i_p [mm/h] – intensidade de precipitação;

i_{pe} [mm/h] – intensidade de precipitação efetiva;

N_r [] – número de Reynolds;

n [] – coeficiente de Manning;

h [mm] – altura da lâmina de água calculada através da expressão indicada na referida tabela;

$V_{h \text{ Agr.}}$ [km/h] – velocidade crítica de hidroplanagem calculada através da expressão de Agrawal;

$V_{h \text{ Gal.}}$ [km/h] – velocidade crítica de hidroplanagem calculada através da expressão de Gallaway.

A partir dos resultados dos quadros anteriores, é possível admitir que para as intensidades de precipitação correspondentes a chuvas fortes, que, segundo França (1988) já provocam dificuldades de visibilidade na condução, o risco de hidroplanagem é praticamente inexistente visto que praticamente todas as velocidades de hidroplanagem críticas de hidroplanagem são superiores às respectivas velocidades de tráfego. Em estradas com faixas separadas e 3 vias de circulação, para a velocidade de tráfego de 120 km/h, é possível verificar, que pela expressão de Anderson para o cálculo da lâmina de água, a velocidade crítica de hidroplanagem é inferior à velocidade de tráfego. No entanto, quando é aplicado a expressão de Gallaway para determinar a espessura da lâmina de água, a velocidade crítica é superior à velocidade de tráfego. A partir desta observação é possível afirmar que em concordâncias convexas cujo perfil em planta seja em reta, o risco de hidroplanagem é diminuto ou inexistente. A ocorrência de um fenómeno de hidroplanagem, para estas intensidades de precipitação, só está relacionada com a condução menos cuidadosa por parte do condutor.

Quando se analisa o risco de hidroplanagem em concordâncias côncavas, é preciso ter em atenção que existe uma concentração de duas linhas de corrente no ponto mais baixo do troço. Assim, é preciso recorrer do *software* Autocad para determinar a área que é drenada para o ponto baixo. Assim os comprimentos das linhas de corrente recolhidos são comprimentos fictícios.

Quadro 4.5 - Resultados obtidos para as linhas de corrente críticas do caso A (concordâncias côncavas)

V_t (km/h)	Estradas de 2 vias			Estradas de 2x2 vias			Estradas de 2x3 vias		
	l_f (m)	p ()	ω ()	l_f (m)	p ()	ω ()	l_f (m)	p ()	ω ()
80	3,53	0,025	22,33	8,07	0,025	51,04	11,61	0,025	73,43
100	3,53	0,025	22,33	8,07	0,025	51,04	11,61	0,025	73,43
120	3,78	0,025	23,91	8,59	0,025	54,33	12,38	0,025	78,30

A partir dos dados recolhidos e apresentados no Quadro (4.5), é possível determinar as seguintes velocidades críticas de hidroplanagem:

Quadro 4.6 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso A, concordâncias côncavas)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	3,53	0,025	25	25	18,74	0,05	0,15	158,1	94,9
	8,07	0,025	25	25	42,85	0,04	0,58	111,5	85,6
	11,61	0,025	25	25	61,64	0,04	0,84	101,5	83,3
100	3,53	0,025	15	15	11,24	0,05	-0,04	-	-
	8,07	0,025	15	15	25,71	0,05	0,30	132,9	90,2
	11,61	0,025	15	15	36,98	0,04	0,49	116,5	86,8
120	3,78	0,025	15	15	12,04	0,05	-0,02	-	-
	8,59	0,025	15	15	27,36	0,05	0,33	129,5	89,5
	12,38	0,025	15	15	39,44	0,04	0,53	114,2	86,3

Quadro 4.7 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso A, concordâncias côncavas)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
80	3,53	0,025	25	25	0,12	166,8	17,8	19,4	96,3
	8,07	0,025	25	25	0,52	114,6	16,6	17,4	86,3
	11,61	0,025	25	25	0,76	104,1	16,4	16,9	83,9
100	3,53	0,025	15	15	-0,09	-	-	-	-
	8,07	0,025	15	15	0,21	146,0	17,4	18,7	92,7
	11,61	0,025	15	15	0,38	124,7	16,9	17,8	88,5
120	3,78	0,025	15	15	-0,07	-	-	-	-
	8,59	0,025	15	15	0,23	141,4	17,3	18,5	91,8
	12,38	0,025	15	15	0,41	121,9	16,8	17,7	87,9

Quadro 4.8 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso A, concordâncias côncavas)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	3,53	0,025	25	10	18,74	0,14	-0,29	-	-
	8,07	0,025	25	10	42,85	0,10	0,02	283,8	112,0
	11,61	0,025	25	10	61,64	0,08	0,18	151,4	93,7
100	3,53	0,025	15	5	11,24	0,17	-0,51	-	-
	8,07	0,025	15	5	25,71	0,12	-0,29	-	-
	11,61	0,025	15	5	36,98	0,10	-0,16	-	-
120	3,78	0,025	15	5	12,04	0,17	-0,50	-	-
	8,59	0,025	15	5	27,36	0,12	-0,27	-	-
	12,38	0,025	15	5	39,44	0,10	-0,14	-	-

Tal como no caso das concordâncias convexas, as concordâncias côncavas apresentam um risco baixo ou inexistente para a ocorrência de hidroplanagem dinâmica. Apesar da concentração de linhas de corrente no ponto mais baixo, a diminuição da velocidade de hidroplanagem é insignificante, assim é possível admitir que estes troços tem um bom desempenho de drenagem superficial para estas intensidades de precipitação. Isto acontece essencialmente devido à imposição das Normas do Traçado que indica a inclinação transversal mínima para misturas betuminosas em reta é 2,5 %. Esta inclinação transversal permite, como demonstram os cálculos, que haja uma boa drenagem superficial.

4.2.2. CASO B

Este caso apenas foi analisado para curvas verticais convexas para a velocidade de tráfego de 100 km/h. O raio da curva vertical aplicada equivale ao mínimo normativo de 9000 m. Para além disto, apenas foi analisado em estradas de faixas separadas com 2 vias cada. Assim o modelo de disfarce linear foi aplicado em curvas de transição que obedecem ao critério ótico com as seguintes características:

Quadro 4.9 - Características das curvas de transição estudadas

Curva	Se(%)	L (m)	R(m)
1	2,5	550	4950
2	3	330	2970
3	3,5	285	2565
4	4	250	2250
5	4,5	220	1980
6	5	190	1710

Estas curvas são aplicadas em concordâncias convexas com o perfil transversal igual a 0% a se situar a cerca de 10 a 15 metros do ponto mais alto da concordância para que não ocorra separação da linha de corrente no ponto mais alto e haja uma inversão da linha de corrente que percorra toda a plataforma. O comprimento de disfarce em reta considerado é de 25 metros e a variação de inclinação transversal é de 2,5% a 0%. O esboço da linha de corrente obtido é o seguinte:

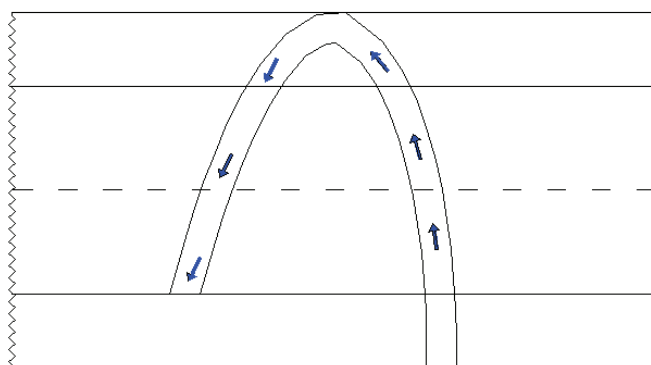


Fig. 4.2 - Esboço da linha de corrente do caso B

A partir destas condições foram obtidos os seguintes resultados do cálculo das linhas de corrente críticas:

Quadro 4.10 - Resultados obtidos para o caso B

Curva	l (m)	p ()	ω
1	49,06	0,0045	731
2	37,48	0,0046	553
3	34,27	0,0048	495
4	32,08	0,0049	458
5	30,47	0,0051	427
6	29,15	0,0053	400

A partir dos dados recolhidos para este caso foi possível determinar as seguintes velocidades de tráfego:

Quadro 4.11 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso B)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	49,06	0,0045	15	15	156,28	0,03	3,37	70,7	75,8
	37,48	0,0046	15	15	119,39	0,04	2,84	73,9	76,4
	34,27	0,0048	15	15	109,17	0,04	2,64	75,3	76,7
	32,08	0,0049	15	15	102,19	0,04	2,52	76,3	76,9
	30,47	0,0051	15	15	97,06	0,04	2,40	77,3	77,0
	29,15	0,0053	15	15	92,86	0,04	2,30	78,1	77,2

Quadro 4.12 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (caso B)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
100	49,06	0,0045	15	15	3,72	68,9	15,2	14,9	75,5
	37,48	0,0046	15	15	3,15	72,0	15,3	15,1	76,1
	34,27	0,0048	15	15	2,92	73,4	15,4	15,2	76,3
	32,08	0,0049	15	15	2,78	74,3	15,4	15,3	76,5
	30,47	0,0051	15	15	2,64	75,4	15,4	15,3	76,7
	29,15	0,0053	15	15	2,52	76,3	15,5	15,4	76,8

Quadro 4.13 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (caso B)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	49,06	0,0045	15	5	156,28	0,03	0,88	100,1	83,0
	37,48	0,0046	15	5	119,39	0,04	0,69	106,6	84,5
	34,27	0,0048	15	5	109,17	0,04	0,62	109,5	85,2
	32,08	0,0049	15	5	102,19	0,04	0,58	111,6	85,7
	30,47	0,0051	15	5	97,06	0,04	0,54	113,7	86,1
	29,15	0,0053	15	5	92,86	0,04	0,51	115,6	86,6

A partir dos resultados obtidos é possível verificar que, para curvas de transição de grande comprimento, o betão betuminoso é incapaz de fornecer boas condições de drenagem para as intensidades de precipitação estudadas. Pelo contrário, é possível afirmar que o betão betuminoso drenante é uma solução a aplicar para estes casos porque, quando é novo pode resolver estas situações de drenagem devido à sua porosidade. Através dos quadros anteriores ainda se pode verificar que à medida que a sobre-elevação da curva circular aumenta, os respetivos valores das velocidades de hidroplanagem aumentam ligeiramente.

4.2.3. CASO C

Ao longo deste caso foi realizado um estudo mais exaustivo em concordâncias convexas do que em concordâncias côncavas. Isto acontece para ser possível realizar uma comparação à posteriori da consequência da mudança de raio das curvas verticais com o risco de ocorrência de hidroplanagem, para além da verificação do risco caso a caso. Assim em concordância convexa realizaram-se estudos para os raios mínimos respetivos às velocidades de tráfego de 80, 100 e 120 km/h, 5000, 9000 e 14000 metros. Em concordâncias côncavas apenas se realizou verificação para a velocidade de 100 km/h visto que, nesta situação, a drenagem superficial é semelhante à que ocorre em curva vertical convexa, sendo a única diferença que exista relativa aos raios mínimos das curvas verticais, 5500 metros. As curvas de transição consecutivas com sentido oposto têm as características das curvas apresentadas no Quadro 4.9. Foram estudadas casos em faixas de rodagem de estradas de faixas separadas com 2 ou 3 vias. A geometria do caso C apresenta a seguinte configuração:

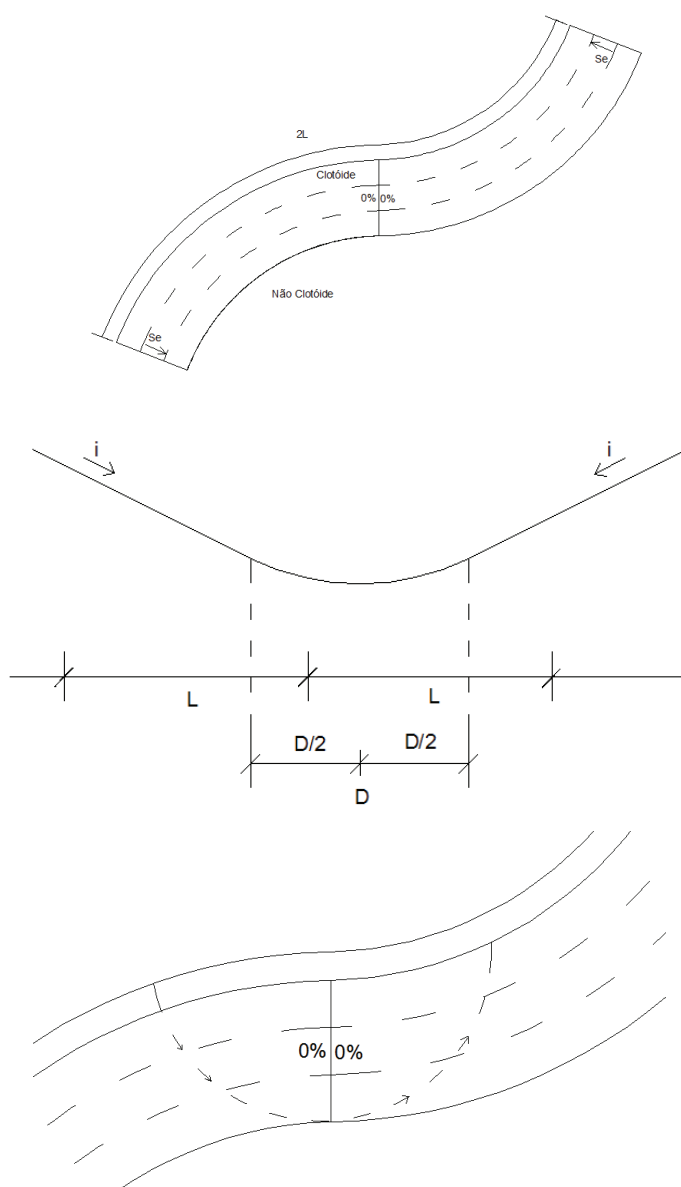


Fig. 4.3 - Perfil em planta, longitudinal e esboço da linha de corrente (Caso C)

4.2.3.1. Faixas de rodagem com 2 vias

Seguidamente são apresentados os quadros onde se encontram os resultados dos cálculos determinados para estradas de faixas separadas com 2 vias. As larguras por via consideradas têm respeito à largura mínima exigida pela Norma do Traçado, (1994). Para a velocidade de tráfego de 80 km/h foram obtidos os seguintes resultados:

Quadro 4.14 – Resultados obtidos para o caso C, $V_t=80$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias

Curva	l (m)	p ()	ω
1	87,85	0,0081	731
2	57,29	0,0054	553
3	48,98	0,0047	495
4	43,34	0,0044	458
5	39,23	0,0042	427
6	35,89	0,0042	400

Quadro 4.15 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	i_p (mm/h)	i_{pe} (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V_h Agr. (km/h)	V_h Gal. (km/h)
80	87,85	0,0081	25	25	466,41	0,03	5,17	63,3	74,3
	57,29	0,0054	25	25	304,16	0,03	4,66	65,0	74,7
	48,98	0,0047	25	25	260,05	0,03	4,47	65,7	74,8
	43,34	0,0044	25	25	230,10	0,03	4,27	66,5	75,0
	39,23	0,0042	25	25	208,28	0,03	4,09	67,3	75,1
	35,89	0,0042	25	25	190,55	0,03	3,89	68,2	75,3

Quadro 4.16 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p ()	i_p (mm/h)	i_{pe} (mm/h)	h (mm)	V_h Agr. (km/h)	A1	A2	V_h Gal. (km/h)
80	87,85	0,0081	25	25	5,48	62,4	14,9	14,5	74,1
	57,29	0,0054	25	25	5,27	63,0	14,9	14,5	74,3
	48,98	0,0047	25	25	5,17	63,3	15,0	14,5	74,3
	43,34	0,0044	25	25	4,99	63,9	15,0	14,6	74,5
	39,23	0,0042	25	25	4,83	64,4	15,0	14,6	74,6
	35,89	0,0042	25	25	4,60	65,3	15,0	14,7	74,7

Quadro 4.17 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V_h Agr. (km/h)	V_h Gal. (km/h)
80	87,85	0,0081	25	15	466,41	0,03	2,83	74,0	76,4
	57,29	0,0054	25	15	304,16	0,03	2,45	76,8	76,9
	48,98	0,0047	25	15	260,05	0,03	2,31	78,0	77,2
	43,34	0,0044	25	15	230,10	0,03	2,19	79,1	77,3
	39,23	0,0042	25	15	208,28	0,03	2,10	80,0	77,6
	35,89	0,0042	25	15	190,55	0,03	2,00	81,0	77,9

Para a velocidade de tráfego de 80km/h, o modelo de disfarce linear para curvas de transição longas não proporciona em geral uma drenagem satisfatória para a intensidade de precipitação em estudo. É possível verificar que com a aplicação de um betão betuminoso em camada de desgaste, apenas nas curvas do tipo 5 e 6, com sobre-elevação 4,5% e 5% é possível admitir que o risco de hidroplanagem pode não ocorrer a uma velocidade de circulação coincidente com a velocidade de tráfego.

Seguidamente apresentam-se cálculos para uma faixa de rodagem com um perfil transversal semelhante mas relativa a uma velocidade de tráfego de 100km/h.

Quadro 4.18 – Resultados obtidos para o caso C, $V_t=100$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias

Curva	l (m)	p ()
1	60,8	0,0031
2	42,93	0,0024
3	38,1	0,0023
4	34,87	0,0024
5	32,5	0,0025
6	30,61	0,0028

Quadro 4.19 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	I (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	60,8	0,0031	15	5	193,68	0,03	4,36	66,2	74,9
	42,93	0,0024	15	5	136,75	0,03	3,90	68,1	75,3
	38,1	0,0023	15	5	121,37	0,04	3,69	69,1	75,5
	34,87	0,0024	15	5	111,08	0,04	3,45	70,3	75,7
	32,5	0,0025	15	5	103,53	0,04	3,26	71,3	75,9
	30,61	0,0028	15	5	97,51	0,04	3,02	72,8	76,2

Quadro 4.20 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	I (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
100	60,8	0,0031	15	15	5,03	63,8	15,0	14,6	74,4
	42,93	0,0024	15	15	4,70	64,9	15,0	14,6	74,7
	38,1	0,0023	15	15	4,49	65,7	15,1	14,7	74,8
	34,87	0,0024	15	15	4,19	66,9	15,1	14,8	75,1
	32,5	0,0025	15	15	3,95	67,9	15,1	14,9	75,3
	30,61	0,0028	15	15	3,61	69,5	15,2	15,0	75,6

Quadro 4.21 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	60,8	0,0031	15	5	193,68	0,03	1,14	93,7	81,3
	42,93	0,0024	15	5	136,75	0,03	0,94	98,5	82,6
	38,1	0,0023	15	5	121,37	0,03	0,86	100,7	83,1
	34,87	0,0024	15	5	111,08	0,03	0,79	103,0	83,7
	32,5	0,0025	15	5	103,53	0,03	0,73	105,0	84,1
	30,61	0,0028	15	5	97,51	0,04	0,67	107,6	84,7

A partir dos Quadros (4.19), (4.20) e (4.21) é possível verificar que o desempenho da plataforma à drenagem superficial para a velocidade de 100 km/h assemelha-se às conclusões obtidas relativamente à velocidade de tráfego de 80 km/h. O betão betuminoso, não permite para a intensidade de precipitação considerada uma drenagem satisfatória, sendo obtidas velocidades críticas de hidroplanagem 25 km/h inferiores à velocidade de tráfego em estudo. Com a aplicação de um camada de desgaste drenante, a velocidade crítica de hidroplanagem é superior à velocidade de tráfego para as curvas de transição mais curtas e com maior sobre-elevação aplicada.

Para finalizar a análise do Caso C em faixas de 2 vias, segue-se a análise relativa à velocidade de tráfego de 120 km/h, cujos resultados obtidos no cálculo foram os seguintes:

Quadro 4.22 - Resultados obtidos para o caso C, $V_t=120$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias

Curva	l (m)	p ()
1	52,36	0,0018
2	39,49	0,0016
3	36,05	0,0017
4	33,27	0,0019
5	32,07	0,0021
6	30,73	0,0025

Quadro 4.23 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=120$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
120	52,36	0,0018	15	15	166,79	0,03	4,84	64,4	74,6
	39,49	0,0016	15	15	125,80	0,04	4,29	66,5	75,0
	36,05	0,0017	15	15	131,79	0,04	4,07	67,8	75,2
	33,27	0,0019	15	15	105,98	0,04	3,65	69,3	75,5
	32,07	0,0021	15	15	102,16	0,04	3,45	70,3	75,7
	30,73	0,0025	15	15	97,89	0,04	3,15	72,0	76,1

Quadro 4.24 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=120$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
120	52,36	0,0018	15	15	6,01	60,9	14,9	14,4	73,8
	39,49	0,0016	15	15	5,45	62,4	14,9	14,5	74,2
	36,05	0,0017	15	15	5,03	63,7	15,0	14,6	74,4
	33,27	0,0019	15	15	4,57	65,4	15,0	14,7	74,8
	32,07	0,0021	15	15	4,27	66,5	15,1	14,8	75,0
	30,73	0,0025	15	15	3,82	68,5	15,2	14,9	75,4

Quadro 4.25 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=120$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
120	52,36	0,0018	15	5	166,79	0,02	1,17	93,1	81,2
	39,49	0,0016	15	5	125,80	0,03	0,98	97,5	82,3
	36,05	0,0017	15	5	131,79	0,03	0,96	99,7	82,9
	33,27	0,0019	15	5	105,98	0,03	0,81	102,3	83,5
	32,07	0,0021	15	5	102,16	0,03	0,76	103,9	83,9
	30,73	0,0025	15	5	97,89	0,03	0,70	106,4	84,5

Para uma velocidade de tráfego de 120 km/h e com as características geométricas estudadas, a ocorrência de hidroplanagem é praticamente certa para quem circule a uma velocidade próxima de 120 km/h a chuva forte como a considerada.

Em concordâncias côncavas:

Seguidamente apresentam-se os resultados para o caso C em concordância côncava para a velocidade de 80 km/h:

Quadro 4.26 - Resultados obtidos para o caso C, $V_t=80$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias (concordâncias côncavas)

Curva	l (m)	p ()
1	100,31	0,0127
2	62,5	0,0076
3	51,66	0,0062
4	43,96	0,0052
5	44,69	0,0061
6	38,9	0,0054

Quadro 4.27 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	100,31	0,0127	25	25	532,57	0,03	4,78	64,6	74,6
	62,5	0,0076	25	25	331,83	0,03	4,35	66,2	74,9
	51,66	0,0062	25	25	274,27	0,03	4,19	66,9	75,1
	43,96	0,0052	25	25	233,39	0,03	4,06	67,4	75,2
	44,69	0,0061	25	25	237,27	0,03	3,87	68,2	75,3
	38,9	0,0054	25	25	206,53	0,03	3,73	68,9	75,5

Quadro 4.28-Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
80	100,31	0,0127	25	25	4,75	64,7	15,0	14,6	74,6
	62,5	0,0076	25	25	4,69	64,9	15,0	14,7	74,7
	51,66	0,0062	25	25	4,66	65,1	15,0	14,7	74,7
	43,96	0,0052	25	25	4,64	65,1	15,0	14,7	74,7
	44,69	0,0061	25	25	4,33	66,3	15,1	14,7	74,9
	38,9	0,0054	25	25	4,25	66,6	15,1	14,8	75,0

Quadro 4.29 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=80$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	I (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	100,31	0,0127	25	15	532,57	0,03	2,81	74,2	76,5
	62,5	0,0076	25	15	331,83	0,03	2,41	77,1	77,0
	51,66	0,0062	25	15	274,27	0,03	2,26	78,4	77,2
	43,96	0,0052	25	15	233,39	0,03	2,14	79,5	77,4
	44,69	0,0061	25	15	237,27	0,03	2,10	79,9	77,6
	38,9	0,0054	25	15	206,53	0,03	1,99	81,1	77,9

Após a apresentação dos cálculos relativos à velocidade de 80 km/h, seguem-se os cálculos relativos à velocidade de tráfego de 100 km/h.

Quadro 4.30 – Resultados obtidos para o caso C, $V_t=100$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias (concordâncias côncavas)

Curva	I (m)	p ()
1	73,28	0,0057
2	47,09	0,0036
3	39,3	0,003
4	33,57	0,0025
5	34,85	0,0032
6	30,3	0,0028

Quadro 4.31 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, Vt=100 km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	73,28	0,0057	15	15	233,44	0,03	3,93	68,0	75,3
	47,09	0,0036	15	15	150,01	0,03	3,57	69,7	75,6
	39,3	0,003	15	15	125,19	0,04	3,42	70,5	75,8
	33,57	0,0025	15	15	106,94	0,04	3,32	71,0	75,9
	34,85	0,0032	15	15	111,02	0,04	3,11	72,2	76,1
	30,3	0,0028	15	15	96,52	0,04	3,00	72,9	76,2

Quadro 4.32 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway ((Caso C, Vt=100 km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
100	73,28	0,0057	15	15	4,16	67,0	15,1	14,8	75,1
	47,09	0,0036	15	15	4,06	67,4	15,1	14,8	75,2
	39,3	0,003	15	15	4,02	67,6	15,1	14,8	75,2
	33,57	0,0025	15	15	4,02	67,6	15,1	14,8	75,2
	34,85	0,0032	15	15	3,63	69,4	15,2	15,0	75,6
	30,3	0,0028	15	15	3,58	69,6	15,2	15,0	75,6

Quadro 4.33 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	73,28	0,0057	15	5	233,44	0,03	1,13	94,0	81,4
	47,09	0,0036	15	5	150,01	0,03	0,91	99,4	82,8
	39,3	0,003	15	5	125,19	0,03	0,82	102,0	83,4
	33,57	0,0025	15	5	106,94	0,03	0,75	104,2	84,0
	34,85	0,0032	15	5	111,02	0,03	0,72	105,4	84,2
	30,3	0,0028	15	5	96,52	0,04	0,66	107,8	84,8

Em análise geral, tal como em concordâncias convexas, em concordâncias côncavas, existem riscos de hidroplanagem em pavimentos de faixas de rodagem largas com camadas de desgaste de betão betuminoso. Tal como ocorreu em curvas convexas, uma camada de desgaste drenante permite que para as curvas de transição mais curtas e com sobrelevações mais altas, a velocidade crítica é superior à velocidade de tráfego para as intensidades de precipitação.

4.2.3.2. Faixas de rodagem com 3 vias

Tendo em atenção os resultados obtidos para as faixas de rodagem com 2 vias, onde na maioria dos casos existia risco de hidroplanagem. Para esta plataforma, mais larga cerca de 3,5 ou 3,75 metros dependendo da velocidade de tráfego, será apenas verificado o risco de ocorrência de hidroplanagem em concordâncias convexas para uma velocidade de tráfego de 100 km/h.

Quadro 4.34 - Resultados obtidos para o caso C, $V_t=100$ km/h com faixas de rodagem de 3 vias

Curva	l (m)	p ()
1	86,03	0,0045
2	60,53	0,0035
3	53,63	0,0033
4	49,05	0,0034
5	45,74	0,0036
6	43,09	0,0039

Quadro 4.35 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 3 vias)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	86,03	0,0045	15	15	274,05	0,03	4,68	65,0	74,7
	60,53	0,0035	15	15	192,82	0,03	4,17	66,9	75,1
	53,63	0,0033	15	15	170,84	0,03	3,97	67,8	75,2
	49,05	0,0034	15	15	156,25	0,03	3,73	68,9	75,5
	45,74	0,0036	15	15	145,71	0,03	3,51	70,0	75,7
	43,09	0,0039	15	15	137,26	0,03	3,29	71,2	75,9

Quadro 4.36 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso C, $V_t=100$ km/h, 3 vias)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
100	86,03	0,0045	15	15	5,09	63,6	15,0	14,6	74,4
	60,53	0,0035	15	15	4,74	64,8	15,0	14,6	74,6
	53,63	0,0033	15	15	4,56	65,4	15,0	14,7	74,8
	49,05	0,0034	15	15	4,28	66,5	15,1	14,8	75,0
	45,74	0,0036	15	15	4,00	67,7	15,1	14,8	75,2
	43,09	0,0039	15	15	3,71	69,0	15,2	14,9	75,5

Quadro 4.37 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso C, $V_t=100$ km/h, 3 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	86,03	0,0045	15	5	274,05	0,03	1,33	90,1	80,4
	60,53	0,0035	15	5	192,82	0,03	1,10	94,4	81,5
	53,63	0,0033	15	5	170,84	0,03	1,02	96,3	82,0
	49,05	0,0034	15	5	156,25	0,03	0,95	98,2	82,5
	45,74	0,0036	15	5	145,71	0,03	0,88	100,0	82,9
	43,09	0,0039	15	5	137,26	0,03	0,82	101,9	83,4

Após análise de resultados verifica-se que um aumento da largura da faixa de rodagem provoca um aumento da linha corrente crítica em estudo. Este acréscimo de largura provoca, apesar do pequeno aumento da inclinação média da linha de corrente, um decréscimo do valor da velocidade crítica de hidroplanagem. Assim, o betão betuminoso drenante, têm uma pior drenagem da água da chuva que resultam em espessuras de lâmina de água ligeiramente superiores.

Tendo por fim uma atenção maior à variação que o raio de uma curva vertical pode provocar na velocidade crítica de hidroplanagem, seguidamente é apresentado um quadro resumido com valores críticos para os raios de 14000, 9000 e 5500 metros para o betão betuminoso e betão betuminoso drenante. Os valores apresentados serão velocidades críticas obtidas de espessuras de lâminas de água calculadas através da expressão de Anderson obtidos nos Quadros (4.19), (4.21), (4.23), (4.25), (4.31) e (4.33):

Quadro 4.38 - Quadro comparativo de velocidade de hidroplanagem em função do raio da curva vertical

Betão betuminoso			Betão betuminoso drenante		
R=5500m	R=9000m	R=14000m	R=5500m	R=9000m	R=14000m
V _h (velocidade crítica de hidroplanagem) (km/h)					
75,3	74,9	74,6	94,0	93,7	93,1
75,6	75,3	75,0	99,4	98,5	97,5
75,8	75,5	75,2	102,0	100,7	98,0
75,9	75,7	75,5	104,2	103,0	102,3
76,1	75,9	75,7	105,4	105,0	103,9
76,2	76,2	76,2	107,8	107,6	106,4

Através de uma rápida análise verifica-se que para o menor raio de curva vertical a velocidade crítica é maior. Isto significa que um veículo poderia circular a uma maior velocidade sem que ocorra o fenómeno de hidroplanagem. No entanto esta diferença de valor é tão curta, cerca de 1 km/h, que um

decréscimo do valor do raio da curva vertical torna-se dispensável uma vez que essa diminuição provocaria um aumento da incomodidade e a distância de visibilidade reduziria.

4.2.4. CASO D

O caso D foi abordado para as velocidades para as velocidades já estudadas em outros, no entanto, como se verá para a velocidade de 80 km/h para faixas de rodagens de 2 vias, o betão betuminoso não oferecerá condições que evitem a ocorrência de hidroplanagem com um veículo a circular a velocidade de tráfego comparativa para a intensidade de precipitação considerada. Assim, serão desprezados os cálculos relativos ao betão betuminoso para velocidades de tráfego maiores (100 e 120 km/h) e para larguras de faixa de rodagem superiores. Será prestada a atenção aos cálculos relativos à camada de desgaste de betão betuminoso drenante.

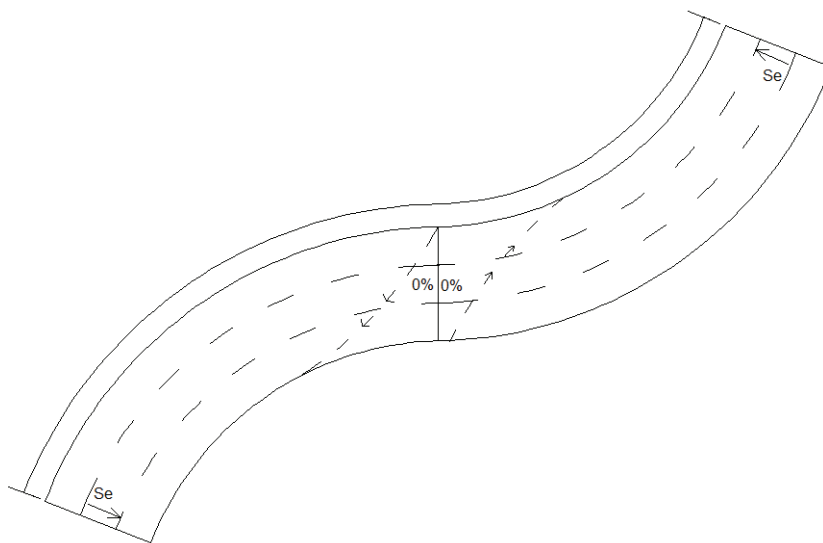


Fig. 4.4 – Drenagem superficial do caso D

4.2.4.1. Faixas de rodagem com 2 vias

Em primeiro lugar são apresentados os resultados obtidos para os troços dimensionados para velocidades de tráfego de 80 km/h:

Quadro 4.39 – Resultados obtidos para o caso D, $V_t=80$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias

Curva	l (m)	p ()
1	36,62	0,0039
2	20,41	0,0024
3	16,78	0,0022
4	14,67	0,0021
5	13,28	0,0021
6	12,20	0,0024

Quadro 4.40- Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso D, Vt=80 km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	36,62	0,0039	25	25	194,42	0,03	4,04	67,5	75,2
	20,41	0,0024	25	25	108,36	0,04	3,40	70,6	75,8
	16,78	0,0022	25	25	89,09	0,04	3,12	72,2	76,1
	14,67	0,0021	25	25	77,89	0,04	2,92	73,4	76,3
	13,28	0,0021	25	25	70,51	0,04	2,75	74,6	76,5
	12,20	0,0024	25	25	64,72	0,04	2,48	76,6	76,9

Quadro 4.41-Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso D, Vt=80 km/h, 2 vias)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
80	36,62	0,0039	25	25	4,82	64,5	15,0	14,6	74,6
	20,41	0,0024	25	25	4,41	66,0	15,1	14,7	74,9
	16,78	0,0022	25	25	4,13	67,1	15,1	14,8	75,1
	14,67	0,0021	25	25	3,91	68,1	15,2	14,9	75,3
	13,28	0,0021	25	25	3,70	69,1	15,2	14,9	75,5
	12,20	0,0024	25	25	3,29	71,2	15,3	15,1	75,9

Quadro 4.42-Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, Vt=80 km/h, 2 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	36,62	0,0039	25	15	194,42	0,03	2,05	80,5	77,7
	20,41	0,0024	25	15	108,36	0,03	1,61	85,7	79,2
	16,78	0,0022	25	15	89,09	0,03	1,45	88,0	79,8
	14,67	0,0021	25	15	77,89	0,04	1,34	89,8	80,3
	13,28	0,0021	25	15	70,51	0,04	1,26	91,3	80,7
	12,20	0,0024	25	15	64,72	0,04	1,15	93,5	81,3

De seguida apresentam-se os resultados relativos à velocidade de tráfego de 100 km/h:

Quadro 4.43 - Resultados obtidos para o caso D, Vt=100 km/h com faixas de rodagem de 2 vias

Curva	l (m)	p ()
1	22,13	0,0014
2	14,5	0,0012
3	12,88	0,0012
4	11,9	0,0014
5	11,19	0,0016
6	10,61	0,002

Quadro 4.44 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, Vt=100 km/h, 2 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	22,13	0,0014	15	5	70,50	0,03	0,61	110,1	85,3
	14,5	0,0012	15	5	46,19	0,04	0,39	123,4	88,3
	12,88	0,0012	15	5	41,03	0,04	0,33	129,3	89,4
	11,9	0,0014	15	5	37,91	0,04	0,26	137,2	91,0
	11,19	0,0016	15	5	35,65	0,05	0,21	145,5	92,6
	10,61	0,002	15	5	33,80	0,05	0,15	159,2	95,0

Para finalizar a apresentação de cálculos do caso D em faixas de rodagem com 2 vias apresentam-se os resultados relativos à velocidade de tráfego de 120 km/h:

Quadro 4.45 - Resultados obtidos para o caso D, $V_t=120$ km/h com faixas de rodagem de 2 vias

Curva	l (m)	p ()
1	17,58	0,0008
2	13,21	0,0009
3	12,18	0,0011
4	11,49	0,0013
5	10,96	0,0016
6	10,48	0,0021

Quadro 4.46 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=120$ km/h, 2 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	i_p (mm/h)	i_{pe} (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V_h Agr. (km/h)	V_h Gal. (km/h)
120	17,58	0,0008	15	5	56,00	0,03	0,58	111,4	85,6
	13,21	0,0009	15	5	42,08	0,04	0,39	123,3	88,2
	12,18	0,0011	15	5	38,80	0,04	0,31	130,7	89,7
	11,49	0,0013	15	5	36,60	0,04	0,26	137,9	91,2
	10,96	0,0016	15	5	34,91	0,05	0,20	147,4	92,9
	10,48	0,0021	15	5	33,38	0,05	0,13	163,1	95,7

4.2.4.2. Faixas de rodagem com 3 vias

Após a análise da faixa de rodagem com 2 vias, apresentam-se os resultados obtidos relativos a uma faixa de rodagem mais larga que a anterior, 3 vias de circulação por faixa de rodagem:

Quadro 4.47 – Resultados obtidos para o caso D, $V_t=80$ km/h com faixas de rodagem de 3 vias

Curva	l (m)	p ()
1	53,09	0,0056
2	30,04	0,0035
3	24,86	0,0032
4	21,82	0,0031
5	19,82	0,0032
6	18,28	0,0035

Quadro 4.48 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=80$ km/h, 3 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
80	53,09	0,0056	25	15	281,87	0,03	2,34	77,8	77,1
	30,04	0,0035	25	15	159,49	0,03	1,87	82,4	78,3
	24,86	0,0032	25	15	131,99	0,03	1,71	84,4	78,8
	21,82	0,0031	25	15	115,85	0,03	1,59	86,0	79,3
	19,82	0,0032	25	15	105,23	0,04	1,49	87,4	79,7
	18,28	0,0035	25	15	97,05	0,04	1,39	89,0	80,1

Quadro 4.49 - Resultados obtidos para o caso D, $V_t=100$ km/h com faixas de rodagem de 3 vias

Curva	l (m)	p ()
1	32,46	0,0021
2	21,58	0,0017
3	19,26	0,0018
4	17,85	0,002
5	16,85	0,0023
6	16,03	0,0028

Quadro 4.50 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=100$ km/h, 3 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	32,46	0,0021	15	5	103,40	0,03	0,77	103,6	83,8
	21,58	0,0017	15	5	68,74	0,04	0,55	112,9	86,0
	19,26	0,0018	15	5	61,35	0,04	0,48	117,4	87,0
	17,85	0,002	15	5	56,86	0,04	0,41	121,9	87,9
	16,85	0,0023	15	5	53,68	0,04	0,36	126,7	88,9
	16,03	0,0028	15	5	51,06	0,05	0,29	133,0	90,2

Quadro 4.51 - Resultados obtidos para o caso D, $V_t=120$ km/h com faixas de rodagem de 3 vias

Curva	l (m)	p ()
1	26,08	0,0012
2	19,8	0,0013
3	18,33	0,0015
4	17,37	0,0018
5	16,62	0,0022
6	15,95	0,0029

Quadro 4.52 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso D, $V_t=120$ km/h, 3 vias)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	i_p (mm/h)	i_{pe} (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V_h Agr. (km/h)	V_h Gal. (km/h)
120	26,08	0,0012	15	5	83,08	0,03	0,75	104,4	84,0
	19,8	0,0013	15	5	63,07	0,03	0,56	112,7	85,9
	18,33	0,0015	15	5	58,39	0,04	0,48	117,0	86,9
	17,37	0,0018	15	5	55,33	0,04	0,42	121,5	87,8
	16,62	0,0022	15	5	52,94	0,04	0,36	126,6	88,9
	15,95	0,0029	15	5	50,81	0,05	0,29	134,1	90,4

Em resumo, no caso D, existe um comportamento distinto entre o betão betuminoso e o betão betuminoso drenante. Devida à baixa inclinação média da linha de corrente, o betão betuminoso não proporciona uma boa drenagem nestas situações geométricas para a intensidade de precipitação considerada. Pelo contrário, o betão betuminoso drenante, considerando que consegue ainda exercer a função à qual está destinado, proporciona lâminas de água com espessuras que permitem que os veículos circulem a velocidades próximas da velocidade de tráfego para o troço em questão. Isto acontece porque, uma vez que o perfil transversal igual a 0 se situa no mesmo ponto onde a inclinação longitudinal no eixo de referência, existe uma separação das linhas de corrente pelo lado do trainel em relação ao ponto mais alto, assim as linhas de corrente possuem na generalidade comprimentos próximos à largura total da faixa de rodagem e então menos quantidade de água a drenar pelo ponto por onde esta linha sai da zona de rodagem quando comparado com o caso C. Para finalizar é verificável por comparação de quadros respetivos às mesmas velocidades de tráfego que quanto mais larga é a faixa de rodagem, maior serão as espessuras das lâminas de água devido a uma maior concentração de água e por consequência, as velocidades críticas de hidroplanagem são ligeiramente inferiores.

4.2.5. CASO E

Devido à sobreposição do perfil transversal com inclinação igual a 0 e o ponto mais baixo do eixo da rasante na concordância côncava, existem grandes concentrações de água que drenam para o ponto mais baixo real. Este ponto mais baixo não coincide com o ponto mais baixo do eixo da rasante, tal como é explicado no ponto 3.4.7 do presente trabalho. Assim através do recurso ao *software Autocad* foi obtido um comprimento fictício de 312,41 metros, retirados da seguinte disposição da drenagem superficial crítica:

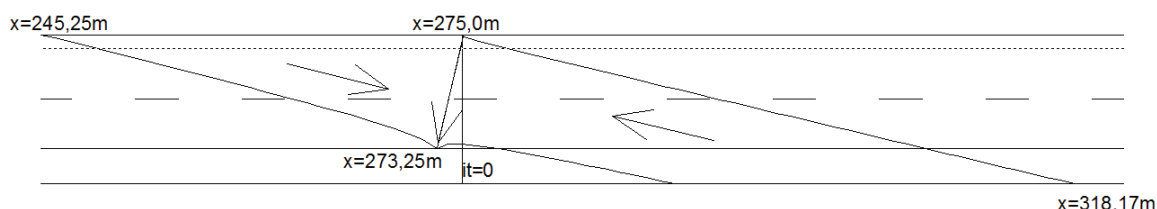


Fig. 4.5 – Drenagem superficial crítica no Caso E

A cota dos ponto (275,0; -1) e (273,25; 7) segundo cálculos idênticos aos apresentados no ponto 3.4.7 é igual a:

$$y_{1(275;-1)} = -0,05 \times 275 + \frac{275^2}{2 \times 5500} \Leftrightarrow y_{(275;-1)} = -6,875 \text{ m}$$

$$y_{2(273,25;7)} = -0,05 \times 273,25 + \frac{273,25^2}{2 \times 5500} - \left(0,025 - 0,025 \times \frac{(273,25 + 275)}{550} \right) \times 7$$

$$y_{(298,62;7)} = -6,87528 \text{ m}$$

A distância em reta entre estes dois pontos é de 8,12 metros (obtida pelo *software Autocad*). Assim a inclinação dominante da linha de escoamento fictícia é de:

$$p = \frac{-6,87528 + (-6,875)}{8,12} = 0,000034 \text{ m/m}$$

A partir desta inclinação que pode ser considerada plana devido à sua grandeza e o comprimento da linha de corrente fictícia de 312,41 metros, a velocidade crítica de hidroplanagem em betão betuminoso drenante é indicado no seguinte quadro:

Quadro 4.53 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso E)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	312,41	0,000034	15	5	995,19	0,00	5,77	61,5	74,0

Como é visível, e tendo em comparação outros casos em que a camada de desgaste é constituída por uma mistura de betão betuminoso drenante, a velocidade crítica de hidroplanagem é extremamente baixa. Para casos anteriores onde a camada de desgaste é da mesma mistura betuminosa e a

intensidade de precipitação considerada é igual, o valor da velocidade crítica mais baixo ronda os 90 km/h. Neste caso existe uma redução de cerca de 16 km/h. Esta situação era previsível pelo cálculo da variável ω . Este variável que em situação normais possui valor com ordem de grandeza nas centenas, para este caso é igual a:

$$\omega = \frac{l}{\sqrt{p}} = \frac{312,41}{\sqrt{0,000034}} = 53578$$

A partir da análise deste caso é possível afirmar que a colocação de inclinação transversal igual a 0 próximo do ponto mais baixo de uma concordância côncava é de evitar totalmente. Assim, sempre que é necessário realizar disfarce de sobre-elevação com mudança do sinal da inclinação transversal, é preciso ter em atenção a distância entre os pontos de inclinação igual a 0, seja longitudinal ou transversal.

4.2.6. CASO F

O caso F descrito no capítulo 3 é relativo à realização do disfarce de sobre-elevação através do modelo parabólico sofisticado. Para este caso foi colocada a mesma curva de transição para raios distintos da concordância convexa. Realizados para a velocidade de tráfego de 120 km/h, é de salientar que apenas raios de concordância convexa superiores a 14000 metros seriam aceitáveis segundo as normas.

No entanto para melhor perceber a evolução do risco de hidroplanagem com a mudança de raio das curvas verticais, nomeadamente a diminuição progressiva do raio, foram avaliados casos com raios incompatíveis segundo as Normas do Traçado. Para além deste aspeto, foi considerado o aspeto mencionado no ponto 2.3.11.3 relativo ao comprimento máximo a aplicar às curvas de transição para o modelo parabólico tipo 2. Assim foram estudadas curvas de transição com 80 metros de comprimento e 2,5% de sobre-elevação. A faixa de rodagem considerada é relativa a uma faixa de uma estrada de faixas separadas com 3 vias cada. Os raios das curvas convexas aplicados foram os seguintes:

- R=14000m;
- R=10000m;
- R=7000m;
- R=3500m.

A disposição geométrica das do caso F e a drenagem superficial assemelham-se às do caso B, relativo ao modelo de disfarce linear. No entanto, o comprimento das linhas de corrente é menor:

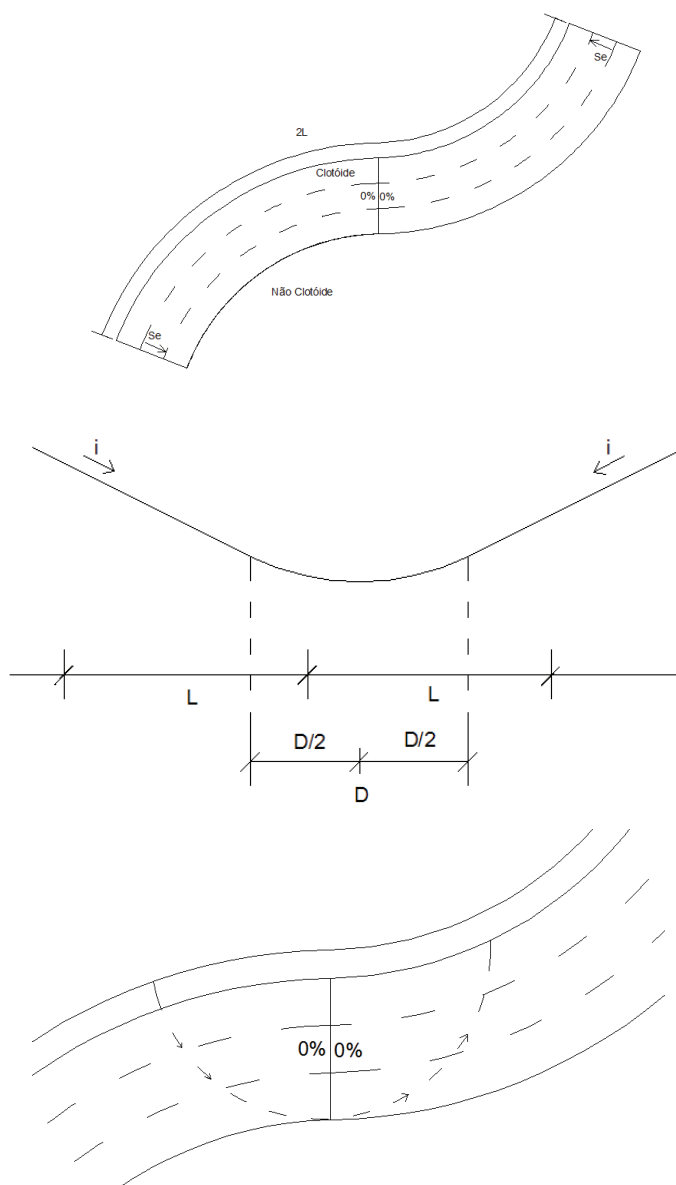


Fig. 4.6 - Perfil em planta, longitudinal e esboço da linha de corrente (Caso F)

Para este caso foram obtidos os seguintes resultados:

Quadro 4.54 – Resultados obtidos para o caso D, $V_t=120$ km/h com o modelo de disfarce parabólico (sofisticado)

Raio (m)	l (m)	p ()
14000	37,7	0,0075
10000	38,2	0,0079
7000	39,49	0,0084
3500	43,67	0,0106

Quadro 4.55 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso F)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	I (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
120	37,7	0,0075	15	15	120,09	0,04	2,37	77,5	77,1
	38,2	0,0079	15	15	121,69	0,04	2,34	77,8	77,1
	39,49	0,0084	15	15	125,80	0,04	2,33	77,8	77,1
	43,67	0,0106	15	15	139,11	0,03	2,27	78,3	77,2

Quadro 4.56 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso F)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	I (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
120	37,7	0,0075	15	15	2,45	76,9	15,5	15,4	77,0
	38,2	0,0079	15	15	2,40	77,3	15,5	15,4	77,0
	39,49	0,0084	15	15	2,37	77,5	15,5	15,5	77,1
	43,67	0,0106	15	15	2,22	78,8	15,6	15,5	77,3

Quadro 4.57 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso F)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	I (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
120	37,7	0,0075	15	5	120,09	0,04	0,59	111,1	85,6
	38,2	0,0079	15	5	121,69	0,04	0,59	111,2	85,6
	39,49	0,0084	15	5	125,80	0,04	0,60	110,8	85,5
	43,67	0,0106	15	5	139,11	0,05	0,61	110,2	85,3

Apesar das velocidades críticas de hidroplanagem obtidas em análise serem inferiores à velocidade de tráfego considerada, é possível afirmar que em relação ao modelo linear (caso C) existe um considerável aumento do valor desta velocidade. Tendo em atenção ao Quadro (4.25) relativo à aplicação do modelo linear numa curva de transição que oscula com uma curva circular cujo valor de sobre-elevação é de 2,5% tal como o deste caso estudado, verificasse que a velocidade crítica varia de 93,1 km/h para 111,1 km/h. Este aumento é significativo uma vez que a redução que um condutor

necessitaria de fazer para que não tivesse problemas de segurança relacionados com a hidroplanagem dinâmica seria muito menor e até o prejuízo de tempo provocado em viagem seria consideravelmente inferior.

Para além disto é possível verificar que a mudança do valor do raio da curva vertical, não se tornar significativa em função do modelo de disfarce aplicado. Este facto sugere que a mudança do raio da curva vertical não será tão importante em relação às características do disfarce de sobre-elevação nomeadamente a inclinação secundária aplicada, o comprimento da curva de transição no modelo linear, o valor da sobre-elevação aplicada.

4.2.7. CASO G

O caso G é importante para verificar que quando existem curvas circulares com o mesmo sentido praticamente consecutivas, onde existe uma pequena extensão reta entre elas, não seria necessária ocorrer um disfarce de sobre-elevação com mudança de sinal na via de extradorso. A curva de transição estudada possui um modelo linear de disfarce e a sobre-elevação aplicada em curva circular é de 5%.

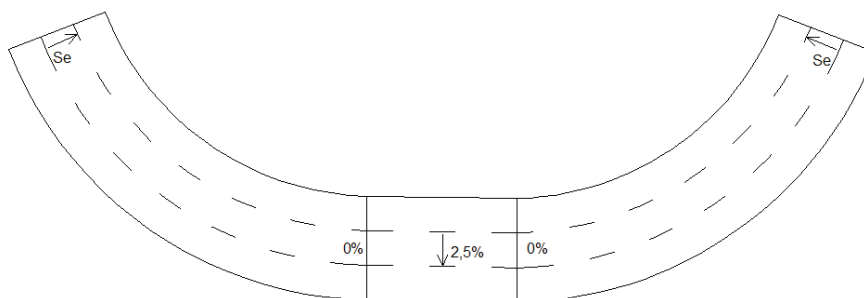


Fig. 4.7 – Disposição geométrica do caso G

Seguidamente apresentam-se os resultados deste estudo:

Quadro 4.58 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Anderson (Caso G)

Betão betuminoso (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	48,58	0,0129	15	15	154,75	0,03	2,25	78,5	77,2

Quadro 4.59 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso segundo Gallaway (Caso G)

Betão betuminoso (Gallaway)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	A1	A2	V _h Gal. (km/h)
100	48,58	0,0129	15	15	2,13	79,7	15,6	15,6	77,5

Quadro 4.60 - Velocidades críticas de hidroplanagem para betão betuminoso drenante segundo Anderson (Caso G)

Betão betuminoso drenante (Anderson)									
VT	l (m)	p ()	ip (mm/h)	ipe (mm/h)	Nr	n	h (mm)	V _h Agr. (km/h)	V _h Gal. (km/h)
100	48,58	0,0129	15	5	154,75	0,05	0,63	109,0	85,1

Através dos quadros anteriores é possível verificar que o betão betuminoso drenante é o único que conseguia proporcionar uma adequada drenagem para as variáveis aplicadas. No entanto, se for considerado que o disfarce de sobre-elevação se efetua sem que haja inversão do sinal. A drenagem assemelha-se ao caso A, onde tal como esta nova situação, a inclinação transversal mínima seria 2,5% e não haveria retorno na linha de corrente em função da mudança de sinal da inclinação transversal do pavimento. Assim, através de uma visualização dos Quadros (4.6), (4.7) e (4.8) verifica-se que as velocidades com esta situação seriam francamente superiores às que ocorreriam através de um troço que obedeça às condicionantes geométricas impostas pelas Normas do Traçado (ex-JAE,1994).

5

CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hidroplanagem é, como foi possível verificar pelo trabalho realizado, um fenómeno problemático para circulação de veículos automóveis em dias de condições meteorológicas adversas. Ao longo do trabalho foram calculadas inúmeras velocidades críticas de hidroplanagem dinâmica, sendo que a gama de valores obtidos através dos cálculos indicou que a hidroplanagem dinâmica acontece a velocidades superiores a 73 km/h. Estes valores de velocidades críticas são extremamente baixas tendo em consideração que algumas das vias analisadas possuem velocidades de tráfego de 120 km/h.

Uma variável que tem grande influência nestes valores é a intensidade de precipitação. No entanto, o valor a admitir para esta variável é complexa uma vez que existe, como foi demonstrado na revisão bibliográfica, diferentes pontos de vista de vários autores. O risco de hidroplanagem existente para uma determinada intensidade de precipitação, num troço em análise, pode não se manifestar em intensidades inferiores e vice-versa. Na realização deste trabalho, foram consideradas intensidades de precipitação relativamente baixas tendo em conta as considerações de outros autores. Assim o risco de ocorrência de hidroplanagem determinadas neste trabalho continuariam a manifestar-se para estudos cujas intensidades de precipitação fossem maiores.

O objetivo inicial desta dissertação seria verificar que os raios grandes exigidos pelas Normas do Traçado por razões de visibilidade seriam incompatíveis para um bom desempenho de um pavimento em relação à drenagem superficial. No entanto, após uma análise de diversos casos, com concordâncias convexas ou côncavas de diferentes raios, com a aplicação do modelo de disfarce linear e do modelo parabólico de 3º grau, ou apenas em troços em reta, o autor conclui que o objetivo proposto não se manifesta. De facto, verificou-se que com a diminuição do raio das curvas verticais existiam melhorias relativamente ao risco de hidroplanagem. No entanto, essa melhoria é tão reduzida, que o autor admite que a ocorrência do fenómeno da hidroplanagem não está relacionada com a grandeza do raio da curva vertical.

O mesmo não pode ser considerado para o modelo de disfarce de sobre-elevação, que possui grande influência no fenómeno em estudo. A diferença de resultados obtidos entre o modelo linear e o modelo parabólico ilustram o facto de o último modelo possuir uma inclinação secundária em relação ao eixo de cerca de 1% no ponto onde a inclinação transversal é nula. Isto traduz que esta inclinação secundária é uma variável chave neste fenómeno.

É importante salientar que, principalmente em concordâncias côncavas, o disfarce de sobre-elevação deve se situar relativamente afastado dos pontos de inclinação nula das curvas verticais. Este aspeto é

principalmente importante para a inclinação transversal igual a 0%, que localizada próxima de um ponto baixo possibilita a concentração de grande quantidade de água nesta zona.

Verificou-se que as camadas de desgaste drenantes não colmatadas são indispensáveis em zonas onde a largura da faixa de rodagem é um problema acrescido para o fenómeno em estudo, nomeadamente na formação de maiores espessuras de lâminas de água por maior acumulação de água.

Por último, é importante salientar que a ocorrência de hidroplanagem entre curvas com o mesmo sentido nas vias de extradorso poderia ser evitado se não fosse realizado o disfarce de sobre-elevação com mudança de sinal da inclinação transversal. Esta situação pode ser considerada praticável uma vez que não traria problemas de segurança.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O desenvolvimento do tema deste trabalho poderia passar pela aplicação de métodos de cálculo idênticos ou programas próprios em casos práticos, nomeadamente em pontos onde a incidência de acidentes, cujas causas poderiam incluir o fenómeno em estudo, seja considerável. A partir daí, a criação de base de dados com características geométricas problemáticas tornariam a previsão de ocorrência do fenómeno numa determinada secção seria facilitado.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, D., Huebner, R., Reed, J., Warner, J., Henry, J. (1998). *Improved Surface Drainage of Pavement, Final Report*. NCHRP - National Cooperative Highway Research Program. TRB - National Research Council, Washington.
- Branco, F., Pereira, P., Picado Santos, L. (2006). *Pavimentos Rodoviários*. Coimbra, Edições Almedina
- Chesterton, J., Nancekivell, N., Tunnicliffe, N. (2006) - *The Use of the Gallaway Formula for Aquaplaning Evaluation in New Zealand*. Transportation and the Pursuit of Excellence, NZIHT & Transit NZ 8th Annual Conference.
- Comfort, G. (2001). *Wet Runway Friction: Literature and Information Review*. Prepared for Transportation Development Centre, On behalf of Aerodrome Safety Branch Transport Canada.
- JAE (1994) - *Normas de Traçado*. Junta Autónoma de Estradas.
- França, A. (1988) - *A Comodidade e a Segurança como Critérios Condicionantes da Geometria de Traçado*. Tese de Doutoramento. FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- França, A. (2011a) – *Apontamentos de Vias de Comunicação II*, FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- França, A. (2011b) – *Apontamentos de Complementos de Estradas e Aeródromos*, FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Francisco, V. (2009) - *A Drenagem Superficial e o seu Impacto Funcional e Estrutural na Vida dos Pavimentos Rodoviário*. Dissertação de Mestrado. FEUP – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- Horne, W. B., Dreher, R. C. (1963) - *Phenomena of Pneumatic Tire Hydroplaning*. National Aeronautics and Space Administration. Langley Research Center, Langley Station, Washington.
- Horne, W. B., Yager, T., Ivey, D. (1986). *Recent Studies to Investigate Effects of Tire Footprint Aspect Ratio on Dynamic Hydroplaning Speed*. ASTM STP 929, Philadelphia.
- Huebner, R. S., Reed, J., Henry, J. (1986). *Criteria for Predicting Hydroplaning Potential*. Journal of Transportation Engineering 112(5): 549-553.
- Lencastre, A., Franco, F.M. (1992) – capítulo 3. *Lições de Hidrologia*. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Fundação Armando Lencastre.
- Lucas, J. (1969) – *Rugosité géométrique et conditions d'écoulement de l'eau sur les chaussées*. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 39: 73-84.
- Pereira, A. (2010). *Caracterização Acústica de Pavimentos Rodoviários e Influência na Emissão Sonora*. Dissertação de Mestrado. FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Ribeiro, J. (1995) - *Análise do Comportamento de Camadas de Desgaste Drenantes com Materiais Graníticos*. Dissertação de Doutoramento. FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto.
- Rodrigues Filho, O. (2006) - *Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas*. Dissertação de Mestrado, ITA, São Paulo.

Salpico, F. (2009) - *Estudo de Segurança Rodoviária, O Perigo Grave de Hidroplanagem nas Estradas Portuguesas – Formulação de Cálculo e Propostas para Resolução de Problemas*. OSEC – Observatório de segurança de Estradas e Cidades.

Silva, J. (2008) - *Aderência Pneu-Pavimento em Revestimentos Asfálticos Aeroportuários*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia.

Soares, A. (2011) - *Análise de Ocorrência de Hidroplanagem num caso real*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.

ANEXOS A1

APRESENTAÇÃO DAS TABELAS DE CÁLCULO DAS LINHAS DE CORRENTE ANALISADAS NO CAPÍTULO 4

Ao longo deste anexo são apresentadas as tabelas utilizadas para o cálculo das linhas de corrente apresentadas ao longo do capítulo 4. Assim as tabelas aqui apresentadas terão a seguinte configuração:

x (m)	z (m)	il	it	i	t (m)	d (m)	d*i
537,6	-1	3,51E-06	0,000632	0,000632	180,0526	1,000015	0,000632
537,5944	0	0,000267	0,000633	0,000687	2,368421	1,085482	0,000746
537,1722	1	0,000578	0,000744	0,000942	1,28852	1,265822	0,001192
536,3961	2	0,000927	0,000948	0,001326	1,022752	1,398572	0,001855
535,4184	3	0,0013	0,001206	0,001773	0,927679	1,364034	0,002418
534,4184	3,927679	0,001656	0,001469	0,002213	0,887155	1,336804	0,002959
533,4184	4,814835	0,002001	0,001732	0,002647	0,865496	1,322529	0,0035
532,4184	5,68033	0,002341	0,001995	0,003076	0,852228	1,313884	0,004041
531,4184	6,532558	0,002678	0,002258	0,003503	0,843374	1,308159	0,004582
530,4184	7,375932	0,003012	0,002521	0,003928	0,837101	0,175459	0,000689
530,2943	7,5						

$\Sigma = 11,57076 \quad 0,022615$

Resumidamente apresenta-se o significado de cada coluna:

x [m] - Posição longitudinal da gota de água;

z [m]- Posição transversal da gota de água;

il []- inclinação longitudinal do ponto (X;Z) onde se encontra a gota teórica;

it []- inclinação transversal do ponto (X;Z) onde se encontra a gota teórica;

i [] – inclinação do ponto (X;Z) onde se encontra a gota de água;

t [m]- incremento transversal por metro longitudinal;

d [m]- deslocamento real em cada avanço;

d*i – múltiplo usado para calcular a inclinação crítica.

Tabelas de cálculos do Caso A

<table><tr><td>i</td><td>0,06</td></tr><tr><td>R</td><td>5000</td></tr><tr><td>D/2</td><td>300</td></tr></table>		i	0,06	R	5000	D/2	300	<table><tr><td>Se</td><td>-</td></tr><tr><td>L</td><td>-</td></tr><tr><td>Vt</td><td>80</td></tr></table>		Se	-	L	-	Vt	80
i	0,06														
R	5000														
D/2	300														
Se	-														
L	-														
Vt	80														
X	t	il	it	i	t	d									
299,00	0,00	0,0002	0,0250	0,0250	125,00	1,00	0,0250								
298,99	1,00	0,0002	0,0250	0,0250	124,01	1,00	0,0250								
298,98	2,00	0,0002	0,0250	0,0250	123,02	1,00	0,0250								
298,98	3,00	0,0002	0,0250	0,0250	122,05	0,50	0,0125								
298,97	3,50	0,0002	0,0250	0,0250	121,08										
				l	Σ(d*i)										
				3,50	0,0875										
				p=	0,0250										

<table><tr><td>i</td><td>0,06</td></tr><tr><td>R</td><td>5000</td></tr><tr><td>D/2</td><td>300</td></tr></table>		i	0,06	R	5000	D/2	300	<table><tr><td>Se</td><td>-</td></tr><tr><td>L</td><td>-</td></tr><tr><td>Vt</td><td>80</td></tr></table>		Se	-	L	-	Vt	80
i	0,06														
R	5000														
D/2	300														
Se	-														
L	-														
Vt	80														
X	t	il	it	i	t	d									
299,00	-1,00	0,0002	0,0250	0,0250	125,00	1,00	0,0250								
298,99	0,00	0,0002	0,0250	0,0250	124,01	1,00	0,0250								
298,98	1,00	0,0002	0,0250	0,0250	123,02	1,00	0,0250								
298,98	2,00	0,0002	0,0250	0,0250	122,05	1,00	0,0250								
298,97	3,00	0,0002	0,0250	0,0250	121,08	1,00	0,0250								
298,96	4,00	0,0002	0,0250	0,0250	120,12	1,00	0,0250								
298,95	5,00	0,0002	0,0250	0,0250	119,16	1,00	0,0250								
298,94	6,00	0,0002	0,0250	0,0250	118,22	1,00	0,0250								
298,93	7,00	0,0002	0,0250	0,0250	117,28										
				l	Σ(d*i)										
				8,000	0,2000										
				p=	0,0250										

<table><tr><td>i</td><td>0,06</td></tr><tr><td>R</td><td>5000</td></tr><tr><td>D/2</td><td>300</td></tr></table>		i	0,06	R	5000	D/2	300	<table><tr><td>Se</td><td>-</td></tr><tr><td>L</td><td>-</td></tr><tr><td>Vt</td><td>80</td></tr></table>		Se	-	L	-	Vt	80
i	0,06														
R	5000														
D/2	300														
Se	-														
L	-														
Vt	80														
X	t	il	it	i	t	d									
299,00	-1,00	0,0002	0,0250	0,0250	125,00	1,00	0,0250								
298,99	0,00	0,0002	0,0250	0,0250	124,01	1,00	0,0250								
298,98	1,00	0,0002	0,0250	0,0250	123,02	1,00	0,0250								
298,98	2,00	0,0002	0,0250	0,0250	122,05	1,00	0,0250								
298,97	3,00	0,0002	0,0250	0,0250	121,08	1,00	0,0250								
298,96	4,00	0,0002	0,0250	0,0250	120,12	1,00	0,0250								
298,95	5,00	0,0002	0,0250	0,0250	119,16	1,00	0,0250								
298,94	6,00	0,0002	0,0250	0,0250	118,22	1,00	0,0250								
298,93	7,00	0,0002	0,0250	0,0250	117,28	1,00	0,0250								
298,93	8,00	0,0002	0,0250	0,0250	116,35	1,00	0,0250								
298,92	9,00	0,0002	0,0250	0,0250	115,43	1,00	0,0250								
298,9	10	0,0002	0,025	0,025	114,51	0,50	0,013								
298,9	10,5	0,0002	0,025	0,025	114,05										
				l	Σ(d*i)										
				11,50	0,2875										
				p=	0,0250										

 | | | | | | | | | | | | | | | | | |--|------|--------|--------|--------|---------|-------|--------|--|--|----|---|---|---|----|-----| | <table><tr><td>i</td><td>0,05</td></tr><tr><td>R</td><td>9000</td></tr><tr><td>D/2</td><td>450</td></tr></table> | | i | 0,05 | R | 9000 | D/2 | 450 | <table><tr><td>Se</td><td>-</td></tr><tr><td>L</td><td>-</td></tr><tr><td>Vt</td><td>100</td></tr></table> | | Se | - | L | - | Vt | 100 | | i | 0,05 | | | | | | | | | | | | | | | | R | 9000 | | | | | | | | | | | | | | | | D/2 | 450 | | | | | | | | | | | | | | | | Se | - | | | | | | | | | | | | | | | | L | - | | | | | | | | | | | | | | | | Vt | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | X | t | il | it | i | t | d | | | | | | | | | | | 449,00 | 0,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 225,000 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 449,00 | 1,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 224,004 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,99 | 2,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 223,013 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,99 | 3,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 222,026 | 0,500 | 0,0125 | | | | | | | | | | 448,98 | 3,50 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 221,044 | | | | | | | | | | | | | | | | l | Σ(d*i) | | | | | | | | | | | | | | | | 3,500 | 0,0875 | | | | | | | | | | | | | | | | p= | 0,0250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |--|------|--------|--------|--------|---------|-------|--------|--|--|----|---|---|---|----|-----| | <table><tr><td>i</td><td>0,05</td></tr><tr><td>R</td><td>9000</td></tr><tr><td>D/2</td><td>450</td></tr></table> | | i | 0,05 | R | 9000 | D/2 | 450 | <table><tr><td>Se</td><td>-</td></tr><tr><td>L</td><td>-</td></tr><tr><td>Vt</td><td>100</td></tr></table> | | Se | - | L | - | Vt | 100 | | i | 0,05 | | | | | | | | | | | | | | | | R | 9000 | | | | | | | | | | | | | | | | D/2 | 450 | | | | | | | | | | | | | | | | Se | - | | | | | | | | | | | | | | | | L | - | | | | | | | | | | | | | | | | Vt | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | X | t | il | it | i | t | d | | | | | | | | | | | 449,00 | 1,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 225,000 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 449,00 | 0,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 224,004 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,99 | 1,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 223,013 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,99 | 2,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 222,026 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,98 | 3,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 221,044 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,98 | 4,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 220,066 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,97 | 5,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 219,092 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,97 | 6,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 218,123 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,96 | 7,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 217,158 | | | | | | | | | | | | | | | | l | Σ(d*i) | | | | | | | | | | | | | | | | 8,000 | 0,2000 | | | | | | | | | | | | | | | | p= | 0,0250 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |--|------|--------|--------|--------|---------|-------|--------|--|--|----|---|---|---|----|-----| | <table><tr><td>i</td><td>0,05</td></tr><tr><td>R</td><td>9000</td></tr><tr><td>D/2</td><td>450</td></tr></table> | | i | 0,05 | R | 9000 | D/2 | 450 | <table><tr><td>Se</td><td>-</td></tr><tr><td>L</td><td>-</td></tr><tr><td>Vt</td><td>100</td></tr></table> | | Se | - | L | - | Vt | 100 | | i | 0,05 | | | | | | | | | | | | | | | | R | 9000 | | | | | | | | | | | | | | | | D/2 | 450 | | | | | | | | | | | | | | | | Se | - | | | | | | | | | | | | | | | | L | - | | | | | | | | | | | | | | | | Vt | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | X | t | il | it | i | t | d | | | | | | | | | | | 449,00 | 1,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 225,000 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 449,00 | 0,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 224,004 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,99 | 1,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 223,013 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,99 | 2,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 222,026 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,98 | 3,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 221,044 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,98 | 4,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 220,066 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,97 | 5,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 219,092 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,97 | 6,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 218,123 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,96 | 7,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 217,158 | 1 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,96 | 8,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 216,197 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 448,95 | 9,00 | 0,0001 | 0,0250 | 0,0250 | 215,240 | 1,000 | 0,0250 | | | | | | | | | | 449 | 10 | 0,0001 | 0,025 | 0,025 | 214,29 | 0,5 | 0,013 | | | | | | | | | | 448,9 | 11 | 0,0001 | 0,025 | 0,025 | 213,81 | | | | | | | | | | | | | | | | l | Σ(d*i) | | | | | | | | | | | | | | | | 11,500 | 0,2875 | | | | | | | | | | | | | | | | p= | 0,0250 | | | | | | | | | | | |

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	-
L	-
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
559,00	0,00	0,0001	0,0250	0,0250	350,00	1,00	0,0250
559,00	1,00	0,0001	0,0250	0,0250	349,00	1,00	0,0250
558,99	2,00	0,0001	0,0250	0,0250	348,01	1,00	0,0250
558,99	3,00	0,0001	0,0250	0,0250	347,02	0,75	0,0188
558,99	3,75	0,0001	0,0250	0,0250	346,03		

l $\Sigma(d \cdot i)$
3,75 0,0938

p= 0,0250

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	-
L	-
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
559,00	-1,00	0,0001	0,0250	0,0250	350,00	1,00	0,0250
559,00	0,00	0,0001	0,0250	0,0250	349,00	1,00	0,0250
558,99	1,00	0,0001	0,0250	0,0250	348,01	1,00	0,0250
558,99	2,00	0,0001	0,0250	0,0250	347,02	1,00	0,0250
558,99	3,00	0,0001	0,0250	0,0250	346,03	1,00	0,0250
558,99	4,00	0,0001	0,0250	0,0250	345,04	1,00	0,0250
558,98	5,00	0,0001	0,0250	0,0250	344,06	1,00	0,0250
558,98	6,00	0,0001	0,0250	0,0250	343,08	1,00	0,0250
558,98	7,00	0,0001	0,0250	0,0250	342,10	0,50	0,0125
558,98	7,50	0,0001	0,0250	0,0250	341,61		

l $\Sigma(d \cdot i)$
8,50 0,2125

p= 0,0250

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	-
L	-
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
559,00	-1,00	0,0001	0,0250	0,0250	350,00	1,00	0,0250
559,00	0,00	0,0001	0,0250	0,0250	349,00	1,00	0,0250
558,99	1,00	0,0001	0,0250	0,0250	348,01	1,00	0,0250
558,99	2,00	0,0001	0,0250	0,0250	347,02	1,00	0,0250
558,99	3,00	0,0001	0,0250	0,0250	346,03	1,00	0,0250
558,99	4,00	0,0001	0,0250	0,0250	345,04	1,00	0,0250
558,98	5,00	0,0001	0,0250	0,0250	344,06	1,00	0,0250
558,98	6,00	0,0001	0,0250	0,0250	343,08	1,00	0,0250
558,98	7,00	0,0001	0,0250	0,0250	342,10	1,00	0,0250
558,97	8,00	0,0001	0,0250	0,0250	341,13	1,00	0,0250
558,97	9,00	0,0001	0,0250	0,0250	340,16	1,00	0,0250
559	10,00	7E-05	0,025	0,025	339,19	1,00	0,025
559	11,00	7E-05	0,025	0,025	338,22	0,25	0,006
559	11,25	7E-05	0,025	0,025	337,98		

l $\Sigma(d \cdot i)$
12,25 0,3063

p= 0,0250

Tabelas de cálculos do Caso B

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	2,5
L	550
Vt	100

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3
L	330
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0095	-0,0100	0,0138	-1,05	1,38	0,019
449,05	8,50	0,0086	-0,0090	0,0125	-1,05	1,38	0,017
448,09	7,50	0,0077	-0,0081	0,0112	-1,04	1,38	0,015
447,13	6,50	0,0068	-0,0071	0,0099	-1,04	1,39	0,014
446,17	5,50	0,0059	-0,0061	0,0085	-1,04	1,39	0,012
445,21	4,50	0,0050	-0,0052	0,0072	-1,03	1,39	0,010
444,24	3,50	0,0041	-0,0042	0,0059	-1,02	1,40	0,008
443,26	2,50	0,0033	-0,0032	0,0046	-0,99	1,41	0,006
442,26	1,51	0,0024	-0,0022	0,0033	-0,94	1,37	0,004
441,26	0,57	0,0015	-0,0012	0,0020	-0,80	1,28	0,003
440,26	-0,23	0,0008	-0,0002	0,0009	-0,27	1,04	0,001
439,26	-0,50	0,0007	0,0000	0,0007	0,05	1,00	0,001
438,26	-0,45	0,0009	0,0001	0,0009	0,09	1,00	0,001
437,26	-0,36	0,0014	0,0001	0,0014	0,09	1,00	0,001
436,26	-0,27	0,0015	0,0002	0,0015	0,11	1,01	0,002
435,26	-0,16	0,0016	0,0002	0,0016	0,13	1,01	0,002
434,26	-0,02	0,0017	0,0003	0,0018	0,15	1,01	0,002
433,26	0,13	0,0019	0,0003	0,0019	0,16	1,01	0,002
432,26	0,29	0,0020	0,0004	0,0020	0,18	1,02	0,002
431,26	0,47	0,0021	0,0004	0,0021	0,19	1,02	0,002
430,26	0,66	0,0022	0,0004	0,0023	0,20	1,02	0,002
429,26	0,86	0,0023	0,0005	0,0024	0,21	1,02	0,002
428,26	1,07	0,0025	0,0005	0,0025	0,22	1,02	0,003
427,26	1,29	0,0026	0,0006	0,0027	0,22	1,02	0,003
426,26	1,51	0,0027	0,0006	0,0028	0,23	1,03	0,003
425,26	1,74	0,0028	0,0007	0,0029	0,24	1,03	0,003
424,26	1,98	0,0030	0,0007	0,0030	0,24	1,03	0,003
423,26	2,22	0,0031	0,0008	0,0032	0,25	1,03	0,003
422,26	2,47	0,0032	0,0008	0,0033	0,25	1,03	0,003
421,26	2,72	0,0033	0,0009	0,0034	0,26	1,03	0,004
420,26	2,98	0,0034	0,0009	0,0036	0,26	1,03	0,004
419,26	3,24	0,0036	0,0009	0,0037	0,26	1,03	0,004
418,26	3,51	0,0037	0,0010	0,0038	0,27	1,04	0,004
417,26	3,77	0,0038	0,0010	0,0039	0,27	1,04	0,004
416,26	4,05	0,0039	0,0011	0,0041	0,27	1,04	0,004
415,26	4,32	0,0041	0,0011	0,0042	0,28	1,04	0,004
414,26	4,60	0,0042	0,0012	0,0043	0,28	1,04	0,005
413,26	4,88	0,0043	0,0012	0,0045	0,28	1,04	0,005
412,26	5,16	0,0044	0,0013	0,0046	0,28	1,04	0,005
411,26	5,45	0,0046	0,0013	0,0047	0,29	1,04	0,005
410,26	5,73	0,0047	0,0014	0,0049	0,29	1,04	0,005
409,26	6,02	0,0048	0,0014	0,0050	0,29	1,04	0,005
408,26	6,31	0,0049	0,0014	0,0051	0,29	1,04	0,005
407,26	6,61	0,0051	0,0015	0,0053	0,29	1,04	0,005
406,26	6,90	0,0052	0,0015	0,0054	0,30	0,35	0,002
405,92	7,00	0,0052	0,0016	0,0054	0,30		

I Σ(d*i)
49,06 0,2193

p= 0,0045

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0095	-0,0100	0,0138	-1,05	1,38	0,019
449,05	8,50	0,0086	-0,0090	0,0125	-1,05	1,38	0,017
448,09	7,50	0,0077	-0,0081	0,0112	-1,04	1,38	0,015
447,13	6,50	0,0068	-0,0071	0,0099	-1,04	1,39	0,014
446,17	5,50	0,0059	-0,0061	0,0085	-1,04	1,39	0,012
445,21	4,50	0,0050	-0,0052	0,0072	-1,03	1,39	0,010
444,24	3,50	0,0041	-0,0042	0,0059	-1,02	1,40	0,008
443,26	2,50	0,0033	-0,0032	0,0046	-0,99	1,41	0,006
442,26	1,51	0,0024	-0,0022	0,0033	-0,94	1,37	0,004
441,26	0,57	0,0015	-0,0012	0,0020	-0,80	1,28	0,003
440,26	-0,23	0,0008	-0,0002	0,0009	-0,27	1,04	0,001
439,26	-0,50	0,0011	0,0001	0,0012	0,06	1,00	0,001
438,26	-0,44	0,0013	0,0002	0,0013	0,13	1,01	0,001
437,26	-0,32	0,0014	0,0003	0,0014	0,18	1,02	0,001
436,26	-0,13	0,0015	0,0003	0,0016	0,23	1,03	0,002
435,26	0,09	0,0016	0,0004	0,0017	0,26	1,03	0,002
434,26	0,36	0,0018	0,0005	0,0019	0,29	1,04	0,002
433,26	0,65	0,0019	0,0006	0,0020	0,32	1,05	0,002
432,26	0,97	0,0021	0,0007	0,0022	0,34	1,06	0,002
431,26	1,31	0,0022	0,0008	0,0023	0,36	1,06	0,002
430,26	1,68	0,0023	0,0009	0,0025	0,38	1,07	0,003
429,26	2,05	0,0025	0,0010	0,0027	0,39	1,07	0,003
428,26	2,45	0,0026	0,0011	0,0028	0,41	1,08	0,003
427,26	2,85	0,0028	0,0012	0,0030	0,42	1,08	0,003
426,26	3,27	0,0029	0,0013	0,0032	0,43	1,09	0,003
425,26	3,70	0,0031	0,0013	0,0034	0,43	1,09	0,004
424,26	4,13	0,0032	0,0014	0,0035	0,44	1,09	0,004
423,26	4,57	0,0034	0,0015	0,0037	0,45	1,10	0,004
422,26	5,02	0,0035	0,0016	0,0039	0,46	1,10	0,004
421,26	5,48	0,0037	0,0017	0,0041	0,46	1,10	0,004
420,26	5,94	0,0038	0,0018	0,0042	0,47	1,10	0,005
419,26	6,41	0,0040	0,0019	0,0044	0,47	1,11	0,005
418,26	6,88	0,0042	0,0020	0,0046	0,48	0,28	0,001
418,00	7,00	0,0042	0,0020	0,0046	0,48		

I Σ(d*i)
37,48 0,1727

p= 0,0046

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3,5
L	285
Vt	100

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4
L	250
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0095	-0,0100	0,0138	-1,05	1,38	0,019
449,05	8,50	0,0086	-0,0090	0,0125	-1,05	1,38	0,017
448,09	7,50	0,0077	-0,0081	0,0112	-1,04	1,38	0,015
447,13	6,50	0,0068	-0,0071	0,0099	-1,04	1,39	0,014
446,17	5,50	0,0059	-0,0061	0,0085	-1,04	1,39	0,012
445,21	4,50	0,0050	-0,0052	0,0072	-1,03	1,39	0,010
444,24	3,50	0,0041	-0,0042	0,0059	-1,02	1,40	0,008
443,26	2,50	0,0033	-0,0032	0,0046	-0,99	1,41	0,006
442,26	1,51	0,0024	-0,0022	0,0033	-0,94	1,37	0,004
441,26	0,57	0,0015	-0,0012	0,0020	-0,80	1,28	0,003
440,26	-0,23	0,0008	-0,0002	0,0009	-0,27	1,04	0,001
439,26	-0,50	0,0011	0,0001	0,0011	0,08	1,00	0,001
438,26	-0,42	0,0013	0,0002	0,0013	0,17	1,01	0,001
437,26	-0,25	0,0014	0,0003	0,0014	0,25	1,03	0,001
436,26	0,00	0,0015	0,0005	0,0016	0,30	1,04	0,002
435,26	0,30	0,0017	0,0006	0,0018	0,35	1,06	0,002
434,26	0,65	0,0018	0,0007	0,0020	0,39	1,07	0,002
433,26	1,04	0,0020	0,0008	0,0022	0,42	1,08	0,002
432,26	1,46	0,0022	0,0010	0,0024	0,44	1,09	0,003
431,26	1,90	0,0023	0,0011	0,0026	0,46	1,10	0,003
430,26	2,37	0,0025	0,0012	0,0028	0,48	1,11	0,003
429,26	2,85	0,0027	0,0013	0,0030	0,50	1,12	0,003
428,26	3,35	0,0028	0,0014	0,0032	0,51	1,12	0,004
427,26	3,86	0,0030	0,0016	0,0034	0,52	1,13	0,004
426,26	4,38	0,0032	0,0017	0,0036	0,53	1,13	0,004
425,26	4,91	0,0034	0,0018	0,0038	0,54	1,14	0,004
424,26	5,45	0,0035	0,0019	0,0040	0,55	1,14	0,005
423,26	6,00	0,0037	0,0021	0,0042	0,55	1,14	0,005
422,26	6,56	0,0039	0,0022	0,0045	0,56	0,91	0,004
421,46	7,00	0,0040	0,0023	0,0046	0,56		

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0095	-0,0100	0,0138	-1,05	1,38	0,019
449,05	8,50	0,0086	-0,0090	0,0125	-1,05	1,38	0,017
448,09	7,50	0,0077	-0,0081	0,0112	-1,04	1,38	0,015
447,13	6,50	0,0068	-0,0071	0,0099	-1,04	1,39	0,014
446,17	5,50	0,0059	-0,0061	0,0085	-1,04	1,39	0,012
445,21	4,50	0,0050	-0,0052	0,0072	-1,03	1,39	0,010
444,24	3,50	0,0041	-0,0042	0,0059	-1,02	1,40	0,008
443,26	2,50	0,0033	-0,0032	0,0046	-0,99	1,41	0,006
442,26	1,51	0,0024	-0,0022	0,0033	-0,94	1,37	0,004
441,26	0,57	0,0015	-0,0012	0,0020	-0,80	1,28	0,003
440,26	-0,23	0,0008	-0,0002	0,0009	-0,27	1,04	0,001
439,26	-0,50	0,0011	0,0001	0,0011	0,11	1,01	0,001
438,26	-0,39	0,0012	0,0003	0,0013	0,23	1,03	0,001
437,26	-0,16	0,0014	0,0004	0,0015	0,32	1,05	0,002
436,26	0,15	0,0016	0,0006	0,0017	0,39	1,07	0,002
435,26	0,54	0,0017	0,0008	0,0019	0,44	1,09	0,002
434,26	0,99	0,0019	0,0009	0,0021	0,48	1,11	0,002
433,26	1,47	0,0021	0,0011	0,0024	0,52	1,13	0,003
432,26	1,99	0,0023	0,0012	0,0026	0,54	1,14	0,003
431,26	2,53	0,0025	0,0014	0,0029	0,56	1,15	0,003
430,26	3,09	0,0027	0,0016	0,0031	0,58	1,16	0,004
429,26	3,67	0,0029	0,0017	0,0034	0,60	1,16	0,004
428,26	4,27	0,0031	0,0019	0,0036	0,61	1,17	0,004
427,26	4,88	0,0033	0,0020	0,0039	0,62	1,18	0,005
426,26	5,49	0,0035	0,0022	0,0042	0,63	1,18	0,005
425,26	6,12	0,0037	0,0024	0,0044	0,63	1,18	0,005
424,26	6,75	0,0039	0,0025	0,0047	0,64	0,46	0,002
423,87	7,00	0,0040	0,0026	0,0048	0,64		

l Σ(d*i)
32,08 0,1577

l Σ(d*i)
34,27 0,1629

p= 0,0049

p= 0,0048

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4,5
L	220
Vt	100

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	5
L	190
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0095	-0,0100	0,0138	-1,05	1,38	0,019
449,05	8,50	0,0086	-0,0090	0,0125	-1,05	1,38	0,017
448,09	7,50	0,0077	-0,0081	0,0112	-1,04	1,38	0,015
447,13	6,50	0,0068	-0,0071	0,0099	-1,04	1,39	0,014
446,17	5,50	0,0059	-0,0061	0,0085	-1,04	1,39	0,012
445,21	4,50	0,0050	-0,0052	0,0072	-1,03	1,39	0,010
444,24	3,50	0,0041	-0,0042	0,0059	-1,02	1,40	0,008
443,26	2,50	0,0033	-0,0032	0,0046	-0,99	1,41	0,006
442,26	1,51	0,0024	-0,0022	0,0033	-0,94	1,37	0,004
441,26	0,57	0,0015	-0,0012	0,0020	-0,80	1,28	0,003
440,26	-0,23	0,0008	-0,0002	0,0009	-0,27	1,04	0,001
439,26	-0,50	0,0011	0,0002	0,0011	0,14	1,01	0,001
438,26	-0,36	0,0012	0,0004	0,0013	0,29	1,04	0,001
437,26	-0,06	0,0014	0,0006	0,0015	0,40	1,08	0,002
436,26	0,34	0,0016	0,0008	0,0018	0,48	1,11	0,002
435,26	0,82	0,0018	0,0010	0,0021	0,54	1,14	0,002
434,26	1,36	0,0020	0,0012	0,0023	0,58	1,16	0,003
433,26	1,94	0,0023	0,0014	0,0027	0,61	1,17	0,003
432,26	2,56	0,0025	0,0016	0,0030	0,64	1,19	0,004
431,26	3,19	0,0027	0,0018	0,0033	0,66	1,20	0,004
430,26	3,85	0,0030	0,0020	0,0036	0,67	1,20	0,004
429,26	4,52	0,0032	0,0022	0,0039	0,68	1,21	0,005
428,26	5,20	0,0035	0,0024	0,0042	0,69	1,22	0,005
427,26	5,89	0,0037	0,0026	0,0046	0,70	1,22	0,006
426,26	6,59	0,0040	0,0028	0,0049	0,71	0,71	0,003
425,68	7,00	0,0041	0,0029	0,0051	0,71		

l Σ(d*i)
30,47 0,1548

p= 0,0051

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0095	-0,0100	0,0138	-1,05	1,38	0,019
449,05	8,50	0,0086	-0,0090	0,0125	-1,05	1,38	0,017
448,09	7,50	0,0077	-0,0081	0,0112	-1,04	1,38	0,015
447,13	6,50	0,0068	-0,0071	0,0099	-1,04	1,39	0,014
446,17	5,50	0,0059	-0,0061	0,0085	-1,04	1,39	0,012
445,21	4,50	0,0050	-0,0052	0,0072	-1,03	1,39	0,010
444,24	3,50	0,0041	-0,0042	0,0059	-1,02	1,40	0,008
443,26	2,50	0,0033	-0,0032	0,0046	-0,99	1,41	0,006
442,26	1,51	0,0024	-0,0022	0,0033	-0,94	1,37	0,004
441,26	0,57	0,0015	-0,0012	0,0020	-0,80	1,28	0,003
440,26	-0,23	0,0008	-0,0002	0,0009	-0,27	1,04	0,001
439,26	-0,50	0,0011	0,0002	0,0011	0,19	1,02	0,001
438,26	-0,31	0,0012	0,0005	0,0013	0,38	1,07	0,001
437,26	0,07	0,0014	0,0007	0,0016	0,51	1,12	0,002
436,26	0,58	0,0017	0,0010	0,0020	0,59	1,16	0,002
435,26	1,17	0,0019	0,0013	0,0023	0,65	1,19	0,003
434,26	1,81	0,0022	0,0015	0,0027	0,68	1,21	0,003
433,26	2,50	0,0025	0,0018	0,0031	0,71	1,22	0,004
432,26	3,20	0,0028	0,0020	0,0035	0,73	1,24	0,004
431,26	3,93	0,0031	0,0023	0,0039	0,74	1,24	0,005
430,26	4,67	0,0034	0,0026	0,0043	0,75	1,25	0,005
429,26	5,42	0,0037	0,0028	0,0047	0,76	1,26	0,006
428,26	6,18	0,0040	0,0031	0,0051	0,77	1,26	0,006
427,26	6,94	0,0044	0,0034	0,0055	0,77	0,09	0,001
427,18	7,00	0,0044	0,0034	0,0055	0,77		

l Σ(d*i)
29,15 0,1536

p= 0,0053

Tabelas de cálculos do Caso C

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	2,5
L	550
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
300,00	9,50	0,0004	-0,0009	0,0010	-2,18	1,10	0,001
299,54	8,50	0,0005	-0,0009	0,0010	-1,93	1,13	0,001
299,02	7,50	0,0005	-0,0009	0,0010	-1,67	1,17	0,001
298,42	6,50	0,0006	-0,0009	0,0011	-1,43	1,22	0,001
297,72	5,50	0,0007	-0,0008	0,0011	-1,19	1,55	0,002
296,72	4,31	0,0009	-0,0008	0,0012	-0,93	1,37	0,002
295,72	3,38	0,0010	-0,0007	0,0013	-0,74	1,24	0,002
294,72	2,64	0,0012	-0,0007	0,0014	-0,60	1,16	0,002
293,72	2,04	0,0013	-0,0007	0,0015	-0,49	1,11	0,002
292,72	1,55	0,0015	-0,0006	0,0016	-0,40	1,08	0,002
291,72	1,15	0,0017	-0,0006	0,0018	-0,33	1,05	0,002
290,72	0,82	0,0019	-0,0005	0,0020	-0,28	1,04	0,002
289,72	0,55	0,0021	-0,0005	0,0021	-0,23	1,03	0,002
288,72	0,32	0,0023	-0,0004	0,0023	-0,19	1,02	0,002
287,72	0,13	0,0025	-0,0004	0,0025	-0,16	1,01	0,003
286,72	-0,03	0,0027	-0,0003	0,0027	-0,13	1,01	0,003
285,72	-0,16	0,0028	-0,0003	0,0029	-0,10	1,01	0,003
284,72	-0,26	0,0030	-0,0002	0,0031	-0,08	1,00	0,003
283,72	-0,34	0,0032	-0,0002	0,0032	-0,06	1,00	0,003
282,72	-0,40	0,0034	-0,0002	0,0034	-0,05	1,00	0,003
281,72	-0,45	0,0036	-0,0001	0,0036	-0,03	1,00	0,004
280,72	-0,48	0,0038	-0,0001	0,0038	-0,02	1,00	0,004
279,72	-0,50	0,0040	0,0000	0,0040	-0,01	1,00	0,004
278,72	-0,50	0,0042	0,0000	0,0042	0,01	1,00	0,004
277,72	-0,50	0,0044	0,0001	0,0044	0,02	1,00	0,004
276,72	-0,48	0,0046	0,0001	0,0046	0,02	1,00	0,005
275,72	-0,45	0,0048	0,0002	0,0048	0,03	1,00	0,005
274,72	-0,42	0,0050	0,0002	0,0050	0,04	1,00	0,005
273,72	-0,38	0,0052	0,0003	0,0052	0,05	1,00	0,005
272,72	-0,33	0,0054	0,0003	0,0054	0,05	1,00	0,005
271,72	-0,28	0,0056	0,0003	0,0057	0,06	1,00	0,006
270,72	-0,22	0,0058	0,0004	0,0059	0,07	1,00	0,006
269,72	-0,15	0,0060	0,0004	0,0061	0,07	1,00	0,006
268,72	-0,08	0,0063	0,0005	0,0063	0,08	1,00	0,006
267,72	0,00	0,0065	0,0005	0,0065	0,08	1,00	0,006
266,72	0,08	0,0067	0,0006	0,0067	0,09	1,00	0,007
265,72	0,17	0,0069	0,0006	0,0069	0,09	1,00	0,007
264,72	0,25	0,0071	0,0007	0,0071	0,09	1,00	0,007
263,72	0,35	0,0073	0,0007	0,0073	0,10	1,00	0,007
262,72	0,45	0,0075	0,0008	0,0075	0,10	1,01	0,008
261,72	0,55	0,0077	0,0008	0,0077	0,10	1,01	0,008
260,72	0,65	0,0079	0,0008	0,0079	0,11	1,01	0,008
259,72	0,76	0,0081	0,0009	0,0081	0,11	1,01	0,008
258,72	0,87	0,0083	0,0009	0,0083	0,11	1,01	0,008
257,72	0,98	0,0085	0,0010	0,0086	0,12	1,01	0,009
256,72	1,09	0,0087	0,0010	0,0088	0,12	1,01	0,009
255,72	1,21	0,0089	0,0011	0,0090	0,12	1,01	0,009
254,72	1,33	0,0091	0,0011	0,0092	0,12	1,01	0,009
253,72	1,45	0,0093	0,0012	0,0094	0,12	1,01	0,009
252,72	1,58	0,0095	0,0012	0,0096	0,13	1,01	0,010
251,72	1,71	0,0097	0,0013	0,0098	0,13	1,01	0,010
250,72	1,83	0,0099	0,0013	0,0100	0,13	1,01	0,010
249,72	1,96	0,0101	0,0013	0,0102	0,13	1,01	0,010
248,72	2,10	0,0104	0,0014	0,0104	0,13	1,01	0,011
247,72	2,23	0,0106	0,0014	0,0107	0,14	1,01	0,011
246,72	2,37	0,0108	0,0015	0,0109	0,14	1,01	0,011

X	t	il	it	i	t	d	
245,72	2,50	0,0110	0,0015	0,0111	0,14	1,01	0,011
244,72	2,64	0,0112	0,0016	0,0113	0,14	1,01	0,011
243,72	2,78	0,0114	0,0016	0,0115	0,14	1,01	0,012
242,72	2,93	0,0116	0,0017	0,0117	0,14	1,01	0,012
241,72	3,07	0,0118	0,0017	0,0119	0,14	1,01	0,012
240,72	3,21	0,0120	0,0018	0,0121	0,15	1,01	0,012
239,72	3,36	0,0122	0,0018	0,0123	0,15	1,01	0,012
238,72	3,51	0,0124	0,0018	0,0126	0,15	1,01	0,013
237,72	3,66	0,0126	0,0019	0,0128	0,15	1,01	0,013
236,72	3,80	0,0128	0,0019	0,0130	0,15	1,01	0,013
235,72	3,96	0,0130	0,0020	0,0132	0,15	1,01	0,013
234,72	4,11	0,0132	0,0020	0,0134	0,15	1,01	0,014
233,72	4,26	0,0135	0,0021	0,0136	0,15	1,01	0,014
232,72	4,41	0,0137	0,0021	0,0138	0,15	1,01	0,014
231,72	4,57	0,0139	0,0022	0,0140	0,16	1,01	0,014
230,72	4,72	0,0141	0,0022	0,0142	0,16	1,01	0,014
229,72	4,88	0,0143	0,0023	0,0145	0,16	1,01	0,015
228,72	5,04	0,0145	0,0023	0,0147	0,16	1,01	0,015
227,72	5,20	0,0147	0,0023	0,0149	0,16	1,01	0,015
226,72	5,36	0,0149	0,0024	0,0151	0,16	1,01	0,015
225,72	5,52	0,0151	0,0024	0,0153	0,16	1,01	0,016
224,72	5,68	0,0153	0,0025	0,0155	0,16	1,01	0,016
223,72	5,84	0,0155	0,0025	0,0157	0,16	1,01	0,016
222,72	6,00	0,0157	0,0026	0,0159	0,16	1,01	0,016
221,72	6,17	0,0159	0,0026	0,0162	0,16	1,01	0,016
220,72	6,33	0,0162	0,0027	0,0164	0,16	1,01	0,017
219,72	6,49	0,0164	0,0027	0,0166	0,17	1,01	0,017
218,72	6,66	0,0166	0,0028	0,0168	0,17	1,01	0,017
217,72	6,83	0,0168	0,0028	0,0170	0,17	1,01	0,017
216,72	6,99	0,0170	0,0028	0,0172	0,17	0,04	0,001
216,68	7,00	0,0170	0,0028	0,0172	0,17		

l Σ(d*i)

87,85 0,7151

p= 0,0081

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	3
L	330
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
300,00	9,50	0,0009	-0,0015	0,0017	-1,68	1,16	0,002
299,41	8,50	0,0009	-0,0014	0,0017	-1,57	1,19	0,002
298,77	7,50	0,0009	-0,0013	0,0016	-1,45	1,22	0,002
298,08	6,50	0,0010	-0,0013	0,0016	-1,31	1,26	0,002
297,32	5,50	0,0010	-0,0012	0,0016	-1,17	1,32	0,002
296,46	4,50	0,0011	-0,0011	0,0016	-1,02	1,40	0,002
295,48	3,50	0,0012	-0,0010	0,0016	-0,86	1,32	0,002
294,48	2,64	0,0013	-0,0010	0,0016	-0,71	1,23	0,002
293,48	1,93	0,0015	-0,0009	0,0017	-0,58	1,16	0,002
292,48	1,35	0,0016	-0,0008	0,0018	-0,48	1,11	0,002
291,48	0,88	0,0018	-0,0007	0,0019	-0,38	1,07	0,002
290,48	0,49	0,0019	-0,0006	0,0020	-0,30	1,05	0,002
289,48	0,19	0,0021	-0,0005	0,0022	-0,24	1,03	0,002
288,48	-0,05	0,0023	-0,0004	0,0023	-0,18	1,02	0,002
287,48	-0,22	0,0025	-0,0003	0,0025	-0,13	1,01	0,003
286,48	-0,35	0,0027	-0,0002	0,0027	-0,09	1,00	0,003
285,48	-0,44	0,0029	-0,0001	0,0029	-0,05	1,00	0,003
284,48	-0,49	0,0031	0,0000	0,0031	-0,02	1,00	0,003
283,48	-0,50	0,0033	0,0000	0,0033	0,01	1,00	0,003
282,48	-0,49	0,0035	0,0001	0,0035	0,04	1,00	0,003
281,48	-0,45	0,0037	0,0002	0,0037	0,06	1,00	0,004
280,48	-0,39	0,0039	0,0003	0,0039	0,08	1,00	0,004
279,48	-0,30	0,0041	0,0004	0,0041	0,10	1,01	0,004
278,48	-0,20	0,0043	0,0005	0,0043	0,12	1,01	0,004
277,48	-0,09	0,0045	0,0006	0,0045	0,13	1,01	0,005
276,48	0,04	0,0047	0,0007	0,0048	0,14	1,01	0,005
275,48	0,19	0,0049	0,0008	0,0050	0,16	1,01	0,005
274,48	0,35	0,0051	0,0009	0,0052	0,17	1,01	0,005
273,48	0,51	0,0054	0,0010	0,0054	0,18	1,02	0,006
272,48	0,69	0,0056	0,0010	0,0057	0,19	1,02	0,006
271,48	0,88	0,0058	0,0011	0,0059	0,20	1,02	0,006
270,48	1,08	0,0060	0,0012	0,0061	0,20	1,02	0,006
269,48	1,28	0,0062	0,0013	0,0064	0,21	1,02	0,007
268,48	1,49	0,0064	0,0014	0,0066	0,22	1,02	0,007
267,48	1,71	0,0067	0,0015	0,0068	0,23	1,03	0,007
266,48	1,94	0,0069	0,0016	0,0071	0,23	1,03	0,007
265,48	2,17	0,0071	0,0017	0,0073	0,24	1,03	0,008
264,48	2,40	0,0073	0,0018	0,0075	0,24	1,03	0,008
263,48	2,65	0,0075	0,0019	0,0078	0,25	1,03	0,008
262,48	2,89	0,0078	0,0020	0,0080	0,25	1,03	0,008
261,48	3,14	0,0080	0,0020	0,0083	0,26	1,03	0,009
260,48	3,40	0,0082	0,0021	0,0085	0,26	1,03	0,009
259,48	3,66	0,0084	0,0022	0,0087	0,26	1,03	0,009
258,48	3,92	0,0087	0,0023	0,0090	0,27	1,04	0,009
257,48	4,19	0,0089	0,0024	0,0092	0,27	1,04	0,010
256,48	4,46	0,0091	0,0025	0,0095	0,27	1,04	0,010
255,48	4,74	0,0093	0,0026	0,0097	0,28	1,04	0,010
254,48	5,01	0,0096	0,0027	0,0099	0,28	1,04	0,010
253,48	5,29	0,0098	0,0028	0,0102	0,28	1,04	0,011
252,48	5,58	0,0100	0,0029	0,0104	0,29	1,04	0,011
251,48	5,86	0,0102	0,0030	0,0107	0,29	1,04	0,011
250,48	6,15	0,0105	0,0030	0,0109	0,29	1,04	0,011
249,48	6,44	0,0107	0,0031	0,0112	0,29	1,04	0,012
248,48	6,73	0,0109	0,0032	0,0114	0,30	0,94	0,011
247,58	7,00	0,0111	0,0033	0,0116	0,30		

l Σ(d*i)
57,29 0,3069

p= 0,0054

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	3,5
L	285
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
300,00	9,50	0,0012	-0,0018	0,0021	-1,54	1,19	0,003
299,35	8,50	0,0012	-0,0017	0,0021	-1,46	1,21	0,003
298,66	7,50	0,0012	-0,0016	0,0020	-1,37	1,24	0,002
297,93	6,50	0,0012	-0,0015	0,0020	-1,27	1,27	0,002
297,15	5,50	0,0012	-0,0014	0,0019	-1,16	1,32	0,003
296,28	4,50	0,0013	-0,0013	0,0019	-1,03	1,44	0,003
295,28	3,47	0,0014	-0,0012	0,0018	-0,89	1,34	0,002
294,28	2,58	0,0015	-0,0011	0,0018	-0,75	1,25	0,002
293,28	1,83	0,0016	-0,0010	0,0018	-0,62	1,18	0,002
292,28	1,21	0,0017	-0,0008	0,0019	-0,50	1,12	0,002
291,28	0,71	0,0018	-0,0007	0,0020	-0,40	1,08	0,002
290,28	0,32	0,0020	-0,0006	0,0021	-0,30	1,05	0,002
289,28	0,01	0,0021	-0,0005	0,0022	-0,22	1,02	0,002
288,28	-0,21	0,0023	-0,0004	0,0023	-0,15	1,01	0,002
287,28	-0,37	0,0025	-0,0002	0,0025	-0,09	1,00	0,003
286,28	-0,46	0,0027	-0,0001	0,0027	-0,04	1,00	0,003
285,28	-0,50	0,0029	0,0000	0,0029	0,00	1,00	0,003
284,28	-0,50	0,0031	0,0001	0,0031	0,04	1,00	0,003
283,28	-0,45	0,0033	0,0003	0,0033	0,08	1,00	0,003
282,28	-0,37	0,0035	0,0004	0,0035	0,11	1,01	0,004
281,28	-0,27	0,0037	0,0005	0,0037	0,14	1,01	0,004
280,28	-0,13	0,0039	0,0006	0,0040	0,16	1,01	0,004
279,28	0,03	0,0041	0,0007	0,0042	0,18	1,02	0,004
278,28	0,21	0,0044	0,0009	0,0045	0,20	1,02	0,005
277,28	0,41	0,0046	0,0010	0,0047	0,22	1,02	0,005
276,28	0,63	0,0048	0,0011	0,0049	0,23	1,03	0,005
275,28	0,86	0,0050	0,0012	0,0052	0,25	1,03	0,005
274,28	1,10	0,0053	0,0014	0,0055	0,26	1,03	0,006
273,28	1,36	0,0055	0,0015	0,0057	0,27	1,04	0,006
272,28	1,63	0,0057	0,0016	0,0060	0,28	1,04	0,006
271,28	1,91	0,0060	0,0017	0,0062	0,29	1,04	0,006
270,28	2,20	0,0062	0,0019	0,0065	0,30	1,04	0,007
269,28	2,50	0,0065	0,0020	0,0067	0,31	1,05	0,007
268,28	2,80	0,0067	0,0021	0,0070	0,31	1,05	0,007
267,28	3,12	0,0069	0,0022	0,0073	0,32	1,05	0,008
266,28	3,44	0,0072	0,0023	0,0075	0,33	1,05	0,008
265,28	3,77	0,0074	0,0025	0,0078	0,33	1,05	0,008
264,28	4,10	0,0077	0,0026	0,0081	0,34	1,06	0,009
263,28	4,44	0,0079	0,0027	0,0083	0,34	1,06	0,009
262,28	4,78	0,0081	0,0028	0,0086	0,35	1,06	0,009
261,28	5,13	0,0084	0,0030	0,0089	0,35	1,06	0,009
260,28	5,48	0,0086	0,0031	0,0092	0,36	1,06	0,010
259,28	5,84	0,0089	0,0032	0,0094	0,36	1,06	0,010
258,28	6,20	0,0091	0,0033	0,0097	0,37	1,06	0,010
257,28	6,57	0,0094	0,0035	0,0100	0,37	1,07	0,011
256,28	6,93	0,0096	0,0036	0,0103	0,37	0,19	0,002
256,11	7,00	0,0097	0,0036	0,0103	0,37		

l Σ(d*i)
48,98 0,2309

p= 0,0047

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	4
L	250
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
300,00	9,50	0,0015	-0,0022	0,0027	-1,43	1,22	0,003
299,30	8,50	0,0015	-0,0021	0,0026	-1,38	1,24	0,003
298,57	7,50	0,0015	-0,0020	0,0025	-1,31	1,26	0,003
297,81	6,50	0,0015	-0,0018	0,0024	-1,24	1,29	0,003
297,00	5,50	0,0015	-0,0017	0,0023	-1,15	1,33	0,003
296,13	4,50	0,0015	-0,0016	0,0022	-1,04	1,38	0,003
295,17	3,50	0,0015	-0,0014	0,0021	-0,92	1,36	0,003
294,17	2,58	0,0016	-0,0012	0,0020	-0,79	1,27	0,003
293,17	1,79	0,0017	-0,0011	0,0020	-0,66	1,20	0,002
292,17	1,13	0,0017	-0,0009	0,0020	-0,53	1,13	0,002
291,17	0,60	0,0019	-0,0008	0,0020	-0,41	1,08	0,002
290,17	0,19	0,0020	-0,0006	0,0021	-0,30	1,05	0,002
289,17	-0,12	0,0021	-0,0004	0,0022	-0,21	1,02	0,002
288,17	-0,33	0,0023	-0,0003	0,0023	-0,12	1,01	0,002
287,17	-0,45	0,0025	-0,0001	0,0025	-0,05	1,00	0,002
286,17	-0,50	0,0027	0,0000	0,0027	0,01	1,00	0,003
285,17	-0,49	0,0029	0,0002	0,0029	0,07	1,00	0,003
284,17	-0,42	0,0031	0,0004	0,0031	0,11	1,01	0,003
283,17	-0,31	0,0033	0,0005	0,0034	0,15	1,01	0,003
282,17	-0,15	0,0035	0,0007	0,0036	0,19	1,02	0,004
281,17	0,04	0,0038	0,0008	0,0039	0,22	1,02	0,004
280,17	0,26	0,0040	0,0010	0,0041	0,25	1,03	0,004
279,17	0,51	0,0042	0,0012	0,0044	0,27	1,04	0,005
278,17	0,78	0,0045	0,0013	0,0047	0,29	1,04	0,005
277,17	1,07	0,0047	0,0015	0,0050	0,31	1,05	0,005
276,17	1,38	0,0050	0,0016	0,0052	0,33	1,05	0,006
275,17	1,71	0,0052	0,0018	0,0055	0,34	1,06	0,006
274,17	2,05	0,0055	0,0020	0,0058	0,36	1,06	0,006
273,17	2,41	0,0058	0,0021	0,0061	0,37	1,07	0,007
272,17	2,77	0,0060	0,0023	0,0064	0,38	1,07	0,007
271,17	3,15	0,0063	0,0024	0,0067	0,39	1,07	0,007
270,17	3,54	0,0065	0,0026	0,0070	0,40	1,08	0,008
269,17	3,94	0,0068	0,0028	0,0073	0,40	1,08	0,008
268,17	4,34	0,0071	0,0029	0,0076	0,41	1,08	0,008
267,17	4,75	0,0073	0,0031	0,0080	0,42	1,08	0,009
266,17	5,17	0,0076	0,0032	0,0083	0,43	1,09	0,009
265,17	5,60	0,0079	0,0034	0,0086	0,43	1,09	0,009
264,17	6,03	0,0081	0,0036	0,0089	0,44	1,09	0,010
263,17	6,46	0,0084	0,0037	0,0092	0,44	1,09	0,010
262,17	6,91	0,0087	0,0039	0,0095	0,45	0,23	0,002
261,96	7,00	0,0087	0,0039	0,0096	0,45		

l Σ(d*i)
43,34 0,1894

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	4,5
L	220
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
300,00	9,50	0,0019	-0,0026	0,0033	-1,35	1,24	0,004
299,26	8,50	0,0019	-0,0025	0,0031	-1,31	1,26	0,004
298,50	7,50	0,0018	-0,0023	0,0030	-1,26	1,28	0,004
297,71	6,50	0,0018	-0,0022	0,0028	-1,21	1,30	0,004
296,88	5,50	0,0018	-0,0020	0,0027	-1,14	1,33	0,004
296,00	4,50	0,0017	-0,0018	0,0025	-1,05	1,38	0,003
295,05	3,50	0,0017	-0,0016	0,0024	-0,95	1,38	0,003
294,05	2,55	0,0017	-0,0014	0,0022	-0,82	1,30	0,003
293,05	1,73	0,0017	-0,0012	0,0021	-0,69	1,22	0,003
292,05	1,04	0,0018	-0,0010	0,0021	-0,56	1,14	0,002
291,05	0,48	0,0019	-0,0008	0,0021	-0,42	1,09	0,002
290,05	0,06	0,0020	-0,0006	0,0021	-0,30	1,04	0,002
289,05	-0,24	0,0021	-0,0004	0,0022	-0,18	1,02	0,002
288,05	-0,42	0,0023	-0,0002	0,0023	-0,08	1,00	0,002
287,05	-0,50	0,0025	0,0000	0,0025	0,01	1,00	0,002
286,05	-0,49	0,0027	0,0002	0,0027	0,08	1,00	0,003
285,05	-0,41	0,0029	0,0004	0,0029	0,15	1,01	0,003
284,05	-0,26	0,0031	0,0006	0,0032	0,20	1,02	0,003
283,05	-0,06	0,0034	0,0008	0,0035	0,25	1,03	0,004
282,05	0,19	0,0036	0,0010	0,0038	0,29	1,04	0,004
281,05	0,47	0,0039	0,0012	0,0041	0,32	1,05	0,004
280,05	0,79	0,0042	0,0015	0,0044	0,35	1,06	0,005
279,05	1,14	0,0044	0,0017	0,0047	0,37	1,07	0,005
278,05	1,52	0,0047	0,0019	0,0051	0,40	1,08	0,005
277,05	1,91	0,0050	0,0021	0,0054	0,41	1,08	0,006
276,05	2,33	0,0053	0,0023	0,0057	0,43	1,09	0,006
275,05	2,76	0,0056	0,0025	0,0061	0,45	1,09	0,007
274,05	3,20	0,0059	0,0027	0,0064	0,46	1,10	0,007
273,05	3,66	0,0061	0,0029	0,0068	0,47	1,10	0,007
272,05	4,13	0,0064	0,0031	0,0071	0,48	1,11	0,008
271,05	4,61	0,0067	0,0033	0,0075	0,49	1,11	0,008
270,05	5,10	0,0070	0,0035	0,0079	0,50	1,12	0,009
269,05	5,59	0,0073	0,0037	0,0082	0,50	1,12	0,009
268,05	6,10	0,0077	0,0039	0,0086	0,51	1,12	0,010
267,05	6,61	0,0080	0,0041	0,0090	0,52	0,85	0,008
266,29	7,00	0,0082	0,0043	0,0092	0,52		

l Σ(d*i)
39,23 0,1656

p= 0,0042

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	5
L	190
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
300,00	9,50	0,0025	-0,0032	0,0041	-1,28	1,27	0,005
299,22	8,50	0,0024	-0,0030	0,0038	-1,25	1,28	0,005
298,42	7,50	0,0023	-0,0028	0,0036	-1,22	1,29	0,005
297,60	6,50	0,0022	-0,0026	0,0034	-1,18	1,31	0,004
296,75	5,50	0,0021	-0,0024	0,0032	-1,12	1,34	0,004
295,86	4,50	0,0020	-0,0021	0,0029	-1,06	1,38	0,004
294,92	3,50	0,0019	-0,0019	0,0027	-0,97	1,44	0,004
293,88	2,50	0,0019	-0,0016	0,0025	-0,85	1,31	0,003
292,88	1,65	0,0019	-0,0013	0,0023	-0,72	1,23	0,003
291,88	0,93	0,0019	-0,0011	0,0022	-0,58	1,15	0,002
290,88	0,35	0,0019	-0,0008	0,0021	-0,43	1,09	0,002
289,88	-0,08	0,0020	-0,0006	0,0021	-0,28	1,04	0,002
288,88	-0,35	0,0021	-0,0003	0,0021	-0,14	1,01	0,002
287,88	-0,49	0,0023	0,0000	0,0023	-0,01	1,00	0,002
286,88	-0,50	0,0025	0,0002	0,0025	0,10	1,00	0,003
285,88	-0,41	0,0027	0,0005	0,0028	0,18	1,02	0,003
284,88	-0,22	0,0030	0,0008	0,0031	0,26	1,03	0,003
283,88	0,04	0,0032	0,0010	0,0034	0,32	1,05	0,004
282,88	0,35	0,0035	0,0013	0,0037	0,37	1,07	0,004
281,88	0,72	0,0038	0,0016	0,0041	0,41	1,08	0,004
280,88	1,13	0,0041	0,0018	0,0045	0,44	1,09	0,005
279,88	1,57	0,0044	0,0021	0,0049	0,47	1,10	0,005
278,88	2,04	0,0048	0,0023	0,0053	0,49	1,11	0,006
277,88	2,53	0,0051	0,0026	0,0057	0,51	1,12	0,006
276,88	3,04	0,0054	0,0029	0,0061	0,53	1,13	0,007
275,88	3,57	0,0058	0,0031	0,0066	0,54	1,14	0,007
274,88	4,11	0,0061	0,0034	0,0070	0,56	1,14	0,008
273,88	4,67	0,0065	0,0037	0,0074	0,57	1,15	0,009
272,88	5,23	0,0068	0,0039	0,0079	0,58	1,15	0,009
271,88	5,81	0,0072	0,0042	0,0083	0,58	1,16	0,010
270,88	6,39	0,0075	0,0044	0,0087	0,59	1,16	0,010
269,88	6,99	0,0079	0,0047	0,0092	0,60	0,03	0,000
269,86	7,00	0,0079	0,0047	0,0092	0,60		

l Σ(d*i)
35,89 0,1520

p= 0,0042

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	2,5
L	550
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0004	-0,0008	0,0009	-1,75	1,15	0,001
449,43	8,50	0,0005	-0,0007	0,0009	-1,62	1,18	0,001
448,81	7,50	0,0005	-0,0007	0,0008	-1,48	1,21	0,001
448,13	6,50	0,0005	-0,0007	0,0008	-1,33	1,25	0,001
447,38	5,50	0,0005	-0,0006	0,0008	-1,17	1,31	0,001
446,53	4,50	0,0006	-0,0006	0,0008	-1,01	1,41	0,001
445,54	3,50	0,0007	-0,0006	0,0009	-0,84	1,31	0,001
444,54	2,66	0,0007	-0,0005	0,0009	-0,70	1,22	0,001
443,54	1,96	0,0008	-0,0005	0,0009	-0,57	1,15	0,001
442,54	1,39	0,0009	-0,0004	0,0010	-0,47	1,10	0,001
441,54	0,93	0,0010	-0,0004	0,0010	-0,38	1,07	0,001
440,54	0,55	0,0011	-0,0003	0,0011	-0,30	1,04	0,001
439,54	0,25	0,0012	-0,0003	0,0012	-0,24	1,03	0,001
438,54	0,01	0,0013	-0,0002	0,0013	-0,18	1,02	0,001
437,54	-0,17	0,0014	-0,0002	0,0014	-0,14	1,01	0,001
436,54	-0,31	0,0015	-0,0001	0,0015	-0,10	1,00	0,001
435,54	-0,41	0,0016	-0,0001	0,0016	-0,06	1,00	0,002
434,54	-0,47	0,0017	-0,0001	0,0017	-0,03	1,00	0,002
433,54	-0,50	0,0018	0,0000	0,0018	0,00	1,00	0,002
432,54	-0,50	0,0019	0,0000	0,0019	0,02	1,00	0,002
431,54	-0,48	0,0020	0,0001	0,0020	0,04	1,00	0,002
430,54	-0,44	0,0021	0,0001	0,0021	0,06	1,00	0,002
429,54	-0,38	0,0023	0,0002	0,0023	0,08	1,00	0,002
428,54	-0,30	0,0024	0,0002	0,0024	0,09	1,00	0,002
427,54	-0,21	0,0025	0,0003	0,0025	0,11	1,01	0,003
426,54	-0,10	0,0026	0,0003	0,0026	0,12	1,01	0,003
425,54	0,02	0,0027	0,0004	0,0027	0,13	1,01	0,003
424,54	0,15	0,0028	0,0004	0,0029	0,14	1,01	0,003
423,54	0,29	0,0030	0,0004	0,0030	0,15	1,01	0,003
422,54	0,45	0,0031	0,0005	0,0031	0,16	1,01	0,003
421,54	0,61	0,0032	0,0005	0,0032	0,17	1,01	0,003
420,54	0,78	0,0033	0,0006	0,0034	0,18	1,02	0,003
419,54	0,95	0,0034	0,0006	0,0035	0,18	1,02	0,004
418,54	1,14	0,0035	0,0007	0,0036	0,19	1,02	0,004
417,54	1,33	0,0037	0,0007	0,0037	0,20	1,02	0,004
416,54	1,52	0,0038	0,0008	0,0039	0,20	1,02	0,004
415,54	1,72	0,0039	0,0008	0,0040	0,21	1,02	0,004
414,54	1,93	0,0040	0,0009	0,0041	0,21	1,02	0,004
413,54	2,15	0,0041	0,0009	0,0042	0,22	1,02	0,004
412,54	2,36	0,0043	0,0009	0,0044	0,22	1,02	0,004
411,54	2,59	0,0044	0,0010	0,0045	0,23	1,03	0,005
410,54	2,81	0,0045	0,0010	0,0046	0,23	1,03	0,005
409,54	3,04	0,0046	0,0011	0,0048	0,23	1,03	0,005
408,54	3,28	0,0048	0,0011	0,0049	0,24	1,03	0,005
407,54	3,51	0,0049	0,0012	0,0050	0,24	1,03	0,005
406,54	3,75	0,0050	0,0012	0,0051	0,24	1,03	0,005
405,54	4,00	0,0051	0,0013	0,0053	0,25	1,03	0,005
404,54	4,25	0,0052	0,0013	0,0054	0,25	1,03	0,006
403,54	4,50	0,0054	0,0014	0,0055	0,25	1,03	0,006
402,54	4,75	0,0055	0,0014	0,0057	0,26	1,03	0,006
401,54	5,00	0,0056	0,0014	0,0058	0,26	1,03	0,006
400,54	5,26	0,0057	0,0015	0,0059	0,26	1,03	0,006
399,54	5,52	0,0059	0,0015	0,0061	0,26	1,03	0,006
398,54	5,78	0,0060	0,0016	0,0062	0,26	1,03	0,006
397,54	6,05	0,0061	0,0016	0,0063	0,27	1,04	0,007
396,54	6,32	0,0062	0,0017	0,0065	0,27	1,04	0,007
395,54	6,59	0,0064	0,0017	0,0066	0,27	1,04	0,007
394,54	6,86	0,0065	0,0018	0,0067	0,27	0,55	0,004
394,01	7,00	0,0065	0,0018	0,0068	0,27		

l Σ(d*i)
60,80 0,1909
p= 0,0031

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3
L	330
Vt	100

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3,5
L	285
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0009	-0,0012	0,0015	-1,42	1,22	0,002
449,30	8,50	0,0009	-0,0012	0,0014	-1,37	1,24	0,002
448,57	7,50	0,0008	-0,0011	0,0014	-1,31	1,26	0,002
447,80	6,50	0,0008	-0,0010	0,0013	-1,23	1,29	0,002
446,99	5,50	0,0008	-0,0010	0,0013	-1,15	1,33	0,002
446,12	4,50	0,0008	-0,0009	0,0012	-1,05	1,38	0,002
445,16	3,50	0,0009	-0,0008	0,0012	-0,92	1,36	0,002
444,16	2,58	0,0009	-0,0007	0,0011	-0,79	1,28	0,001
443,16	1,78	0,0009	-0,0006	0,0011	-0,66	1,20	0,001
442,16	1,12	0,0010	-0,0005	0,0011	-0,53	1,13	0,001
441,16	0,59	0,0010	-0,0004	0,0011	-0,41	1,08	0,001
440,16	0,17	0,0011	-0,0003	0,0012	-0,30	1,05	0,001
439,16	-0,13	0,0012	-0,0002	0,0012	-0,21	1,02	0,001
438,16	-0,34	0,0013	-0,0002	0,0013	-0,12	1,01	0,001
437,16	-0,46	0,0014	-0,0001	0,0014	-0,05	1,00	0,001
436,16	-0,50	0,0015	0,0000	0,0015	0,02	1,00	0,001
435,16	-0,49	0,0016	0,0001	0,0016	0,07	1,00	0,002
434,16	-0,41	0,0017	0,0002	0,0017	0,12	1,01	0,002
433,16	-0,29	0,0018	0,0003	0,0019	0,16	1,01	0,002
432,16	-0,13	0,0020	0,0004	0,0020	0,20	1,02	0,002
431,16	0,07	0,0021	0,0005	0,0022	0,23	1,03	0,002
430,16	0,30	0,0022	0,0006	0,0023	0,26	1,03	0,002
429,16	0,55	0,0024	0,0007	0,0025	0,28	1,04	0,003
428,16	0,83	0,0025	0,0008	0,0026	0,30	1,04	0,003
427,16	1,13	0,0026	0,0008	0,0028	0,32	1,05	0,003
426,16	1,45	0,0028	0,0009	0,0029	0,34	1,06	0,003
425,16	1,79	0,0029	0,0010	0,0031	0,35	1,06	0,003
424,16	2,14	0,0031	0,0011	0,0033	0,36	1,06	0,003
423,16	2,51	0,0032	0,0012	0,0034	0,38	1,07	0,004
422,16	2,88	0,0034	0,0013	0,0036	0,39	1,07	0,004
421,16	3,27	0,0035	0,0014	0,0038	0,40	1,08	0,004
420,16	3,67	0,0037	0,0015	0,0039	0,41	1,08	0,004
419,16	4,07	0,0038	0,0016	0,0041	0,41	1,08	0,004
418,16	4,49	0,0039	0,0017	0,0043	0,42	1,09	0,005
417,16	4,91	0,0041	0,0018	0,0045	0,43	1,09	0,005
416,16	5,34	0,0042	0,0018	0,0046	0,43	1,09	0,005
415,16	5,77	0,0044	0,0019	0,0048	0,44	1,09	0,005
414,16	6,21	0,0046	0,0020	0,0050	0,45	1,09	0,005
413,16	6,65	0,0047	0,0021	0,0052	0,45	0,84	0,004
412,40	7,00	0,0048	0,0022	0,0053	0,45		

l Σ(d*i)
42,93 0,1037

p= 0,0024

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0012	-0,0016	0,0019	-1,33	1,25	0,002
449,25	8,50	0,0011	-0,0015	0,0018	-1,29	1,26	0,002
448,47	7,50	0,0011	-0,0014	0,0017	-1,25	1,28	0,002
447,67	6,50	0,0011	-0,0013	0,0017	-1,20	1,30	0,002
446,84	5,50	0,0010	-0,0012	0,0016	-1,13	1,33	0,002
445,96	4,50	0,0010	-0,0011	0,0015	-1,05	1,38	0,002
445,01	3,50	0,0010	-0,0009	0,0014	-0,95	1,38	0,002
444,01	2,55	0,0010	-0,0008	0,0013	-0,83	1,30	0,002
443,01	1,71	0,0010	-0,0007	0,0012	-0,70	1,22	0,001
442,01	1,01	0,0010	-0,0006	0,0012	-0,56	1,15	0,001
441,01	0,45	0,0011	-0,0004	0,0011	-0,43	1,09	0,001
440,01	0,02	0,0011	-0,0003	0,0012	-0,29	1,04	0,001
439,01	-0,27	0,0012	-0,0002	0,0012	-0,17	1,01	0,001
438,01	-0,44	0,0013	-0,0001	0,0013	-0,06	1,00	0,001
437,01	-0,50	0,0014	0,0000	0,0014	0,03	1,00	0,001
436,01	-0,47	0,0015	0,0002	0,0015	0,11	1,01	0,002
435,01	-0,36	0,0016	0,0003	0,0016	0,18	1,02	0,002
434,01	-0,18	0,0018	0,0004	0,0018	0,23	1,03	0,002
433,01	0,05	0,0019	0,0005	0,0020	0,28	1,04	0,002
432,01	0,33	0,0020	0,0007	0,0021	0,32	1,05	0,002
431,01	0,65	0,0022	0,0008	0,0023	0,36	1,06	0,002
430,01	1,01	0,0023	0,0009	0,0025	0,38	1,07	0,003
429,01	1,40	0,0025	0,0010	0,0027	0,41	1,08	0,003
428,01	1,81	0,0027	0,0011	0,0029	0,43	1,09	0,003
427,01	2,24	0,0028	0,0013	0,0031	0,45	1,10	0,003
426,01	2,68	0,0030	0,0014	0,0033	0,47	1,10	0,004
425,01	3,15	0,0032	0,0015	0,0035	0,48	1,11	0,004
424,01	3,63	0,0033	0,0016	0,0037	0,49	1,11	0,004
423,01	4,12	0,0035	0,0018	0,0039	0,50	1,12	0,004
422,01	4,62	0,0037	0,0019	0,0041	0,51	1,12	0,005
421,01	5,13	0,0039	0,0020	0,0043	0,52	1,13	0,005
420,01	5,66	0,0040	0,0021	0,0046	0,53	1,13	0,005
419,01	6,18	0,0042	0,0023	0,0048	0,54	1,13	0,005
418,01	6,72	0,0044	0,0024	0,0050	0,54	0,59	0,003
417,49	7,00	0,0045	0,0024	0,0051	0,54		

l Σ(d*i)
38,10 0,089

p= 0,0023

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4
L	250
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0015	-0,0019	0,0025	-1,26	1,28	0,0031
449,21	8,50	0,0015	-0,0018	0,0023	-1,24	1,29	0,0030
448,40	7,50	0,0014	-0,0017	0,0022	-1,21	1,30	0,0028
447,57	6,50	0,0013	-0,0015	0,0020	-1,17	1,32	0,0027
446,71	5,50	0,0012	-0,0014	0,0019	-1,12	1,34	0,0025
445,82	4,50	0,0012	-0,0013	0,0017	-1,06	1,38	0,0024
444,88	3,50	0,0011	-0,0011	0,0016	-0,97	1,40	0,0022
443,88	2,53	0,0011	-0,0009	0,0014	-0,87	1,32	0,0019
442,88	1,66	0,0011	-0,0008	0,0013	-0,74	1,24	0,0016
441,88	0,92	0,0010	-0,0006	0,0012	-0,59	1,16	0,0014
440,88	0,32	0,0011	-0,0005	0,0012	-0,43	1,09	0,0013
439,88	-0,11	0,0011	-0,0003	0,0011	-0,27	1,04	0,0012
438,88	-0,38	0,0012	-0,0001	0,0012	-0,12	1,01	0,0012
437,88	-0,50	0,0013	0,0000	0,0013	0,01	1,00	0,0013
436,88	-0,49	0,0014	0,0002	0,0014	0,13	1,01	0,0014
435,88	-0,36	0,0015	0,0003	0,0015	0,22	1,02	0,0016
434,88	-0,14	0,0017	0,0005	0,0017	0,30	1,04	0,0018
433,88	0,17	0,0018	0,0007	0,0019	0,36	1,06	0,0021
432,88	0,53	0,0020	0,0008	0,0021	0,41	1,08	0,0023
431,88	0,94	0,0022	0,0010	0,0024	0,45	1,10	0,0026
430,88	1,39	0,0023	0,0011	0,0026	0,48	1,11	0,0029
429,88	1,88	0,0025	0,0013	0,0028	0,51	1,12	0,0032
428,88	2,39	0,0027	0,0015	0,0031	0,53	1,13	0,0035
427,88	2,92	0,0029	0,0016	0,0033	0,55	1,14	0,0038
426,88	3,47	0,0031	0,0018	0,0036	0,57	1,15	0,0041
425,88	4,04	0,0033	0,0019	0,0039	0,58	1,16	0,0045
424,88	4,62	0,0035	0,0021	0,0041	0,59	1,16	0,0048
423,88	5,22	0,0037	0,0023	0,0044	0,60	1,17	0,0051
422,88	5,82	0,0040	0,0024	0,0046	0,61	1,17	0,0054
421,88	6,43	0,0042	0,0026	0,0049	0,62	1,08	0,0053
420,96	7,00	0,0044	0,0027	0,0051	0,63		

l Σ(d*i)
34,87 0,0829

p= 0,0024

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	5
L	190
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0025	-0,0029	0,0039	-1,17	1,32	0,0051
449,14	8,50	0,0023	-0,0027	0,0036	-1,16	1,32	0,0047
448,28	7,50	0,0022	-0,0025	0,0033	-1,14	1,33	0,0044
447,40	6,50	0,0020	-0,0022	0,0030	-1,12	1,34	0,0040
446,51	5,50	0,0018	-0,0020	0,0027	-1,09	1,36	0,0037
445,60	4,50	0,0017	-0,0018	0,0024	-1,06	1,38	0,0034
444,65	3,50	0,0015	-0,0015	0,0021	-1,00	1,42	0,0030
443,65	2,50	0,0014	-0,0013	0,0019	-0,92	1,36	0,0025
442,65	1,58	0,0012	-0,0010	0,0016	-0,81	1,28	0,0020
441,65	0,77	0,0011	-0,0007	0,0013	-0,65	1,19	0,0016
440,65	0,12	0,0011	-0,0005	0,0012	-0,44	1,09	0,0013
439,65	-0,31	0,0011	-0,0002	0,0011	-0,19	1,02	0,0011
438,65	-0,50	0,0011	0,0001	0,0011	0,05	1,00	0,0011
437,65	-0,45	0,0013	0,0003	0,0013	0,26	1,03	0,0013
436,65	-0,20	0,0014	0,0006	0,0015	0,41	1,08	0,0017
435,65	0,21	0,0017	0,0008	0,0019	0,51	1,12	0,0021
434,65	0,73	0,0019	0,0011	0,0022	0,59	1,16	0,0025
433,65	1,31	0,0022	0,0014	0,0026	0,64	1,18	0,0030

l Σ(d*i)
32,50 0,0816

p= 0,0025

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4,5
L	220
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	9,50	0,0019	-0,0024	0,0031	-1,21	1,30	0,0040
449,17	8,50	0,0018	-0,0022	0,0029	-1,19	1,30	0,0037
448,34	7,50	0,0017	-0,0020	0,0027	-1,17	1,31	0,0035
447,48	6,50	0,0016	-0,0018	0,0024	-1,14	1,33	0,0033
446,61	5,50	0,0015	-0,0017	0,0022	-1,11	1,35	0,0030
445,70	4,50	0,0014	-0,0015	0,0020	-1,06	1,38	0,0028
444,76	3,50	0,0013	-0,0013	0,0018	-0,99	1,41	0,0026
443,76	2,51	0,0012	-0,0011	0,0016	-0,90	1,34	0,0022
442,76	1,61	0,0011	-0,0009	0,0014	-0,77	1,26	0,0018
441,76	0,84	0,0011	-0,0007	0,0013	-0,62	1,18	0,0015
440,76	0,22	0,0011	-0,0005	0,0012	-0,44	1,09	0,0013
439,76	-0,21	0,0011	-0,0003	0,0011	-0,24	1,03	0,0012
438,76	-0,45	0,0012	-0,0001	0,0012	-0,05	1,00	0,0012
437,76	-0,50	0,0013	0,0001	0,0013	0,12	1,01	0,0013
436,76	-0,39	0,0014	0,0004	0,0014	0,25	1,03	0,0015
435,76	-0,14	0,0016	0,0006	0,0017	0,36	1,06	0,0018
434,76	0,22	0,0017	0,0008	0,0019	0,44	1,09	0,0021
433,76	0,66	0,0019	0,0010	0,0022	0,50	1,12	0,0024
432,76	1,15	0,0022	0,0012	0,0024	0,54	1,14	0,0028
431,76	1,70	0,0024	0,0014	0,0027	0,58	1,16	0,0032
430,76	2,28	0,0026	0,0016	0,0030	0,61	1,17	0,0036
429,76	2,88	0,0028	0,0018	0,0034	0,63	1,18	0,0040
428,76	3,51	0,0031	0,0020	0,0037	0,64	1,19	0,0044
427,76	4,15	0,0033	0,0022	0,0040	0,66	1,20	0,0048
426,76	4,81	0,0036	0,0024	0,0043	0,67	1,20	0,0052
425,76	5,48	0,0038	0,0026	0,0046	0,68	1,21	0,0056
424,76	6,16	0,0041	0,0028	0,0049	0,69	1,21	0,0060
423,76	6,85	0,0043	0,0030	0,0053	0,70	0,26	0,0014
423,55	7,00	0,0044	0,0031	0,0053	0,70		

l Σ(d*i)
30,61 0,0843

p= 0,0028

X	t	il	it	i	t	d	
432,65	1,95	0,0024	0,0016	0,0029	0,67	1,20	0,0035
431,65	2,62	0,0027	0,0019	0,0033	0,70	1,22	0,0041
430,65	3,31	0,0030	0,0022	0,0037	0,72	1,23	0,0046
429,65	4,03	0,0033	0,0024	0,0041	0,73	1,24	0,0051
428,65	4,76	0,0036	0,0027	0,0045	0,74	1,24	0,0056
427,65	5,50	0,0039	0,0030	0,0049	0,75	1,25	0,0062
426,65	6,25	0,0042	0,0032	0,0053	0,76	1,24	0,0066
425,66	7,00	0,0046	0,0035	0,0057	0,76		

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	2,5
L	550
Vt	120

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	3
L	330
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
560,00	10,50	0,0005	-0,0007	0,0009	-1,52	1,20	0,001
559,34	9,50	0,0005	-0,0007	0,0008	-1,46	1,21	0,001
558,66	8,50	0,0005	-0,0007	0,0008	-1,38	1,23	0,001
557,93	7,50	0,0005	-0,0006	0,0008	-1,30	1,26	0,001
557,16	6,50	0,0005	-0,0006	0,0008	-1,20	1,30	0,001
556,33	5,50	0,0005	-0,0006	0,0008	-1,10	1,35	0,001
555,42	4,50	0,0005	-0,0005	0,0007	-0,98	1,40	0,001
554,42	3,52	0,0006	-0,0005	0,0007	-0,85	1,31	0,001
553,42	2,67	0,0006	-0,0004	0,0007	-0,73	1,24	0,001
552,42	1,95	0,0006	-0,0004	0,0007	-0,61	1,17	0,001
551,42	1,34	0,0007	-0,0003	0,0008	-0,50	1,12	0,001
550,42	0,84	0,0007	-0,0003	0,0008	-0,41	1,08	0,001
549,42	0,43	0,0008	-0,0002	0,0008	-0,32	1,05	0,001
548,42	0,11	0,0008	-0,0002	0,0009	-0,24	1,03	0,001
547,42	-0,13	0,0009	-0,0002	0,0009	-0,18	1,02	0,001
546,42	-0,30	0,0010	-0,0001	0,0010	-0,12	1,01	0,001
545,42	-0,42	0,0010	-0,0001	0,0010	-0,06	1,00	0,001
544,42	-0,48	0,0011	0,0000	0,0011	-0,02	1,00	0,001
543,42	-0,50	0,0012	0,0000	0,0012	0,02	1,00	0,001
542,42	-0,48	0,0012	0,0001	0,0012	0,06	1,00	0,001
541,42	-0,42	0,0013	0,0001	0,0013	0,09	1,00	0,001
540,42	-0,33	0,0014	0,0002	0,0014	0,12	1,01	0,001
539,42	-0,22	0,0015	0,0002	0,0015	0,14	1,01	0,001
538,42	-0,07	0,0015	0,0003	0,0016	0,16	1,01	0,002
537,42	0,09	0,0016	0,0003	0,0016	0,18	1,02	0,002
536,42	0,27	0,0017	0,0003	0,0017	0,20	1,02	0,002
535,42	0,48	0,0018	0,0004	0,0018	0,22	1,02	0,002
534,42	0,70	0,0019	0,0004	0,0019	0,23	1,03	0,002
533,42	0,93	0,0019	0,0005	0,0020	0,25	1,03	0,002
532,42	1,18	0,0020	0,0005	0,0021	0,26	1,03	0,002
531,42	1,44	0,0021	0,0006	0,0022	0,27	1,04	0,002
530,42	1,71	0,0022	0,0006	0,0023	0,28	1,04	0,002
529,42	1,99	0,0023	0,0007	0,0024	0,29	1,04	0,002
528,42	2,28	0,0024	0,0007	0,0025	0,30	1,04	0,003
527,42	2,58	0,0024	0,0008	0,0026	0,31	1,05	0,003
526,42	2,89	0,0025	0,0008	0,0027	0,32	1,05	0,003
525,42	3,20	0,0026	0,0008	0,0027	0,32	1,05	0,003
524,42	3,52	0,0027	0,0009	0,0028	0,33	1,05	0,003
523,42	3,85	0,0028	0,0009	0,0029	0,34	1,05	0,003
522,42	4,19	0,0029	0,0010	0,0030	0,34	1,06	0,003
521,42	4,53	0,0030	0,0010	0,0031	0,35	1,06	0,003
520,42	4,88	0,0031	0,0011	0,0032	0,35	1,06	0,003
519,42	5,23	0,0031	0,0011	0,0033	0,36	1,06	0,004
518,42	5,58	0,0032	0,0012	0,0034	0,36	1,06	0,004
517,42	5,94	0,0033	0,0012	0,0035	0,36	1,06	0,004
516,42	6,31	0,0034	0,0013	0,0036	0,37	1,07	0,004
515,42	6,68	0,0035	0,0013	0,0037	0,37	1,07	0,004
514,42	7,05	0,0036	0,0013	0,0038	0,38	1,07	0,004
513,42	7,42	0,0037	0,0014	0,0039	0,38	0,22	0,001
513,22	7,50	0,0037	0,0014	0,0039	0,38		

l $\Sigma(d \cdot i)$
52,36 0,095

p= 0,0018

X	t	il	it	i	t	d	
560,00	10,50	0,0010	-0,0012	0,0016	-1,29	1,26	0,002
559,23	9,50	0,0009	-0,0012	0,0015	-1,27	1,27	0,002
558,44	8,50	0,0009	-0,0011	0,0014	-1,23	1,29	0,002
557,63	7,50	0,0009	-0,0010	0,0013	-1,20	1,30	0,002
556,79	6,50	0,0008	-0,0009	0,0013	-1,15	1,33	0,002
555,92	5,50	0,0008	-0,0009	0,0012	-1,09	1,36	0,002
555,01	4,50	0,0008	-0,0008	0,0011	-1,02	1,40	0,002
554,03	3,50	0,0007	-0,0007	0,0010	-0,93	1,37	0,001
553,03	2,57	0,0007	-0,0006	0,0009	-0,82	1,29	0,001
552,03	1,75	0,0007	-0,0005	0,0009	-0,70	1,22	0,001
551,03	1,05	0,0007	-0,0004	0,0008	-0,57	1,15	0,001
550,03	0,48	0,0008	-0,0003	0,0008	-0,44	1,09	0,001
549,03	0,04	0,0008	-0,0002	0,0008	-0,30	1,04	0,001
548,03	-0,26	0,0008	-0,0001	0,0008	-0,18	1,02	0,001
547,03	-0,44	0,0009	-0,0001	0,0009	-0,06	1,00	0,001
546,03	-0,50	0,0010	0,0000	0,0010	0,04	1,00	0,001
545,03	-0,47	0,0010	0,0001	0,0010	0,12	1,01	0,001
544,03	-0,34	0,0011	0,0002	0,0011	0,19	1,02	0,001
543,03	-0,15	0,0012	0,0003	0,0012	0,26	1,03	0,001
542,03	0,11	0,0013	0,0004	0,0014	0,31	1,05	0,001
541,03	0,41	0,0014	0,0005	0,0015	0,35	1,06	0,002
540,03	0,77	0,0015	0,0006	0,0016	0,39	1,07	0,002
539,03	1,15	0,0016	0,0007	0,0017	0,42	1,08	0,002
538,03	1,57	0,0017	0,0008	0,0019	0,44	1,09	0,002
537,03	2,02	0,0018	0,0009	0,0020	0,47	1,10	0,002
536,03	2,48	0,0019	0,0009	0,0022	0,49	1,11	0,002
535,03	2,97	0,0021	0,0010	0,0023	0,50	1,12	0,003
534,03	3,47	0,0022	0,0011	0,0024	0,52	1,13	0,003
533,03	3,99	0,0023	0,0012	0,0026	0,53	1,13	0,003
532,03	4,52	0,0024	0,0013	0,0027	0,54	1,14	0,003
531,03	5,06	0,0025	0,0014	0,0029	0,55	1,14	0,003
530,03	5,62	0,0027	0,0015	0,0030	0,56	1,15	0,003
529,03	6,18	0,0028	0,0016	0,0032	0,57	1,15	0,004
528,03	6,75	0,0029	0,0017	0,0033	0,58	1,15	0,004
527,03	7,32	0,0030	0,0018	0,0035	0,58	0,35	0,001
526,72	7,50	0,0031	0,0018	0,0035	0,58		

l $\Sigma(d \cdot i)$
39,49 0,065

p= 0,0016

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	3,5
L	285
Vt	120

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	4
L	250
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
560,00	10,50	0,0013	-0,0016	0,0020	-1,23	1,29	0,003
559,18	9,50	0,0012	-0,0015	0,0019	-1,21	1,30	0,002
558,36	8,50	0,0012	-0,0014	0,0018	-1,19	1,31	0,002
557,51	7,50	0,0011	-0,0013	0,0017	-1,16	1,32	0,002
556,65	6,50	0,0010	-0,0012	0,0016	-1,13	1,34	0,002
555,77	5,50	0,0010	-0,0011	0,0014	-1,09	1,36	0,002
554,85	4,50	0,0009	-0,0009	0,0013	-1,03	1,39	0,002
553,88	3,50	0,0009	-0,0008	0,0012	-0,96	1,38	0,002
552,88	2,54	0,0008	-0,0007	0,0011	-0,86	1,32	0,001
551,88	1,68	0,0008	-0,0006	0,0010	-0,74	1,25	0,001
550,88	0,94	0,0008	-0,0005	0,0009	-0,60	1,17	0,001
549,88	0,33	0,0008	-0,0003	0,0008	-0,44	1,09	0,001
548,88	-0,11	0,0008	-0,0002	0,0008	-0,28	1,04	0,001
547,88	-0,39	0,0008	-0,0001	0,0008	-0,11	1,01	0,001
546,88	-0,50	0,0009	0,0000	0,0009	0,03	1,00	0,001
545,88	-0,47	0,0010	0,0002	0,0010	0,16	1,01	0,001
544,88	-0,31	0,0010	0,0003	0,0011	0,26	1,03	0,001
543,88	-0,05	0,0011	0,0004	0,0012	0,35	1,06	0,001
542,88	0,30	0,0013	0,0005	0,0014	0,41	1,08	0,001
541,88	0,71	0,0014	0,0006	0,0015	0,47	1,10	0,002
540,88	1,18	0,0015	0,0008	0,0017	0,51	1,12	0,002
539,88	1,68	0,0016	0,0009	0,0019	0,54	1,14	0,002
538,88	2,22	0,0018	0,0010	0,0020	0,57	1,15	0,002
537,88	2,79	0,0019	0,0011	0,0022	0,59	1,16	0,003
536,88	3,38	0,0021	0,0013	0,0024	0,61	1,17	0,003
535,88	3,99	0,0022	0,0014	0,0026	0,62	1,18	0,003
534,88	4,61	0,0024	0,0015	0,0028	0,64	1,19	0,003
533,88	5,25	0,0025	0,0016	0,0030	0,65	1,19	0,004
532,88	5,89	0,0027	0,0017	0,0032	0,66	1,20	0,004
531,88	6,55	0,0028	0,0019	0,0034	0,66	1,20	0,004
530,88	7,21	0,0030	0,0020	0,0036	0,67	0,51	0,002
530,45	7,50	0,0030	0,0020	0,0037	0,67		

l Σ(d*i)
36,05 0,0624

p= 0,0017

X	t	il	it	i	t	d	
560,00	10,25	0,0016	-0,0019	0,0025	-1,18	1,31	0,003
559,15	9,25	0,0015	-0,0018	0,0024	-1,17	1,32	0,003
558,29	8,25	0,0014	-0,0017	0,0022	-1,15	1,32	0,003
557,42	7,25	0,0013	-0,0015	0,0020	-1,13	1,33	0,003
556,54	6,25	0,0012	-0,0014	0,0019	-1,11	1,35	0,003
555,64	5,25	0,0012	-0,0012	0,0017	-1,07	1,37	0,002
554,71	4,25	0,0011	-0,0011	0,0015	-1,03	1,39	0,002
553,73	3,25	0,0010	-0,0009	0,0013	-0,96	1,39	0,002
552,73	2,29	0,0009	-0,0008	0,0012	-0,87	1,33	0,002
551,73	1,41	0,0008	-0,0006	0,0010	-0,75	1,25	0,001
550,73	0,66	0,0008	-0,0005	0,0009	-0,59	1,16	0,001
549,73	0,07	0,0007	-0,0003	0,0008	-0,39	1,07	0,001
548,73	-0,32	0,0008	-0,0001	0,0008	-0,18	1,02	0,001
547,73	-0,50	0,0008	0,0000	0,0008	0,03	1,00	0,001
546,73	-0,47	0,0009	0,0002	0,0009	0,21	1,02	0,001
545,73	-0,25	0,0010	0,0003	0,0010	0,35	1,06	0,001
544,73	0,10	0,0011	0,0005	0,0012	0,46	1,10	0,001
543,73	0,56	0,0013	0,0007	0,0014	0,53	1,13	0,002
542,73	1,09	0,0014	0,0008	0,0016	0,59	1,16	0,002
541,73	1,68	0,0016	0,0010	0,0019	0,63	1,18	0,002
540,73	2,30	0,0017	0,0011	0,0021	0,66	1,20	0,002
539,73	2,96	0,0019	0,0013	0,0023	0,68	1,21	0,003
538,73	3,64	0,0021	0,0015	0,0026	0,70	1,22	0,003
537,73	4,34	0,0023	0,0016	0,0028	0,71	1,23	0,003
536,73	5,05	0,0025	0,0018	0,0031	0,72	1,23	0,004
535,73	5,77	0,0027	0,0019	0,0033	0,73	1,24	0,004
534,73	6,50	0,0028	0,0021	0,0035	0,74	1,24	0,004
533,73	7,24	0,0030	0,0023	0,0038	0,75	0,43	0,002
533,39	7,50	0,0031	0,0023	0,0039	0,75		

l Σ(d*i)
33,27 0,0620

p= 0,0019

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	4,5
L	220
Vt	120

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	5
L	190
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
560,00	10,50	0,0022	-0,0025	0,0033	-1,14	1,33	0,004
559,12	9,50	0,0020	-0,0023	0,0030	-1,13	1,33	0,004
558,24	8,50	0,0019	-0,0021	0,0028	-1,12	1,34	0,004
557,35	7,50	0,0017	-0,0019	0,0026	-1,11	1,35	0,003
556,45	6,50	0,0016	-0,0017	0,0023	-1,09	1,36	0,003
555,54	5,50	0,0014	-0,0015	0,0021	-1,07	1,37	0,003
554,60	4,50	0,0013	-0,0014	0,0019	-1,04	1,39	0,003
553,64	3,50	0,0012	-0,0012	0,0016	-0,99	1,41	0,002
552,64	2,51	0,0010	-0,0010	0,0014	-0,92	1,36	0,002
551,64	1,59	0,0009	-0,0007	0,0012	-0,81	1,29	0,002
550,64	0,78	0,0008	-0,0005	0,0010	-0,66	1,20	0,001
549,64	0,12	0,0008	-0,0003	0,0008	-0,44	1,09	0,001
548,64	-0,32	0,0007	-0,0001	0,0008	-0,18	1,02	0,001
547,64	-0,50	0,0008	0,0001	0,0008	0,09	1,00	0,001
546,64	-0,41	0,0009	0,0003	0,0009	0,31	1,05	0,001
545,64	-0,10	0,0010	0,0005	0,0011	0,48	1,11	0,001
544,64	0,38	0,0012	0,0007	0,0014	0,58	1,16	0,002
543,64	0,96	0,0014	0,0009	0,0016	0,65	1,19	0,002
542,64	1,61	0,0016	0,0011	0,0019	0,70	1,22	0,002
541,64	2,30	0,0018	0,0013	0,0022	0,73	1,24	0,003
540,64	3,03	0,0020	0,0015	0,0025	0,75	1,25	0,003
539,64	3,78	0,0022	0,0017	0,0028	0,76	1,26	0,004
538,64	4,54	0,0025	0,0019	0,0031	0,78	1,27	0,004
537,64	5,32	0,0027	0,0021	0,0034	0,79	1,27	0,004
536,64	6,11	0,0029	0,0023	0,0037	0,79	1,28	0,005
535,64	6,90	0,0032	0,0025	0,0040	0,80	0,96	0,004
534,89	7,50	0,0033	0,0027	0,0043	0,80		

l Σ(d*i)
32,07 0,0681

p= 0,0021

X	t	il	it	i	t	d	
560,00	10,50	0,0028	-0,0031	0,0041	-1,11	1,34	0,006
559,10	9,50	0,0026	-0,0028	0,0038	-1,11	1,35	0,005
558,20	8,50	0,0024	-0,0026	0,0035	-1,10	1,35	0,005
557,29	7,50	0,0022	-0,0024	0,0032	-1,09	1,36	0,004
556,37	6,50	0,0020	-0,0021	0,0029	-1,08	1,36	0,004
555,45	5,50	0,0018	-0,0019	0,0026	-1,06	1,37	0,004
554,50	4,50	0,0016	-0,0016	0,0023	-1,04	1,39	0,003
553,54	3,50	0,0014	-0,0014	0,0020	-1,00	1,41	0,003
552,54	2,50	0,0012	-0,0011	0,0016	-0,94	1,37	0,002
551,54	1,56	0,0010	-0,0009	0,0013	-0,84	1,31	0,002
550,54	0,72	0,0009	-0,0006	0,0010	-0,69	1,21	0,001
549,54	0,03	0,0008	-0,0003	0,0008	-0,44	1,09	0,001
548,54	-0,41	0,0007	-0,0001	0,0007	-0,09	1,00	0,001
547,54	-0,50	0,0008	0,0002	0,0008	0,26	1,03	0,001
546,54	-0,24	0,0009	0,0005	0,0010	0,51	1,12	0,001
545,54	0,27	0,0011	0,0007	0,0013	0,65	1,20	0,002
544,54	0,92	0,0013	0,0010	0,0017	0,73	1,24	0,002
543,54	1,65	0,0016	0,0012	0,0020	0,77	1,26	0,003
542,54	2,43	0,0019	0,0015	0,0024	0,80	1,28	0,003
541,54	3,23	0,0022	0,0018	0,0028	0,82	1,29	0,004
540,54	4,05	0,0025	0,0020	0,0032	0,83	1,30	0,004
539,54	4,88	0,0027	0,0023	0,0036	0,84	1,30	0,005
538,54	5,71	0,0030	0,0026	0,0040	0,84	1,31	0,005
537,54	6,56	0,0033	0,0028	0,0044	0,85	1,31	0,006
536,54	7,40	0,0036	0,0031	0,0048	0,85	0,15	0,001
536,43	7,50	0,0037	0,0031	0,0048	0,85		

l Σ(d*i)
30,73 0,0755

p= 0,0025

i	-0,06
R	-3500
D/2	210

Se	2,5
L	550
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
116,38	-1,00	-0,0268	0,0038	0,0271	0,14	1,01	0,027
117,38	-0,86	-0,0265	0,0038	0,0268	0,14	1,01	0,027
118,38	-0,72	-0,0262	0,0037	0,0265	0,14	1,01	0,027
119,38	-0,57	-0,0259	0,0037	0,0262	0,14	1,01	0,026
120,38	-0,43	-0,0256	0,0036	0,0259	0,14	1,01	0,026
121,38	-0,29	-0,0253	0,0036	0,0256	0,14	1,01	0,026
122,38	-0,15	-0,0250	0,0035	0,0253	0,14	1,01	0,026
123,38	-0,01	-0,0247	0,0035	0,0250	0,14	1,01	0,025
124,38	0,13	-0,0245	0,0034	0,0247	0,14	1,01	0,025
125,38	0,27	-0,0242	0,0034	0,0244	0,14	1,01	0,025
126,38	0,41	-0,0239	0,0033	0,0241	0,14	1,01	0,024
127,38	0,55	-0,0236	0,0033	0,0238	0,14	1,01	0,024
128,38	0,69	-0,0233	0,0033	0,0235	0,14	1,01	0,024
129,38	0,83	-0,0230	0,0032	0,0232	0,14	1,01	0,023
130,38	0,97	-0,0227	0,0032	0,0229	0,14	1,01	0,023
131,38	1,11	-0,0224	0,0031	0,0226	0,14	1,01	0,023
132,38	1,25	-0,0221	0,0031	0,0223	0,14	1,01	0,023
133,38	1,39	-0,0218	0,0030	0,0220	0,14	1,01	0,022
134,38	1,53	-0,0215	0,0030	0,0217	0,14	1,01	0,022
135,38	1,67	-0,0212	0,0029	0,0214	0,14	1,01	0,022
136,38	1,80	-0,0210	0,0029	0,0212	0,14	1,01	0,021
137,38	1,94	-0,0207	0,0028	0,0209	0,14	1,01	0,021
138,38	2,08	-0,0204	0,0028	0,0206	0,14	1,01	0,021
139,38	2,22	-0,0201	0,0028	0,0203	0,14	1,01	0,020
140,38	2,35	-0,0198	0,0027	0,0200	0,14	1,01	0,020
141,38	2,49	-0,0195	0,0027	0,0197	0,14	1,01	0,020
142,38	2,63	-0,0192	0,0026	0,0194	0,14	1,01	0,020
143,38	2,76	-0,0189	0,0026	0,0191	0,14	1,01	0,019
144,38	2,90	-0,0186	0,0025	0,0188	0,14	1,01	0,019
145,38	3,04	-0,0183	0,0025	0,0185	0,14	1,01	0,019
146,38	3,17	-0,0180	0,0024	0,0182	0,14	1,01	0,018
147,38	3,31	-0,0177	0,0024	0,0179	0,13	1,01	0,018
148,38	3,44	-0,0175	0,0023	0,0176	0,13	1,01	0,018
149,38	3,58	-0,0172	0,0023	0,0173	0,13	1,01	0,017
150,38	3,71	-0,0169	0,0023	0,0170	0,13	1,01	0,017
151,38	3,84	-0,0166	0,0022	0,0167	0,13	1,01	0,017
152,38	3,98	-0,0163	0,0022	0,0164	0,13	1,01	0,017
153,38	4,11	-0,0160	0,0021	0,0161	0,13	1,01	0,016
154,38	4,24	-0,0157	0,0021	0,0158	0,13	1,01	0,016
155,38	4,37	-0,0154	0,0020	0,0155	0,13	1,01	0,016
156,38	4,51	-0,0151	0,0020	0,0153	0,13	1,01	0,015
157,38	4,64	-0,0148	0,0019	0,0150	0,13	1,01	0,015
158,38	4,77	-0,0145	0,0019	0,0147	0,13	1,01	0,015
159,38	4,90	-0,0142	0,0018	0,0144	0,13	1,01	0,014
160,38	5,03	-0,0140	0,0018	0,0141	0,13	1,01	0,014
161,38	5,16	-0,0137	0,0018	0,0138	0,13	1,01	0,014
162,38	5,28	-0,0134	0,0017	0,0135	0,13	1,01	0,014
163,38	5,41	-0,0131	0,0017	0,0132	0,13	1,01	0,013
164,38	5,54	-0,0128	0,0016	0,0129	0,13	1,01	0,013
165,38	5,67	-0,0125	0,0016	0,0126	0,13	1,01	0,013
166,38	5,79	-0,0122	0,0015	0,0123	0,13	1,01	0,012
167,38	5,92	-0,0119	0,0015	0,0120	0,12	1,01	0,012

X	t	il	it	i	t	d	
168,38	6,04	-0,0116	0,0014	0,0117	0,12	1,01	0,012
169,38	6,17	-0,0113	0,0014	0,0114	0,12	1,01	0,012
170,38	6,29	-0,0110	0,0013	0,0111	0,12	1,01	0,011
171,38	6,41	-0,0107	0,0013	0,0108	0,12	1,01	0,011
172,38	6,53	-0,0105	0,0013	0,0105	0,12	1,01	0,011
173,38	6,65	-0,0102	0,0012	0,0102	0,12	1,01	0,010
174,38	6,77	-0,0099	0,0012	0,0099	0,12	1,01	0,010
175,38	6,89	-0,0096	0,0011	0,0097	0,12	1,01	0,010
176,38	7,01	-0,0093	0,0011	0,0094	0,12	1,01	0,009
177,38	7,12	-0,0090	0,0010	0,0091	0,11	1,01	0,009
178,38	7,23	-0,0087	0,0010	0,0088	0,11	1,01	0,009
179,38	7,35	-0,0084	0,0009	0,0085	0,11	1,01	0,009
180,38	7,46	-0,0081	0,0009	0,0082	0,11	1,01	0,008
181,38	7,57	-0,0078	0,0008	0,0079	0,11	1,01	0,008
182,38	7,68	-0,0075	0,0008	0,0076	0,11	1,01	0,008
183,38	7,78	-0,0073	0,0008	0,0073	0,10	1,01	0,007
184,38	7,89	-0,0070	0,0007	0,0070	0,10	1,01	0,007
185,38	7,99	-0,0067	0,0007	0,0067	0,10	1,00	0,007
186,38	8,09	-0,0064	0,0006	0,0064	0,10	1,00	0,006
187,38	8,19	-0,0061	0,0006	0,0061	0,09	1,00	0,006
188,38	8,28	-0,0058	0,0005	0,0058	0,09	1,00	0,006
189,38	8,37	-0,0055	0,0005	0,0055	0,09	1,00	0,006
190,38	8,46	-0,0052	0,0004	0,0052	0,08	1,00	0,005
191,38	8,54	-0,0049	0,0004	0,0050	0,08	1,00	0,005
192,38	8,62	-0,0046	0,0003	0,0047	0,07	1,00	0,005
193,38	8,70	-0,0044	0,0003	0,0044	0,07	1,00	0,004
194,38	8,76	-0,0041	0,0003	0,0041	0,06	1,00	0,004
195,38	8,83	-0,0038	0,0002	0,0038	0,06	1,00	0,004
196,38	8,88	-0,0035	0,0002	0,0035	0,05	1,00	0,003
197,38	8,93	-0,0032	0,0001	0,0032	0,04	1,00	0,003
198,38	8,97	-0,0029	0,0001	0,0029	0,03	1,00	0,003
199,38	8,99	-0,0026	0,0000	0,0026	0,01	1,00	0,003
200,38	9,00	-0,0023	0,0000	0,0023	-0,01	1,00	0,002
201,38	9,00	-0,0021	-0,0001	0,0021	-0,03	1,00	0,002
202,38	8,97	-0,0018	-0,0001	0,0018	-0,06	1,00	0,002
203,38	8,90	-0,0015	-0,0002	0,0015	-0,10	1,01	0,002
204,38	8,80	-0,0012	-0,0002	0,0012	-0,16	1,01	0,001
205,4	8,64	-0,0009	-0,0002	0,001	-0,26	1,034	0,0010
206,4	8,37	-0,0007	-0,0003	0,0007	-0,44	1,09	0,0008
207,4	7,93	-0,0004	-0,0003	0,0005	-0,86	1,321	0,0007
208,4	7,07	-0,0001	-0,0004	0,0004	-2,69	1,067	0,0004
208,8	6,07	-0,0001	-0,0004	0,0004	-4,92	1,02	0,0004
209	5,07	-0,0001	-0,0004	0,0004	-5,97	1,014	0,0004
209,1	4,07	-0,0001	-0,0004	0,0004	-6,3	1,013	0,0004
209,3	3,07	-0,0001	-0,0004	0,0004	-6,4	1,012	0,0004
209,4	2,07	-0,0001	-0,0004	0,0004	-6,43	1,012	0,0004
209,6	1,07	-0,0001	-0,0004	0,0004	-6,44	1,012	0,0004
209,7	0,07	-0,0001	-0,0004	0,0004	-6,44	0,066	0,0000
209,7	0	-0,0001	-0,0004	0,0004	-5,93		

I Σ(d*I)
100,31 1,2698

p= 0,0127

i	-0,06
R	-3500
D/2	210

Se	3
L	330
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
153,18	-1,00	-0,0163	0,0043	0,0169	0,26	1,03	0,017
154,18	-0,74	-0,0160	0,0042	0,0165	0,26	1,03	0,017
155,18	-0,48	-0,0157	0,0041	0,0162	0,26	1,03	0,017
156,18	-0,22	-0,0154	0,0040	0,0159	0,26	1,03	0,016
157,18	0,04	-0,0151	0,0039	0,0156	0,26	1,03	0,016
158,18	0,30	-0,0148	0,0038	0,0153	0,26	1,03	0,016
159,18	0,55	-0,0145	0,0037	0,0149	0,26	1,03	0,015
160,18	0,81	-0,0142	0,0036	0,0146	0,26	1,03	0,015
161,18	1,07	-0,0139	0,0035	0,0143	0,25	1,03	0,015
162,18	1,32	-0,0135	0,0034	0,0140	0,25	1,03	0,014
163,18	1,57	-0,0132	0,0033	0,0137	0,25	1,03	0,014
164,18	1,83	-0,0129	0,0033	0,0133	0,25	1,03	0,014
165,18	2,08	-0,0126	0,0032	0,0130	0,25	1,03	0,013
166,18	2,33	-0,0123	0,0031	0,0127	0,25	1,03	0,013
167,18	2,58	-0,0120	0,0030	0,0124	0,25	1,03	0,013
168,18	2,83	-0,0117	0,0029	0,0120	0,25	1,03	0,012
169,18	3,08	-0,0114	0,0028	0,0117	0,25	1,03	0,012
170,18	3,32	-0,0111	0,0027	0,0114	0,24	1,03	0,012
171,18	3,57	-0,0108	0,0026	0,0111	0,24	1,03	0,011
172,18	3,81	-0,0105	0,0025	0,0108	0,24	1,03	0,011
173,18	4,05	-0,0102	0,0024	0,0104	0,24	1,03	0,011
174,18	4,29	-0,0099	0,0023	0,0101	0,24	1,03	0,010
175,18	4,53	-0,0095	0,0023	0,0098	0,24	1,03	0,010
176,18	4,77	-0,0092	0,0022	0,0095	0,23	1,03	0,010
177,18	5,00	-0,0089	0,0021	0,0092	0,23	1,03	0,009
178,18	5,23	-0,0086	0,0020	0,0088	0,23	1,03	0,009
179,18	5,46	-0,0083	0,0019	0,0085	0,23	1,03	0,009
180,18	5,69	-0,0080	0,0018	0,0082	0,22	1,02	0,008
181,18	5,92	-0,0077	0,0017	0,0079	0,22	1,02	0,008
182,18	6,14	-0,0074	0,0016	0,0076	0,22	1,02	0,008
183,18	6,36	-0,0071	0,0015	0,0073	0,22	1,02	0,007
184,18	6,57	-0,0068	0,0014	0,0069	0,21	1,02	0,007
185,18	6,78	-0,0065	0,0013	0,0066	0,21	1,02	0,007
186,18	6,99	-0,0062	0,0013	0,0063	0,20	1,02	0,006
187,18	7,20	-0,0059	0,0012	0,0060	0,20	1,02	0,006
188,18	7,39	-0,0056	0,0011	0,0057	0,19	1,02	0,006
189,18	7,59	-0,0053	0,0010	0,0054	0,19	1,02	0,005
190,18	7,77	-0,0050	0,0009	0,0050	0,18	1,02	0,005
191,18	7,95	-0,0047	0,0008	0,0047	0,17	1,01	0,005
192,18	8,13	-0,0044	0,0007	0,0044	0,16	1,01	0,004
193,18	8,29	-0,0041	0,0006	0,0041	0,15	1,01	0,004
194,18	8,44	-0,0038	0,0005	0,0038	0,14	1,01	0,004
195,18	8,58	-0,0035	0,0004	0,0035	0,13	1,01	0,004
196,18	8,71	-0,0032	0,0003	0,0032	0,11	1,01	0,003
197,18	8,82	-0,0029	0,0003	0,0029	0,09	1,00	0,003
198,18	8,91	-0,0026	0,0002	0,0026	0,06	1,00	0,003
199,18	8,97	-0,0023	0,0001	0,0023	0,03	1,00	0,002
200,18	9,00	-0,0020	0,0000	0,0020	-0,01	1,00	0,002
201,18	9,00	-0,0017	-0,0001	0,0017	-0,06	1,00	0,002
202,18	8,93	-0,0014	-0,0002	0,0014	-0,14	1,01	0,001
203,18	8,79	-0,0012	-0,0003	0,0012	-0,25	1,03	0,001
204,18	8,54	-0,0009	-0,0004	0,0010	-0,43	1,09	0,001
205,18	8,11	-0,0006	-0,0005	0,0008	-0,74	1,24	0,001
206,18	7,38	-0,0004	-0,0006	0,0007	-1,33	1,25	0,001
206,93	6,38	-0,0003	-0,0006	0,0007	-2,12	1,11	0,001
207,40	5,38	-0,0003	-0,0007	0,0007	-2,66	1,07	0,001
207,78	4,38	-0,0002	-0,0007	0,0007	-2,99	1,05	0,001
208,11	3,38	-0,0002	-0,0007	0,0008	-3,18	1,05	0,001

X	t	il	it	i	t	d	
208,43	2,38	-0,0002	-0,0008	0,0008	-3,29	1,05	0,001
208,73	1,38	-0,0002	-0,0008	0,0008	-3,35	1,04	0,001
209,03	0,38	-0,0002	-0,0008	0,0009	-3,38	0,40	0,000
208,92	0,00	-0,0003	-0,0008	0,0009	-2,62		

I **Σ(d*i)**
62,50 0,4739

p= 0,0076

i	-0,06
R	-3500
D/2	210

Se	3,5
L	285
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
163,56	-1,00	-0,0134	0,0045	0,0141	0,33	1,05	0,015
164,56	-0,67	-0,0131	0,0044	0,0138	0,33	1,05	0,015
165,56	-0,33	-0,0127	0,0042	0,0134	0,33	1,05	0,014
166,56	0,00	-0,0124	0,0041	0,0131	0,33	1,05	0,014
167,56	0,33	-0,0121	0,0040	0,0127	0,33	1,05	0,013
168,56	0,66	-0,0118	0,0039	0,0124	0,33	1,05	0,013
169,56	0,99	-0,0114	0,0037	0,0120	0,33	1,05	0,013
170,56	1,32	-0,0111	0,0036	0,0117	0,33	1,05	0,012
171,56	1,64	-0,0108	0,0035	0,0113	0,32	1,05	0,012
172,56	1,96	-0,0105	0,0034	0,0110	0,32	1,05	0,012
173,56	2,29	-0,0101	0,0032	0,0106	0,32	1,05	0,011
174,56	2,61	-0,0098	0,0031	0,0103	0,32	1,05	0,011
175,56	2,93	-0,0095	0,0030	0,0099	0,32	1,05	0,010
176,56	3,24	-0,0092	0,0029	0,0096	0,31	1,05	0,010
177,56	3,56	-0,0088	0,0028	0,0093	0,31	1,05	0,010
178,56	3,87	-0,0085	0,0026	0,0089	0,31	1,05	0,009
179,56	4,18	-0,0082	0,0025	0,0086	0,31	1,05	0,009
180,56	4,48	-0,0079	0,0024	0,0082	0,30	1,05	0,009
181,56	4,79	-0,0075	0,0023	0,0079	0,30	1,04	0,008
182,56	5,09	-0,0072	0,0021	0,0075	0,30	1,04	0,008
183,56	5,38	-0,0069	0,0020	0,0072	0,29	1,04	0,007
184,56	5,68	-0,0066	0,0019	0,0068	0,29	1,04	0,007
185,56	5,96	-0,0063	0,0018	0,0065	0,28	1,04	0,007
186,56	6,25	-0,0059	0,0017	0,0062	0,28	1,04	0,006
187,56	6,53	-0,0056	0,0015	0,0058	0,27	1,04	0,006
188,56	6,80	-0,0053	0,0014	0,0055	0,27	1,03	0,006
189,56	7,06	-0,0050	0,0013	0,0051	0,26	1,03	0,005
190,56	7,32	-0,0047	0,0012	0,0048	0,25	1,03	0,005
191,56	7,57	-0,0043	0,0010	0,0045	0,24	1,03	0,005
192,56	7,81	-0,0040	0,0009	0,0041	0,23	1,03	0,004
193,56	8,03	-0,0037	0,0008	0,0038	0,21	1,02	0,004
194,56	8,25	-0,0034	0,0007	0,0035	0,20	1,02	0,004
195,56	8,44	-0,0031	0,0005	0,0031	0,18	1,02	0,003
196,56	8,62	-0,0028	0,0004	0,0028	0,15	1,01	0,003
197,56	8,77	-0,0025	0,0003	0,0025	0,12	1,01	0,003
198,56	8,89	-0,0022	0,0002	0,0022	0,08	1,00	0,002
199,56	8,97	-0,0019	0,0001	0,0019	0,03	1,00	0,002
200,56	9,00	-0,0016	-0,0001	0,0016	-0,04	1,00	0,002
201,56	8,96	-0,0013	-0,0002	0,0013	-0,15	1,01	0,001
202,56	8,81	-0,0010	-0,0003	0,0011	-0,30	1,04	0,001
203,56	8,51	-0,0008	-0,0004	0,0009	-0,55	1,14	0,001
204,56	7,96	-0,0006	-0,0006	0,0008	-0,97	1,39	0,001
205,56	6,99	-0,0004	-0,0007	0,0008	-1,66	1,17	0,001
206,16	5,99	-0,0004	-0,0008	0,0008	-2,09	1,11	0,001
206,64	4,99	-0,0003	-0,0008	0,0009	-2,35	1,09	0,001
207,06	3,99	-0,0003	-0,0009	0,0009	-2,49	1,08	0,001
207,47	2,99	-0,0004	-0,0009	0,0010	-2,57	1,07	0,001
207,86	1,99	-0,0004	-0,0010	0,0010	-2,62	1,07	0,001
208,24	0,99	-0,0004	-0,0010	0,0011	-2,65	1,06	0,001
207,86	0,00	-0,0006	-0,0010	0,0011	-1,58		

l Σ(d*i)
51,66 0,3193

p= 0,0062

i	-0,06
R	-3500
D/2	210

Se	4
L	250
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
170,84	-1,00	-0,0113	0,0047	0,0123	0,41	1,08	0,013
171,84	-0,59	-0,0110	0,0045	0,0119	0,41	1,08	0,013
172,84	-0,18	-0,0106	0,0043	0,0115	0,41	1,08	0,012
173,84	0,23	-0,0103	0,0042	0,0111	0,41	1,08	0,012
174,84	0,64	-0,0099	0,0040	0,0107	0,40	1,08	0,012
175,84	1,04	-0,0096	0,0039	0,0103	0,40	1,08	0,011
176,84	1,44	-0,0092	0,0037	0,0100	0,40	1,08	0,011
177,84	1,84	-0,0089	0,0035	0,0096	0,40	1,08	0,010
178,84	2,24	-0,0085	0,0034	0,0092	0,40	1,08	0,010
179,84	2,64	-0,0082	0,0032	0,0088	0,39	1,07	0,009
180,84	3,03	-0,0079	0,0031	0,0084	0,39	1,07	0,009
181,84	3,42	-0,0075	0,0029	0,0080	0,39	1,07	0,009
182,84	3,81	-0,0072	0,0027	0,0077	0,38	1,07	0,008
183,84	4,19	-0,0068	0,0026	0,0073	0,38	1,07	0,008
184,84	4,57	-0,0065	0,0024	0,0069	0,38	1,07	0,007
185,84	4,95	-0,0061	0,0023	0,0065	0,37	1,07	0,007
186,84	5,32	-0,0058	0,0021	0,0061	0,36	1,06	0,007
187,84	5,68	-0,0054	0,0019	0,0058	0,36	1,06	0,006
188,84	6,04	-0,0051	0,0018	0,0054	0,35	1,06	0,006
189,84	6,39	-0,0047	0,0016	0,0050	0,34	1,06	0,005
190,84	6,74	-0,0044	0,0015	0,0046	0,33	1,05	0,005
191,84	7,07	-0,0041	0,0013	0,0043	0,32	1,05	0,004
192,84	7,39	-0,0037	0,0011	0,0039	0,31	1,05	0,004
193,84	7,70	-0,0034	0,0010	0,0035	0,29	1,04	0,004
194,84	7,99	-0,0031	0,0008	0,0032	0,27	1,04	0,003
195,84	8,26	-0,0027	0,0007	0,0028	0,24	1,03	0,003
196,84	8,50	-0,0024	0,0005	0,0025	0,21	1,02	0,003
197,84	8,71	-0,0021	0,0003	0,0021	0,17	1,01	0,002
198,84	8,88	-0,0018	0,0002	0,0018	0,11	1,01	0,002
199,84	8,98	-0,0015	0,0000	0,0015	0,02	1,00	0,001
200,84	9,00	-0,0012	-0,0001	0,0012	-0,11	1,01	0,001
201,84	8,89	-0,0009	-0,0003	0,0010	-0,32	1,05	0,001
202,84	8,57	-0,0007	-0,0005	0,0008	-0,67	1,20	0,001
203,84	7,90	-0,0005	-0,0006	0,0008	-1,23	1,29	0,001
204,65	6,90	-0,0004	-0,0007	0,0009	-1,74	1,15	0,001
205,22	5,90	-0,0004	-0,0008	0,0009	-1,98	1,12	0,001
205,73	4,90	-0,0004	-0,0009	0,0010	-2,09	1,11	0,001
206,20	3,90	-0,0005	-0,0010	0,0011	-2,15	1,10	0,001
206,67	2,90	-0,0005	-0,0011	0,0012	-2,18	1,10	0,001
207,13	1,90	-0,0005	-0,0011	0,0013	-2,20	1,10	0,001
207,58	0,90	-0,0005	-0,0012	0,0013	-2,21	0,99	0,001
207,17	0,00	-0,0008	-0,0011	0,0014	-1,42		

l Σ(d*i)
43,96 0,2292

p= 0,0052

i	-0,06
R	-3500
D/2	210

Se	4,5
L	220
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
167,13	-1,00	-0,0124	0,0057	0,0137	0,46	1,10	0,015
168,13	-0,54	-0,0121	0,0055	0,0133	0,46	1,10	0,015
169,13	-0,09	-0,0117	0,0053	0,0128	0,45	1,10	0,014
170,13	0,37	-0,0113	0,0051	0,0124	0,45	1,10	0,014
171,13	0,82	-0,0109	0,0049	0,0120	0,45	1,10	0,013
172,13	1,26	-0,0106	0,0047	0,0116	0,44	1,09	0,013
173,13	1,70	-0,0102	0,0045	0,0111	0,44	1,09	0,012
174,13	2,14	-0,0098	0,0043	0,0107	0,43	1,09	0,012
175,13	2,58	-0,0094	0,0041	0,0103	0,43	1,09	0,011
176,13	3,01	-0,0091	0,0039	0,0099	0,43	1,09	0,011
177,13	3,43	-0,0087	0,0037	0,0094	0,42	1,08	0,010
178,13	3,85	-0,0083	0,0035	0,0090	0,41	1,08	0,010
179,13	4,27	-0,0080	0,0032	0,0086	0,41	1,08	0,009
180,13	4,68	-0,0076	0,0030	0,0082	0,40	1,08	0,009
181,13	5,08	-0,0072	0,0028	0,0078	0,39	1,07	0,008
182,13	5,47	-0,0069	0,0026	0,0073	0,38	1,07	0,008
183,13	5,85	-0,0065	0,0024	0,0069	0,37	1,07	0,007
184,13	6,23	-0,0061	0,0022	0,0065	0,36	1,06	0,007
185,13	6,59	-0,0058	0,0020	0,0061	0,35	1,06	0,006
186,13	6,94	-0,0054	0,0018	0,0057	0,34	1,05	0,006
187,13	7,28	-0,0051	0,0016	0,0053	0,32	1,05	0,006
188,13	7,60	-0,0047	0,0014	0,0049	0,30	1,04	0,005
189,13	7,89	-0,0044	0,0012	0,0045	0,28	1,04	0,005
190,13	8,17	-0,0040	0,0010	0,0041	0,25	1,03	0,004
191,13	8,42	-0,0037	0,0008	0,0038	0,22	1,02	0,004
192,13	8,63	-0,0033	0,0006	0,0034	0,18	1,02	0,003
193,13	8,81	-0,0030	0,0004	0,0030	0,13	1,01	0,003
194,13	8,94	-0,0027	0,0002	0,0027	0,07	1,00	0,003
195,13	9,00	-0,0024	0,0000	0,0024	-0,01	1,00	0,002
196,13	8,99	-0,0021	-0,0002	0,0021	-0,11	1,01	0,002
197,13	8,88	-0,0019	-0,0004	0,0019	-0,23	1,03	0,002
198,13	8,65	-0,0016	-0,0006	0,0017	-0,39	1,07	0,002
199,13	8,25	-0,0014	-0,0008	0,0017	-0,59	1,16	0,002
200,13	7,66	-0,0013	-0,0010	0,0016	-0,84	1,30	0,002
201,13	6,82	-0,0011	-0,0013	0,0017	-1,10	1,35	0,002
202,04	5,82	-0,0011	-0,0014	0,0018	-1,33	1,25	0,002
202,79	4,82	-0,0011	-0,0016	0,0019	-1,48	1,21	0,002
203,47	3,82	-0,0011	-0,0017	0,0020	-1,60	1,18	0,002
204,09	2,82	-0,0011	-0,0019	0,0022	-1,67	1,16	0,003
204,69	1,82	-0,0011	-0,0020	0,0023	-1,73	1,15	0,003
205,27	0,82	-0,0012	-0,0021	0,0024	-1,77	0,95	0,002
205,73	0,00	-0,0012	-0,0022	0,0025	-1,80		

l Σ(d*i)
44,69 0,2718

p= 0,0061

i	-0,06
R	-3500
D/2	210

Se	5
L	190
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
172,23	-1,00	-0,0111	0,0060	0,0126	0,54	1,14	0,014
173,23	-0,46	-0,0106	0,0057	0,0121	0,54	1,14	0,014
174,23	0,08	-0,0102	0,0055	0,0116	0,54	1,13	0,013
175,23	0,62	-0,0098	0,0052	0,0111	0,53	1,13	0,013
176,23	1,15	-0,0093	0,0049	0,0106	0,53	1,13	0,012
177,23	1,68	-0,0089	0,0047	0,0101	0,52	1,13	0,011
178,23	2,20	-0,0085	0,0044	0,0096	0,52	1,13	0,011
179,23	2,72	-0,0081	0,0042	0,0091	0,51	1,12	0,010
180,23	3,23	-0,0077	0,0039	0,0086	0,51	1,12	0,010
181,23	3,74	-0,0072	0,0036	0,0081	0,50	1,12	0,009
182,23	4,24	-0,0068	0,0034	0,0076	0,49	1,11	0,008
183,23	4,73	-0,0064	0,0031	0,0071	0,48	1,11	0,008
184,23	5,22	-0,0060	0,0028	0,0066	0,47	1,11	0,007
185,23	5,69	-0,0056	0,0026	0,0062	0,46	1,10	0,007
186,23	6,15	-0,0052	0,0023	0,0057	0,45	1,09	0,006
187,23	6,60	-0,0048	0,0020	0,0052	0,43	1,09	0,006
188,23	7,02	-0,0044	0,0018	0,0047	0,41	1,08	0,005
189,23	7,43	-0,0040	0,0015	0,0043	0,38	1,07	0,005
190,23	7,81	-0,0036	0,0013	0,0038	0,35	1,06	0,004
191,23	8,16	-0,0032	0,0010	0,0034	0,31	1,05	0,004
192,23	8,47	-0,0029	0,0007	0,0029	0,26	1,03	0,003
193,23	8,72	-0,0025	0,0005	0,0025	0,19	1,02	0,003
194,23	8,91	-0,0022	0,0002	0,0022	0,09	1,00	0,002
195,23	9,00	-0,0019	-0,0001	0,0019	-0,03	1,00	0,002
196,23	8,97	-0,0016	-0,0003	0,0016	-0,21	1,02	0,002
197,23	8,76	-0,0013	-0,0006	0,0015	-0,44	1,09	0,002
198,23	8,33	-0,0012	-0,0008	0,0014	-0,72	1,23	0,002
199,23	7,60	-0,0011	-0,0011	0,0015	-1,03	1,39	0,002
200,20	6,60	-0,0011	-0,0014	0,0017	-1,29	1,27	0,002
200,98	5,60	-0,0011	-0,0016	0,0019	-1,42	1,22	0,002
201,68	4,60	-0,0012	-0,0018	0,0021	-1,51	1,20	0,003
202,34	3,60	-0,0012	-0,0019	0,0023	-1,56	1,19	0,003
202,99	2,60	-0,0013	-0,0021	0,0025	-1,59	1,18	0,003
203,61	1,60	-0,0014	-0,0023	0,0027	-1,62	1,18	0,003
204,23	0,60	-0,0015	-0,0024	0,0028	-1,63	0,71	0,002
203,86	0,00	-0,0018	-0,0023	0,0029	-1,33		

l Σ(d*i)
38,90 0,2111

p= 0,0054

i	-0,05
R	-5500
D/2	275

Se	2,5
L	550
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
207,80	-1,00	-0,0123	0,0026	0,0125	0,21	1,02	0,013
208,80	-0,79	-0,0121	0,0026	0,0123	0,21	1,02	0,013
209,80	-0,58	-0,0119	0,0025	0,0121	0,21	1,02	0,012
210,80	-0,37	-0,0117	0,0025	0,0119	0,21	1,02	0,012
211,80	-0,15	-0,0115	0,0024	0,0117	0,21	1,02	0,012
212,80	0,06	-0,0113	0,0024	0,0116	0,21	1,02	0,012
213,80	0,27	-0,0111	0,0023	0,0114	0,21	1,02	0,012
214,80	0,48	-0,0109	0,0023	0,0112	0,21	1,02	0,011
215,80	0,68	-0,0107	0,0022	0,0110	0,21	1,02	0,011
216,80	0,89	-0,0105	0,0022	0,0108	0,21	1,02	0,011
217,80	1,10	-0,0104	0,0021	0,0106	0,21	1,02	0,011
218,80	1,31	-0,0102	0,0021	0,0104	0,21	1,02	0,011
219,80	1,51	-0,0100	0,0021	0,0102	0,21	1,02	0,010
220,80	1,72	-0,0098	0,0020	0,0100	0,21	1,02	0,010
221,80	1,93	-0,0096	0,0020	0,0098	0,20	1,02	0,010
222,80	2,13	-0,0094	0,0019	0,0096	0,20	1,02	0,010
223,80	2,33	-0,0092	0,0019	0,0094	0,20	1,02	0,010
224,80	2,54	-0,0090	0,0018	0,0092	0,20	1,02	0,009
225,80	2,74	-0,0088	0,0018	0,0090	0,20	1,02	0,009
226,80	2,94	-0,0086	0,0017	0,0088	0,20	1,02	0,009
227,80	3,14	-0,0084	0,0017	0,0086	0,20	1,02	0,009
228,80	3,34	-0,0083	0,0016	0,0084	0,20	1,02	0,009
229,80	3,54	-0,0081	0,0016	0,0082	0,20	1,02	0,008
230,80	3,74	-0,0079	0,0016	0,0080	0,20	1,02	0,008
231,80	3,94	-0,0077	0,0015	0,0078	0,20	1,02	0,008
232,80	4,14	-0,0075	0,0015	0,0076	0,20	1,02	0,008
233,80	4,33	-0,0073	0,0014	0,0074	0,19	1,02	0,008
234,80	4,53	-0,0071	0,0014	0,0072	0,19	1,02	0,007
235,80	4,72	-0,0069	0,0013	0,0070	0,19	1,02	0,007
236,80	4,91	-0,0067	0,0013	0,0068	0,19	1,02	0,007
237,80	5,10	-0,0065	0,0012	0,0067	0,19	1,02	0,007
238,80	5,29	-0,0063	0,0012	0,0065	0,19	1,02	0,007
239,80	5,48	-0,0062	0,0011	0,0063	0,19	1,02	0,006
240,80	5,66	-0,0060	0,0011	0,0061	0,18	1,02	0,006
241,80	5,85	-0,0058	0,0011	0,0059	0,18	1,02	0,006
242,80	6,03	-0,0056	0,0010	0,0057	0,18	1,02	0,006
243,80	6,21	-0,0054	0,0010	0,0055	0,18	1,02	0,006
244,80	6,39	-0,0052	0,0009	0,0053	0,18	1,02	0,005
245,80	6,57	-0,0050	0,0009	0,0051	0,17	1,02	0,005
246,80	6,74	-0,0048	0,0008	0,0049	0,17	1,01	0,005
247,80	6,91	-0,0046	0,0008	0,0047	0,17	1,01	0,005
248,80	7,08	-0,0044	0,0007	0,0045	0,17	1,01	0,005
249,80	7,25	-0,0043	0,0007	0,0043	0,16	1,01	0,004
250,80	7,41	-0,0041	0,0006	0,0041	0,16	1,01	0,004
251,80	7,57	-0,0039	0,0006	0,0039	0,15	1,01	0,004
252,80	7,72	-0,0037	0,0006	0,0037	0,15	1,01	0,004
253,80	7,87	-0,0035	0,0005	0,0035	0,15	1,01	0,004
254,80	8,02	-0,0033	0,0005	0,0033	0,14	1,01	0,003
255,80	8,16	-0,0031	0,0004	0,0032	0,13	1,01	0,003
256,80	8,29	-0,0029	0,0004	0,0030	0,13	1,01	0,003
257,80	8,42	-0,0027	0,0003	0,0028	0,12	1,01	0,003
258,80	8,54	-0,0026	0,0003	0,0026	0,11	1,01	0,003
259,80	8,65	-0,0024	0,0002	0,0024	0,10	1,00	0,002
260,80	8,75	-0,0022	0,0002	0,0022	0,09	1,00	0,002
261,80	8,84	-0,0020	0,0001	0,0020	0,07	1,00	0,002
262,80	8,91	-0,0018	0,0001	0,0018	0,06	1,00	0,002

X	t	il	it	i	t	d	
263,80	8,96	-0,0016	0,0001	0,0016	0,03	1,00	0,002
264,80	9,00	-0,0014	0,0000	0,0014	0,01	1,00	0,001
265,80	9,00	-0,0013	0,0000	0,0013	-0,03	1,00	0,001
266,80	8,98	-0,0011	-0,0001	0,0011	-0,08	1,00	0,001
267,80	8,90	-0,0009	-0,0001	0,0009	-0,14	1,01	0,001
268,80	8,76	-0,0007	-0,0002	0,0007	-0,24	1,03	0,001
269,80	8,52	-0,0006	-0,0002	0,0006	-0,39	1,07	0,001
270,80	8,13	-0,0004	-0,0003	0,0005	-0,67	1,20	0,001
271,80	7,46	-0,0002	-0,0003	0,0004	-1,27	1,27	0,000
272,59	6,46	-0,0001	-0,0003	0,0004	-2,37	1,09	0,000
273,01	5,46	-0,0001	-0,0004	0,0004	-3,19	1,05	0,000
273,32	4,46	-0,0001	-0,0004	0,0004	-3,69	1,04	0,000
273,59	3,46	-0,0001	-0,0004	0,0004	-3,96	1,03	0,000
273,84	2,46	-0,0001	-0,0004	0,0004	-4,09	1,03	0,000
274,09	1,46	-0,0001	-0,0004	0,0004	-4,16	1,03	0,000
273,85	0,46	-0,0002	-0,0004	0,0004	-2,14	0,51	0,000
273,63	0,00	-0,0002	-0,0004	0,0005	-1,58		

l Σ(d*i)
73,28 0,4194

p= 0,0057

i	-0,05
R	-5500
D/2	275

Se	3
L	330
Vt	100

i	-0,05
R	-5500
D/2	275

Se	3,5
L	285
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
232,89	-1,00	-0,0077	0,0029	0,0083	0,38	1,07	0,009
233,89	-0,62	-0,0075	0,0028	0,0080	0,38	1,07	0,009
234,89	-0,25	-0,0073	0,0027	0,0078	0,37	1,07	0,008
235,89	0,13	-0,0071	0,0026	0,0076	0,37	1,07	0,008
236,89	0,50	-0,0069	0,0026	0,0073	0,37	1,07	0,008
237,89	0,87	-0,0067	0,0025	0,0071	0,37	1,07	0,008
238,89	1,24	-0,0065	0,0024	0,0069	0,37	1,07	0,007
239,89	1,61	-0,0062	0,0023	0,0066	0,37	1,06	0,007
240,89	1,97	-0,0060	0,0022	0,0064	0,36	1,06	0,007
241,89	2,34	-0,0058	0,0021	0,0062	0,36	1,06	0,007
242,89	2,70	-0,0056	0,0020	0,0059	0,36	1,06	0,006
243,89	3,06	-0,0054	0,0019	0,0057	0,36	1,06	0,006
244,89	3,42	-0,0052	0,0018	0,0055	0,35	1,06	0,006
245,89	3,77	-0,0050	0,0017	0,0052	0,35	1,06	0,006
246,89	4,12	-0,0047	0,0016	0,0050	0,35	1,06	0,005
247,89	4,47	-0,0045	0,0016	0,0048	0,34	1,06	0,005
248,89	4,81	-0,0043	0,0015	0,0046	0,34	1,06	0,005
249,89	5,15	-0,0041	0,0014	0,0043	0,33	1,05	0,005
250,89	5,49	-0,0039	0,0013	0,0041	0,33	1,05	0,004
251,89	5,81	-0,0037	0,0012	0,0039	0,32	1,05	0,004
252,89	6,14	-0,0035	0,0011	0,0036	0,32	1,05	0,004
253,89	6,46	-0,0033	0,0010	0,0034	0,31	1,05	0,004
254,89	6,77	-0,0030	0,0009	0,0032	0,30	1,04	0,003
255,89	7,07	-0,0028	0,0008	0,0030	0,29	1,04	0,003
256,89	7,36	-0,0026	0,0007	0,0027	0,28	1,04	0,003
257,89	7,64	-0,0024	0,0006	0,0025	0,27	1,04	0,003
258,89	7,91	-0,0022	0,0006	0,0023	0,25	1,03	0,002
259,89	8,16	-0,0020	0,0005	0,0021	0,23	1,03	0,002
260,89	8,39	-0,0018	0,0004	0,0018	0,21	1,02	0,002
261,89	8,60	-0,0016	0,0003	0,0016	0,18	1,02	0,002
262,89	8,77	-0,0014	0,0002	0,0014	0,14	1,01	0,001
263,89	8,91	-0,0012	0,0001	0,0012	0,08	1,00	0,001
264,89	8,99	-0,0010	0,0000	0,0010	0,01	1,00	0,001
265,89	9,00	-0,0008	-0,0001	0,0008	-0,10	1,00	0,001
266,89	8,91	-0,0007	-0,0002	0,0007	-0,26	1,03	0,001
267,89	8,65	-0,0005	-0,0003	0,0006	-0,52	1,13	0,001
268,89	8,13	-0,0004	-0,0004	0,0005	-0,95	1,38	0,001
269,89	7,18	-0,0003	-0,0004	0,0005	-1,61	1,18	0,001
270,51	6,18	-0,0003	-0,0005	0,0006	-1,97	1,12	0,001
271,02	5,18	-0,0003	-0,0005	0,0006	-2,16	1,10	0,001
271,48	4,18	-0,0003	-0,0006	0,0006	-2,27	1,09	0,001
271,92	3,18	-0,0003	-0,0006	0,0007	-2,33	1,09	0,001
272,35	2,18	-0,0003	-0,0007	0,0007	-2,36	1,09	0,001
272,78	1,18	-0,0003	-0,0007	0,0008	-2,38	1,08	0,001
273,20	0,18	-0,0003	-0,0007	0,0008	-2,39	0,20	0,000
273,12	0,00	-0,0003	-0,0007	0,0008	-2,16		

l Σ(d*i)
47,09 0,1679

p= 0,0036

X	t	il	it	i	t	d	
240,20	-1,00	-0,0064	0,0030	0,0071	0,47	1,11	0,008
241,20	-0,53	-0,0062	0,0029	0,0069	0,47	1,11	0,008
242,20	-0,06	-0,0060	0,0028	0,0066	0,47	1,10	0,007
243,20	0,41	-0,0057	0,0027	0,0063	0,47	1,10	0,007
244,20	0,88	-0,0055	0,0026	0,0061	0,47	1,10	0,007
245,20	1,34	-0,0053	0,0024	0,0058	0,46	1,10	0,006
246,20	1,81	-0,0050	0,0023	0,0055	0,46	1,10	0,006
247,20	2,27	-0,0048	0,0022	0,0053	0,46	1,10	0,006
248,20	2,72	-0,0045	0,0021	0,0050	0,45	1,10	0,005
249,20	3,18	-0,0043	0,0019	0,0047	0,45	1,10	0,005
250,20	3,63	-0,0041	0,0018	0,0045	0,45	1,10	0,005
251,20	4,08	-0,0038	0,0017	0,0042	0,44	1,09	0,005
252,20	4,52	-0,0036	0,0016	0,0039	0,44	1,09	0,004
253,20	4,96	-0,0034	0,0014	0,0037	0,43	1,09	0,004
254,20	5,39	-0,0031	0,0013	0,0034	0,42	1,09	0,004
255,20	5,81	-0,0029	0,0012	0,0031	0,42	1,08	0,003
256,20	6,23	-0,0027	0,0011	0,0029	0,41	1,08	0,003
257,20	6,64	-0,0024	0,0010	0,0026	0,40	1,08	0,003
258,20	7,03	-0,0022	0,0008	0,0023	0,38	1,07	0,003
259,20	7,41	-0,0020	0,0007	0,0021	0,36	1,06	0,002
260,20	7,77	-0,0017	0,0006	0,0018	0,34	1,06	0,002
261,20	8,11	-0,0015	0,0005	0,0016	0,31	1,05	0,002
262,20	8,42	-0,0013	0,0003	0,0013	0,27	1,03	0,001
263,20	8,69	-0,0011	0,0002	0,0011	0,20	1,02	0,001
264,20	8,89	-0,0009	0,0001	0,0009	0,11	1,01	0,001
265,20	9,00	-0,0007	0,0000	0,0007	-0,04	1,00	0,001
266,20	8,97	-0,0005	-0,0001	0,0005	-0,29	1,04	0,001
267,20	8,67	-0,0004	-0,0003	0,0004	-0,76	1,26	0,001
268,20	7,91	-0,0003	-0,0004	0,0005	-1,48	1,21	0,001
268,88	6,91	-0,0003	-0,0005	0,0005	-1,79	1,14	0,001
269,43	5,91	-0,0003	-0,0005	0,0006	-1,90	1,13	0,001
269,96	4,91	-0,0003	-0,0006	0,0007	-1,94	1,12	0,001
270,48	3,91	-0,0003	-0,0007	0,0008	-1,96	1,12	0,001
270,99	2,91	-0,0004	-0,0007	0,0008	-1,97	1,12	0,001
271,49	1,91	-0,0004	-0,0008	0,0009	-1,98	1,12	0,001
272,00	0,91	-0,0004	-0,0009	0,0010	-1,98	1,02	0,001
271,54	0,00	-0,0006	-0,0008	0,0010	-1,28		

l Σ(d*i)
39,30 0,116

p= 0,0029

i	-0,05
R	-5500
D/2	275

Se	4
L	250
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
245,52	-1,00	-0,0055	0,0031	0,0063	0,56	1,15	0,007
246,52	-0,44	-0,0052	0,0030	0,0060	0,56	1,15	0,007
247,52	0,13	-0,0050	0,0028	0,0057	0,56	1,15	0,007
248,52	0,69	-0,0047	0,0026	0,0054	0,56	1,15	0,006
249,52	1,25	-0,0044	0,0025	0,0051	0,56	1,15	0,006
250,52	1,81	-0,0042	0,0023	0,0048	0,56	1,14	0,005
251,52	2,37	-0,0039	0,0022	0,0045	0,55	1,14	0,005
252,52	2,92	-0,0036	0,0020	0,0041	0,55	1,14	0,005
253,52	3,47	-0,0034	0,0018	0,0038	0,55	1,14	0,004
254,52	4,02	-0,0031	0,0017	0,0035	0,54	1,14	0,004
255,52	4,56	-0,0028	0,0015	0,0032	0,54	1,14	0,004
256,52	5,10	-0,0025	0,0014	0,0029	0,53	1,13	0,003
257,52	5,63	-0,0023	0,0012	0,0026	0,53	1,13	0,003
258,52	6,16	-0,0020	0,0010	0,0023	0,51	1,12	0,003
259,52	6,67	-0,0017	0,0009	0,0020	0,50	1,12	0,002
260,52	7,18	-0,0015	0,0007	0,0017	0,48	1,11	0,002
261,52	7,66	-0,0012	0,0006	0,0013	0,45	1,10	0,001
262,52	8,11	-0,0010	0,0004	0,0011	0,41	1,08	0,001
263,52	8,52	-0,0007	0,0002	0,0008	0,33	1,05	0,001
264,52	8,85	-0,0005	0,0001	0,0005	0,16	1,01	0,001
265,52	9,00	-0,0003	-0,0001	0,0003	-0,29	1,04	0,000
266,52	8,71	-0,0001	-0,0002	0,0003	-1,64	1,17	0,000
267,13	7,71	-0,0002	-0,0003	0,0004	-1,73	1,16	0,000
267,71	6,71	-0,0003	-0,0004	0,0005	-1,72	1,16	0,001
268,29	5,71	-0,0003	-0,0005	0,0006	-1,72	1,16	0,001
268,87	4,71	-0,0004	-0,0006	0,0007	-1,72	1,16	0,001
269,46	3,71	-0,0004	-0,0007	0,0008	-1,72	1,16	0,001
270,04	2,71	-0,0005	-0,0008	0,0009	-1,72	1,16	0,001
270,62	1,71	-0,0005	-0,0009	0,0010	-1,72	1,16	0,001
271,20	0,71	-0,0006	-0,0010	0,0011	-1,72	0,82	0,001
270,79	0,00	-0,0008	-0,0009	0,0012	-1,21		

l Σ(d*i)
33,57 0,084

p= 0,0025

i	-0,05
R	-5500
D/2	275

Se	4,5
L	220
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
240,73	-1,00	-0,0064	0,0039	0,0075	0,61	1,17	0,009
241,73	-0,39	-0,0061	0,0037	0,0072	0,61	1,17	0,008
242,73	0,22	-0,0058	0,0035	0,0068	0,61	1,17	0,008
243,73	0,83	-0,0055	0,0033	0,0064	0,60	1,17	0,008
244,73	1,43	-0,0052	0,0031	0,0061	0,60	1,17	0,007
245,73	2,03	-0,0049	0,0029	0,0057	0,59	1,16	0,007
246,73	2,63	-0,0046	0,0027	0,0053	0,59	1,16	0,006
247,73	3,22	-0,0043	0,0025	0,0050	0,58	1,16	0,006
248,73	3,80	-0,0040	0,0023	0,0046	0,58	1,15	0,005
249,73	4,37	-0,0037	0,0021	0,0043	0,57	1,15	0,005
250,73	4,94	-0,0034	0,0019	0,0039	0,56	1,14	0,004
251,73	5,50	-0,0031	0,0017	0,0035	0,54	1,14	0,004
252,73	6,04	-0,0028	0,0015	0,0032	0,53	1,13	0,004
253,73	6,57	-0,0025	0,0013	0,0028	0,51	1,12	0,003
254,73	7,08	-0,0022	0,0011	0,0025	0,48	1,11	0,003
255,73	7,56	-0,0020	0,0009	0,0021	0,45	1,09	0,002
256,73	8,00	-0,0017	0,0007	0,0018	0,40	1,08	0,002
257,73	8,40	-0,0014	0,0005	0,0015	0,33	1,05	0,002
258,73	8,73	-0,0012	0,0003	0,0012	0,22	1,02	0,001
259,73	8,95	-0,0009	0,0001	0,0010	0,06	1,00	0,001
260,73	9,00	-0,0008	-0,0001	0,0008	-0,20	1,02	0,001
261,73	8,81	-0,0006	-0,0004	0,0007	-0,58	1,15	0,001
262,73	8,23	-0,0005	-0,0006	0,0008	-1,02	1,40	0,001
263,71	7,23	-0,0006	-0,0008	0,0010	-1,32	1,25	0,001
264,47	6,23	-0,0006	-0,0009	0,0011	-1,43	1,22	0,001
265,17	5,23	-0,0007	-0,0011	0,0013	-1,47	1,21	0,002
265,85	4,23	-0,0008	-0,0012	0,0014	-1,50	1,20	0,002
266,52	3,23	-0,0009	-0,0013	0,0016	-1,51	1,20	0,002
267,18	2,23	-0,0010	-0,0015	0,0018	-1,52	1,20	0,002
267,84	1,23	-0,0011	-0,0016	0,0019	-1,53	1,20	0,002
268,49	0,23	-0,0011	-0,0017	0,0021	-1,53	0,27	0,001
268,34	0,00	-0,0012	-0,0017	0,0021	-1,41		

l Σ(d*i)
34,85 0,110

p= 0,0032

i	-0,05
R	-5500
D/2	275

Se	5
L	190
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
244,62	-1,00	-0,0058	0,0040	0,0071	0,70	1,22	0,009
245,62	-0,30	-0,0054	0,0038	0,0066	0,70	1,22	0,008
246,62	0,40	-0,0051	0,0035	0,0062	0,70	1,22	0,008
247,62	1,09	-0,0047	0,0033	0,0057	0,69	1,22	0,007
248,62	1,79	-0,0043	0,0030	0,0053	0,69	1,22	0,006
249,62	2,48	-0,0040	0,0027	0,0048	0,69	1,21	0,006
250,62	3,17	-0,0036	0,0025	0,0044	0,69	1,21	0,005
251,62	3,85	-0,0032	0,0022	0,0039	0,68	1,21	0,005
252,62	4,53	-0,0029	0,0019	0,0035	0,67	1,21	0,004
253,62	5,21	-0,0025	0,0017	0,0030	0,67	1,20	0,004
254,62	5,87	-0,0022	0,0014	0,0026	0,65	1,20	0,003
255,62	6,53	-0,0018	0,0012	0,0021	0,64	1,19	0,003
256,62	7,17	-0,0015	0,0009	0,0017	0,61	1,17	0,002
257,62	7,78	-0,0011	0,0006	0,0013	0,56	1,15	0,001
258,62	8,34	-0,0008	0,0004	0,0009	0,46	1,10	0,001
259,62	8,80	-0,0005	0,0001	0,0005	0,21	1,02	0,001
260,62	9,00	-0,0002	-0,0002	0,0003	-0,67	1,20	0,000
261,62	8,33	-0,0002	-0,0004	0,0005	-1,78	1,15	0,001
262,18	7,33	-0,0004	-0,0006	0,0007	-1,43	1,22	0,001
262,88	6,33	-0,0005	-0,0008	0,0009	-1,41	1,23	0,001
263,59	5,33	-0,0007	-0,0009	0,0012	-1,41	1,23	0,001
264,30	4,33	-0,0008	-0,0011	0,0014	-1,41	1,23	0,002
265,01	3,33	-0,0009	-0,0013	0,0016	-1,40	1,23	0,002
265,72	2,33	-0,0011	-0,0015	0,0018	-1,40	1,23	0,002
266,44	1,33	-0,0012	-0,0017	0,0021	-1,40	1,23	0,003
267,15	0,33	-0,0013	-0,0019	0,0023	-1,40	0,41	0,001
266,91	0,00	-0,0015	-0,0018	0,0023	-1,24		

l $\Sigma(d*i)$
30,30 0,086

p= 0,0028

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	2,5
L	550
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	13,00	0,0006	-0,0010	0,0012	-1,76	1,15	0,001
449,43	12,00	0,0006	-0,0010	0,0012	-1,66	1,17	0,001
448,83	11,00	0,0006	-0,0010	0,0012	-1,56	1,19	0,001
448,19	10,00	0,0007	-0,0010	0,0012	-1,46	1,21	0,001
447,50	9,00	0,0007	-0,0009	0,0012	-1,35	1,25	0,001
446,76	8,00	0,0007	-0,0009	0,0011	-1,23	1,29	0,001
445,95	7,00	0,0008	-0,0009	0,0011	-1,11	1,34	0,002
445,05	6,00	0,0008	-0,0008	0,0012	-0,99	1,42	0,002
444,04	5,00	0,0009	-0,0008	0,0012	-0,86	1,32	0,002
443,04	4,14	0,0010	-0,0007	0,0012	-0,75	1,25	0,002
442,04	3,38	0,0010	-0,0007	0,0012	-0,65	1,19	0,001
441,04	2,73	0,0011	-0,0006	0,0013	-0,56	1,15	0,001
440,04	2,17	0,0012	-0,0006	0,0013	-0,49	1,11	0,001
439,04	1,68	0,0013	-0,0005	0,0014	-0,42	1,08	0,002
438,04	1,26	0,0014	-0,0005	0,0015	-0,36	1,06	0,002
437,04	0,90	0,0015	-0,0005	0,0015	-0,30	1,05	0,002
436,04	0,60	0,0016	-0,0004	0,0016	-0,26	1,03	0,002
435,04	0,34	0,0017	-0,0004	0,0017	-0,21	1,02	0,002
434,04	0,13	0,0018	-0,0003	0,0018	-0,18	1,02	0,002
433,04	-0,05	0,0019	-0,0003	0,0019	-0,14	1,01	0,002
432,04	-0,19	0,0020	-0,0002	0,0020	-0,11	1,01	0,002
431,04	-0,30	0,0021	-0,0002	0,0021	-0,08	1,00	0,002
430,04	-0,39	0,0022	-0,0001	0,0022	-0,06	1,00	0,002
429,04	-0,45	0,0023	-0,0001	0,0023	-0,04	1,00	0,002
428,04	-0,48	0,0024	0,0000	0,0024	-0,02	1,00	0,002
427,04	-0,50	0,0025	0,0000	0,0025	0,00	1,00	0,003
426,04	-0,50	0,0026	0,0000	0,0026	0,02	1,00	0,003
425,04	-0,48	0,0028	0,0001	0,0028	0,03	1,00	0,003
424,04	-0,45	0,0029	0,0001	0,0029	0,05	1,00	0,003
423,04	-0,40	0,0030	0,0002	0,0030	0,06	1,00	0,003
422,04	-0,34	0,0031	0,0002	0,0031	0,07	1,00	0,003
421,04	-0,26	0,0032	0,0003	0,0032	0,09	1,00	0,003
420,04	-0,17	0,0033	0,0003	0,0033	0,10	1,00	0,003
419,04	-0,08	0,0034	0,0004	0,0035	0,11	1,01	0,003
418,04	0,03	0,0036	0,0004	0,0036	0,12	1,01	0,004
417,04	0,15	0,0037	0,0005	0,0037	0,13	1,01	0,004
416,04	0,27	0,0038	0,0005	0,0038	0,13	1,01	0,004
415,04	0,40	0,0039	0,0005	0,0039	0,14	1,01	0,004
414,04	0,55	0,0040	0,0006	0,0041	0,15	1,01	0,004
413,04	0,69	0,0041	0,0006	0,0042	0,15	1,01	0,004
412,04	0,85	0,0043	0,0007	0,0043	0,16	1,01	0,004
411,04	1,01	0,0044	0,0007	0,0044	0,17	1,01	0,004
410,04	1,18	0,0045	0,0008	0,0046	0,17	1,01	0,005
409,04	1,35	0,0046	0,0008	0,0047	0,18	1,02	0,005
408,04	1,53	0,0047	0,0009	0,0048	0,18	1,02	0,005
407,04	1,71	0,0049	0,0009	0,0049	0,19	1,02	0,005
406,04	1,90	0,0050	0,0010	0,0051	0,19	1,02	0,005
405,04	2,09	0,0051	0,0010	0,0052	0,20	1,02	0,005
404,04	2,29	0,0052	0,0010	0,0053	0,20	1,02	0,005
403,04	2,49	0,0053	0,0011	0,0054	0,21	1,02	0,006

X	t	il	it	i	t	d	
402,04	2,70	0,0055	0,0011	0,0056	0,21	1,02	0,006
401,04	2,91	0,0056	0,0012	0,0057	0,21	1,02	0,006
400,04	3,12	0,0057	0,0012	0,0058	0,22	1,02	0,006
399,04	3,33	0,0058	0,0013	0,0060	0,22	1,02	0,006
398,04	3,55	0,0059	0,0013	0,0061	0,22	1,02	0,006
397,04	3,78	0,0061	0,0014	0,0062	0,23	1,03	0,006
396,04	4,00	0,0062	0,0014	0,0063	0,23	1,03	0,007
395,04	4,23	0,0063	0,0015	0,0065	0,23	1,03	0,007
394,04	4,46	0,0064	0,0015	0,0066	0,23	1,03	0,007
393,04	4,70	0,0065	0,0015	0,0067	0,24	1,03	0,007
392,04	4,93	0,0067	0,0016	0,0069	0,24	1,03	0,007
391,04	5,17	0,0068	0,0016	0,0070	0,24	1,03	0,007
390,04	5,41	0,0069	0,0017	0,0071	0,24	1,03	0,007
389,04	5,66	0,0070	0,0017	0,0072	0,25	1,03	0,007
388,04	5,90	0,0072	0,0018	0,0074	0,25	1,03	0,008
387,04	6,15	0,0073	0,0018	0,0075	0,25	1,03	0,008
386,04	6,40	0,0074	0,0019	0,0076	0,25	1,03	0,008
385,04	6,66	0,0075	0,0019	0,0078	0,25	1,03	0,008
384,04	6,91	0,0076	0,0020	0,0079	0,26	1,03	0,008
383,04	7,17	0,0078	0,0020	0,0080	0,26	1,03	0,008
382,04	7,42	0,0079	0,0020	0,0082	0,26	1,03	0,008
381,04	7,68	0,0080	0,0021	0,0083	0,26	1,03	0,009
380,04	7,94	0,0081	0,0021	0,0084	0,26	1,03	0,009
379,04	8,21	0,0083	0,0022	0,0085	0,26	1,034	0,0088
378,04	8,47	0,0084	0,0022	0,0087	0,27	1,03	0,0090
377,04	8,74	0,0085	0,0023	0,0088	0,27	1,035	0,0091
376,04	9,01	0,0086	0,0023	0,0089	0,27	1,04	0,0093
375,04	9,27	0,0088	0,0024	0,0091	0,27	1,04	0,009
374,04	9,54	0,0089	0,0024	0,0092	0,27	1,04	0,010
373,04	9,82	0,0090	0,0025	0,0093	0,27	1,04	0,010
372,04	10,09	0,0091	0,0025	0,0095	0,27	1,04	0,010
371,04	10,36	0,0093	0,0025	0,0096	0,28	0,51	0,005
370,55	10,50	0,0093	0,0026	0,0097	0,28		

l Σ(d*i)
86,03 0,387

p= 0,0045

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3
L	330
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	13,00	0,0012	-0,0017	0,0021	-1,43	1,22	0,003
449,30	12,00	0,0012	-0,0016	0,0020	-1,39	1,23	0,002
448,58	11,00	0,0012	-0,0016	0,0019	-1,35	1,24	0,002
447,84	10,00	0,0012	-0,0015	0,0019	-1,30	1,26	0,002
447,08	9,00	0,0011	-0,0014	0,0018	-1,25	1,28	0,002
446,28	8,00	0,0011	-0,0014	0,0018	-1,19	1,31	0,002
445,43	7,00	0,0011	-0,0013	0,0017	-1,12	1,34	0,002
444,54	6,00	0,0012	-0,0012	0,0017	-1,04	1,39	0,002
443,58	5,00	0,0012	-0,0011	0,0016	-0,95	1,42	0,002
442,53	4,05	0,0012	-0,0010	0,0016	-0,85	1,31	0,002
441,53	3,20	0,0012	-0,0009	0,0015	-0,75	1,25	0,002
440,53	2,45	0,0013	-0,0008	0,0015	-0,65	1,19	0,002
439,53	1,80	0,0013	-0,0007	0,0015	-0,56	1,15	0,002
438,53	1,24	0,0014	-0,0007	0,0015	-0,47	1,10	0,002
437,53	0,77	0,0015	-0,0006	0,0016	-0,39	1,07	0,002
436,53	0,38	0,0015	-0,0005	0,0016	-0,31	1,05	0,002
435,53	0,08	0,0016	-0,0004	0,0017	-0,24	1,03	0,002
434,53	-0,16	0,0017	-0,0003	0,0017	-0,17	1,01	0,002
433,53	-0,33	0,0018	-0,0002	0,0018	-0,11	1,01	0,002
432,53	-0,44	0,0019	-0,0001	0,0019	-0,06	1,00	0,002
431,53	-0,49	0,0020	0,0000	0,0020	-0,01	1,00	0,002
430,53	-0,50	0,0021	0,0001	0,0021	0,04	1,00	0,002
429,53	-0,47	0,0022	0,0002	0,0022	0,07	1,00	0,002
428,53	-0,39	0,0024	0,0003	0,0024	0,11	1,01	0,002
427,53	-0,28	0,0025	0,0003	0,0025	0,14	1,01	0,003
426,53	-0,14	0,0026	0,0004	0,0026	0,17	1,01	0,003
425,53	0,03	0,0027	0,0005	0,0028	0,19	1,02	0,003
424,53	0,22	0,0029	0,0006	0,0029	0,22	1,02	0,003
423,53	0,44	0,0030	0,0007	0,0031	0,24	1,03	0,003
422,53	0,68	0,0031	0,0008	0,0032	0,26	1,03	0,003
421,53	0,93	0,0032	0,0009	0,0034	0,27	1,04	0,003
420,53	1,21	0,0034	0,0010	0,0035	0,29	1,04	0,004
419,53	1,50	0,0035	0,0011	0,0037	0,31	1,05	0,004
418,53	1,81	0,0037	0,0012	0,0038	0,32	1,05	0,004
417,53	2,12	0,0038	0,0013	0,0040	0,33	1,05	0,004
416,53	2,45	0,0039	0,0013	0,0042	0,34	1,06	0,004
415,53	2,80	0,0041	0,0014	0,0043	0,35	1,06	0,005
414,53	3,15	0,0042	0,0015	0,0045	0,36	1,06	0,005
413,53	3,51	0,0044	0,0016	0,0047	0,37	1,07	0,005
412,53	3,88	0,0045	0,0017	0,0048	0,38	1,07	0,005
411,53	4,26	0,0047	0,0018	0,0050	0,39	1,07	0,005
410,53	4,64	0,0048	0,0019	0,0052	0,39	1,07	0,006
409,53	5,04	0,0050	0,0020	0,0053	0,40	1,08	0,006
408,53	5,44	0,0051	0,0021	0,0055	0,41	1,08	0,006
407,53	5,84	0,0053	0,0022	0,0057	0,41	1,08	0,006
406,53	6,26	0,0054	0,0023	0,0059	0,42	1,08	0,006
405,53	6,67	0,0056	0,0023	0,0060	0,42	1,09	0,007
404,53	7,10	0,0057	0,0024	0,0062	0,43	1,09	0,007
403,53	7,52	0,0059	0,0025	0,0064	0,43	1,09	0,007
402,53	7,96	0,0060	0,0026	0,0066	0,44	1,09	0,007
401,53	8,39	0,0062	0,0027	0,0067	0,44	1,09	0,007
400,53	8,83	0,0063	0,0028	0,0069	0,44	1,09	0,008
399,53	9,28	0,0065	0,0029	0,0071	0,45	1,10	0,008
398,53	9,72	0,0066	0,0030	0,0073	0,45	1,10	0,008
397,53	10,18	0,0068	0,0031	0,0074	0,45	0,78	0,006
396,81	10,50	0,0069	0,0031	0,0076	0,46		

I Σ(d*i)
60,53 0,210

p= 0,0035

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3,5
L	285
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	13,00	0,0016	-0,0021	0,0027	-1,33	1,25	0,003
449,25	12,00	0,0016	-0,0020	0,0026	-1,31	1,26	0,003
448,48	11,00	0,0015	-0,0019	0,0025	-1,28	1,27	0,003
447,70	10,00	0,0015	-0,0019	0,0024	-1,24	1,28	0,003
446,90	9,00	0,0015	-0,0018	0,0023	-1,21	1,30	0,003
446,07	8,00	0,0014	-0,0016	0,0022	-1,16	1,32	0,003
445,21	7,00	0,0014	-0,0015	0,0021	-1,11	1,35	0,003
444,31	6,00	0,0014	-0,0014	0,0020	-1,05	1,38	0,003
443,35	5,00	0,0014	-0,0013	0,0019	-0,97	1,39	0,003
442,35	4,03	0,0013	-0,0012	0,0018	-0,89	1,34	0,002
441,35	3,14	0,0013	-0,0011	0,0017	-0,79	1,28	0,002
440,35	2,35	0,0014	-0,0009	0,0017	-0,70	1,22	0,002
439,35	1,65	0,0014	-0,0008	0,0016	-0,59	1,16	0,002
438,35	1,06	0,0014	-0,0007	0,0016	-0,49	1,11	0,002
437,35	0,57	0,0015	-0,0006	0,0016	-0,39	1,07	0,002
436,35	0,17	0,0015	-0,0005	0,0016	-0,30	1,04	0,002
435,35	-0,12	0,0016	-0,0003	0,0016	-0,21	1,02	0,002
434,35	-0,33	0,0017	-0,0002	0,0017	-0,12	1,01	0,002
433,35	-0,45	0,0018	-0,0001	0,0018	-0,05	1,00	0,002
432,35	-0,50	0,0019	0,0000	0,0019	0,02	1,00	0,002
431,35	-0,48	0,0020	0,0002	0,0020	0,08	1,00	0,002
430,35	-0,40	0,0021	0,0003	0,0022	0,13	1,01	0,002
429,35	-0,27	0,0023	0,0004	0,0023	0,18	1,02	0,002
428,35	-0,09	0,0024	0,0005	0,0025	0,22	1,02	0,003
427,35	0,13	0,0025	0,0006	0,0026	0,26	1,03	0,003
426,35	0,38	0,0027	0,0008	0,0028	0,29	1,04	0,003
425,35	0,67	0,0028	0,0009	0,0030	0,32	1,05	0,003
424,35	0,99	0,0030	0,0010	0,0031	0,34	1,06	0,003
423,35	1,33	0,0031	0,0011	0,0033	0,36	1,06	0,004
422,35	1,70	0,0033	0,0013	0,0035	0,38	1,07	0,004
421,35	2,08	0,0034	0,0014	0,0037	0,40	1,08	0,004
420,35	2,48	0,0036	0,0015	0,0039	0,42	1,08	0,004
419,35	2,90	0,0038	0,0016	0,0041	0,43	1,09	0,004
418,35	3,34	0,0039	0,0018	0,0043	0,45	1,10	0,005
417,35	3,78	0,0041	0,0019	0,0045	0,46	1,10	0,005
416,35	4,24	0,0043	0,0020	0,0047	0,47	1,10	0,005
415,35	4,71	0,0044	0,0021	0,0049	0,48	1,11	0,005
414,35	5,19	0,0046	0,0022	0,0051	0,49	1,11	0,006
413,35	5,68	0,0048	0,0024	0,0053	0,50	1,12	0,006
412,35	6,17	0,0049	0,0025	0,0055	0,50	1,12	0,006
411,35	6,68	0,0051	0,0026	0,0057	0,51	1,12	0,006
410,35	7,19	0,0053	0,0027	0,0060	0,52	1,13	0,007
409,35	7,70	0,0055	0,0029	0,0062	0,52	1,13	0,007
408,35	8,23	0,0056	0,0030	0,0064	0,53	1,13	0,007
407,35	8,75	0,0058	0,0031	0,0066	0,53	1,13	0,007
406,35	9,29	0,0060	0,0032	0,0068	0,54	1,14	0,008
405,35	9,83	0,0062	0,0034	0,0070	0,54	1,14	0,008
404,35	10,37	0,0064	0,0035	0,0072	0,55	0,27	0,002
404,11	10,50	0,0064	0,0035	0,0073	0,55		

I Σ(d*i)
53,63 0,179

p= 0,0033

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4
L	250
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	13,00	0,0021	-0,0026	0,0034	-1,26	1,27	0,004
449,21	12,00	0,0020	-0,0025	0,0032	-1,25	1,28	0,004
448,41	11,00	0,0019	-0,0024	0,0031	-1,23	1,29	0,004
447,59	10,00	0,0019	-0,0023	0,0029	-1,20	1,30	0,004
446,76	9,00	0,0018	-0,0021	0,0028	-1,18	1,31	0,004
445,91	8,00	0,0017	-0,0020	0,0026	-1,14	1,33	0,004
445,03	7,00	0,0017	-0,0018	0,0025	-1,10	1,35	0,003
444,13	6,00	0,0016	-0,0017	0,0023	-1,05	1,38	0,003
443,17	5,00	0,0016	-0,0015	0,0022	-0,99	1,41	0,003
442,17	4,01	0,0015	-0,0014	0,0021	-0,92	1,36	0,003
441,17	3,09	0,0015	-0,0012	0,0019	-0,83	1,30	0,002
440,17	2,26	0,0015	-0,0011	0,0018	-0,73	1,24	0,002
439,17	1,53	0,0014	-0,0009	0,0017	-0,63	1,18	0,002
438,17	0,91	0,0015	-0,0007	0,0016	-0,51	1,12	0,002
437,17	0,40	0,0015	-0,0006	0,0016	-0,39	1,07	0,002
436,17	0,00	0,0015	-0,0004	0,0016	-0,28	1,04	0,002
435,17	-0,27	0,0016	-0,0003	0,0016	-0,17	1,01	0,002
434,17	-0,44	0,0017	-0,0001	0,0017	-0,06	1,00	0,002
433,17	-0,50	0,0018	0,0001	0,0018	0,03	1,00	0,002
432,17	-0,47	0,0019	0,0002	0,0019	0,11	1,01	0,002
431,17	-0,36	0,0020	0,0004	0,0021	0,18	1,02	0,002
430,17	-0,17	0,0022	0,0005	0,0022	0,25	1,03	0,002
429,17	0,07	0,0023	0,0007	0,0024	0,30	1,04	0,003
428,17	0,37	0,0025	0,0009	0,0026	0,34	1,06	0,003
427,17	0,71	0,0027	0,0010	0,0028	0,38	1,07	0,003
426,17	1,10	0,0028	0,0012	0,0031	0,42	1,08	0,003
425,17	1,51	0,0030	0,0013	0,0033	0,44	1,09	0,004
424,17	1,96	0,0032	0,0015	0,0035	0,47	1,10	0,004
423,17	2,43	0,0034	0,0017	0,0038	0,49	1,11	0,004
422,17	2,92	0,0036	0,0018	0,0040	0,51	1,12	0,004
421,17	3,43	0,0038	0,0020	0,0042	0,53	1,13	0,005
420,17	3,95	0,0039	0,0021	0,0045	0,54	1,14	0,005
419,17	4,49	0,0041	0,0023	0,0047	0,55	1,14	0,005
418,17	5,05	0,0043	0,0025	0,0050	0,56	1,15	0,006
417,17	5,61	0,0046	0,0026	0,0052	0,57	1,15	0,006
416,17	6,19	0,0048	0,0028	0,0055	0,58	1,16	0,006
415,17	6,77	0,0050	0,0029	0,0058	0,59	1,16	0,007
414,17	7,36	0,0052	0,0031	0,0060	0,60	1,17	0,007
413,17	7,96	0,0054	0,0033	0,0063	0,61	1,17	0,007
412,17	8,57	0,0056	0,0034	0,0065	0,61	1,17	0,008
411,17	9,18	0,0058	0,0036	0,0068	0,62	1,18	0,008
410,17	9,79	0,0060	0,0037	0,0071	0,62	1,18	0,008
409,17	10,42	0,0062	0,0039	0,0073	0,63	0,16	0,001
409,04	10,50	0,0062	0,0039	0,0074	0,63		

l Σ(d*i)
49,05 0,167

p= 0,0034

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4,5
L	220
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	13,00	0,0027	-0,0032	0,0042	-1,21	1,30	0,005
449,18	12,00	0,0026	-0,0031	0,0040	-1,20	1,30	0,005
448,34	11,00	0,0024	-0,0029	0,0038	-1,19	1,31	0,005
447,50	10,00	0,0023	-0,0027	0,0036	-1,17	1,32	0,005
446,65	9,00	0,0022	-0,0025	0,0034	-1,15	1,33	0,004
445,78	8,00	0,0021	-0,0024	0,0032	-1,12	1,34	0,004
444,89	7,00	0,0020	-0,0022	0,0030	-1,09	1,36	0,004
443,97	6,00	0,0019	-0,0020	0,0028	-1,05	1,38	0,004
443,02	5,00	0,0018	-0,0018	0,0026	-1,00	1,41	0,004
442,03	4,00	0,0017	-0,0016	0,0023	-0,94	1,37	0,003
441,03	3,06	0,0016	-0,0014	0,0021	-0,86	1,32	0,003
440,03	2,20	0,0016	-0,0012	0,0020	-0,77	1,26	0,002
439,03	1,43	0,0015	-0,0010	0,0018	-0,66	1,20	0,002
438,03	0,77	0,0015	-0,0008	0,0017	-0,53	1,13	0,002
437,03	0,25	0,0015	-0,0006	0,0016	-0,39	1,07	0,002
436,03	-0,14	0,0015	-0,0004	0,0016	-0,25	1,03	0,002
435,03	-0,39	0,0016	-0,0002	0,0016	-0,11	1,01	0,002
434,03	-0,50	0,0017	0,0000	0,0017	0,02	1,00	0,002
433,03	-0,48	0,0018	0,0002	0,0018	0,13	1,01	0,002
432,03	-0,35	0,0019	0,0004	0,0020	0,23	1,03	0,002
431,03	-0,12	0,0021	0,0006	0,0022	0,31	1,05	0,002
430,03	0,19	0,0023	0,0008	0,0024	0,38	1,07	0,003
429,03	0,56	0,0024	0,0011	0,0027	0,43	1,09	0,003
428,03	0,99	0,0026	0,0013	0,0029	0,48	1,11	0,003
427,03	1,47	0,0029	0,0015	0,0032	0,51	1,12	0,004
426,03	1,98	0,0031	0,0017	0,0035	0,54	1,14	0,004
425,03	2,53	0,0033	0,0019	0,0038	0,57	1,15	0,004
424,03	3,09	0,0035	0,0021	0,0041	0,59	1,16	0,005
423,03	3,68	0,0038	0,0023	0,0044	0,61	1,17	0,005
422,03	4,29	0,0040	0,0025	0,0047	0,62	1,18	0,006
421,03	4,91	0,0042	0,0027	0,0050	0,64	1,19	0,006
420,03	5,55	0,0045	0,0029	0,0053	0,65	1,19	0,006
419,03	6,20	0,0047	0,0031	0,0056	0,66	1,20	0,007
418,03	6,86	0,0050	0,0033	0,0060	0,67	1,20	0,007
417,03	7,52	0,0052	0,0035	0,0063	0,67	1,21	0,008
416,03	8,19	0,0055	0,0037	0,0066	0,68	1,21	0,008
415,03	8,87	0,0057	0,0039	0,0069	0,69	1,21	0,008
414,03	9,56	0,0060	0,0041	0,0073	0,69	1,22	0,009
413,03	10,25	0,0062	0,0043	0,0076	0,70	0,44	0,003
412,67	10,50	0,0063	0,0044	0,0077	0,70		

l Σ(d*i)
45,74 0,164

p= 0,0036

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	5
L	190
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
450,00	13,00	0,0034	-0,0040	0,0053	-1,17	1,32	0,007
449,15	12,00	0,0033	-0,0038	0,0050	-1,16	1,32	0,007
448,28	11,00	0,0031	-0,0036	0,0047	-1,15	1,32	0,006
447,42	10,00	0,0029	-0,0033	0,0044	-1,14	1,33	0,006
446,54	9,00	0,0028	-0,0031	0,0042	-1,13	1,34	0,006
445,65	8,00	0,0026	-0,0029	0,0039	-1,11	1,35	0,005
444,75	7,00	0,0024	-0,0026	0,0036	-1,08	1,36	0,005
443,82	6,00	0,0023	-0,0024	0,0033	-1,05	1,38	0,005
442,88	5,00	0,0021	-0,0021	0,0030	-1,01	1,40	0,004
441,89	4,00	0,0020	-0,0019	0,0027	-0,96	1,39	0,004
440,89	3,04	0,0018	-0,0016	0,0024	-0,89	1,34	0,003
439,89	2,14	0,0017	-0,0014	0,0022	-0,80	1,28	0,003
438,89	1,34	0,0016	-0,0011	0,0019	-0,69	1,21	0,002
437,89	0,65	0,0015	-0,0008	0,0017	-0,55	1,14	0,002
436,89	0,11	0,0015	-0,0006	0,0016	-0,38	1,07	0,002
435,89	-0,28	0,0015	-0,0003	0,0015	-0,20	1,02	0,002
434,89	-0,48	0,0016	0,0000	0,0016	-0,03	1,00	0,002
433,89	-0,50	0,0017	0,0002	0,0017	0,13	1,01	0,002
432,89	-0,37	0,0018	0,0005	0,0019	0,27	1,04	0,002
431,89	-0,10	0,0020	0,0007	0,0021	0,38	1,07	0,002
430,89	0,28	0,0022	0,0010	0,0024	0,46	1,10	0,003
429,89	0,74	0,0024	0,0013	0,0027	0,53	1,13	0,003
428,89	1,26	0,0027	0,0015	0,0031	0,57	1,15	0,004
427,89	1,84	0,0029	0,0018	0,0034	0,61	1,17	0,004
426,89	2,45	0,0032	0,0021	0,0038	0,64	1,19	0,005
425,89	3,09	0,0035	0,0023	0,0042	0,67	1,20	0,005
424,89	3,76	0,0038	0,0026	0,0046	0,68	1,21	0,006
423,89	4,44	0,0041	0,0029	0,0050	0,70	1,22	0,006
422,89	5,14	0,0044	0,0031	0,0054	0,71	1,23	0,007
421,89	5,86	0,0047	0,0034	0,0058	0,72	1,23	0,007
420,89	6,58	0,0050	0,0036	0,0062	0,73	1,24	0,008
419,89	7,31	0,0053	0,0039	0,0066	0,74	1,24	0,008
418,89	8,05	0,0056	0,0042	0,0070	0,75	1,25	0,009
417,89	8,80	0,0059	0,0044	0,0074	0,75	1,25	0,009
416,89	9,55	0,0062	0,0047	0,0078	0,76	1,25	0,010
415,89	10,31	0,0065	0,0050	0,0082	0,76	0,32	0,003
415,63	10,50	0,0066	0,0050	0,0083	0,76		

l $\Sigma(d \cdot i)$
43,09 0,169

p= 0,0039

Tabelas de cálculos do Caso D

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	2,5
L	550
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
299,20	-1,00	0,0001	0,0000	0,0001	0,32	1,05	0,000
298,20	-0,68	0,0003	0,0001	0,0003	0,25	1,03	0,000
297,20	-0,43	0,0005	0,0001	0,0006	0,24	1,03	0,001
296,20	-0,20	0,0008	0,0002	0,0008	0,23	1,03	0,001
295,20	0,03	0,0010	0,0002	0,0010	0,23	1,03	0,001
294,20	0,26	0,0012	0,0003	0,0012	0,22	1,02	0,001
293,20	0,48	0,0014	0,0003	0,0014	0,22	1,02	0,001
292,20	0,71	0,0016	0,0004	0,0016	0,22	1,02	0,002
291,20	0,93	0,0018	0,0004	0,0018	0,22	1,02	0,002
290,20	1,15	0,0020	0,0004	0,0021	0,22	1,02	0,002
289,20	1,37	0,0022	0,0005	0,0023	0,22	1,02	0,002
288,20	1,59	0,0024	0,0005	0,0025	0,22	1,02	0,003
287,20	1,81	0,0026	0,0006	0,0027	0,22	1,02	0,003
286,20	2,03	0,0029	0,0006	0,0029	0,22	1,02	0,003
285,20	2,25	0,0031	0,0007	0,0031	0,22	1,02	0,003
284,20	2,47	0,0033	0,0007	0,0034	0,22	1,02	0,003
283,20	2,69	0,0035	0,0008	0,0036	0,22	1,02	0,004
282,20	2,91	0,0037	0,0008	0,0038	0,22	1,02	0,004
281,20	3,13	0,0039	0,0009	0,0040	0,22	1,02	0,004
280,20	3,35	0,0041	0,0009	0,0042	0,22	1,02	0,004
279,20	3,57	0,0043	0,0009	0,0044	0,22	1,02	0,005
278,20	3,79	0,0045	0,0010	0,0046	0,22	1,02	0,005
277,20	4,01	0,0047	0,0010	0,0049	0,22	1,02	0,005
276,20	4,23	0,0050	0,0011	0,0051	0,22	1,02	0,005
275,20	4,44	0,0052	0,0011	0,0053	0,22	1,02	0,005
274,20	4,66	0,0054	0,0012	0,0055	0,22	1,02	0,006
273,20	4,88	0,0056	0,0012	0,0057	0,22	1,02	0,006
272,20	5,10	0,0058	0,0013	0,0059	0,22	1,02	0,006
271,20	5,32	0,0060	0,0013	0,0061	0,22	1,02	0,006
270,20	5,53	0,0062	0,0014	0,0064	0,22	1,02	0,007
269,20	5,75	0,0064	0,0014	0,0066	0,22	1,02	0,007
268,20	5,97	0,0066	0,0014	0,0068	0,22	1,02	0,007
267,20	6,19	0,0068	0,0015	0,0070	0,22	1,02	0,007
266,20	6,41	0,0071	0,0015	0,0072	0,22	1,02	0,007
265,20	6,62	0,0073	0,0016	0,0074	0,22	1,02	0,008
264,20	6,84	0,0075	0,0016	0,0077	0,22	0,75	0,006
263,47	7,00	0,0076	0,0017	0,0078	0,22		

I Σ(d*i)
36,62 0,141

p= 0,0039

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	3
L	330
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
299,00	-1,00	0,0001	0,0001	0,0001	0,83	1,30	0,000
298,00	-0,17	0,0004	0,0002	0,0004	0,47	1,11	0,000
297,00	0,31	0,0006	0,0003	0,0007	0,43	1,09	0,001
296,00	0,74	0,0009	0,0004	0,0009	0,42	1,08	0,001
295,00	1,16	0,0011	0,0005	0,0012	0,41	1,08	0,001
294,00	1,57	0,0013	0,0005	0,0014	0,41	1,08	0,002
293,00	1,98	0,0016	0,0006	0,0017	0,40	1,08	0,002
292,00	2,38	0,0018	0,0007	0,0020	0,40	1,08	0,002
291,00	2,78	0,0021	0,0008	0,0022	0,40	1,08	0,002
290,00	3,18	0,0023	0,0009	0,0025	0,40	1,08	0,003
289,00	3,58	0,0025	0,0010	0,0027	0,40	1,08	0,003
288,00	3,97	0,0028	0,0011	0,0030	0,39	1,08	0,003
287,00	4,37	0,0030	0,0012	0,0032	0,39	1,07	0,003
286,00	4,76	0,0032	0,0013	0,0035	0,39	1,07	0,004
285,00	5,15	0,0035	0,0014	0,0037	0,39	1,07	0,004
284,00	5,55	0,0037	0,0015	0,0040	0,39	1,07	0,004
283,00	5,94	0,0039	0,0015	0,0042	0,39	1,07	0,005
282,00	6,33	0,0042	0,0016	0,0045	0,39	1,07	0,005
281,00	6,72	0,0044	0,0017	0,0047	0,39	0,76	0,004
280,29	7,00	0,0046	0,0018	0,0049	0,39		

I Σ(d*i)
20,41 0,049

p= 0,0024

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	3,5
L	285
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
298,80	-1,00	0,0001	0,0001	0,0002	1,26	1,28	0,000
298,00	0,00	0,0004	0,0002	0,0005	0,61	1,17	0,001
297,00	0,61	0,0007	0,0004	0,0008	0,55	1,14	0,001
296,00	1,16	0,0009	0,0005	0,0011	0,52	1,13	0,001
295,00	1,68	0,0012	0,0006	0,0014	0,51	1,12	0,002
294,00	2,19	0,0015	0,0007	0,0016	0,50	1,12	0,002
293,00	2,69	0,0017	0,0009	0,0019	0,50	1,12	0,002
292,00	3,19	0,0020	0,0010	0,0022	0,49	1,11	0,002
291,00	3,68	0,0023	0,0011	0,0025	0,49	1,11	0,003
290,00	4,17	0,0025	0,0012	0,0028	0,49	1,11	0,003
289,00	4,66	0,0028	0,0014	0,0031	0,49	1,11	0,003
288,00	5,15	0,0030	0,0015	0,0034	0,49	1,11	0,004
287,00	5,63	0,0033	0,0016	0,0037	0,48	1,11	0,004
286,00	6,12	0,0036	0,0017	0,0039	0,48	1,11	0,004
285,00	6,60	0,0038	0,0018	0,0042	0,48	0,92	0,004
284,17	7,00	0,0040	0,0019	0,0045	0,48		

I Σ(d*i)
16,78 0,036

p= 0,0022

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	4
L	250
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
298,70	-1,00	0,0001	0,0002	0,0002	2,08	1,11	0,000
298,22	0,00	0,0004	0,0003	0,0005	0,80	1,28	0,001
297,22	0,80	0,0007	0,0004	0,0008	0,65	1,19	0,001
296,22	1,45	0,0010	0,0006	0,0012	0,61	1,17	0,001
295,22	2,06	0,0013	0,0008	0,0015	0,59	1,16	0,002
294,22	2,66	0,0016	0,0009	0,0018	0,58	1,16	0,002
293,22	3,24	0,0019	0,0011	0,0022	0,58	1,16	0,003
292,22	3,82	0,0022	0,0012	0,0025	0,57	1,15	0,003
291,22	4,39	0,0025	0,0014	0,0028	0,57	1,15	0,003
290,22	4,96	0,0028	0,0016	0,0032	0,57	1,15	0,004
289,22	5,53	0,0030	0,0017	0,0035	0,57	1,15	0,004
288,22	6,10	0,0033	0,0019	0,0038	0,56	1,15	0,004
287,22	6,66	0,0036	0,0020	0,0042	0,56	0,68	0,003
286,62	7,00	0,0038	0,0021	0,0044	0,56		

I Σ(d*i)
14,67 0,031

p= 0,0021

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	4,5
L	220
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
298,50	-1,00	0,0001	0,0003	0,0003	3,22	1,05	0,000
298,19	0,00	0,0004	0,0004	0,0005	1,02	1,40	0,001
297,21	1,00	0,0008	0,0006	0,0010	0,75	1,25	0,001
296,21	1,75	0,0011	0,0008	0,0014	0,69	1,22	0,002
295,21	2,44	0,0015	0,0010	0,0018	0,67	1,20	0,002
294,21	3,11	0,0018	0,0012	0,0022	0,66	1,20	0,003
293,21	3,77	0,0021	0,0014	0,0025	0,65	1,19	0,003
292,21	4,42	0,0025	0,0016	0,0029	0,65	1,19	0,003
291,21	5,07	0,0028	0,0018	0,0033	0,64	1,19	0,004
290,21	5,71	0,0031	0,0020	0,0037	0,64	1,19	0,004
289,21	6,35	0,0035	0,0022	0,0041	0,64	1,19	0,005
288,21	6,99	0,0038	0,0024	0,0045	0,64	0,02	0,000
288,20	7,00	0,0038	0,0024	0,0045	0,64		

I Σ(d*i)
13,28 0,028

p= 0,0021

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	5
L	190
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
298,10	-1,00	0,0001	0,0005	0,0005	4,28	1,03	0,001
297,87	0,00	0,0004	0,0006	0,0007	1,32	1,26	0,001
297,11	1,00	0,0008	0,0008	0,0011	0,90	1,35	0,002
296,11	1,90	0,0013	0,0010	0,0016	0,80	1,28	0,002
295,11	2,70	0,0017	0,0013	0,0021	0,76	1,26	0,003
294,11	3,47	0,0021	0,0016	0,0026	0,74	1,24	0,003
293,11	4,21	0,0025	0,0018	0,0031	0,73	1,24	0,004
292,11	4,94	0,0029	0,0021	0,0036	0,72	1,23	0,004
291,11	5,66	0,0033	0,0023	0,0040	0,72	1,23	0,005
290,11	6,37	0,0037	0,0026	0,0045	0,71	1,08	0,005
289,22	7,00	0,0040	0,0028	0,0049	0,71		

I Σ(d*i)
12,20 0,029

p= 0,0024

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	2,5
L	550
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
449,00	-1,00	0,0001	0,0000	0,0001	0,69	1,22	0,000
448,00	-0,31	0,0002	0,0001	0,0002	0,44	1,09	0,000
447,00	0,13	0,0003	0,0001	0,0004	0,40	1,08	0,000
446,00	0,53	0,0005	0,0002	0,0005	0,39	1,07	0,001
445,00	0,92	0,0006	0,0002	0,0006	0,38	1,07	0,001
444,00	1,30	0,0007	0,0003	0,0008	0,38	1,07	0,001
443,00	1,68	0,0009	0,0003	0,0009	0,37	1,07	0,001
442,00	2,05	0,0010	0,0004	0,0010	0,37	1,07	0,001
441,00	2,42	0,0011	0,0004	0,0012	0,37	1,07	0,001
440,00	2,79	0,0012	0,0005	0,0013	0,37	1,07	0,001
439,00	3,15	0,0014	0,0005	0,0015	0,37	1,06	0,002
438,00	3,52	0,0015	0,0005	0,0016	0,37	1,06	0,002
437,00	3,88	0,0016	0,0006	0,0017	0,36	1,06	0,002
436,00	4,25	0,0017	0,0006	0,0019	0,36	1,06	0,002
435,00	4,61	0,0019	0,0007	0,0020	0,36	1,06	0,002
434,00	4,98	0,0020	0,0007	0,0021	0,36	1,06	0,002
433,00	5,34	0,0021	0,0008	0,0023	0,36	1,06	0,0024
432	5,7	0,0023	0,0008	0,0024	0,36	1,06	0,0026
431	6,06	0,0024	0,0009	0,0025	0,36	1,06	0,0027
430	6,42	0,0025	0,0009	0,0027	0,36	1,06	0,0028
429	6,79	0,0026	0,001	0,0028	0,36	0,63	0,0018
428,41	7	0,0027	0,001	0,0029	0,36		

I Σ(d*i)
22,13 0,031

p= 0,0014

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3
L	330
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
448,60	-1,00	0,0001	0,0001	0,0001	1,97	1,12	0,000
448,09	0,00	0,0002	0,0002	0,0003	0,82	1,29	0,000
447,09	0,82	0,0004	0,0003	0,0005	0,66	1,20	0,001
446,09	1,48	0,0006	0,0004	0,0007	0,62	1,18	0,001
445,09	2,11	0,0007	0,0004	0,0009	0,61	1,17	0,001
444,09	2,71	0,0009	0,0005	0,0011	0,59	1,16	0,001
443,09	3,31	0,0011	0,0006	0,0012	0,59	1,16	0,001
442,09	3,89	0,0012	0,0007	0,0014	0,58	1,16	0,002
441,09	4,48	0,0014	0,0008	0,0016	0,58	1,16	0,002
440,09	5,06	0,0016	0,0009	0,0018	0,58	1,15	0,002
439,09	5,63	0,0017	0,0010	0,0020	0,57	1,15	0,002
438,09	6,21	0,0019	0,0011	0,0022	0,57	1,15	0,003
437,09	6,78	0,0021	0,0012	0,0024	0,57	0,44	0,001
436,71	7,00	0,0021	0,0012	0,0024	0,57		

I Σ(d*i)
14,50 0,017

p= 0,0012

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3,5
L	285
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
448,30	-1,00	0,0001	0,0002	0,0002	3,16	1,05	0,000
447,98	0,00	0,0002	0,0002	0,0003	1,11	1,35	0,000
447,08	1,00	0,0004	0,0004	0,0006	0,80	1,28	0,001
446,08	1,80	0,0007	0,0005	0,0008	0,73	1,24	0,001
445,08	2,53	0,0009	0,0006	0,0010	0,70	1,22	0,001
444,08	3,24	0,0011	0,0007	0,0013	0,69	1,21	0,002
443,08	3,93	0,0013	0,0008	0,0015	0,68	1,21	0,002
442,08	4,61	0,0014	0,0010	0,0017	0,67	1,20	0,002
441,08	5,28	0,0016	0,0011	0,0020	0,67	1,20	0,002
440,08	5,95	0,0018	0,0012	0,0022	0,66	1,20	0,003
439,08	6,61	0,0020	0,0013	0,0024	0,66	0,71	0,002
438,49	7,00	0,0021	0,0014	0,0026	0,66		

I Σ(d*i)
12,88 0,016

p= 0,0012

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4
L	250
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
448,00	-1,00	0,0001	0,0003	0,0003	5,14	1,02	0,000
447,81	0,00	0,0002	0,0004	0,0004	1,44	1,22	0,001
447,11	1,00	0,0005	0,0005	0,0007	0,96	1,39	0,001
446,11	1,96	0,0007	0,0006	0,0010	0,83	1,30	0,001
445,11	2,79	0,0010	0,0008	0,0013	0,79	1,27	0,002
444,11	3,58	0,0012	0,0009	0,0015	0,77	1,26	0,002
443,11	4,35	0,0015	0,0011	0,0018	0,75	1,25	0,002
442,11	5,10	0,0017	0,0013	0,0021	0,74	1,25	0,003
441,11	5,85	0,0019	0,0014	0,0024	0,74	1,24	0,003
440,11	6,59	0,0022	0,0016	0,0027	0,73	0,70	0,002
439,55	7,00	0,0023	0,0017	0,0028	0,73		

I Σ(d*i)
11,90 0,016

p= 0,0014

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4,5
L	220
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
447,60	-1,00	0,0001	0,0005	0,0005	7,90	1,01	0,000
447,47	0,00	0,0003	0,0005	0,0006	1,84	1,14	0,001
446,93	1,00	0,0005	0,0006	0,0008	1,15	1,32	0,001
446,06	2,00	0,0008	0,0008	0,0012	0,95	1,38	0,002
445,06	2,95	0,0012	0,0010	0,0015	0,88	1,33	0,002
444,06	3,83	0,0014	0,0012	0,0019	0,84	1,31	0,002
443,06	4,67	0,0017	0,0014	0,0022	0,82	1,29	0,003
442,06	5,49	0,0020	0,0016	0,0026	0,81	1,29	0,003
441,06	6,30	0,0023	0,0018	0,0029	0,80	1,12	0,003
440,18	7,00	0,0025	0,0020	0,0032	0,79		

I Σ(d*i)
11,19 0,018

p= 0,0016

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	5
L	190
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
447,10	-1,00	0,0001	0,0008	0,0008	12,92	1,00	0,001
447,02	0,00	0,0003	0,0008	0,0009	2,37	1,09	0,001
446,60	1,00	0,0006	0,0009	0,0011	1,40	1,23	0,001
445,88	2,00	0,0010	0,0011	0,0015	1,10	1,35	0,002
444,98	3,00	0,0013	0,0013	0,0019	0,98	1,40	0,003
443,98	3,98	0,0017	0,0016	0,0023	0,92	1,36	0,003
442,98	4,90	0,0021	0,0018	0,0028	0,89	1,34	0,004
441,98	5,79	0,0024	0,0021	0,0032	0,87	1,33	0,004
440,98	6,67	0,0028	0,0024	0,0036	0,86	0,51	0,002
440,59	7,00	0,0029	0,0025	0,0038	0,86		

I Σ(d*i)
10,61 0,021

p= 0,0020

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	2,5
L	550
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
558,80	-1,00	0,0000	0,0001	0,0001	1,35	1,24	0,000
558,06	0,00	0,0001	0,0001	0,0002	0,64	1,19	0,000
557,06	0,64	0,0002	0,0001	0,0003	0,56	1,15	0,000
556,06	1,20	0,0003	0,0002	0,0004	0,53	1,13	0,000
555,06	1,73	0,0004	0,0002	0,0005	0,52	1,13	0,001
554,06	2,25	0,0005	0,0003	0,0006	0,51	1,12	0,001
553,06	2,76	0,0006	0,0003	0,0007	0,51	1,12	0,001
552,06	3,27	0,0007	0,0004	0,0008	0,50	1,12	0,001
551,06	3,77	0,0008	0,0004	0,0009	0,50	1,12	0,001
550,06	4,27	0,0009	0,0005	0,0010	0,50	1,12	0,001
549,06	4,77	0,0010	0,0005	0,0011	0,50	1,12	0,001
548,06	5,27	0,0011	0,0005	0,0012	0,50	1,12	0,001
547,06	5,77	0,0012	0,0006	0,0013	0,50	1,12	0,001
546,06	6,26	0,0013	0,0006	0,0014	0,49	1,12	0,002
545,06	6,76	0,0014	0,0007	0,0015	0,49	1,12	0,002
544,06	7,25	0,0015	0,0007	0,0016	0,49	0,56	0,001
543,56	7,50	0,0015	0,0007	0,0017	0,49		

I Σ(d*i)
17,58 0,014

p= 0,0008

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	3
L	330
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
558,20	-1,00	0,0000	0,0002	0,0002	4,35	1,03	0,000
557,97	0,00	0,0001	0,0002	0,0002	1,27	1,27	0,000
557,18	1,00	0,0003	0,0003	0,0004	0,88	1,33	0,001
556,18	1,88	0,0004	0,0003	0,0006	0,78	1,27	0,001
555,18	2,66	0,0006	0,0004	0,0007	0,75	1,25	0,001
554,18	3,41	0,0007	0,0005	0,0009	0,73	1,24	0,001
553,18	4,13	0,0009	0,0006	0,0011	0,72	1,23	0,001
552,18	4,85	0,0010	0,0007	0,0012	0,71	1,23	0,002
551,18	5,56	0,0011	0,0008	0,0014	0,71	1,22	0,002
550,18	6,27	0,0013	0,0009	0,0016	0,70	1,22	0,002
549,18	6,97	0,0014	0,0010	0,0017	0,70	0,93	0,002
548,42	7,50	0,0015	0,0011	0,0018	0,70		

I Σ(d*i)
13,21 0,012

p= 0,0009

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	3,5
L	285
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
557,70	-1,00	0,0000	0,0003	0,0003	6,81	1,01	0,000
557,55	0,00	0,0002	0,0003	0,0003	1,72	1,16	0,000
556,97	1,00	0,0003	0,0004	0,0005	1,10	1,35	0,001
556,06	2,00	0,0005	0,0005	0,0007	0,92	1,36	0,001
555,06	2,92	0,0007	0,0006	0,0009	0,85	1,31	0,001
554,06	3,77	0,0009	0,0007	0,0011	0,82	1,29	0,001
553,06	4,59	0,0011	0,0009	0,0014	0,80	1,28	0,002
552,06	5,40	0,0012	0,0010	0,0016	0,79	1,28	0,002
551,06	6,19	0,0014	0,0011	0,0018	0,78	1,27	0,002
550,06	6,97	0,0016	0,0012	0,0020	0,78	0,86	0,002
549,38	7,50	0,0017	0,0013	0,0021	0,78		

I Σ(d*i)
12,18 0,013

p= 0,0010

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	4
L	250
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
557,20	-1,00	0,0000	0,0004	0,0004	11,20	1,00	0,000
557,11	0,00	0,0002	0,0005	0,0005	2,24	1,10	0,001
556,66	1,00	0,0004	0,0005	0,0007	1,34	1,25	0,001
555,92	2,00	0,0006	0,0007	0,0009	1,07	1,37	0,001
554,98	3,00	0,0008	0,0008	0,0012	0,96	1,38	0,002
553,98	3,96	0,0011	0,0010	0,0014	0,91	1,35	0,002
552,98	4,86	0,0013	0,0011	0,0017	0,88	1,33	0,002
551,98	5,74	0,0015	0,0013	0,0020	0,86	1,32	0,003
550,98	6,60	0,0017	0,0014	0,0022	0,85	1,31	0,003
549,98	7,45	0,0019	0,0016	0,0025	0,84	0,08	0,000
549,92	7,50	0,0019	0,0016	0,0025	0,84		

I Σ(d*i)
11,49 0,015

p= 0,0013

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	4,5
L	220
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
556,60	-1,00	0,0000	0,0007	0,0007	18,16	1,00	0,001
556,54	0,00	0,0002	0,0007	0,0007	2,86	1,06	0,001
556,20	1,00	0,0005	0,0008	0,0009	1,63	1,17	0,001
555,58	2,00	0,0007	0,0009	0,0012	1,25	1,28	0,001
554,78	3,00	0,0010	0,0011	0,0015	1,08	1,36	0,002
553,86	4,00	0,0013	0,0013	0,0018	1,00	1,41	0,003
552,86	5,00	0,0015	0,0015	0,0021	0,95	1,38	0,003
551,86	5,95	0,0018	0,0017	0,0025	0,92	1,36	0,003
550,86	6,88	0,0021	0,0019	0,0028	0,91	0,93	0,003
550,17	7,50	0,0022	0,0020	0,0030	0,90		

I Σ(d*i)
10,96 0,017

p= 0,0016

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	5
L	190
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
555,80	-1,00	0,0000	0,0011	0,0011	30,01	1,00	0,001
555,77	0,00	0,0003	0,0011	0,0012	3,68	1,04	0,001
555,50	1,00	0,0006	0,0012	0,0013	2,03	1,12	0,001
555,00	2,00	0,0009	0,0013	0,0016	1,49	1,20	0,002
554,33	3,00	0,0012	0,0015	0,0019	1,25	1,28	0,002
553,53	4,00	0,0015	0,0017	0,0023	1,12	1,34	0,003
552,64	5,00	0,0018	0,0019	0,0027	1,05	1,38	0,004
551,69	6,00	0,0022	0,0022	0,0031	1,01	1,41	0,004
550,69	7,00	0,0025	0,0024	0,0035	0,98	0,72	0,003
550,18	7,50	0,0027	0,0026	0,0037	0,96		

I Σ(d*i)
10,48 0,022

p= 0,0021

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	2,5
L	550
Vt	80

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	3
L	330
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
299,20	-1,00	0,0001	0,0000	0,0001	0,32	1,05	0,000
298,20	-0,68	0,0003	0,0001	0,0003	0,25	1,03	0,000
297,20	-0,43	0,0005	0,0001	0,0006	0,24	1,03	0,001
296,20	-0,20	0,0008	0,0002	0,0008	0,23	1,03	0,001
295,20	0,03	0,0010	0,0002	0,0010	0,23	1,03	0,001
294,20	0,26	0,0012	0,0003	0,0012	0,22	1,02	0,001
293,20	0,48	0,0014	0,0003	0,0014	0,22	1,02	0,001
292,20	0,71	0,0016	0,0004	0,0016	0,22	1,02	0,002
291,20	0,93	0,0018	0,0004	0,0018	0,22	1,02	0,002
290,20	1,15	0,0020	0,0004	0,0021	0,22	1,02	0,002
289,20	1,37	0,0022	0,0005	0,0023	0,22	1,02	0,002
288,20	1,59	0,0024	0,0005	0,0025	0,22	1,02	0,003
287,20	1,81	0,0026	0,0006	0,0027	0,22	1,02	0,003
286,20	2,03	0,0029	0,0006	0,0029	0,22	1,02	0,003
285,20	2,25	0,0031	0,0007	0,0031	0,22	1,02	0,003
284,20	2,47	0,0033	0,0007	0,0034	0,22	1,02	0,003
283,20	2,69	0,0035	0,0008	0,0036	0,22	1,02	0,004
282,20	2,91	0,0037	0,0008	0,0038	0,22	1,02	0,004
281,20	3,13	0,0039	0,0009	0,0040	0,22	1,02	0,004
280,20	3,35	0,0041	0,0009	0,0042	0,22	1,02	0,004
279,20	3,57	0,0043	0,0009	0,0044	0,22	1,02	0,005
278,20	3,79	0,0045	0,0010	0,0046	0,22	1,02	0,005
277,20	4,01	0,0047	0,0010	0,0049	0,22	1,02	0,005
276,20	4,23	0,0050	0,0011	0,0051	0,22	1,02	0,005
275,20	4,44	0,0052	0,0011	0,0053	0,22	1,02	0,005
274,20	4,66	0,0054	0,0012	0,0055	0,22	1,02	0,006
273,20	4,88	0,0056	0,0012	0,0057	0,22	1,02	0,006
272,20	5,10	0,0058	0,0013	0,0059	0,22	1,02	0,006
271,20	5,32	0,0060	0,0013	0,0061	0,22	1,02	0,006
270,20	5,53	0,0062	0,0014	0,0064	0,22	1,02	0,007
269,20	5,75	0,0064	0,0014	0,0066	0,22	1,02	0,007
268,20	5,97	0,0066	0,0014	0,0068	0,22	1,02	0,007
267,20	6,19	0,0068	0,0015	0,0070	0,22	1,02	0,007
266,20	6,41	0,0071	0,0015	0,0072	0,22	1,02	0,007
265,20	6,62	0,0073	0,0016	0,0074	0,22	1,02	0,008
264,20	6,84	0,0075	0,0016	0,0077	0,22	1,02	0,008
263,20	7,06	0,0077	0,0017	0,0079	0,22	1,02	0,008
262,20	7,28	0,0079	0,0017	0,0081	0,22	1,02	0,008
261,20	7,49	0,0081	0,0018	0,0083	0,22	1,02	0,008
260,20	7,71	0,0083	0,0018	0,0085	0,22	1,02	0,009
259,20	7,93	0,0085	0,0019	0,0087	0,22	1,02	0,009
258,20	8,15	0,0087	0,0019	0,0089	0,22	1,02	0,009
257,20	8,36	0,0089	0,0019	0,0092	0,22	1,02	0,009
256,20	8,58	0,0092	0,0020	0,0094	0,22	1,02	0,010
255,20	8,80	0,0094	0,0020	0,0096	0,22	1,02	0,010
254,20	9,02	0,0096	0,0021	0,0098	0,22	1,02	0,010
253,20	9,23	0,0098	0,0021	0,0100	0,22	1,02	0,010
252,20	9,45	0,0100	0,0022	0,0102	0,22	1,02	0,010
251,20	9,67	0,0102	0,0022	0,0104	0,22	1,02	0,011
250,20	9,89	0,0104	0,0023	0,0107	0,22	1,02	0,011
249,20	10,10	0,0106	0,0023	0,0109	0,22	1,02	0,011
248,20	10,32	0,0108	0,0024	0,0111	0,22	0,85	0,009
247,37	10,50	0,0110	0,0024	0,0113	0,22		

I Σ(d*I)
53,09 0,297

p= 0,0056

X	t	il	it	i	t	d	
299,00	-1,00	0,0001	0,0001	0,0001	0,83	1,30	0,000
298,00	-0,17	0,0004	0,0002	0,0004	0,47	1,11	0,000
297,00	0,31	0,0006	0,0003	0,0007	0,43	1,09	0,001
296,00	0,74	0,0009	0,0004	0,0009	0,42	1,08	0,001
295,00	1,16	0,0011	0,0005	0,0012	0,41	1,08	0,001
294,00	1,57	0,0013	0,0005	0,0014	0,41	1,08	0,002
293,00	1,98	0,0016	0,0006	0,0017	0,40	1,08	0,002
292,00	2,38	0,0018	0,0007	0,0020	0,40	1,08	0,002
291,00	2,78	0,0021	0,0008	0,0022	0,40	1,08	0,002
290,00	3,18	0,0023	0,0009	0,0025	0,40	1,08	0,003
289,00	3,58	0,0025	0,0010	0,0027	0,40	1,08	0,003
288,00	3,97	0,0028	0,0011	0,0030	0,39	1,08	0,003
287,00	4,37	0,0030	0,0012	0,0032	0,39	1,07	0,003
286,00	4,76	0,0032	0,0013	0,0035	0,39	1,07	0,004
285,00	5,15	0,0035	0,0014	0,0037	0,39	1,07	0,004
284,00	5,55	0,0037	0,0015	0,0040	0,39	1,07	0,004
283,00	5,94	0,0039	0,0015	0,0042	0,39	1,07	0,005
282,00	6,33	0,0042	0,0016	0,0045	0,39	1,07	0,005
281,00	6,72	0,0044	0,0017	0,0047	0,39	1,07	0,005
280,00	7,11	0,0047	0,0018	0,0050	0,39	1,07	0,005
279,00	7,50	0,0049	0,0019	0,0052	0,39	1,07	0,006
278,00	7,89	0,0051	0,0020	0,0055	0,39	1,07	0,006
277,00	8,28	0,0054	0,0021	0,0058	0,39	1,07	0,006
276,00	8,67	0,0056	0,0022	0,0060	0,39	1,07	0,006
275,00	9,06	0,0058	0,0023	0,0063	0,39	1,07	0,007
274,00	9,45	0,0061	0,0024	0,0065	0,39	1,07	0,007
273,00	9,84	0,0063	0,0025	0,0068	0,39	1,07	0,007
272,00	10,23	0,0065	0,0025	0,0070	0,39	0,74	0,005
271,31	10,50	0,0067	0,0026	0,0072	0,39		

I Σ(d*I)
30,04 0,106

p= 0,0035

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	3,5
L	285
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
298,80	-1,00	0,0001	0,0001	0,0002	1,26	1,28	0,000
298,00	0,00	0,0004	0,0002	0,0005	0,61	1,17	0,001
297,00	0,61	0,0007	0,0004	0,0008	0,55	1,14	0,001
296,00	1,16	0,0009	0,0005	0,0011	0,52	1,13	0,001
295,00	1,68	0,0012	0,0006	0,0014	0,51	1,12	0,002
294,00	2,19	0,0015	0,0007	0,0016	0,50	1,12	0,002
293,00	2,69	0,0017	0,0009	0,0019	0,50	1,12	0,002
292,00	3,19	0,0020	0,0010	0,0022	0,49	1,11	0,002
291,00	3,68	0,0023	0,0011	0,0025	0,49	1,11	0,003
290,00	4,17	0,0025	0,0012	0,0028	0,49	1,11	0,003
289,00	4,66	0,0028	0,0014	0,0031	0,49	1,11	0,003
288,00	5,15	0,0030	0,0015	0,0034	0,49	1,11	0,004
287,00	5,63	0,0033	0,0016	0,0037	0,48	1,11	0,004
286,00	6,12	0,0036	0,0017	0,0039	0,48	1,11	0,004
285,00	6,60	0,0038	0,0018	0,0042	0,48	1,11	0,005
284,00	7,08	0,0041	0,0020	0,0045	0,48	1,11	0,005
283,00	7,56	0,0043	0,0021	0,0048	0,48	1,11	0,005
282,00	8,05	0,0046	0,0022	0,0051	0,48	1,11	0,006
281,00	8,53	0,0049	0,0023	0,0054	0,48	1,11	0,006
280,00	9,01	0,0051	0,0025	0,0057	0,48	1,11	0,006
279,00	9,49	0,0054	0,0026	0,0060	0,48	1,11	0,007
278,00	9,97	0,0056	0,0027	0,0062	0,48	1,11	0,007
277,00	10,45	0,0059	0,0028	0,0065	0,48	0,12	0,001
276,89	10,50						

I Σ(d*i)
24,86 0,080

p= 0,0032

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	4,5
L	220
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
298,50	-1,00	0,0001	0,0003	0,0003	3,22	1,05	0,000
298,19	0,00	0,0004	0,0004	0,0005	1,02	1,40	0,001
297,21	1,00	0,0008	0,0006	0,0010	0,75	1,25	0,001
296,21	1,75	0,0011	0,0008	0,0014	0,69	1,22	0,002
295,21	2,44	0,0015	0,0010	0,0018	0,67	1,20	0,002
294,21	3,11	0,0018	0,0012	0,0022	0,66	1,20	0,003
293,21	3,77	0,0021	0,0014	0,0025	0,65	1,19	0,003
292,21	4,42	0,0025	0,0016	0,0029	0,65	1,19	0,003
291,21	5,07	0,0028	0,0018	0,0033	0,64	1,19	0,004
290,21	5,71	0,0031	0,0020	0,0037	0,64	1,19	0,004
289,21	6,35	0,0035	0,0022	0,0041	0,64	1,19	0,005
288,21	6,99	0,0038	0,0024	0,0045	0,64	1,18	0,005
287,21	7,63	0,0041	0,0026	0,0049	0,63	1,18	0,006
286,21	8,26	0,0045	0,0028	0,0053	0,63	1,18	0,006
285,21	8,89	0,0048	0,0030	0,0057	0,63	1,18	0,007
284,21	9,52	0,0051	0,0032	0,0061	0,63	1,18	0,007
283,21	10,16	0,0054	0,0034	0,0064	0,63	0,65	0,004
282,66	10,50	0,0056	0,0035	0,0067	0,63		

I Σ(d*i)
19,82 0,064

p= 0,0032

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	4
L	250
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
298,70	-1,00	0,0001	0,0002	0,0002	2,08	1,11	0,000
298,22	0,00	0,0004	0,0003	0,0005	0,80	1,28	0,001
297,22	0,80	0,0007	0,0004	0,0008	0,65	1,19	0,001
296,22	1,45	0,0010	0,0006	0,0012	0,61	1,17	0,001
295,22	2,06	0,0013	0,0008	0,0015	0,59	1,16	0,002
294,22	2,66	0,0016	0,0009	0,0018	0,58	1,16	0,002
293,22	3,24	0,0019	0,0011	0,0022	0,58	1,16	0,003
292,22	3,82	0,0022	0,0012	0,0025	0,57	1,15	0,003
291,22	4,39	0,0025	0,0014	0,0028	0,57	1,15	0,003
290,22	4,96	0,0028	0,0016	0,0032	0,57	1,15	0,004
289,22	5,53	0,0030	0,0017	0,0035	0,57	1,15	0,004
288,22	6,10	0,0033	0,0019	0,0038	0,56	1,15	0,004
287,22	6,66	0,0036	0,0020	0,0042	0,56	1,15	0,005
286,22	7,23	0,0039	0,0022	0,0045	0,56	1,15	0,005
285,22	7,79	0,0042	0,0024	0,0048	0,56	1,15	0,006
284,22	8,35	0,0045	0,0025	0,0052	0,56	1,15	0,006
283,22	8,91	0,0048	0,0027	0,0055	0,56	1,15	0,006
282,22	9,47	0,0051	0,0028	0,0058	0,56	1,15	0,007
281,22	10,03	0,0054	0,0030	0,0062	0,56	0,96	0,006
280,38	10,50	0,0056	0,0031	0,0064	0,56		

I Σ(d*i)
21,82 0,068

p= 0,0031

i	0,06
R	5000
D/2	300

Se	5
L	190
Vt	80

X	t	il	it	i	t	d	
298,10	-1,00	0,0001	0,0005	0,0005	4,28	1,03	0,001
297,87	0,00	0,0004	0,0006	0,0007	1,32	1,26	0,001
297,11	1,00	0,0008	0,0008	0,0011	0,90	1,35	0,002
296,11	1,90	0,0013	0,0010	0,0016	0,80	1,28	0,002
295,11	2,70	0,0017	0,0013	0,0021	0,76	1,26	0,003
294,11	3,47	0,0021	0,0016	0,0026	0,74	1,24	0,003
293,11	4,21	0,0025	0,0018	0,0031	0,73	1,24	0,004
292,11	4,94	0,0029	0,0021	0,0036	0,72	1,23	0,004
291,11	5,66	0,0033	0,0023	0,0040	0,72	1,23	0,005
290,11	6,37	0,0037	0,0026	0,0045	0,71	1,23	0,006
289,11	7,08	0,0041	0,0029	0,0050	0,71	1,23	0,006
288,11	7,79	0,0044	0,0031	0,0054	0,71	1,22	0,007
287,11	8,50	0,0048	0,0034	0,0059	0,70	1,22	0,007
286,11	9,20	0,0052	0,0037	0,0064	0,70	1,22	0,008
285,11	9,90	0,0056	0,0039	0,0068	0,70	1,05	0,007
284,25	10,50	0,0059	0,0041	0,0072	0,70		

I Σ(d*i)
18,28 0,064

p= 0,0035

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	2,5
L	550
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
449,00	-1,00	0,0001	0,0000	0,0001	0,69	1,22	0,000
448,00	-0,31	0,0002	0,0001	0,0002	0,44	1,09	0,000
447,00	0,13	0,0003	0,0001	0,0004	0,40	1,08	0,000
446,00	0,53	0,0005	0,0002	0,0005	0,39	1,07	0,001
445,00	0,92	0,0006	0,0002	0,0006	0,38	1,07	0,001
444,00	1,30	0,0007	0,0003	0,0008	0,38	1,07	0,001
443,00	1,68	0,0009	0,0003	0,0009	0,37	1,07	0,001
442,00	2,05	0,0010	0,0004	0,0010	0,37	1,07	0,001
441,00	2,42	0,0011	0,0004	0,0012	0,37	1,07	0,001
440,00	2,79	0,0012	0,0005	0,0013	0,37	1,07	0,001
439,00	3,15	0,0014	0,0005	0,0015	0,37	1,06	0,002
438,00	3,52	0,0015	0,0005	0,0016	0,37	1,06	0,002
437,00	3,88	0,0016	0,0006	0,0017	0,36	1,06	0,002
436,00	4,25	0,0017	0,0006	0,0019	0,36	1,06	0,002
435,00	4,61	0,0019	0,0007	0,0020	0,36	1,06	0,002
434,00	4,98	0,0020	0,0007	0,0021	0,36	1,06	0,002
433,00	5,34	0,0021	0,0008	0,0023	0,36	1,06	0,002
432,00	5,70	0,0023	0,0008	0,0024	0,36	1,06	0,003
431,00	6,06	0,0024	0,0009	0,0025	0,36	1,06	0,003
430,00	6,42	0,0025	0,0009	0,0027	0,36	1,06	0,003
429,00	6,79	0,0026	0,0010	0,0028	0,36	1,06	0,003
428,00	7,15	0,0028	0,0010	0,0029	0,36	1,06	0,003
427,00	7,51	0,0029	0,0010	0,0031	0,36	1,06	0,003
426,00	7,87	0,0030	0,0011	0,0032	0,36	1,06	0,003
425,00	8,23	0,0032	0,0011	0,0034	0,36	1,06	0,004
424,00	8,59	0,0033	0,0012	0,0035	0,36	1,06	0,004
423,00	8,95	0,0034	0,0012	0,0036	0,36	1,06	0,004
422,00	9,31	0,0035	0,0013	0,0038	0,36	1,06	0,004
421,00	9,67	0,0037	0,0013	0,0039	0,36	1,06	0,004
420,00	10,03	0,0038	0,0014	0,0040	0,36	1,06	0,004
419,00	10,39	0,0039	0,0014	0,0042	0,36	0,33	0,001
418,69	10,50	0,0040	0,0014	0,0042	0,36		

l Σ(d*i)
32,46 0,067

p= 0,0021

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3
L	330
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
448,60	-1,00	0,0001	0,0001	0,0001	1,97	1,12	0,000
448,09	0,00	0,0002	0,0002	0,0003	0,82	1,29	0,000
447,09	0,82	0,0004	0,0003	0,0005	0,66	1,20	0,001
446,09	1,48	0,0006	0,0004	0,0007	0,62	1,18	0,001
445,09	2,11	0,0007	0,0004	0,0009	0,61	1,17	0,001
444,09	2,71	0,0009	0,0005	0,0011	0,59	1,16	0,001
443,09	3,31	0,0011	0,0006	0,0012	0,59	1,16	0,001
442,09	3,89	0,0012	0,0007	0,0014	0,58	1,16	0,002
441,09	4,48	0,0014	0,0008	0,0016	0,58	1,16	0,002
440,09	5,06	0,0016	0,0009	0,0018	0,58	1,15	0,002
439,09	5,63	0,0017	0,0010	0,0020	0,57	1,15	0,002
438,09	6,21	0,0019	0,0011	0,0022	0,57	1,15	0,003
437,09	6,78	0,0021	0,0012	0,0024	0,57	1,15	0,003
436,09	7,35	0,0022	0,0013	0,0026	0,57	1,15	0,003
435,09	7,92	0,0024	0,0014	0,0027	0,57	1,15	0,003
434,09	8,49	0,0025	0,0014	0,0029	0,57	1,15	0,003
433,09	9,06	0,0027	0,0015	0,0031	0,57	1,15	0,004
432,09	9,63	0,0029	0,0016	0,0033	0,57	1,15	0,004
431,09	10,20	0,0030	0,0017	0,0035	0,57	0,62	0,002
430,56	10,50						

l Σ(d*i)
21,58 0,038

p= 0,0017

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	3,5
L	285
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
448,30	-1,00	0,0001	0,0002	0,0002	3,16	1,05	0,000
447,98	0,00	0,0002	0,0002	0,0003	1,11	1,35	0,000
447,08	1,00	0,0004	0,0004	0,0006	0,80	1,28	0,001
446,08	1,80	0,0007	0,0005	0,0008	0,73	1,24	0,001
445,08	2,53	0,0009	0,0006	0,0010	0,70	1,22	0,001
444,08	3,24	0,0011	0,0007	0,0013	0,69	1,21	0,002
443,08	3,93	0,0013	0,0008	0,0015	0,68	1,21	0,002
442,08	4,61	0,0014	0,0010	0,0017	0,67	1,20	0,002
441,08	5,28	0,0016	0,0011	0,0020	0,67	1,20	0,002
440,08	5,95	0,0018	0,0012	0,0022	0,66	1,20	0,003
439,08	6,61	0,0020	0,0013	0,0024	0,66	1,20	0,003
438,08	7,27	0,0022	0,0015	0,0027	0,66	1,20	0,003
437,08	7,93	0,0024	0,0016	0,0029	0,66	1,20	0,003
436,08	8,59	0,0026	0,0017	0,0031	0,66	1,20	0,004
435,08	9,24	0,0028	0,0018	0,0033	0,65	1,20	0,004
434,08	9,90	0,0030	0,0020	0,0036	0,65	1,10	0,004
433,16	10,50						

I $\Sigma(d \cdot i)$
19,26 0,035

p= 0,0018

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4
L	250
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
448,00	-1,00	0,0001	0,0003	0,0003	5,14	1,02	0,000
447,81	0,00	0,0002	0,0004	0,0004	1,44	1,22	0,001
447,11	1,00	0,0005	0,0005	0,0007	0,96	1,39	0,001
446,11	1,96	0,0007	0,0006	0,0010	0,83	1,30	0,001
445,11	2,79	0,0010	0,0008	0,0013	0,79	1,27	0,002
444,11	3,58	0,0012	0,0009	0,0015	0,77	1,26	0,002
443,11	4,35	0,0015	0,0011	0,0018	0,75	1,25	0,002
442,11	5,10	0,0017	0,0013	0,0021	0,74	1,25	0,003
441,11	5,85	0,0019	0,0014	0,0024	0,74	1,24	0,003
440,11	6,59	0,0022	0,0016	0,0027	0,73	1,24	0,003
439,11	7,32	0,0024	0,0017	0,0030	0,73	1,24	0,004
438,11	8,05	0,0026	0,0019	0,0032	0,73	1,24	0,004
437,11	8,78	0,0028	0,0021	0,0035	0,73	1,24	0,004
436,11	9,50	0,0031	0,0022	0,0038	0,72	1,23	0,005
435,11	10,23	0,0033	0,0024	0,0041	0,72	0,46	0,002
434,74	10,50	0,0034	0,0024	0,0042	0,72		

I $\Sigma(d \cdot i)$
17,85 0,036

p= 0,0020

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	4,5
L	220
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
447,60	-1,00	0,0001	0,0005	0,0005	7,90	1,01	0,000
447,47	0,00	0,0003	0,0005	0,0006	1,84	1,14	0,001
446,93	1,00	0,0005	0,0006	0,0008	1,15	1,32	0,001
446,06	2,00	0,0008	0,0008	0,0012	0,95	1,38	0,002
445,06	2,95	0,0012	0,0010	0,0015	0,88	1,33	0,002
444,06	3,83	0,0014	0,0012	0,0019	0,84	1,31	0,002
443,06	4,67	0,0017	0,0014	0,0022	0,82	1,29	0,003
442,06	5,49	0,0020	0,0016	0,0026	0,81	1,29	0,003
441,06	6,30	0,0023	0,0018	0,0029	0,80	1,28	0,004
440,06	7,10	0,0026	0,0020	0,0033	0,79	1,28	0,004
439,06	7,89	0,0028	0,0022	0,0036	0,79	1,27	0,005
438,06	8,68	0,0031	0,0024	0,0040	0,79	1,27	0,005
437,06	9,47	0,0034	0,0026	0,0043	0,78	1,27	0,005
436,06	10,25	0,0037	0,0029	0,0046	0,78	0,41	0,002
435,74	10,50	0,0037	0,0029	0,0047	0,78		

I $\Sigma(d \cdot i)$
16,85 0,039

p= 0,0023

i	0,05
R	9000
D/2	450

Se	5
L	190
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
447,10	-1,00	0,0001	0,0008	0,0008	###	1,00	0,001
447,02	0,00	0,0003	0,0008	0,0009	2,37	1,09	0,001
446,60	1,00	0,0006	0,0009	0,0011	1,40	1,23	0,001
445,88	2,00	0,0010	0,0011	0,0015	1,10	1,35	0,002
444,98	3,00	0,0013	0,0013	0,0019	0,98	1,40	0,003
443,98	3,98	0,0017	0,0016	0,0023	0,92	1,36	0,003
442,98	4,90	0,0021	0,0018	0,0028	0,89	1,34	0,004
441,98	5,79	0,0024	0,0021	0,0032	0,87	1,33	0,004
440,98	6,67	0,0028	0,0024	0,0036	0,86	1,32	0,005
439,98	7,53	0,0031	0,0026	0,0041	0,85	1,31	0,005
438,98	8,38	0,0034	0,0029	0,0045	0,84	1,31	0,006
437,98	9,22	0,0038	0,0032	0,0049	0,84	1,31	0,006
436,98	10,06	0,0041	0,0034	0,0053	0,83	0,69	0,004
436,45	10,50	0,0043	0,0036	0,0056	0,83		

I $\Sigma(d \cdot i)$
16,03 0,045

p= 0,0028

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	2,5
L	550
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
558,80	-1,00	0,0000	0,0001	0,0001	1,35	1,24	0,000
558,06	0,00	0,0001	0,0001	0,0002	0,64	1,19	0,000
557,06	0,64	0,0002	0,0001	0,0003	0,56	1,15	0,000
556,06	1,20	0,0003	0,0002	0,0004	0,53	1,13	0,000
555,06	1,73	0,0004	0,0002	0,0005	0,52	1,13	0,001
554,06	2,25	0,0005	0,0003	0,0006	0,51	1,12	0,001
553,06	2,76	0,0006	0,0003	0,0007	0,51	1,12	0,001
552,06	3,27	0,0007	0,0004	0,0008	0,50	1,12	0,001
551,06	3,77	0,0008	0,0004	0,0009	0,50	1,12	0,001
550,06	4,27	0,0009	0,0005	0,0010	0,50	1,12	0,001
549,06	4,77	0,0010	0,0005	0,0011	0,50	1,12	0,001
548,06	5,27	0,0011	0,0005	0,0012	0,50	1,12	0,001
547,06	5,77	0,0012	0,0006	0,0013	0,50	1,12	0,001
546,06	6,26	0,0013	0,0006	0,0014	0,49	1,12	0,002
545,06	6,76	0,0014	0,0007	0,0015	0,49	1,12	0,002
544,06	7,25	0,0015	0,0007	0,0016	0,49	1,11	0,002
543,06	7,75	0,0016	0,0008	0,0017	0,49	1,11	0,002
542,06	8,24	0,0017	0,0008	0,0018	0,49	1,11	0,002
541,06	8,73	0,0018	0,0009	0,0020	0,49	1,11	0,002
540,06	9,22	0,0018	0,0009	0,0021	0,49	1,11	0,002
539,06	9,71	0,0019	0,0010	0,0022	0,49	1,11	0,002
538,06	10,20	0,0020	0,0010	0,0023	0,49	1,11	0,003
537,06	10,69	0,0021	0,0010	0,0024	0,49	1,11	0,003
536,06	11,18	0,0022	0,0011	0,0025	0,49	0,15	0,000
535,93	11,25	0,0022	0,0011	0,0025	0,49		

I $\Sigma(d \cdot i)$
26,08 0,032

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	3
L	330
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
558,20	-1,00	0,0000	0,0002	0,0002	4,35	1,03	0,000
557,97	0,00	0,0001	0,0002	0,0002	1,27	1,27	0,000
557,18	1,00	0,0003	0,0003	0,0004	0,88	1,33	0,001
556,18	1,88	0,0004	0,0003	0,0006	0,78	1,27	0,001
555,18	2,66	0,0006	0,0004	0,0007	0,75	1,25	0,001
554,18	3,41	0,0007	0,0005	0,0009	0,73	1,24	0,001
553,18	4,13	0,0009	0,0006	0,0011	0,72	1,23	0,001
552,18	4,85	0,0010	0,0007	0,0012	0,71	1,23	0,002
551,18	5,56	0,0011	0,0008	0,0014	0,71	1,22	0,002
550,18	6,27	0,0013	0,0009	0,0016	0,70	1,22	0,002
549,18	6,97	0,0014	0,0010	0,0017	0,70	1,22	0,002
548,18	7,67	0,0015	0,0011	0,0019	0,70	1,22	0,002
547,18	8,36	0,0017	0,0012	0,0020	0,69	1,22	0,002
546,18	9,06	0,0018	0,0013	0,0022	0,69	1,22	0,003
545,18	9,75	0,0019	0,0013	0,0024	0,69	1,22	0,003
544,18	10,44	0,0021	0,0014	0,0025	0,69	1,22	0,003
543,18	11,13	0,0022	0,0015	0,0027	0,69	0,21	0,001
543,01	11,25	0,0022	0,0015	0,0027	0,69		

I $\Sigma(d \cdot i)$
19,80 0,026

p= 0,0013

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	3,5
L	285
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
557,70	-1,00	0,0000	0,0003	0,0003	6,81	1,01	0,000
557,55	0,00	0,0002	0,0003	0,0003	1,72	1,16	0,000
556,97	1,00	0,0003	0,0004	0,0005	1,10	1,35	0,001
556,06	2,00	0,0005	0,0005	0,0007	0,92	1,36	0,001
555,06	2,92	0,0007	0,0006	0,0009	0,85	1,31	0,001
554,06	3,77	0,0009	0,0007	0,0011	0,82	1,29	0,001
553,06	4,59	0,0011	0,0009	0,0014	0,80	1,28	0,002
552,06	5,40	0,0012	0,0010	0,0016	0,79	1,28	0,002
551,06	6,19	0,0014	0,0011	0,0018	0,78	1,27	0,002
550,06	6,97	0,0016	0,0012	0,0020	0,78	1,27	0,003
549,06	7,75	0,0017	0,0013	0,0022	0,77	1,26	0,003
548,06	8,52	0,0019	0,0015	0,0024	0,77	1,26	0,003
547,06	9,29	0,0021	0,0016	0,0026	0,77	1,26	0,003
546,06	10,06	0,0022	0,0017	0,0028	0,77	1,26	0,004
545,06	10,83	0,0024	0,0018	0,0030	0,76	0,69	0,002
544,51	11,25	0,0025	0,0019	0,0031	0,76		

I $\Sigma(d \cdot i)$
18,33 0,028

p= 0,0015

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	4
L	250
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
557,20	-1,00	0,0000	0,0004	0,0004	11,20	1,00	0,000
557,11	0,00	0,0002	0,0005	0,0005	2,24	1,10	0,001
556,66	1,00	0,0004	0,0005	0,0007	1,34	1,25	0,001
555,92	2,00	0,0006	0,0007	0,0009	1,07	1,37	0,001
554,98	3,00	0,0008	0,0008	0,0012	0,96	1,38	0,002
553,98	3,96	0,0011	0,0010	0,0014	0,91	1,35	0,002
552,98	4,86	0,0013	0,0011	0,0017	0,88	1,33	0,002
551,98	5,74	0,0015	0,0013	0,0020	0,86	1,32	0,003
550,98	6,60	0,0017	0,0014	0,0022	0,85	1,31	0,003
549,98	7,45	0,0019	0,0016	0,0025	0,84	1,31	0,003
548,98	8,29	0,0021	0,0018	0,0028	0,83	1,30	0,004
547,98	9,12	0,0023	0,0019	0,0030	0,83	1,30	0,004
546,98	9,95	0,0025	0,0021	0,0033	0,82	1,30	0,004
545,98	10,77	0,0027	0,0022	0,0035	0,82	0,76	0,003
545,40	11,25						

I $\Sigma(d \cdot i)$
17,37 0,032

p= 0,0018

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	4,5
L	220
Vt	120

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	5
L	190
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
556,60	-1,00	0,0000	0,0007	0,0007	18,16	1,00	0,001
556,54	0,00	0,0002	0,0007	0,0007	2,86	1,06	0,001
556,20	1,00	0,0005	0,0008	0,0009	1,63	1,17	0,001
555,58	2,00	0,0007	0,0009	0,0012	1,25	1,28	0,001
554,78	3,00	0,0010	0,0011	0,0015	1,08	1,36	0,002
553,86	4,00	0,0013	0,0013	0,0018	1,00	1,41	0,003
552,86	5,00	0,0015	0,0015	0,0021	0,95	1,38	0,003
551,86	5,95	0,0018	0,0017	0,0025	0,92	1,36	0,003
550,86	6,88	0,0021	0,0019	0,0028	0,91	1,35	0,004
549,86	7,78	0,0023	0,0021	0,0031	0,89	1,34	0,004
548,86	8,68	0,0026	0,0023	0,0034	0,88	1,34	0,005
547,86	9,56	0,0028	0,0025	0,0038	0,88	1,33	0,005
546,86	10,44	0,0031	0,0027	0,0041	0,87	1,23	0,005
545,93	11,25	0,0033	0,0029	0,0044	0,87		

l Σ(d*i)
16,62 0,037

p= 0,0022

X	t	il	it	i	t	d	
555,80	-1,00	0,0000	0,0011	0,0011	###	1,00	0,001
555,77	0,00	0,0003	0,0011	0,0012	3,68	1,04	0,001
555,50	1,00	0,0006	0,0012	0,0013	2,03	1,12	0,001
555,00	2,00	0,0009	0,0013	0,0016	1,49	1,20	0,002
554,33	3,00	0,0012	0,0015	0,0019	1,25	1,28	0,002
553,53	4,00	0,0015	0,0017	0,0023	1,12	1,34	0,003
552,64	5,00	0,0018	0,0019	0,0027	1,05	1,38	0,004
551,69	6,00	0,0022	0,0022	0,0031	1,01	1,41	0,004
550,69	7,00	0,0025	0,0024	0,0035	0,98	1,40	0,005
549,69	7,98	0,0028	0,0027	0,0039	0,95	1,38	0,005
548,69	8,93	0,0032	0,0030	0,0043	0,94	1,37	0,006
547,69	9,87	0,0035	0,0032	0,0048	0,93	1,36	0,006
546,69	10,80	0,0038	0,0035	0,0052	0,92	0,67	0,003
546,20	11,25	0,0040	0,0036	0,0054	0,92		

l Σ(d*i)
15,95 0,045

p= 0,0029

Tabelas de cálculos do Caso E

i	-0,05
R	-5500
D/2	275

Se	2,5
L	550
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
245,25	-1,00	-0,0055	0,0014	0,0056	0,25	1,03	0,006
246,25	-0,75	-0,0053	0,0013	0,0054	0,25	1,03	0,006
247,25	-0,50	-0,0051	0,0013	0,0052	0,25	1,03	0,005
248,25	-0,25	-0,0049	0,0012	0,0050	0,25	1,03	0,005
249,25	-0,01	-0,0047	0,0012	0,0048	0,25	1,03	0,005
250,25	0,24	-0,0045	0,0011	0,0046	0,25	1,03	0,005
251,25	0,50	-0,0043	0,0011	0,0044	0,25	1,03	0,005
252,25	0,75	-0,0041	0,0010	0,0042	0,25	1,03	0,004
253,25	1,00	-0,0039	0,0010	0,0040	0,25	1,03	0,004
254,25	1,25	-0,0037	0,0009	0,0038	0,25	1,03	0,004
255,25	1,51	-0,0035	0,0009	0,0036	0,25	1,03	0,004
256,25	1,76	-0,0033	0,0009	0,0034	0,26	1,03	0,004
257,25	2,02	-0,0031	0,0008	0,0032	0,26	1,03	0,003
258,25	2,27	-0,0029	0,0008	0,0030	0,26	1,03	0,003
259,25	2,53	-0,0027	0,0007	0,0028	0,26	1,03	0,003
260,25	2,79	-0,0026	0,0007	0,0026	0,26	1,03	0,003
261,25	3,05	-0,0024	0,0006	0,0024	0,26	1,03	0,003
262,25	3,32	-0,0022	0,0006	0,0022	0,27	1,04	0,002
263,25	3,59	-0,0020	0,0005	0,0020	0,27	1,04	0,002
264,25	3,86	-0,0018	0,0005	0,0018	0,27	1,04	0,002
265,25	4,13	-0,0016	0,0004	0,0016	0,28	1,04	0,002
266,25	4,41	-0,0014	0,0004	0,0014	0,29	1,04	0,002
267,25	4,70	-0,0012	0,0004	0,0012	0,29	1,04	0,001
268,25	4,99	-0,0010	0,0003	0,0010	0,31	1,05	0,001
269,25	5,30	-0,0008	0,0003	0,0008	0,32	1,05	0,001
270,25	5,62	-0,0006	0,0002	0,0006	0,35	1,06	0,001
271,25	5,98	-0,0004	0,0002	0,0004	0,42	1,08	0,000
272,25	6,39	-0,0002	0,0001	0,0002	0,60	1,16	0,000
273,25	6,99	0,0000	0,0001	0,0001	163,35	0,02	0,000
273,25	7,01	0,0000	0,0001	0,0001	290,07		
289,97	9,50	0,0032	-0,0007	0,0032	-0,22	1,02	0,003
288,97	9,28	0,0030	-0,0006	0,0030	-0,21	1,02	0,003
287,97	9,07	0,0028	-0,0006	0,0028	-0,21	1,02	0,003
286,97	8,86	0,0026	-0,0005	0,0026	-0,21	1,02	0,003
285,97	8,65	0,0024	-0,0005	0,0024	-0,21	1,02	0,002
284,97	8,44	0,0022	-0,0005	0,0022	-0,21	1,02	0,002
283,97	8,23	0,0020	-0,0004	0,0020	-0,20	1,02	0,002
282,97	8,03	0,0018	-0,0004	0,0019	-0,20	1,02	0,002
281,97	7,83	0,0016	-0,0003	0,0017	-0,20	1,02	0,002
280,97	7,63	0,0014	-0,0003	0,0015	-0,19	1,02	0,001
279,97	7,45	0,0012	-0,0002	0,0013	-0,18	1,02	0,001
278,97	7,26	0,0011	-0,0002	0,0011	-0,17	1,01	0,001
277,97	7,09	0,0009	-0,0001	0,0009	-0,16	1,01	0,001
276,97	6,94	0,0007	-0,0001	0,0007	-0,13	1,01	0,001
275,97	6,80	0,0005	0,0000	0,0005	-0,09	1,00	0,000
274,97	6,71	0,0003	0,0000	0,0003	0,00	1,00	0,000
273,97	6,72	0,0001	0,0000	0,0001	0,40	0,77	0,000
273,25	7,00	0,0000	0,0001	0,0001	984,44		

X	t	il	it	i	t	d	
318,17	9,50	0,0083	-0,0020	0,0085	-0,24	1,03	0,009
317,17	9,26	0,0081	-0,0019	0,0083	-0,24	1,03	0,009
316,17	9,03	0,0079	-0,0019	0,0081	-0,24	1,03	0,008
315,17	8,79	0,0077	-0,0018	0,0079	-0,24	1,03	0,008
314,17	8,55	0,0075	-0,0018	0,0077	-0,24	1,03	0,008
313,17	8,32	0,0073	-0,0017	0,0075	-0,24	1,03	0,008
312,17	8,08	0,0071	-0,0017	0,0073	-0,24	1,03	0,008
311,17	7,84	0,0069	-0,0016	0,0071	-0,24	1,03	0,007
310,17	7,61	0,0067	-0,0016	0,0069	-0,24	1,03	0,007
309,17	7,37	0,0066	-0,0016	0,0067	-0,24	1,03	0,007
308,17	7,13	0,0064	-0,0015	0,0065	-0,24	1,03	0,007
307,17	6,89	0,0062	-0,0015	0,0063	-0,24	1,03	0,007
306,17	6,66	0,0060	-0,0014	0,0061	-0,24	1,03	0,006
305,17	6,42	0,0058	-0,0014	0,0059	-0,24	1,03	0,006
304,17	6,18	0,0056	-0,0013	0,0057	-0,24	1,03	0,006
303,17	5,95	0,0054	-0,0013	0,0055	-0,24	1,03	0,006
302,17	5,71	0,0052	-0,0012	0,0053	-0,24	1,03	0,005
301,17	5,47	0,0050	-0,0012	0,0051	-0,24	1,03	0,005
300,17	5,23	0,0048	-0,0011	0,0050	-0,24	1,03	0,005
299,17	5,00	0,0046	-0,0011	0,0048	-0,24	1,03	0,005
298,17	4,76	0,0044	-0,0011	0,0046	-0,24	1,03	0,005
297,17	4,52	0,0042	-0,0010	0,0044	-0,24	1,03	0,004
296,17	4,28	0,0040	-0,0010	0,0042	-0,24	1,03	0,004
295,17	4,04	0,0039	-0,0009	0,0040	-0,24	1,03	0,004
294,17	3,81	0,0037	-0,0009	0,0038	-0,24	1,03	0,004
293,17	3,57	0,0035	-0,0008	0,0036	-0,24	1,03	0,004
292,17	3,33	0,0033	-0,0008	0,0034	-0,24	1,03	0,003
291,17	3,09	0,0031	-0,0007	0,0032	-0,24	1,03	0,003
290,17	2,85	0,0029	-0,0007	0,0030	-0,24	1,03	0,003
289,17	2,61	0,0027	-0,0006	0,0028	-0,24	1,03	0,003
288,17	2,38	0,0025	-0,0006	0,0026	-0,24	1,03	0,003
287,17	2,14	0,0023	-0,0006	0,0024	-0,24	1,03	0,002
286,17	1,90	0,0021	-0,0005	0,0022	-0,24	1,03	0,002
285,17	1,66	0,0019	-0,0005	0,0020	-0,24	1,03	0,002
284,17	1,42	0,0017	-0,0004	0,0018	-0,24	1,03	0,002
283,17	1,18	0,0015	-0,0004	0,0016	-0,24	1,03	0,002
282,17	0,94	0,0013	-0,0003	0,0014	-0,24	1,03	0,001
281,17	0,69	0,0012	-0,0003	0,0012	-0,24	1,03	0,001
280,17	0,45	0,0010	-0,0002	0,0010	-0,24	1,03	0,001
279,17	0,21	0,0008	-0,0002	0,0008	-0,25	1,03	0,001
278,17	-0,04	0,0006	-0,0001	0,0006	-0,25	1,03	0,001
277,17	-0,29	0,0004	-0,0001	0,0004	-0,26	1,03	0,000
276,17	-0,55	0,0002	-0,0001	0,0002	-0,28	1,04	0,000
275,17	-0,83	0,0000	0,0000	0,0000	-1,00	0,24	0,000
275,00	-1,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,00		

Tabelas de cálculos do Caso F

i	0,04
R	14000
D/2	560

Se	2,5
L	80
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
560,00	14,25	0,0089	0,0104	0,0137	1,18	1,31	0,018
559,15	13,25	0,0085	0,0099	0,0130	1,17	1,32	0,017
558,29	12,25	0,0081	0,0094	0,0124	1,15	1,32	0,016
557,43	11,25	0,0077	0,0088	0,0117	1,14	1,33	0,016
556,55	10,25	0,0073	0,0082	0,0109	1,13	1,34	0,015
555,66	9,25	0,0068	0,0076	0,0102	1,12	1,34	0,014
554,77	8,25	0,0063	0,0069	0,0094	1,10	1,35	0,013
553,86	7,25	0,0058	0,0063	0,0085	1,09	1,36	0,012
552,95	6,25	0,0052	0,0056	0,0076	1,08	1,36	0,010
552,02	5,25	0,0046	0,0049	0,0067	1,06	1,37	0,009
551,08	4,25	0,0040	0,0042	0,0058	1,05	1,45	0,008
550,08	3,20	0,0033	0,0034	0,0047	1,02	1,43	0,007
549,08	2,18	0,0026	0,0026	0,0036	0,99	1,41	0,005
548,08	1,19	0,0019	0,0017	0,0025	0,92	1,36	0,003
547,08	0,26	0,0012	0,0009	0,0014	0,75	1,25	0,002
546,08	-0,48	0,0006	0,0000	0,0006	-0,03	1,00	0,001
545,08	-0,45	0,0007	-0,0009	0,0011	-1,33	1,67	0,002
544,08	0,88	0,0019	-0,0018	0,0026	-0,93	1,37	0,004
543,08	1,81	0,0027	-0,0026	0,0037	-0,96	1,38	0,005
542,08	2,77	0,0035	-0,0034	0,0049	-0,97	1,39	0,007
541,08	3,74	0,0043	-0,0042	0,0060	-0,98	1,40	0,008
540,08	4,72	0,0050	-0,0050	0,0071	-0,99	1,41	0,010
539,08	5,70	0,0058	-0,0057	0,0081	-1,00	1,41	0,011
538,08	6,70	0,0064	-0,0065	0,0091	-1,00	1,42	0,013
537,08	7,70	0,0071	-0,0072	0,0101	-1,01	1,42	0,014
536,08	8,71	0,0077	-0,0079	0,0111	-1,02	1,43	0,016
535,08	9,74	0,0083	-0,0086	0,0120	-1,03	1,43	0,017
534,08	10,76	0,0089	-0,0092	0,0128	-1,04	0,67	0,009
533,61	11,25	0,0092	-0,0095	0,0132	-1,04		

l Σ(d*i)
37,70 0,281

p= 0,0075

i	0,04
R	10000
D/2	400

Se	2,5
L	80
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
400,00	14,25	0,0088	0,0105	0,0137	1,20	1,30	0,018
399,16	13,25	0,0085	0,0100	0,0131	1,18	1,31	0,017
398,32	12,25	0,0081	0,0095	0,0125	1,17	1,32	0,016
397,46	11,25	0,0077	0,0089	0,0118	1,15	1,32	0,016
396,60	10,25	0,0073	0,0083	0,0111	1,14	1,33	0,015
395,72	9,25	0,0069	0,0077	0,0103	1,13	1,34	0,014
394,83	8,25	0,0064	0,0071	0,0096	1,11	1,34	0,013
393,93	7,25	0,0059	0,0065	0,0087	1,10	1,35	0,012
393,02	6,25	0,0054	0,0058	0,0079	1,08	1,36	0,011
392,09	5,25	0,0048	0,0051	0,0070	1,06	1,38	0,010
391,15	4,25	0,0042	0,0044	0,0061	1,03	1,39	0,008
390,18	3,25	0,0036	0,0036	0,0051	1,00	1,41	0,007
389,19	2,25	0,0029	0,0028	0,0040	0,95	1,38	0,006
388,19	1,30	0,0023	0,0020	0,0030	0,86	1,32	0,004
387,19	0,44	0,0017	0,0011	0,0020	0,66	1,20	0,002
386,19	-0,22	0,0012	0,0002	0,0012	0,19	1,02	0,001
385,19	-0,41	0,0011	-0,0007	0,0013	-0,58	1,16	0,002
384,19	0,17	0,0017	-0,0015	0,0023	-0,88	1,33	0,003
383,19	1,05	0,0026	-0,0024	0,0035	-0,92	1,36	0,005
382,19	1,98	0,0034	-0,0032	0,0046	-0,94	1,37	0,006
381,19	2,92	0,0042	-0,0040	0,0058	-0,95	1,38	0,008
380,19	3,87	0,0050	-0,0048	0,0069	-0,96	1,39	0,010
379,19	4,83	0,0057	-0,0055	0,0080	-0,97	1,39	0,011
378,19	5,79	0,0064	-0,0063	0,0090	-0,97	1,40	0,013
377,19	6,77	0,0071	-0,0070	0,0100	-0,98	1,40	0,014
376,19	7,75	0,0078	-0,0077	0,0109	-0,99	1,41	0,015
375,19	8,74	0,0084	-0,0084	0,0119	-1,00	1,41	0,017
374,19	9,74	0,0090	-0,0091	0,0128	-1,01	1,42	0,018
373,19	10,74	0,0096	-0,0097	0,0136	-1,01	0,71	0,010
372,69	11,25	0,0099	-0,0100	0,0141	-1,02		

l Σ(d*i)
38,20 0,300

p= 0,0079

i	0,04
R	7000
D/2	280

Se	2,5
L	80
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
280,00	14,25	0,0087	0,0107	0,0138	1,23	1,29	0,018
279,18	13,25	0,0084	0,0102	0,0132	1,21	1,30	0,017
278,36	12,25	0,0081	0,0097	0,0126	1,19	1,30	0,016
277,52	11,25	0,0078	0,0091	0,0120	1,18	1,31	0,016
276,67	10,25	0,0074	0,0086	0,0113	1,16	1,32	0,015
275,81	9,25	0,0070	0,0080	0,0106	1,15	1,33	0,014
274,94	8,25	0,0065	0,0074	0,0099	1,13	1,34	0,013
274,05	7,25	0,0061	0,0068	0,0091	1,11	1,35	0,012
273,15	6,25	0,0056	0,0061	0,0083	1,09	1,36	0,011
272,24	5,25	0,0051	0,0054	0,0074	1,06	1,37	0,010
271,30	4,25	0,0045	0,0047	0,0065	1,03	1,39	0,009
270,33	3,25	0,0040	0,0039	0,0056	0,99	1,41	0,008
269,33	2,26	0,0034	0,0031	0,0046	0,93	1,37	0,006
268,33	1,33	0,0028	0,0023	0,0036	0,83	1,30	0,005
267,33	0,49	0,0022	0,0015	0,0027	0,66	1,20	0,003
266,33	-0,16	0,0018	0,0006	0,0019	0,33	1,05	0,002
265,33	-0,49	0,0017	-0,0003	0,0017	-0,17	1,01	0,002
264,33	-0,32	0,0020	-0,0012	0,0023	-0,59	1,16	0,003
263,33	0,27	0,0026	-0,0020	0,0033	-0,77	1,26	0,004
262,33	1,04	0,0034	-0,0028	0,0044	-0,84	1,31	0,006
261,33	1,88	0,0042	-0,0036	0,0055	-0,87	1,33	0,007
260,33	2,75	0,0050	-0,0044	0,0067	-0,89	1,34	0,009
259,33	3,65	0,0057	-0,0052	0,0077	-0,91	1,35	0,010
258,33	4,56	0,0065	-0,0060	0,0088	-0,92	1,36	0,012
257,33	5,48	0,0072	-0,0067	0,0098	-0,93	1,37	0,013
256,33	6,41	0,0079	-0,0074	0,0108	-0,94	1,37	0,015
255,33	7,34	0,0086	-0,0081	0,0118	-0,95	1,38	0,016
254,33	8,29	0,0092	-0,0088	0,0127	-0,95	1,38	0,018
253,33	9,24	0,0098	-0,0094	0,0136	-0,96	1,39	0,019
252,33	10,20	0,0104	-0,0101	0,0145	-0,97	1,39	0,020
251,33	11,17	0,0110	-0,0107	0,0153	-0,98	0,11	0,002
251,25	11,25	0,0110	-0,0107	0,0154	-0,98		

l Σ(d*i)
39,49 0,332

p= 0,0084

i	0,04
R	3500
D/2	140

Se	2,5
L	80
Vt	120

X	t	il	it	i	t	d	
140,00	14,25	0,0085	0,0112	0,0141	1,32	1,26	0,018
139,24	13,25	0,0083	0,0108	0,0136	1,30	1,26	0,017
138,47	12,25	0,0081	0,0103	0,0131	1,27	1,27	0,017
137,68	11,25	0,0079	0,0098	0,0126	1,25	1,28	0,016
136,88	10,25	0,0076	0,0093	0,0120	1,22	1,29	0,015
136,07	9,25	0,0073	0,0088	0,0114	1,20	1,30	0,015
135,23	8,25	0,0070	0,0082	0,0108	1,17	1,32	0,014
134,38	7,25	0,0067	0,0076	0,0101	1,14	1,33	0,013
133,50	6,25	0,0063	0,0070	0,0094	1,10	1,35	0,013
132,59	5,25	0,0060	0,0063	0,0087	1,06	1,37	0,012
131,65	4,25	0,0056	0,0056	0,0079	1,01	1,41	0,011
130,66	3,25	0,0052	0,0049	0,0071	0,94	1,37	0,010
129,66	2,31	0,0048	0,0041	0,0063	0,86	1,32	0,008
128,66	1,45	0,0044	0,0033	0,0055	0,74	1,25	0,007
127,66	0,71	0,0041	0,0025	0,0048	0,60	1,17	0,006
126,66	0,11	0,0039	0,0016	0,0042	0,42	1,08	0,005
125,66	-0,31	0,0038	0,0008	0,0039	0,20	1,02	0,004
124,66	-0,51	0,0039	-0,0001	0,0039	-0,03	1,00	0,004
123,66	-0,48	0,0043	-0,0010	0,0044	-0,23	1,03	0,004
122,66	-0,25	0,0047	-0,0018	0,0051	-0,39	1,07	0,005
121,66	0,14	0,0054	-0,0027	0,0060	-0,50	1,12	0,007
120,66	0,64	0,0060	-0,0035	0,0070	-0,58	1,15	0,008
119,66	1,21	0,0068	-0,0043	0,0080	-0,63	1,18	0,009
118,66	1,85	0,0075	-0,0051	0,0091	-0,67	1,19	0,016
117,17	2,85	0,0086	-0,0062	0,0106	-0,72	1,72	0,018
115,77	3,85	0,0097	-0,0072	0,0120	-0,74	1,68	0,020
114,43	4,85	0,0106	-0,0081	0,0134	-0,76	1,65	0,022
113,12	5,85	0,0115	-0,0090	0,0146	-0,78	1,63	0,024
111,84	6,85	0,0124	-0,0098	0,0158	-0,79	1,61	0,026
110,58	7,85	0,0132	-0,0106	0,0170	-0,80	1,60	0,027
109,33	8,85	0,0140	-0,0114	0,0181	-0,81	1,59	0,029
108,10	9,85	0,0148	-0,0121	0,0191	-0,82	1,58	0,030
106,9	10,8	0,015	-0,013	0,02	-0,8	0,63	0,013
106,4	11,3	0,016	-0,013	0,02	-0,8		

l Σ(d*i)
43,67 0,463

p= 0,0106

i	-0,05
R	-5500
D/2	275

Se	5
L	190
Vt	100

X	t	il	it	i	t	d	
208,66	-1,00	-0,0118	0,0076	0,0140	0,64	1,19	0,017
209,66	-0,36	-0,0118	0,0073	0,0139	0,62	1,18	0,016
210,66	0,27	-0,0118	0,0071	0,0137	0,60	1,17	0,016
211,66	0,87	-0,0117	0,0068	0,0136	0,58	1,16	0,016
212,66	1,44	-0,0117	0,0065	0,0134	0,56	1,15	0,015
213,66	2,00	-0,0117	0,0063	0,0133	0,54	1,13	0,015
214,66	2,54	-0,0116	0,0060	0,0131	0,52	1,13	0,015
215,66	3,05	-0,0116	0,0057	0,0129	0,50	1,12	0,014
216,66	3,55	-0,0116	0,0055	0,0128	0,47	1,11	0,014
217,66	4,02	-0,0115	0,0052	0,0126	0,45	1,10	0,014
218,66	4,48	-0,0114	0,0050	0,0125	0,43	1,09	0,014
219,66	4,91	-0,0114	0,0047	0,0123	0,41	1,08	0,013
220,66	5,33	-0,0113	0,0044	0,0121	0,39	1,07	0,013
221,66	5,72	-0,0112	0,0042	0,0120	0,37	1,07	0,013
222,66	6,09	-0,0111	0,0039	0,0118	0,35	1,06	0,013
223,66	6,44	-0,0110	0,0036	0,0116	0,33	1,05	0,012
224,66	6,77	-0,0110	0,0034	0,0115	0,31	1,05	0,012
225,66	7,08	-0,0109	0,0031	0,0113	0,29	1,04	0,012
226,66	7,36	-0,0108	0,0029	0,0111	0,27	1,03	0,012
227,66	7,63	-0,0106	0,0026	0,0109	0,24	1,03	0,011
228,66	7,87	-0,0105	0,0023	0,0108	0,22	1,02	0,011
229,66	8,09	-0,0104	0,0021	0,0106	0,20	1,02	0,011
230,66	8,29	-0,0103	0,0018	0,0104	0,18	1,02	0,011
231,66	8,47	-0,0101	0,0015	0,0102	0,15	1,01	0,010
232,66	8,62	-0,0100	0,0013	0,0101	0,13	1,01	0,010
233,66	8,75	-0,0098	0,0010	0,0099	0,10	1,01	0,010
234,66	8,85	-0,0097	0,0007	0,0097	0,08	1,00	0,010
235,66	8,93	-0,0095	0,0005	0,0095	0,05	1,00	0,010
236,66	8,98	-0,0094	0,0002	0,0094	0,02	1,00	0,009
237,66	9,00	-0,0158	-0,0002	0,0158	-0,01	1,00	0,016
238,66	8,99	-0,0156	-0,0012	0,0156	-0,07	1,00	0,016
239,66	8,92	-0,0153	-0,0022	0,0155	-0,14	1,01	0,016
240,66	8,78	-0,0150	-0,0032	0,0153	-0,21	1,02	0,016
241,66	8,57	-0,0146	-0,0042	0,0152	-0,28	1,04	0,016
242,7	8,28	-0,014	-0,0052	0,0151	-0,36	1,06	0,016
243,7	7,92	-0,014	-0,0062	0,0149	-0,45	1,10	0,016
244,7	7,46	-0,013	-0,0072	0,0148	-0,55	1,14	0,017
245,7	6,91	-0,012	-0,0082	0,0147	-0,67	1,20	0,0177
246,7	6,25	-0,011	-0,0092	0,0146	-0,8	1,28	0,0188
247,7	5,44	-0,01	-0,0102	0,0145	-0,98	1,4	0,0203
248,7	4,47	-0,009	-0,0112	0,0145	-1,21	1,3	0,0188
249,5	3,47	-0,008	-0,012	0,0145	-1,48	1,21	0,0175
250,2	2,47	-0,007	-0,0127	0,0145	-1,81	1,14	0,0165
250,7	1,47	-0,006	-0,0132	0,0145	-2,25	1,09	0,0158
251,2	0,47	-0,005	-0,0137	0,0145	-2,85	0,5	0,0072
251,3	0	-0,004	-0,0138	0,0145	-3,21		

l Σ(d*i)
48,58 0,628

p= 0,0106