

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

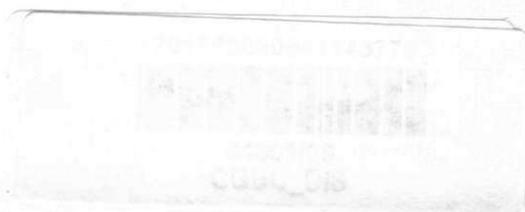
CURSO DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO
GRANULOMÉTRICA SOBRE O TRANSPORTE E RESISTÊNCIA
EM CANAIS ERODÍVEIS.**

MARCOS TIBÉRIO DE SIQUEIRA

CAMPINA GRANDE – PB

DEZEMBRO – 1997





S618e Siqueira, Marcos Tibério de.
Estudo da influência da distribuição granulométrica sobre o transporte e resistência em canais erodíveis / Marcos Tibério de Siqueira. - Campina Grande, 1997. 215 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1997.
"Orientação : Prof. Vajapeyan Srirangachar Srinivasan".
Referências.

1. Canais Erodíveis. 2. Distribuição Granulométrica. 3. Canais - Transporte e Resistência. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Srinivasan, Vajapeyam Srirangachar. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 626.1(043)

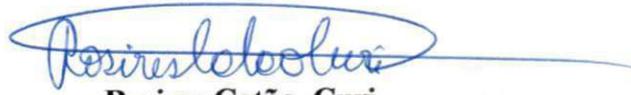
**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA
SOBRE O TRANSPORTE E RESISTÊNCIA EM CANAIS ERODÍVEIS**

MARCOS TIBÉRIO DE SIQUEIRA

Dissertação defendida em 29 de Dezembro de 1997


Vajapeyam Srirangachar Srinivasan

Orientador


Rosires Catão Curi

Examinadora Interna


Lúcio Flávio Ferreira Moreira

Examinador Externo

Campina Grande – PB

Dezembro – 1997

MARCOS TIBÉRIO DE SIQUEIRA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA
SOBRE O TRANSPORTE E RESISTÊNCIA EM CANAIS ERODÍVEIS**

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós -
Graduação em Engenharia Civil, na área de
Engenharia de Recursos Hídricos, em
cumprimento às exigências para obtenção
do Grau de Mestre.**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

ORIENTADOR: VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN

Campina Grande – PB

Dezembro - 1997

Aos meus Pais, irmãos, esposa e filho

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo que sou e por tudo que até hoje conquistei em minha vida.

Aos meus pais, irmãos e esposa pelo carinho, apoio e incentivo, sempre.

Ao professor Vajapeyam Srirangachar Srinivasan, pela orientação sempre segura e incentivo ao longo de todo este trabalho.

Agradeço em memória ao professor Manoel Gilberto de Barros que sempre me apoiou e incentivou, e com quem tive a oportunidade de iniciar meus estudos na área de recursos hídricos,

A todos os professores da Área de Recursos Hídricos pela formação que recebi.

Aos técnicos Haroldo e Ismael pelo profissionalismo e dedicação sempre demonstrados na realização dos experimentos de laboratório, sem a ajuda dos quais seria bastante difícil concluir este trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Recursos Hídricos que sempre se mostraram prontos a ajudar.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste curso de mestrado.

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo principal verificar a influência da distribuição granulométrica dos sedimentos sobre o transporte e a resistência em canais aluviais. Para este fim foram realizados experimentos em um canal de recirculação de fluxo com três misturas de sedimentos, unimodais e log-normais, tendo o mesmo diâmetro mediano D_{50} (0,38 mm) e diferentes distribuições granulométricas. Postulou-se, também, a possibilidade de existir um diâmetro representativo, diferente do diâmetro mediano, para cada distribuição estudada. Para isto foram selecionadas as equações de Einstein (1950), Bagnold (1966), Laursen (1958) e Yang (1973), como os meios para calcular as taxas de transporte sólido.

Com relação aos aspectos de transporte e resistência ao fluxo, as misturas não uniformes, sob idênticas condições de fluxo, apresentaram menores taxas de transporte e maiores valores de resistência do que a mistura quase uniforme.

Os resultados obtidos com as equações estimativas de transporte, quando foram utilizados diâmetros diferentes do diâmetro mediano, não diferiram muito dos resultados obtidos com D_{50} , ou seja, apenas pequenos ajustes nas taxas de transportes foram conseguidos.

ABSTRACT

The principal objective of this work is to verify the influence of sediment size distribution about transport and resistance in alluvial channels. Data were gathered in experiments using a completely automatic recirculation channel with three sediment mixtures, unimodal and log-normal, that had the same median diameter D_{50} (0,38 mm) and different size distribution. It was also postulated the possibility there be a representative diameter, different than median diameter, for each size distribution studied. For this purpose were selected the following transport equations: Einstein (1950), Bagnold (1966), Laursen (1958) and Yang (1973), to calculate the sediment transport rates.

Taking into account the transport and resistance to the flow, the non uniform mixtures, in identical flow conditions, shown smaller transport rates and larger resistance values than the most uniform mixture.

The results got with the transport equations, when were used different diameters than median diameter, didn't differ too much than the results with D_{50} , it means that only small adjustment in the transport rates were obtained.

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Constante, Comprimento do Eixo mais longo da Partícula
A	Área da Seção Transversal de Fluxo
b	Comprimento do Eixo Intermediário da Partícula
B	Parâmetro de Bimodalidade
b	Largura do Canal
c	Comprimento do Eixo menor da Partícula
C	Concentração ou Massa de Sedimentos por unidade de volume de água
d	Profundidade Média de Fluxo
d_t	Diâmetro Transicional
D_d	Diâmetro Representativo do Material do Leito
D_C	Tamanho dos Grãos do Modo Grosso em Sedimentos Bimodais
D_f	Tamanho dos Grãos do Modo Fino em Sedimentos Bimodais
D_i	Diâmetro Representativo da Fração i
D_m = D₅₀	Diâmetro Mediano da Mistura
d_n	Tamanho Escalar que determina a rugosidade do leito
D_X	Diâmetro do Sedimento para o qual X% da Mistura tem tamanho inferior
e_B	Coefficiente de Proteção
e_b	Eficiência de Transporte da Carga do Leito
e_i	Fator de Correção da Exposição de uma Partícula de Tamanho d _i
e_s	Eficiência de Transporte da Carga em Suspensão
f	Coefficiente de Atrito do Canal
f_b	Coefficiente de Atrito Relativo ao Leito
f_i	Proporção da Fração i no Leito de Sedimentos
F_r	Número de Froude de Cisalhamento
F_w	Coefficiente de Atrito das Paredes do Canal
g	Aceleração Gravitacional
G_{gr}	Parâmetro de Transporte
I₁	Integral de Einstein
I₂	Integral de Einstein
i_b	Fração em Peso de uma Partícula de Tamanho d _i no leito de sedimentos
i_s	Fração em Peso de uma Partícula de Tamanho d _i na Carga Suspensa

K	Constante de Von Karman
K_r	Fator de Forma para um Trecho do Canal
K_S	Fator de Forma para a Seção Transversal do Canal
K_s	Rugosidade Equivalente do Leito
m	Declividade da Curva de Distribuição Granulométrica
M	Coefficiente de Uniformidade de Kramer
n	Expoente Transicional
p	Exposição do Grão para o Interior do Fluxo
P	Proporção mais fina que o diâmetro d
P	Perímetro Molhado
P_E	Parâmetro de Transporte na Equação de Einstein
Q	Vazão expressa em volume por unidade de tempo
Q_b	Taxa de Transporte da Carga do Leito
q_B	Taxa de Transporte Volumétrica da Carga do Leito
Q_{bi}	Taxa de Transporte da Fração i expressa em volume por unidade de largura e tempo
Q_m	Vazão expressa em massa por unidade tempo
q_s	Taxa de Transporte Volumétrica da Carga Suspensa
q_T	Carga Total de Sedimentos Transportados em peso por unidade de tempo e
R	Raio Hidráulico do Leito
R'	Raio Hidráulico da Superfície do Leito
R''	Raio Hidráulico das Formas do Leito
R_c	Número de Reynolds do Fluxo
R_{c*}	Número de Reynolds de Cisalhamento da Partícula
S	Densidade do Sedimento
S, S_E	Declividade da Linha de Energia
tg α	Coefficiente Dinâmico de Atrito Sólido
U	Velocidade Média de Fluxo
U*, u*	Velocidade de Cisalhamento no Leito
U_{cr}	Velocidade Média Crítica
U_S	Velocidade Média do Sedimento em Suspensão
W	Velocidade de Queda da Partícula
W_i*	Parâmetro de Transporte Fracional
W_{oi}	Velocidade de Queda da Partícula de Tamanho d _i

X	Fator de Correção na Equação Logaritmica de Distribuição de Velocidade
y	Profundidade Arbitrária
Z	Parâmetro de Suspensão
Z₁	Parâmetro de Suspensão
U_{*,b}	Velocidade de Cisalhamento devido ao atrito com os grãos
U_{*,b}	Velocidade de Cisalhamento devido às Formas do Leito
\hat{d}	Tamanho mais dominante na mistura de sedimentos
ρ	Massa Específica da Água
σ	Desvio Padrão da Distribuição Granulométrica
β	Parâmetro de Einstein ou Fator de Forma da Partícula
γ	Peso Específico da Água
ν	Viscosidade Cinemática do Fluido
δ	Espessura da Subcamada Limite Laminar
Φ	Parâmetro da Carga do Leito (Equação de Einstein)
ψ	Parâmetro de Intensidade de Cisalhamento (Equação de Einstein)
μ	Viscosidade Dinâmica do Fluido
Δ	Rugosidade Aparente da Superfície do Leito
$(\tau_*)_{cr}$	Tensão de Cisalhamento Crítica Adimensional
$(\tau_o)_{cr}$	Tensão de Cisalhamento Crítica no Leito
$\Delta\gamma_s, \gamma_s$	Peso Específico Submerso do Sedimento ($\Delta\gamma_s = \gamma_s - \gamma$)
τ^*	Parâmetro de Shields
ψ_{35}	Intensidade de Cisalhamento sobre as Partículas cujo Tamanho é D_{35}
τ_b	Tensão de Cisalhamento no Leito
Φ_B	Taxa de Transporte Volumétrica Adimensional da Carga do Leito
τ_b'	Tensão de Cisalhamento devido ao atrito com a Superfície do Leito
τ_b''	Tensão de Cisalhamento devido às Formas do Leito
τ_{ci}	Tensão de Cisalhamento Crítica da Fração i
τ_{eff}	Tensão de Cisalhamento Efetiva responsável por uma taxa de transporte do tamanho d_i , igual aquela do material uniforme de mesmo tamanho
τ_i^*	Parâmetro de Shields
τ_o	Tensão de Cisalhamento Dimensional no Leito

Φ_o	Ângulo de Repouso da Partícula
$(R\bullet)_{cr}$	Número de Reynolds da Rugosidade Crítico
τ_{ri}^*	Tensão de Cisalhamento Crítica de Referência
ρ_s	Massa Específica do Sedimento
γ_s	Peso Específico do Sedimento
Φ_s	Taxa de Transporte Volumétrica Adimensional da Carga Suspensa
τ_s	Tensão de Cisalhamento correspondente à Carga Suspensa

LISTA DE FIGURAS

2.1	Relação de Shields para o Início do Movimento das Partículas	11
2.2	Relação entre o Ângulo de Repouso da Partícula (Φ_0) e a Razão do Tamanho da Partícula (D) para a Rugosidade Equivalente do Leito (K_S)	13
2.3	Valores Medidos do Ângulo de Repouso da Partícula (Φ_0) como uma Função da Razão do Tamanho da Partícula (D) para a Rugosidade Equivalente do Leito (K_S) [Miller e Byrne (1966)]	13
2.4	Valores Medidos da Tensão de Cisalhamento Crítica Adimensional (τ_{cr}) como uma Função do Número de Reynolds da Rugosidade Crítico (R_{cr}), agrupados por Faixa de D/K_S [Fisher et al. (1983)]	14
2.5	Dados do Efeito da Exposição Relativa acima do Leito sobre a Tensão de Cisalhamento Crítica [Fenton e Abbott (1977)]	14
2.6	Valores da Tensão de Cisalhamento Crítica de Referência (τ_{ri}) como uma Função da Razão D_i / D_{50} com Dados de Wilcock e Southard (1988)	17
2.7	Valores da Tensão de Cisalhamento Crítica de Referência (τ_{ri}) como uma Função da Razão D_i / D_{50} para Outros Sedimentos [Wilcock e Southard (1988)]	17
2.8	Valores da Tensão de Cisalhamento Crítica de Referência (τ_{ri}) como uma Função de $(D_i^{3/2}/\nu) \cdot [(s-1) \cdot g]^{1/2}$ para todas as Frações e Sedimentos [Wilcock e Southard (1988)]	19
2.9	Razão da Tensão de Cisalhamento Crítica para o Diâmetro Escalar do Leito ($\tau_{cr})_{D/K_S=1}$, para a Tensão de Cisalhamento Crítica de Qualquer Outro Tamanho como uma Função de D/K_S , mostrando a Mobilidade Relativa dos Vários Tamanhos Compondo um Leito para Três Valores de K_S [Wiberg e Smith (1987)]	19

2.10	Dados de Tensão de Cisalhamento Crítica para o Rio Sagehen Creek (um pequeno rio com leito de pedregulhos na Califórnia) [Andrews e Erman (1986)]	20
2.11	Variação da Tensão de Cisalhamento de Referência (τ_{ri}) com o Tamanho do Grão para Sedimentos Unimodais [Wilcock (1993)]	22
2.12	Variação da Tensão de Cisalhamento de Referência (τ_{ri}) com o Tamanho do Grão para Sedimentos Bimodais [Wilcock (1993)]	22
2.13	Variação da Tensão de Cisalhamento de Referência (τ_{ri}) com o Tamanho do Grão para Sedimentos Unimodais e Bimodais [Kuhle (1993)]	23
2.14	Esquema Geral das Formas do Leito	27
2.15	Relação de Srinivasan para a Determinação da Forma do Leito [Srinivasan e Hill (1986)]	29
2.16	Fator de Correção X da Equação de Distribuição de Velocidade como Função da Relação K_s/δ	34
2.17	Relação de Einstein e Barbarossa (1952) para a Resistência devido às Formas do Leito	34
2.18	Determinação do Diâmetro Transicional (d_*) a partir da Curva Granulométrica dos Sedimentos [Swamee e Ojha (1991)]	37
2.19	Relação entre o Parâmetro de Intensidade de Cisalhamento (ψ) e o Parâmetro de Carga do Leito (Φ) [Einstein (1950)]	37
2.20	I_1 como Função de E para Valores de Z [Einstein (1950)]	49
2.21	I_2 como Função de E para Valores de Z [Einstein (1950)]	50

2.22	Fator de Eficiência da Carga do Leito (e_b) como Função da Velocidade de Fluxo (U) e do Diâmetro do Sedimento (D) [Bagnold (1966)]	54
2.23	Coefficiente de Atrito Sólido ($\text{tg } \alpha$) [Bagnold (1966)]	54
2.24	Valores da Função $f(U^*/W)$ para a Aplicação do Método de Laursen [Laursen (1958)]	56
3.1	Vista Lateral do Sistema de Recirculação mostrando os Principais Componentes	59
3.2	Vista Geral da Parte Jusante do Sistema mostrando o Canal, Bomba de Sedimentos, Caixa Coletora, Reservatório e Tanque Receptor	60
3.3	Vista da Parte Montante do Canal mostrando a Entrada do Fluxo por baixo do Leito	60
3.4	Vista de cima de um Leito com Ripples, onde se vê a Bomba Principal (à direita) e a Caixa Coletora (ao fundo)	61
3.5	Vista em Perfil de um leito com Dunas	62
3.6	Curva Granulométrica da Primeira Mistura	66
3.7	Curva Granulométrica da Segunda Mistura	67
3.8	Curva Granulométrica da Terceira Mistura	68
4.1	Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Einstein usando os Diâmetros D_{35} e D_{65} (Primeira Mistura – Leito Plano)	171
4.2	Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Einstein usando os Diâmetros D_{35} e D_{65} (Segunda Mistura	

– Leito Plano)	172
4.3 Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Einstein usando os Diâmetros D_{35} e D_{65} (Terceira Mistura – Leito Plano)	173
4.4 Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Bagnold usando os Diâmetros D_{50} e D_{35} (Primeira Mistura – Leito Plano)	174
4.5 Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Bagnold usando os Diâmetros D_{50} e D_{35} (Segunda Mistura – Leito Plano)	175
4.6 Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Bagnold usando os Diâmetros D_{50} e D_{35} (Terceira Mistura – Leito Plano)	176
4.7 Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen usando os Diâmetros D_{50} e D_{35} (Primeira Mistura – Dunas)	177
4.8 Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen usando os Diâmetros D_{50} e D_{45} (Segunda Mistura – Dunas)	178
4.9 Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen usando os Diâmetros D_{50} e D_{35} (Terceira Mistura – Dunas)	179
4.10 Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen usando os Diâmetros D_{50} e D_{65} (Primeira Mistura – Leito Plano)	180

4.11	Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen usando os Diâmetros D_{50} e D_{65} (Segunda Mistura – Leito Plano)	181
4.12	Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen usando os Diâmetros D_{50} e D_{65} (Terceira Mistura – Leito Plano)	182
4.13	Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Yang usando os Diâmetros D_{50} e D_{35} (Primeira Mistura – Dunas)	183
4.14	Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Yang usando os Diâmetros D_{50} e D_{35} (Segunda Mistura – Dunas)	184
4.15	Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Yang usando os Diâmetros D_{50} e D_{35} (Terceira Mistura – Dunas)	185
4.16	Gráfico de Dispersão dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Yang (Primeira Mistura – Leito Plano)	186
4.17	Gráfico de Dispersão dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Yang (Segunda Mistura – Leito Plano)	187
4.18	Gráfico de Dispersão dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Yang (Terceira Mistura – Leito Plano)	188
4.19	Relações entre Transporte e Resistência (expressa pelo Parâmetro de Shields) para as Três Misturas (considerando o atrito superficial com o leito)	191
4.20	Relações entre Transporte e Resistência (expressa pelo Número de Reynolds da Partícula) para as Três Misturas (considerando o atrito superficial com o leito)	192

4.21	Relações entre Transporte e Resistência (expressa pelo número de Froude de Cisalhamento) para as Três Misturas (considerando o atrito superficial com o leito)	193
4.22	Variação da resistência ao fluxo devido ao atrito superficial do leito para as três misturas	194
4.23	Variação da resistência ao fluxo devido ao atrito total do leito com Ripples para as três misturas	195
4.24	Variação da resistência ao fluxo devido ao atrito total do leito com Dunas para as três misturas	196
4.25	Variação da resistência ao fluxo devido ao atrito total com Leito Plano para as três misturas	197

LISTA DE TABELAS

3.1 - Parâmetros Característicos das Misturas	69
3.2 Valores da Massa Específica e Viscosidade do Fluido em função da Temperatura.	70
3.3 Dados dos Experimentos Realizados com a Primeira Mistura	79
3.4 Dados dos Experimentos Realizados com a Segunda Mistura	80
3.5 Dados dos Experimentos Realizados com a Terceira Mistura	81
4.1 Dados Obtidos pelo Método de Vanoni e Brooks (Primeira Mistura)	83
4.2 Dados Obtidos pelo Método de Vanoni e Brooks (Segunda Mistura)	85
4.3 Dados Obtidos pelo Método de Vanoni e Brooks (Terceira Mistura)	87
4.4 Dados Obtidos pelo Método de Einstein e Barbarossa (Primeira Mistura)	89
4.5 Dados Obtidos pelo Método de Einstein e Barbarossa (Segunda Mistura)	91
4.6 Dados Obtidos pelo Método de Einstein e Barbarossa (Terceira Mistura)	93
4.7 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Einstein Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Leito Plano).	99
4.8 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Einstein Utilizando D_{65} como Tamanho Representativo do Material do Leito	

(Primeira Mistura – Leito Plano)	102
4.9 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Einstein Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Leito Plano)	105
4.10 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Einstein Utilizando D_{65} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Leito Plano)	108
4.11 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Einstein Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Leito Plano)	111
4.12 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Einstein Utilizando D_{65} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Leito Plano)	114
4.13 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Bagnold Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Leito Plano)	117
4.14 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Bagnold Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Leito Plano)	119
4.15 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Bagnold Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Leito Plano)	121
4.16 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Bagnold Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Leito Plano)	123

4.17	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Bagnold Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Leito Plano)	125
4.18	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Bagnold Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Leito Plano)	127
4.19	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Dunas)	129
4.20	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Dunas)	131
4.21	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Leito Plano)	133
4.22	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{65} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Leito Plano)	135
4.23	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Dunas)	137
4.24	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{45} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Dunas)	139
4.25	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito	

(Segunda Mistura – Leito Plano)	141
4.26 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{65} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Leito Plano)	143
4.27 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Dunas)	145
4.28 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{45} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Dunas)	147
4.29 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Leito Plano)	149
4.30 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{65} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Leito Plano)	151
4.31 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Dunas)	153
4.32 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Dunas)	155
4.33 Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Leito Plano)	157

4.34	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D_{65} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Leito Plano)	159
4.35	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Yang Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Dunas)	161
4.36	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Yang Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Dunas)	163
4.37	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Yang Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Dunas)	165
4.38	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Yang Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Segunda Mistura – Dunas)	167
4.39	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Yang Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Dunas)	169
4.40	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Yang Utilizando D_{35} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura – Dunas)	189
4.41	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Yang Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito (Primeira Mistura – Leito Plano)	190
4.42	Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Yang Utilizando D_{50} como Tamanho Representativo do Material do Leito	

(Segunda Mistura – Leito Plano)	190
5.1 Variações Percentuais Obtidas nos Resultados de Transporte Calculados com a Equação de Einstein para as Três Misturas (Leito Plano)	201
5.2 Variações Percentuais Obtidas nos Resultados de Transporte Calculados com a Equação de Bagnold para as Três Misturas (Leito Plano)	203
5.3 Variações Percentuais Obtidas nos Resultados de Transporte Calculados com a Equação de Laursen para as Três Misturas (Dunas)	205
5.4 Variações Percentuais Obtidas nos Resultados de Transporte Calculados com a Equação de Laursen para as Três Misturas (Leito Plano)	206
5.5 Variações Percentuais Obtidas nos Resultados de Transporte Calculados com a Equação de Yang para as Três Misturas (Dunas)	209

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

Introdução	1
------------	---

CAPÍTULO II

Comportamento Hidráulico dos Canais Erodíveis	5
2.1 – Considerações Gerais	5
2.2 – Variáveis Afetando o Comportamento dos Canais Erodíveis	6
2.3 – Propriedades Físicas dos Sedimentos	7
2.4 – Início do Movimento dos Sedimentos	9
2.4.1 – Igual Mobilidade das Partículas	15
2.5 – Formas de Transporte dos Sedimentos	24
2.6 – Resistência ao Fluxo	25
2.7 – Aspectos Gerais do Transporte de Misturas	32
2.8 – Equações Seleccionadas de Transporte de Sedimentos	44
2.8.1 – Equação de Einstein	45
2.8.2 – Equação de Yang	48
2.8.3 – Equação de Bagnold	52
2.8.4 – Equação de Laursen	55

CAPÍTULO III

Materiais e Métodos	57
3.1 – Considerações Gerais	57
3.2 – Instalações Experimentais	57
3.3 – Coleta de Dados	63
3.3.1 – Controle de Vazão Líquida	63
3.3.2 – Declividades da Superfície de Água e do Canal	63

3.3.3 – Profundidade Média do Fluxo	64
3.3.4 – Tamanho dos Sedimentos	65
3.3.5 – Temperatura do Fluido	69
3.3.6 – Vazão Sólida	71
3.4 – Planejamento dos Ensaio	71
3.5 – Procedimento Experimental	73
3.6 – Apresentação dos Dados Coletados	77

CAPÍTULO IV

Análise dos Dados e Apresentação dos Resultados	82
4.1 – Análise dos Dados Experimentais	82
4.2 – Resultados Obtidos com as Equações de Transporte	95
4.3 – Parâmetros de Transporte e Resistência para as Misturas	96

CAPÍTULO V

Discussão dos Resultados	198
5.1 – Análise dos Resultados das Equações de Transporte	198
5.1.1 – Resultados Obtidos com a Equação de Einstein	199
5.1.2 – Resultados Obtidos com a Equação de Bagnold	200
5.1.3 – Resultados Obtidos com a Equação de Laursen	202
5.1.4 – Resultados Obtidos com a Equação de Yang	204
5.2 – Análise dos Resultados de Transporte e Resistência	208

CAPÍTULO VI

6.1 – Conclusões	214
6.2 – Recomendações	215

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Desde a antigüidade, o homem vem se deparando com a necessidade de desenvolver, cada vez mais, seu conhecimento sobre o aproveitamento dos recursos hídricos a sua volta. Esta necessidade surgiu a partir do momento que, para usufruir desse bem tão valioso e vital que é a água, era preciso estudar seu comportamento na natureza e desenvolver técnicas que permitissem seu melhor aproveitamento em prol do bem-estar social. Grandes civilizações floresceram às margens de rios como o Nilo, Indus, Amarelo, Tigres e Eufrates. Registros de antigas obras hidráulicas tais como canais, diques e barragens, construídos na Mesopotâmia, Egito, China, Pérsia, Grécia e Roma, documentam quão cedo o homem se iniciou nesse campo de estudo [Simons e Senturk (1977)].

Com o desenvolvimento das civilizações e o conseqüente crescimento populacional em todo o mundo, cresceu também, de forma acelerada, a utilização dos recursos hídricos disponíveis. A construção de obras hidráulicas tais como barragens, que alteram as condições naturais dos cursos d'água e das regiões onde são inseridas, trouxeram consigo problemas associados como a inundação de áreas a montante e seus efeitos sobre a fauna e a flora, erosão, transporte e deposição de sedimentos, etc.

O escoamento em canais, naturais ou artificiais, ocorre essencialmente em duas situações: em canais que têm fronteiras rígidas (artificiais) e em canais que têm fronteiras móveis ou erodíveis (naturais ou artificiais). Os canais que têm fronteiras rígidas são aqueles em que o leito e as margens são compostos por materiais que, sob

as condições de projeto, não sofrem erosão por ação do fluxo, são exemplos destes os canais de concreto ou alvenaria e os canais de terra onde não há transporte das partículas oriundas do leito e margens, etc. Os canais erodíveis se caracterizam pela presença de sedimentos em movimento no fluxo, quer seja junto ao leito do canal ou em suspensão no fluxo, devido à capacidade da água em movimento de erodir e transportar partículas. Os canais aluviais são os melhores exemplos de canais naturais erodíveis.

Inúmeros problemas relacionados com essa capacidade dos cursos d'água de erodir, transportar e, eventualmente, depositar sedimentos, podem ser citados. A construção de uma barragem obstruindo o curso natural de um rio provoca, devido ao aumento da seção transversal de fluxo, uma redução na capacidade de transporte e conseqüente deposição dos sedimentos transportados, a montante daquela obra, o quê a longo prazo pode vir a inutilizar o reservatório. Situação oposta ocorre na saída do vertedor, a jusante da barragem, onde a água com alta velocidade, praticamente livre de sedimentos, possui grande capacidade de erosão e transporte de partículas, o quê pode vir a por em risco as fundações da barragem. Na área de irrigação podemos citar, por exemplo, o problema do entupimento de tubulações devido aos sedimentos presentes na água utilizada.

Para considerar a solução de problemas desta natureza, torna-se imprescindível conhecer a qualidade e a quantidade dos sedimentos transportados por um curso d'água. A qualidade dos sedimentos transportados está sujeita a muitas variações, tanto entre os cursos d'água, quanto de um ponto a outro num mesmo curso d'água. Esta variação é fruto da complexidade das variáveis envolvidas, o quê torna a análise de qualquer caso particular bastante difícil. As variáveis relacionadas com a capacidade de transporte são mais sujeitas a análise matemática e previsão. Essa capacidade do fluxo para transportar partículas sólidas, faz com que a geometria da seção do canal mude, o quê significa uma alteração na resistência oferecida ao fluxo, que por sua vez altera a capacidade de transporte num ajuste contínuo até o estabelecimento de uma condição de equilíbrio [Srinivasan (1969), Parker e Anderson (1977)]. Nesta condição

de equilíbrio são satisfeitas, simultaneamente, duas relações: a relação do transporte sólido e a relação da resistência ao fluxo. A grande maioria das pesquisas realizadas nas últimas décadas na área de transporte de sedimentos tentam quantificar estas duas relações.

A estimativa da quantidade de sedimentos transportados pode ser feita de forma direta ou indireta. Os amostradores são instrumentos utilizados para se estimar diretamente as cargas de sedimentos do leito, suspensa ou total. As principais críticas a estes procedimentos são o fato de que qualquer dispositivo próximo ao leito perturbará o fluxo e, conseqüentemente, alterará a taxa de movimento das partículas, como também o fato das amostras coletadas num determinado ponto da seção transversal de fluxo não serem representativas daquilo que acontece ao longo de toda a seção. Estimativas indiretas podem ser feitas a partir da observação do comportamento das formas do leito ou através de fórmulas estimativas baseadas em modelos matemáticos, físicos ou empíricos. Estes métodos também possuem limitações. O comportamento das formas do leito observado através de aparelhos ultra-sônicos, podem fornecer dados a respeito da carga do leito, porém, mascara dados qualitativos do material e não leva em conta a carga em suspensão [Simon e Senturk (1977)]. As equações estimativas, apesar da facilidade de utilização, fornecem resultados bastante imprecisos, com erros da ordem de mais de 500% [Vanoni (1975), Simon e Senturk (1977)], seja devido à própria hipótese de cálculo, base de seu desenvolvimento, ou aos ajustes empíricos que são impostos à maioria das equações.

Existem várias teorias a partir das quais inúmeras equações estimativas de transporte foram desenvolvidas, utilizando métodos teóricos, empíricos ou semi-empíricos. No desenvolvimento dessas equações, além dos dados de campo, foram utilizados também dados de experimentos de laboratório com sedimentos, predominantemente, uniformes, sendo que os sedimentos naturais são tipicamente não uniformes. Nas equações estimativas de transporte, o parâmetro comumente utilizado para representar o tamanho dos sedimentos que compõem o leito e as margens do canal é o diâmetro mediano D_{50} , que corresponde ao tamanho para o qual 50% dos

sedimentos têm diâmetro inferior. Este e outros parâmetros referentes aos sedimentos, uniformes ou não, são obtidos a partir da curva granulométrica, que permite uma definição completa da mistura. James (1990), Yalin e Karahan (1979) mostram a influência da não uniformidade dos sedimentos no processo de erosão. Vogel e Niekerk (1992, 1992-a) apresentam um modelo de acompanhamento de transporte dos sedimentos não uniformes, mostrando que a representação de uma mistura por um só tamanho é uma grande simplificação que pode implicar em grandes erros. O diâmetro representativo de uma mistura de sedimentos é uma questão sem resposta definitiva na literatura [Simons e Senturk (1976), p. 182]. Por esta razão, em função do fenômeno estudado, diferentes tamanhos de partículas têm sido propostos como representativos por diferentes pesquisadores. Einstein (1950) introduziu dois diâmetros como representativos: D_{35} para o cálculo do transporte sólido e D_{65} para o cálculo da resistência ao fluxo. Simons e Richardson usaram D_{35} para o cálculo da resistência ao fluxo e Schoklitsch usou D_{40} para representar a mistura.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma contribuição na investigação da influência da distribuição granulométrica de uma mistura de sedimentos, sobre os fenômenos de transporte das partículas e resistência ao fluxo. Através da utilização de algumas equações estimativas de transporte, busca-se verificar, também, a existência, ou não, de um diâmetro representativo para a mistura, no que se refere ao aspecto de transporte.

CAPÍTULO II

COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DOS CANAIS ERODÍVEIS

2.1 – Considerações Gerais

Os canais de rios são sistemas dinâmicos que continuamente estão mudando sua forma e posição, como uma consequência de forças hidráulicas agindo sobre seu leito e margens. Estas mudanças podem ser lentas ou rápidas e podem resultar de mudanças ambientais naturais ou de mudanças causadas por atividades humanas. Quando o canal de um rio é modificado numa determinada seção ou trecho, freqüentemente esta alteração implica em mudanças nas características do canal, tanto a montante como a jusante daquele trecho. Neste caso, uma nova condição de equilíbrio tende a ser alcançada pelo sistema.

Devido à complexidade destas mudanças, é necessário que projetos envolvendo sistemas fluviais estejam baseados no conhecimento dos seguintes fatores:

- Fatores Geológicos, incluindo condições de solo;
- Fatores Hidrológicos, incluindo possíveis mudanças no fluxo e escoamento superficial, e os efeitos hidrológicos resultantes de mudanças no uso da terra;
- Características Geométricas do canal, incluindo as prováveis alterações geométricas que serão provocadas pelas mudanças que o projeto imporá sobre o canal;

- Características Hidráulicas tais como profundidade, declividade, velocidade, transporte de sedimentos e as mudanças espaciais e temporais sobre estas características;
- Mudanças Ecológicas e Biológicas que resultarão de mudanças físicas.

2.2 – Variáveis Afetando o Comportamento dos Canais Erodíveis

As variáveis afetando o comportamento de canais erodíveis são numerosas e interrelacionadas. Sua natureza é tal que, diferente de problemas hidráulicos de fronteiras rígidas, não é possível isolar e estudar o papel de qualquer variável individualmente e existe grande dificuldade em relacioná-las matematicamente. Devido a isto, constitui-se um tratamento normal, listar as variáveis mensuráveis e calculáveis que efetivamente descrevem os processos envolvidos e, através de considerações simplificadoras válidas e um exame das magnitudes relativas destas variáveis, obter equações básicas para descrever o sistema físico.

De uma maneira geral, estas variáveis podem ser divididas em dois grupos:

- a) Variáveis relacionadas com as condições de erosão e produção de sedimentos na bacia hidrográfica tais como: tamanho, forma, peso específico, velocidade de sedimentação, coesão, geologia e topografia da bacia hidrográfica, características da estação de chuvas, condições de solo e cobertura vegetal;
- b) Variáveis relacionadas com a capacidade do fluxo para transportar sedimentos, tais como: profundidade, largura, forma e alinhamento do rio, declividade, rugosidade, raio hidráulico, descarga, velocidade, turbulência, força de cisalhamento e propriedades do fluido (massa específica, peso específico, viscosidade)

Nem todas estas variáveis são independentes e, de acordo com o fenômeno estudado, os efeitos de determinadas variáveis não são completamente conhecidos. As variáveis que estão relacionadas com a produção de sedimentos nas bacias são sujeitas

a muitas variações que dificultam as análises e previsões quantitativas de qualquer problema específico. Já as variáveis relacionadas com a capacidade de fluxo para transportar sedimentos são mais sujeitas a análise matemáticas e previsões.

As principais variáveis envolvidas nas análises de fluxo em canais aluviais podem ser relacionadas genericamente numa forma funcional como:

$$f(U, d, S_E, \rho, w, g, D, \sigma, \rho_S, K_r, K_s) = 0 \quad (2.1)$$

na qual U é a velocidade média de fluxo, d é a profundidade média de fluxo, S_E é a declividade da linha de energia, ρ é a massa específica da água, w é a velocidade de queda do material do leito, g é a aceleração gravitacional, D é o diâmetro representativo do material do leito, σ é uma medida da distribuição granulométrica do material do leito, ρ_S é a massa específica dos sedimentos que compõem o leito, K_r é um fator de forma para o trecho do canal em estudo e K_s é um fator de forma para a seção transversal do canal.

2.3 - Propriedades Físicas dos Sedimentos

Os sedimentos podem ser classificados, de uma maneira geral, como coesivos e não-coesivos. A resistência à erosão de sedimentos coesivos depende do comprimento da fronteira coesiva ligando as partículas. Os sedimentos não-coesivos consistem, geralmente, de partículas maiores do que os sedimentos coesivos. O comportamento hidráulico das partículas de sedimentos não-coesivos é afetado por propriedades físicas tais como tamanho, forma, densidade e velocidade de queda das partículas.

A densidade de uma partícula de sedimento depende de sua composição mineral. Os aluviões de terraços fluviais são, principalmente, sedimentos compostos por minerais de quartzo e feldspato. Estes minerais têm uma densidade em torno de 2.65. Por esta razão, neste trabalho, esse mesmo valor foi assumido para a densidade das partículas de sedimentos.

A forma de uma partícula influi consideravelmente em seu comportamento dinâmico. Os parâmetros de forma mais utilizados em estudos com sedimentos são a esfericidade e o fator de forma. A esfericidade foi definida em 1932 por Wadell, como a razão entre a área superficial de uma esfera de mesmo volume que a partícula e a área superficial verdadeira da partícula. Este parâmetro ajuda a descrever principalmente o movimento relativo entre a partícula em queda e o fluido. Estudos realizados por McNown e Inalaika [Schulz et al. (1954)] concluíram que o fator de forma (β) dado por:

$$\beta = \frac{c}{\sqrt{a.b}} \quad (2.2)$$

expressava de maneira significativa a forma da partícula. Na equação acima, a, b e c são os comprimentos dos eixos mais longo, intermediário e menor da partícula, respectivamente.

A velocidade de queda de uma partícula é uma variável primária na definição da interação entre o transporte de sedimentos e o leito, margens e partículas em suspensão. Esta variável depende, basicamente, da massa específica e viscosidade do fluido e tamanho, forma, massa específica e rugosidade da partícula de sedimento. A velocidade terminal de queda de uma partícula num fluido depende da força resultante considerando seu peso submerso e a força resistiva de arrasto do fluido.

O tamanho da partícula de sedimento é a propriedade de maior importância no estudo de problemas relacionados com sedimentos, principalmente pelo fato de outras propriedades tais como a velocidade de queda e a forma variarem com o tamanho da partícula. Os sedimentos naturais são tipicamente não uniformes, isto significa que são formados de muitas partículas com diferentes tamanhos. Torna-se necessário, então, fazer uma análise estatística desta característica, a partir de um número adequado de amostras de modo a definir completamente as características de qualquer mistura de sedimentos como um todo.

2.4 - Início do Movimento dos Sedimentos

Considerando o escoamento d'água num leito de sedimentos não-coesivos, enquanto as forças erosivas provocadas pelo fluido sobre o leito não superam as forças de resistência oferecidas pelos sedimentos, estas partículas permanecerão em repouso e o leito do canal poderá ser considerado como uma fronteira rígida. Um aumento na intensidade de fluxo provocará aumento na magnitude das forças erosivas e, eventualmente, será alcançada uma condição na qual as forças de resistência serão superadas e as partículas serão colocadas em movimento. Devido a aleatoriedade temporal e espacial, o início do movimento dos sedimentos é um fenômeno difícil de definir. Kramer (1965), definiu três tipos de movimento do material do leito:

1 - **Movimento Fraco**: somente umas poucas partículas estão em movimento sobre o leito. “Os grãos em movimento sobre 1 cm^2 do leito podem ser contados”.

2 - **Movimento Médio**: os grãos de diâmetro médio começam a mover. “O movimento não tem características locais, mas o leito continua plano”.

3 - **Movimento Geral**: todas os grãos estão em movimento. O movimento está ocorrendo em todas as partes do leito o tempo todo.

O início do movimento das partículas do leito geralmente é associado com equações de velocidade crítica ou de tensão de cisalhamento crítica. As forças agindo sobre uma partícula do material do leito sobre o qual um fluido está escoando são o peso submerso da partícula, a força de levantamento e a força de arrasto.

Shields (1936) estabeleceu a relação gráfica apresentada na figura 2.1 para determinar a tensão de cisalhamento crítica, no caso especial de grãos uniformes sobre um leito plano. Esta relação é dada por:

$$\frac{(\tau_0)_{cr}}{(\gamma_s - \gamma).d} = f\left(\frac{d.U_*}{\nu}\right) \quad (2.3)$$

na qual $(\tau_0)_{cr}$ é a tensão de cisalhamento no leito na condição crítica de movimento incipiente, γ_s e γ são os pesos específicos do sedimento e da água, respectivamente, d

é o diâmetro representativo do material do leito, U_* é a velocidade de cisalhamento no leito na condição crítica e ν é a viscosidade cinemática do fluido. O diagrama de Shields tem sido verificado por muitos pesquisadores em seus experimentos e é largamente aceito.

No diagrama de Shields o diâmetro do grão (d) aparece na ordenada e na abcissa. Este diâmetro é o tamanho “representativo” referente ao material do leito, comumente tomado como D_{50} (diâmetro mediano), o tamanho da peneira para o qual 50% em peso do material é mais fino. Vale ressaltar que não há evidência física que o diâmetro mediano representa mais corretamente a composição de uma mistura.

Existem diversos aspectos importantes que tornam o problema do movimento inicial para sedimentos não uniformes diferente do caso de sedimentos uniformes (figura 2.2). O diâmetro do grão é a única escala de comprimento da partícula no problema para sedimentos uniformes. O caso heterogêneo, por outro lado, tem duas escalas de comprimento. O diâmetro representativo de uma determinada fração de tamanhos de interesse é a escala de comprimento para as forças de arrasto, levantamento e gravidade sobre a partícula, principalmente quando este governa quando exposto ao fluxo o grão se encontra. Mas a velocidade de fluxo também depende da escala de rugosidade das partículas vizinhas, denotada por K_s .

Diversos pesquisadores têm notado a dependência das forças governando o movimento inicial das partículas em relação ao tamanho do grão. Egiazaroff (1965) numa análise da mobilidade relativa de misturas de areia não-uniformes em fluxos hidraulicamente rugosos, incluiu um fator de D/K_s para considerar a altura, $a.D$ ($0 \leq a \leq 1$), na qual as forças fluidas são aplicadas relativas a K_s , e encontrou que quando $D > K_s$, os grãos são mais móveis do que o tamanho médio e vice-versa. Variações no ângulo de repouso da partícula não foram incluídas na análise.

O ângulo de repouso da partícula, ϕ_0 , muda para um leito composto por sedimentos não uniformes. Por exemplo, é mais fácil para grãos maiores rolar sobre um leito composto de partículas menores do que um pequeno grão rolar sobre um leito composto de partículas maiores (Figura 2.2). Isto é indicado por um aumento no valor de ϕ_0 quando a razão do diâmetro do grão para o comprimento rugoso do

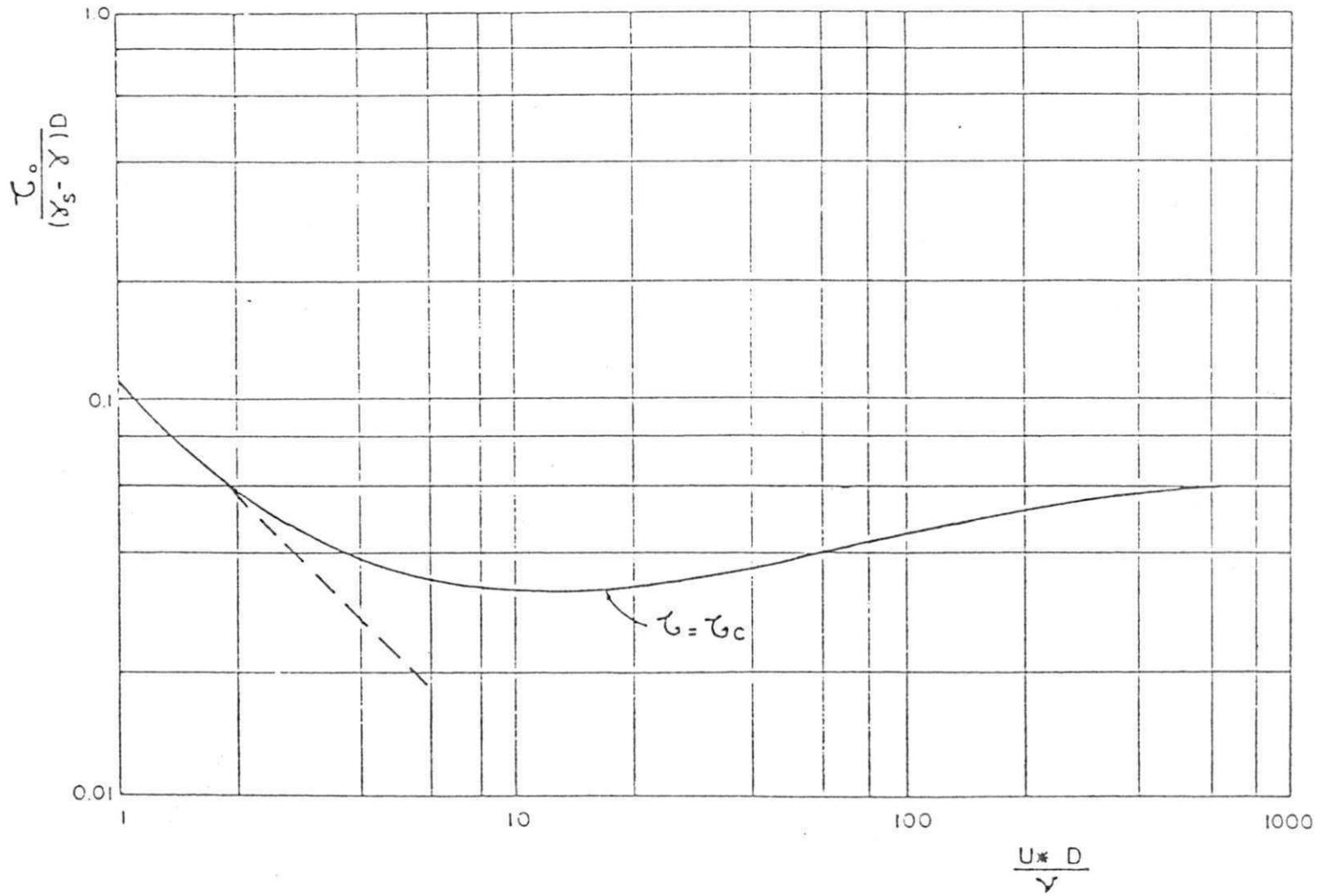


Fig. 2.1 – Relação de Shields para Início do Movimento das Partículas

leito, D/K_s , diminui. Miller e Byrne (1966) mediram o ângulo de repouso da partícula para três tipos diferentes de sedimentos, os resultados são mostrados na figura 2.3.

Fisher et al. (1983) investigaram experimentalmente o movimento inicial de detritos orgânicos e partículas de sedimentos inorgânicos sobre leitos arenosos e pedregulhosos. Eles mediram a tensão de cisalhamento crítica para oito tipos de partículas orgânicas e inorgânicas de diferentes diâmetros e densidades, para uma faixa de variação da relação D/K_s de 0.1 a 6.0, considerando K_s igual a D_{65} para o material do leito. Os resultados obtidos são mostrados na figura 2.4, onde pode-se observar um aumento na tensão de cisalhamento crítica adimensional $(\tau^*)_{cr}$ quando a razão de escala D/K_s diminui.

Fenton e Abbott (1977) realizaram alguns experimentos com partículas uniformes, para determinar a extensão com que a exposição de um grão para o interior do fluxo afeta a tensão de cisalhamento crítica. Eles variaram a posição vertical de um grão-teste relativa às outras partículas formando o leito, posicionando o grão-teste no topo de uma haste muito fina que estendia-se através do fundo da calha (canal). Os resultados de Fenton e Abbott são mostrados no gráfico da figura 2.5, no qual verifica-se que quanto mais exposto ao fluxo estiver o grão, menor será sua tensão de cisalhamento crítica.

Os dados discutidos acima tornam claro que partículas na superfície de um leito heterogêneo podem ter tensões de cisalhamento críticas que diferem, significativamente, da tensão de cisalhamento crítica associada com aquela partícula sobre um leito uniforme de mesmo tamanho.

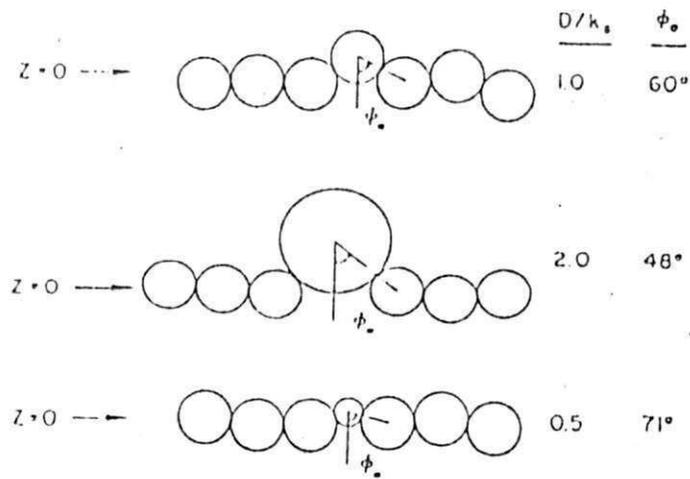


Fig. 2.2 - Relação entre o Ângulo de Repouso da Partícula (ϕ_0) e a Razão do Tamanho da Partícula (D) para a Rugosidade Equivalente do Leito (K_s).

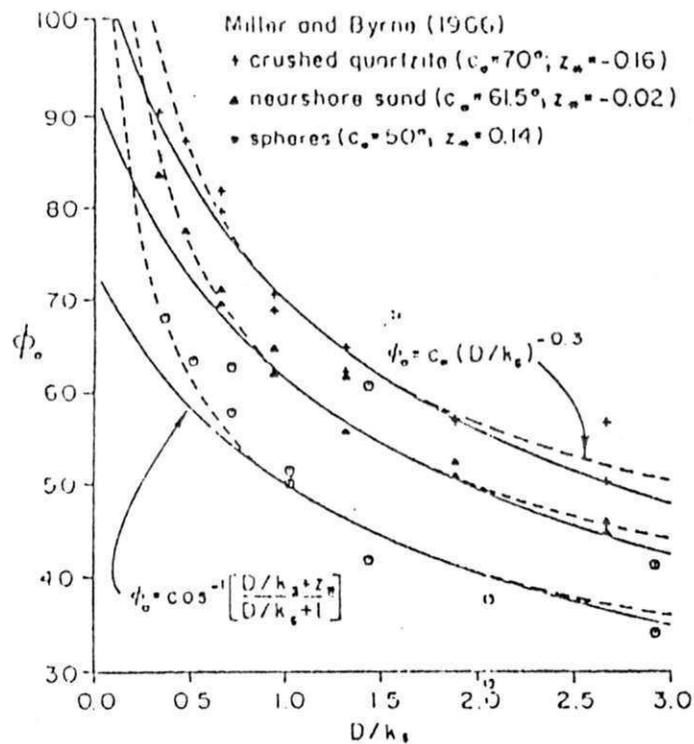


Fig. 2.3 - Valores Medidos do Ângulo de Repouso da Partícula (ϕ_0) como uma Função da Razão do Tamanho da Partícula (D) para a Rugosidade Equivalente do Leito (K_s). [Miller e Byrne (1966)]

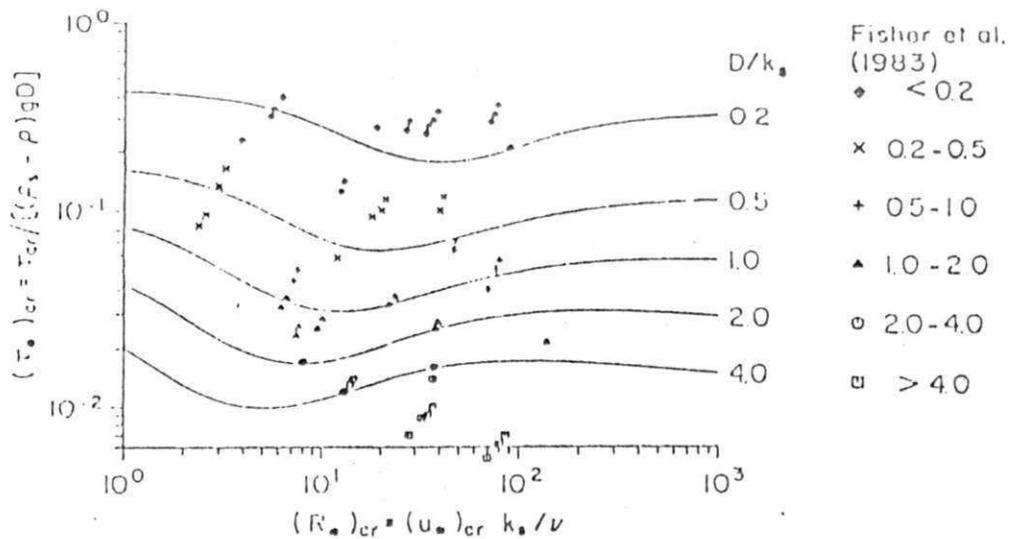


Fig. 2.4 – Valores Medidos da Tensão de Cisalhamento Crítica Adimensional $(\tau_{*c})_{cr}$ como uma Função do Número de Reynolds da Rugosidade Crítico $(R_{*c})_{cr}$, agrupado em Faixas de D/K_s , [Fisher et al. (1983)].

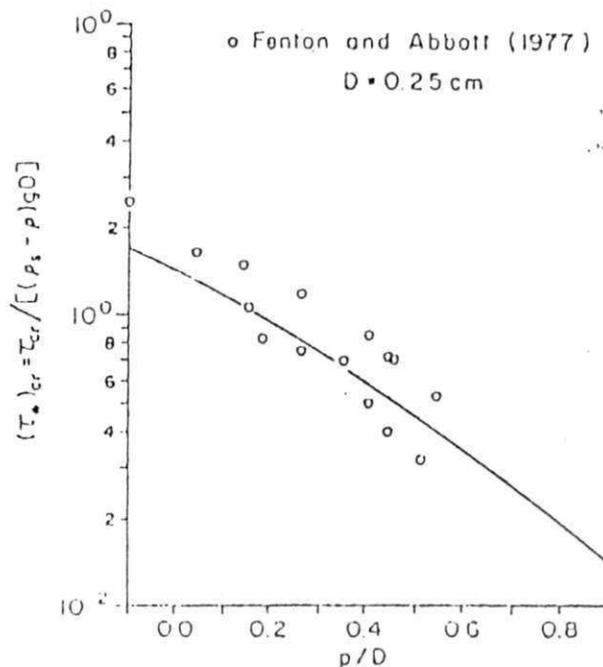


Fig. 2.5 – Dados Sobre o Efeito da Exposição Relativa Acima do Leito Sobre a Tensão de Cisalhamento Crítica [Fenton e Abbott (1977)].

2.4.1 - Igual Mobilidade das Partículas

Recentemente diversos estudos que abordam o problema do movimento incipiente de grãos numa mistura têm sido concluídos. Em diversos casos foi encontrado que a maioria dos tamanhos, num leito de sedimentos composto por grãos de vários tamanhos, começam a ser movimentados em torno da mesma tensão de cisalhamento no leito. Este resultado ficou conhecido como *igual mobilidade* das partículas e tem sido obtido tanto em estudos de laboratório quanto em estudos de campo.

Pesquisa realizada por Wilcock e Southard (1988) mostra a igual mobilidade das partículas como um importante resultado adicional. Naquele estudo, as condições de movimento inicial ou tensão de cisalhamento crítica (τ_{ci}) das frações individuais numa mistura de sedimentos, foi estimada como a tensão de cisalhamento no leito que produz uma pequena taxa de transporte para cada fração. Dois critérios de transporte de referência foram utilizados. Parker et al. (1982) define a taxa de transporte de referência em termos de um valor constante do parâmetro de transporte fracional (W_i^*) dado por:

$$W_i^* = \frac{(s-1).g.q_{bi}}{f_i.(u_*)^3} \quad (2.4)$$

na qual q_{bi} é a taxa de transporte da fração i em termos do volume transportado por unidade de largura e tempo, f_i é a proporção da fração i no leito de sedimentos, g é aceleração da gravidade, s é a densidade dos sedimentos e u_* é a velocidade de cisalhamento no leito. A taxa de transporte de referência deste método é $W_i^* = 0.002$.

Outro critério de transporte de referência utilizado foi aquele devido a Ackers e White (1973), no qual o parâmetro de transporte G_{gr} pode ser definido como:

$$G_{gr} = \frac{q_b}{V.D} \left(\frac{u_*}{V} \right)^n \quad (2.5)$$

em que V é a velocidade média de fluxo, D é o tamanho representativo dos grãos, e o expoente n varia com uma medida adimensional do tamanho do grão de 1,0 para grãos do tamanho de silte até 0,0 para grãos mais grossos do que cerca de 2,0 a 3,0 mm. A taxa de transporte de referência é $G_{gr} = 10^4$. Dessa forma foi definida a tensão de cisalhamento no leito nas condições de movimento incipiente (ou tensão de cisalhamento de referência τ_{ri}^*).

As figuras 2.6, 2.7 e 2.8 mostram os resultados obtidos por Wilcock e Southard e outros pesquisadores. Nos gráficos que relacionam $\tau_{ri}^* - D_i/D_{50}$, a declividade de todas as relações caem na vizinhança do valor -1.0 . Uma declividade igual a -1.0 significa que todas as frações na mistura cruzam o nível de transporte de referência na mesma tensão de cisalhamento dimensional no leito (τ_o). Se a taxa de transporte de referência é análoga à tensão de cisalhamento crítica para cada fração, uma declividade igual a -1.0 significa que todas as frações começam a ser movimentadas, ao menos, em alguma taxa de transporte apreciável, na mesma tensão de cisalhamento dimensional no leito. Este resultado foi também obtido por Parker et al. (1982) utilizando dados do rio Oak Creek. As tendências nas figuras 2.6 e 2.7 sugerem que estes resultados podem não ser particular para aquele rio, mas pode ter uma aplicação mais ampla para transporte em equilíbrio por fluxos permanentes e uniformes.

Wiberg e Smith (1987) estudaram a variação da tensão de cisalhamento crítica para uma faixa de tamanhos de partículas sobre três diferentes leitos com comprimentos de rugosidade correspondendo à areia média ($K_S = 0.05$ cm), areia muito grossa ($K_S = 0.2$ cm) e pedregulho muito grosso ($K_S = 3$ cm). Os resultados são mostrados no gráfico da figura 2.9, onde foi plotado a razão da tensão de

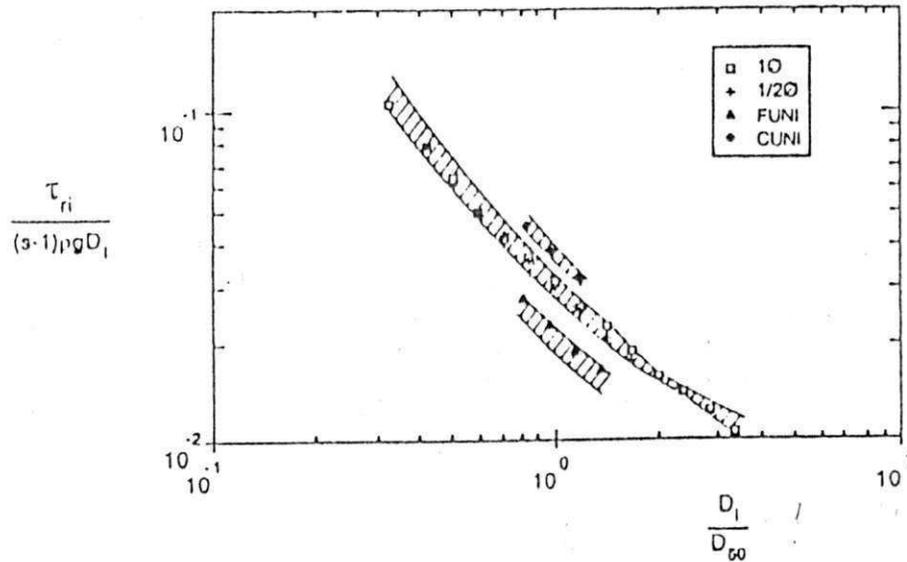


Fig. 2.6 – Valores da Tensão de Cisalhamento Crítica de Referência (τ_{ri}) como uma Função da Razão D_i / D_{50} com Dados de Wilcock e Southard (1988).

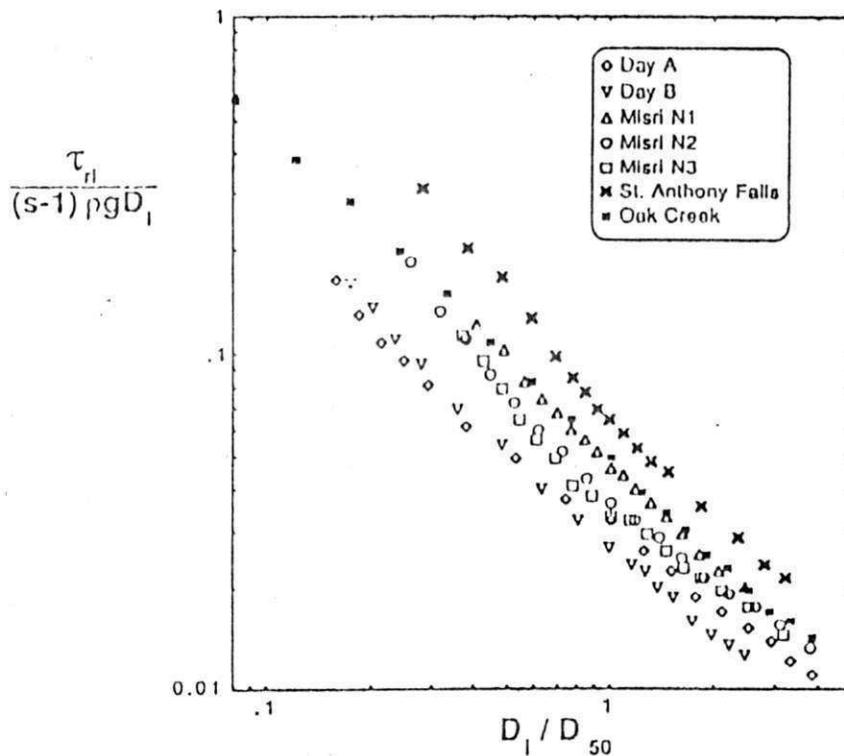


Fig. 2.7 – Valores da Tensão de Cisalhamento Crítica de Referência (τ_{ri}) como uma Função da Razão D_i / D_{50} para Outros Sedimentos [Wilcock e Southard (1988)].

cisalhamento crítica referente ao tamanho escalar do leito $[(\tau_{cr})_{D/K_S=1}]$, para a tensão de cisalhamento crítica referente aos tamanhos individuais dos grãos. Se os sedimentos de todos os tamanhos sobre um determinado leito começam a se mover na mesma tensão de cisalhamento crítica, a razão da tensão de cisalhamento para todos os valores de D/K_S seria igual a 1. Este caso é indicado pela linha rotulada “Igual Mobilidade”. A curva referente aos pedregulhos muito grossos mostra que grãos com diâmetros variando de 0.2 a 4 vezes o tamanho escalar do leito têm tensões de cisalhamentos críticas que são aproximadamente as mesmas.

Andrews e Erman (1986) trabalharam com dados do Sagehen Creek, um pequeno rio com leito pedregulhoso situado na Califórnia. Os resultados deles são mostrados na figura 2.10 e sugerem que a condição de igual mobilidade é quase perfeita para este leito, um resultado consistente com resultados de outras análises de rios com leitos pedregulhosos [Parker e Klingeman (1982); Andrews (1983)].

Um tratamento comum nos estudos citados anteriormente tem sido que a distribuição granulométrica do material do leito é unimodal e aproximadamente log-normal. A distribuição granulométrica dos sedimentos do leito de muitos rios, particularmente aqueles que contêm areia e pedregulho, se afasta significativamente da log-normal. Em muitos casos, as distribuições granulométricas dos rios com leitos de areia e pedregulho possuem características distintamente bimodais ou multimodais. Uma distribuição granulométrica bimodal é definida aqui como aquela que tem dois modos proeminentes com uma significativa queda nos percentuais de sedimentos nas peneiras de tamanhos entre eles.

Wilcock (1993) estudou a tensão de cisalhamento crítica de frações individuais (τ_{ci}) em 14 sedimentos unimodais e levemente bimodais, os resultados obtidos mostram pouca variação de τ_{ci} com o tamanho médio dos grãos da mistura (figura 2.11). Para sedimentos fortemente bimodais, τ_{ci} aumenta com o tamanho do grão, um resultado aparente de uma segregação lateral das frações mais finas e mais grossas sobre a superfície do leito (figura 2.12). Com o objetivo de quantificar e considerar o efeito da bimodalidade da mistura sobre τ_{ci} , Wilcock propõe um parâmetro de bimodalidade (B) definido como:

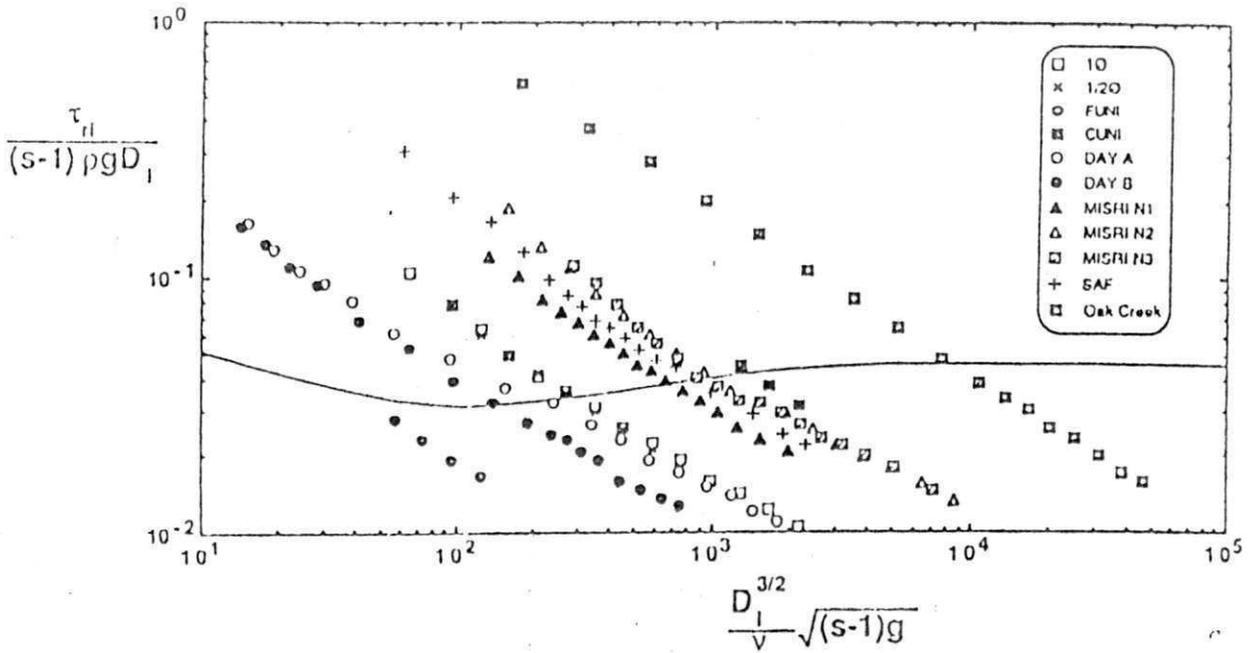


Fig. 2.8 – Valores da Tensão de Cisalhamento Crítica de Referência (τ_{cr}) como uma Função de $\frac{D_i^{3/2}}{V} \cdot \sqrt{(s-1) \cdot g}$ para todas as Frações e Sedimentos [Wilcock e Southard (1988)].

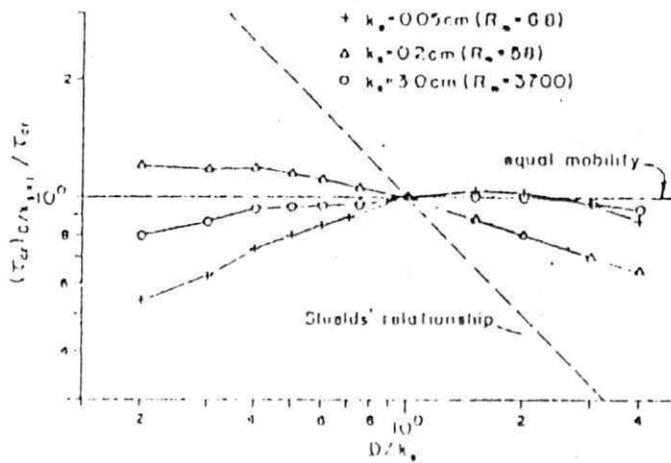


Fig. 2.9 – Razão da Tensão de Cisalhamento Crítica para o Diâmetro Escalar do Leito ($\tau_{cr})_{D/K_s=1}$, para a Tensão de Cisalhamento Crítica de Qualquer Outro Tamanho como uma Função de D / K_s , Mostrando a Mobilidade Relativa dos Vários Tamanhos Compondo um Leito para Três Valores de K_s [Wiberg e Smith (1987)].

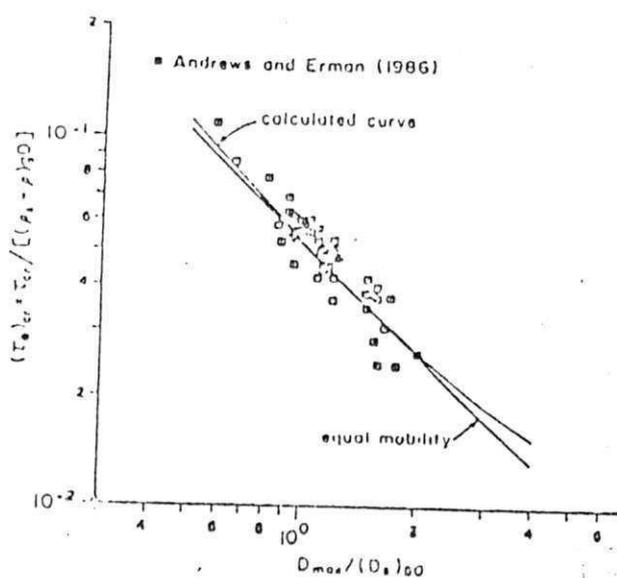


Fig. 2.10 – Dados de Tensão de Cisalhamento Crítica para o Rio Sagehen Creek (um pequeno rio com leito de pedregulhos na Califórnia) [Andrews e Erman (1986)].

$$B = \left(\frac{D_c}{D_f} \right)^{1/2} \cdot \sum P_m \quad (2.6)$$

em que D_c e D_f são os tamanhos dos grãos dos modos grosso e fino em sedimentos bimodais, respectivamente. O termo $\sum P_m$ representa a soma das proporções de sedimento em cada modo. Para misturas puramente bimodais seu valor é unitário. Os resultados mostram que para valores de B menores do que 1.7 (que incluem todos os sedimentos unimodais), todos os valores de τ_{ci} mostram pouca variação com o tamanho da fração. Para maiores valores de B, τ_{ci} aumenta numa forma log-linear com D_i/D_n , variando a declividade desta relação diretamente com o valor de B.

Kuhnle (1993) realizou experimentos em laboratório investigando o movimento incipiente de misturas de areia e pedregulhos. Foram utilizadas 5 misturas tendo as seguintes razões percentuais de pedregulho e areia: 0:100; 10:90; 25:75; 45:55; 100:0. Cada mistura foi dividida em doze frações de tamanhos individuais.

Os resultados são mostrados no gráfico da figura 2.13, onde pode-se observar que a tensão de cisalhamento dos sedimentos bimodais aumentam com o aumento no tamanho do grão. Nos experimentos onde o leito era composto por 100% de pedregulho, todas as frações começaram a se movimentadas em aproximadamente uma mesma tensão de cisalhamento no leito (todos os valores dentro de $\pm 10\%$ do valor médio). Kuhnle argumenta que o aumento da tensão de cisalhamento crítica no leito com o aumento no tamanho dos sedimentos bimodais, pode ter sido causada pela presença de grande quantidade de areia que pode ter inibido a formação de uma camada superficial grossa do leito. Valores da tensão de cisalhamento crítica para as frações de areia e pedregulho no leito de sedimentos foi aumentada. Isto ocorreu presumivelmente devido ao aumento na rugosidade da superfície do leito provocada pelo aumento na quantidade de pedregulhos. As curvas de tensão de cisalhamento de referência para os tamanhos areia em cada série de experimentos foram aproximadamente horizontais (figura 2.13), tanto nos experimentos com 100% areia quanto naqueles com misturas bimodais contendo areia e pedregulho.

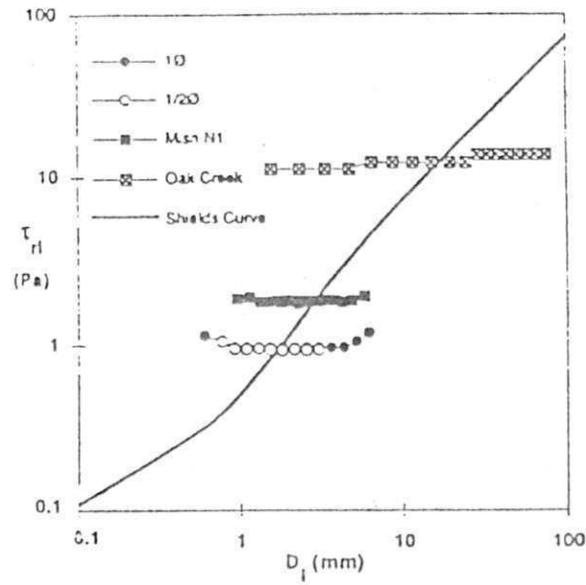


Fig. 2.11 – Variação da Tensão de Cisalhamento de Referência (τ_{rl}) com o Tamanho do Grão para Sedimentos Unimodais [Wilcock (1993)].

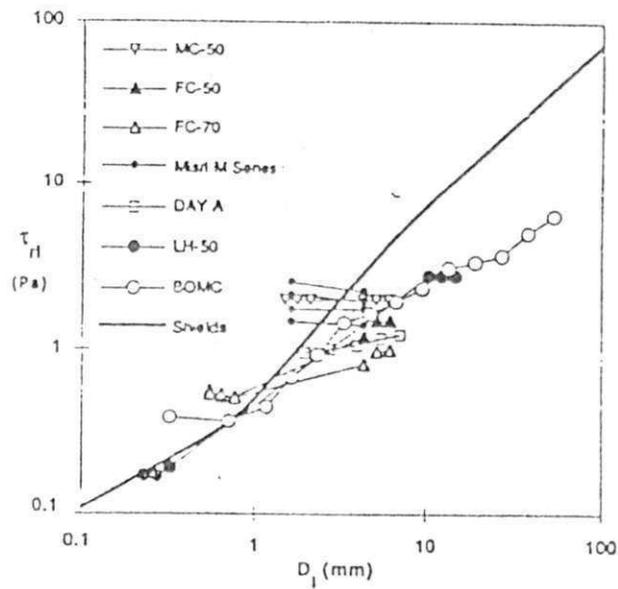


Fig. 2.12 – Variação da Tensão de Cisalhamento de Referência (τ_{rl}) com o Tamanho do Grão para Sedimentos Bimodais [Wilcock (1993)].

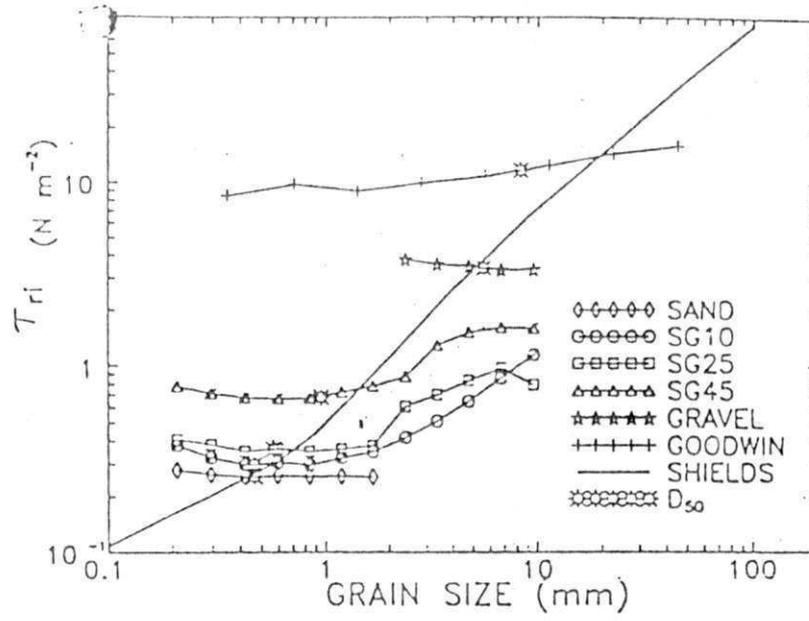


Fig. 2.13 – Variação da Tensão de Cisalhamento de Referência (τ_H) com o Tamanho do Grão para Sedimentos Unimodais e Bimodais [Kuhnle (1993)].

2.6 - Resistência ao Fluxo

No fluxo em canais compostos por leitos erodíveis existe uma forte interrelação física entre a resistência devido ao atrito com o leito, a taxa de transporte de sedimentos e a configuração geométrica assumida pela superfície do leito. As mudanças nas formas do leito resultam da interação do fluxo, fluido e material do leito e a interdependência entre as variáveis envolvidas torna a análise do fluxo em canais erodíveis extremamente complexa.

Uma vez alcançada a condição crítica a partir da qual as partículas de sedimentos começam a ser movimentadas pelo fluxo, observa-se que o leito que era inicialmente plano, começa a se deformar e depois de um certo tempo todo o leito estará coberto por um certo padrão de irregularidades, conhecidas como as formas do leito. Pela forma geométrica, elas são identificadas como ripples, dunas, transição, leito plano e antidunas [Simons e Richardson (1960, 1961, 1962)]. A figura 2.14 mostra um esquema geral destas formas do leito. Esta seqüência de formas do leito ocorre, para materiais com D_{50} igual ou inferior a 0.6 mm, a medida que a tensão de cisalhamento no leito aumenta. Para materiais mais grossos ripples não foram observados e esta seqüência se inicia com a formação de dunas.

Ripples: são pequenas deformações triangulares na forma com comprimentos de onda menores do que 30cm e alturas menores do que 5cm. Seus perfis triangulares mostram declividades de montante longas e suaves e declividades de jusante curtas e íngremes. Os ripples se movem para jusante.

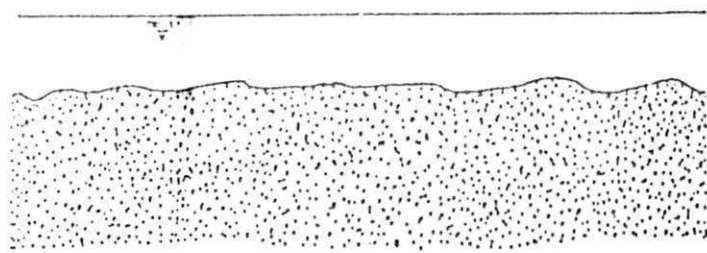
Dunas: são grandes deformações com forma triangular cujo perfil está fora de fase com o perfil da superfície da água. Também apresenta longas e suaves declividades a montante e declividades de jusante aproximadamente iguais ao ângulo de repouso do material do leito. As dunas se movem para jusante com uma velocidade maior do que os ripples.

Com o aumento na tensão de cisalhamento, as dunas começam a desaparecer lentamente e inicia-se uma fase de *transição*. Esta configuração transicional do leito consiste de uma ordem heterogênea de formas do leito, principalmente dunas de baixa amplitude e áreas planas.

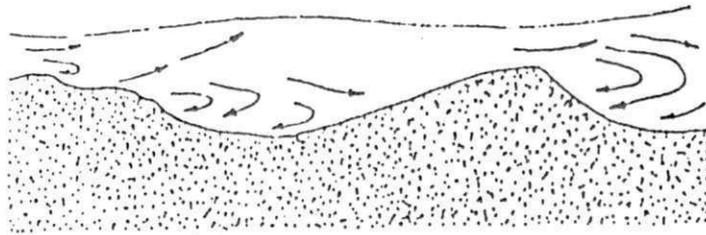
Leito plano: é livre de qualquer deformação perceptível em sua superfície e está associada a altas tensões de cisalhamento e taxas de transporte. O leito plano artificial antes do início do movimento das partículas não se enquadra nesta condição.

Antidunas: são formas do leito cujos perfis estão em fase e interagem fortemente com as ondas da superfície líquida. Considerando uma seção longitudinal, os perfis de antidunas podem variar de uma forma aproximadamente triangular a sinusoidal. As antidunas podem se propagar para jusante ou montante, porém sua ocorrência na natureza é bastante rara.

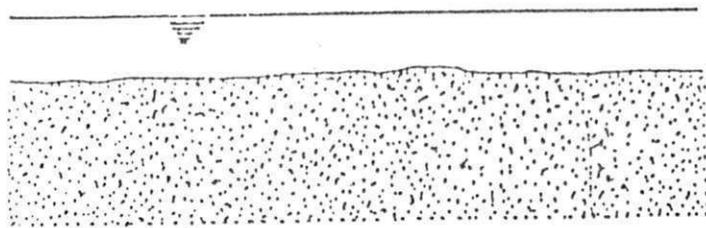
Outro aspecto importante que vem sendo objeto de muitas pesquisas ao longo dos anos é a previsão da ocorrência das formas do leito. Desde muito cedo, engenheiros hidráulicos que estudavam a mudança no comportamento dos rios atribuíam tal mudança à variação de resistência no curso d'água, mas não associavam tal variação de resistência com as formas do leito [Vanoni (1984)]. Uma associação definitiva entre a resistência e as formas do leito em canais e rios surgiu apenas com os estudos no laboratório de [Brooks (1958)]. As condições hidráulicas em que as diversas formas do leito surgem têm sido alvo de muitas pesquisas no passado e mesmo assim, não pode-se afirmar que estas condições são bem definidas.



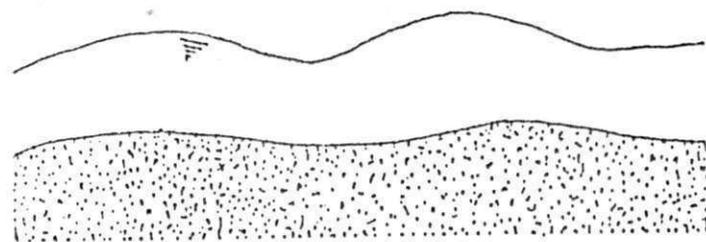
RIPPLES



DUNAS



LEITO PLANO



ANTIDUNAS

Fig. 2.14 – Esquema Geral das Formas do Leito

Neste campo de estudo, pode-se destacar, entre outros, o trabalho semi-empírico realizado por Srinivasan (1969), que delimitou graficamente os campos de ocorrência das diversas formas do leito em função dos parâmetros adimensionais $\frac{g \cdot D_m^3}{\nu^2}$ e $\frac{U_* \cdot D_m}{\nu}$. Considerando o leito plano como o regime estável básico, as outras formas do leito são explicadas como consequência de instabilidades no escoamento sobre o leito plano. Quando a tensão de cisalhamento sobre o leito plano diminui gradualmente, este se torna instável e é substituído por ripples ou por dunas, dependendo do tamanho do grão e da viscosidade do fluido. As relações encontradas por Srinivasan são mostradas na figura 2.15. A tensão de cisalhamento crítica mínima no leito plano antes da deformação, pode também ser obtida, ainda segundo Srinivasan, das seguintes equações:

$$\frac{U_* \cdot D_m}{\nu} = 1,117 \cdot \left(\frac{g \cdot D_m^3}{\nu^2} \right)^{0,5} - 2,087 \quad (2.7)$$

para dunas, e

$$\frac{U_* \cdot D_m}{\nu} = 2,902 \cdot \left(\frac{g \cdot D_m^3}{\nu^2} \right)^{0,5} - 1,487 \quad (2.8)$$

para ripples.

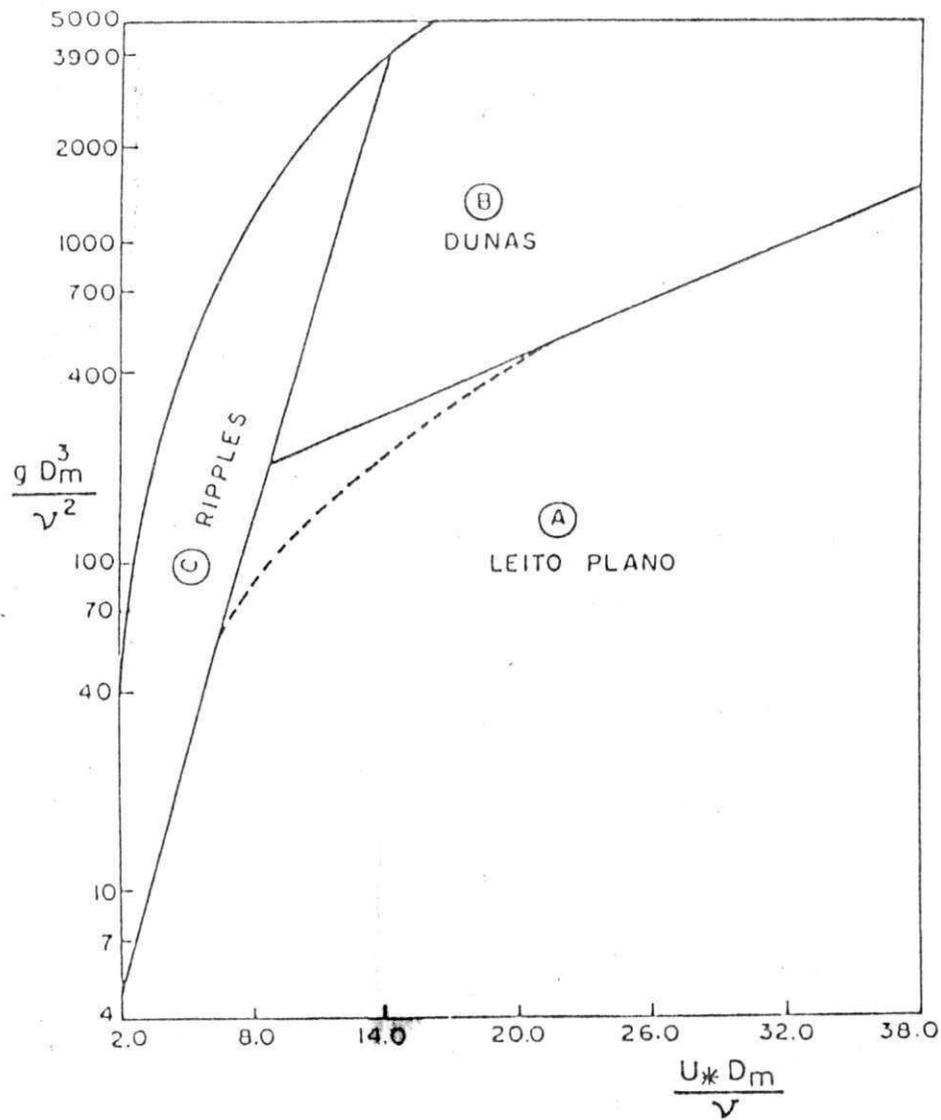


Fig. 2.15 – Relação de Srinivasan para Determinação da Forma do Leito [Srinivasan e Hill (1986)]

Se considerarmos uma situação de fluxo turbulento num canal com leito plano, erodível ou não, a resistência total oferecida ao fluxo é devido ao atrito superficial com os grãos do material que compõem o leito, também conhecido como arrasto superficial. No caso de um leito erodível, tão logo os grãos sejam colocados em movimento, o leito se deformará e surgirão as formas do leito, como já discutido anteriormente. Em consequência dessas deformações no leito, surge um componente adicional de resistência conhecido como arrasto de forma. Representando a resistência total ao fluxo pela tensão de cisalhamento total no leito (τ_b), tem-se que:

$$\tau_b = \tau_b' + \tau_b'' \quad (2.9)$$

na qual τ_b' é a tensão de cisalhamento ou resistência devido ao atrito superficial com os grãos (arrasto superficial) e τ_b'' é a tensão de cisalhamento ou resistência devido às formas do leito (arrasto de forma). A equação acima pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\tau_b = \gamma.S.(R' + R'') \quad (2.10)$$

sendo γ o peso específico do fluido, S a declividade da linha de energia e R' e R'' os raios hidráulicos referentes à rugosidade dos grãos e às formas do leito, respectivamente. Tem-se, portanto, que:

$$\tau_b' = \gamma.S.R' \quad (2.11)$$

$$\tau_b'' = \gamma.S.R'' \quad (2.12)$$

Introduzindo o conceito de velocidade de cisalhamento estas resistências podem ser expressas por:

$$U'_{*b} = \sqrt{g.S.R'} \quad (2.13)$$

$$U''_{*b} = \sqrt{g.S.R''} \quad (2.14)$$

Einstein e Barbarossa (1952) apresentaram duas relações para resolver o problema da determinação de cada parcela da resistência total ao fluxo com fronteiras móveis na presença das formas do leito. A primeira relação é baseada na equação logarítmica da distribuição de velocidade proposta por Keulegan (1938), tendo a seguinte forma:

$$\frac{U}{U'_{*b}} = 5,75 \cdot \log \left(12,27 \cdot \frac{R'.X}{K_s} \right) \quad (2.15)$$

em que X é um fator de correção que leva em consideração as condições nas quais o leito do canal não seja considerado hidraulicamente rugoso. O valor de X é dado na figura 2.16 como uma função da relação entre a altura da rugosidade equivalente de Nikuradse ($K_s = D_{65}$) e a espessura da subcamada limite laminar (δ) igual a

$$\delta = 11,6 \cdot \frac{\nu}{U'_{*b}} \quad (2.16)$$

na qual ν é viscosidade cinemática do fluido.

A segunda relação funcional proposta por Einstein e Barbarossa relaciona o arrasto de forma ao transporte de sedimentos, sendo dada por:

$$\frac{U}{U''_{*b}} = F(\Psi_{35}) \quad (2.17)$$

em que Ψ_{35} é a intensidade de cisalhamento sobre as partículas cujo tamanho é igual a D_{35} (tamanho para o qual 35% do material do leito é mais fino), sendo dada por:

$$\Psi_{35} = \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot \frac{D_{35}}{S \cdot R'} \quad (2.18)$$

sendo γ_s o peso específico dos sedimentos. A relação funcional dada pela equação 2.18 foi estabelecida graficamente a partir de dados de campo e é mostrada na figura 2.17.

O procedimento iterativo do método de Einstein e Barbarossa pode ser sintetizado nas seguintes etapas:

- 1 - assumir um valor razoável para R' ;
- 2 - aplica-se a equação 2.15 para determinar U;
- 3 - calcula-se Ψ_{35} e então lê-se $\frac{U}{U_{*b}''}$ da figura 2.17;
- 4 - calcula-se U_{*b}'' e então R'' ;

5 - calcula-se $R' = R - R''$, em que R é o raio hidráulico referente ao leito, obtido a partir do método de Vanoni e Brooks que se encontra descrito no anexo 1. Se este valor concordar com o valor de R' arbitrado inicialmente, o problema está resolvido. Caso contrário, um novo valor para R' é arbitrado e todas as etapas são repetidas.

O fluxograma do procedimento de cálculo do método de Einstein e Barbarossa se encontra descrito no anexo 2. Tanto para o método de Vanoni e Brooks quanto para o método de Einstein e Barbarossa foram desenvolvidos programas em linguagem FORTRAN, os quais são mostrados nos anexos 3 e 4.

2.7 - Aspectos Gerais do Transporte de Misturas

O tratamento teórico do transporte de misturas de sedimentos em canais é mais complicado do que o caso do transporte de sedimentos uniformes porque a condição

para início do movimento de um dado tamanho de sedimento, como também sua taxa de transporte, são afetadas pela presença dos outros tamanhos na mistura.

Nos estudos referentes ao transporte de misturas, normalmente, estas são subdivididas em frações de tamanhos, praticamente uniformes, tendo cada fração um tamanho representativo D_i . Em termos da taxa de transporte de uma determinada fração de tamanho D_i , dois efeitos deste tamanho podem ser considerados numa mistura: um absoluto e outro relativo. Para uma dada densidade e forma do grão, o tamanho absoluto da fração determina a massa do grão e a área superficial do mesmo exposta ao fluxo. A área do grão é proporcional a D^2 enquanto sua massa é proporcional a D^3 . A razão entre as forças que tentam deslocar a partícula e àquelas que se opõem a este movimento, pode ser representada pelo clássico parâmetro de Shields:

$$\tau_i^* = \frac{\tau_o}{(s-1) \cdot \rho \cdot g \cdot D_i} \quad (2.19)$$

na qual s é a densidade relativa dos sedimentos do grão e do fluido e D_i é o tamanho representativo da i -ésima fração. Para grãos num leito composto por sedimentos uniformes e uma dada tensão de cisalhamento no leito (τ_o), a relação acima aumenta e, conseqüentemente, a taxa de transporte também aumenta, quanto menor for o tamanho D_i da fração. O tamanho de cada grão relativo aos outros na mistura, controla a variação de uma fração para a outra, tanto do valor da tensão de cisalhamento agindo sobre grãos individuais, como também da resistência daqueles grãos ao movimento. Isto ocorre porque os grãos menores numa mistura estão menos expostos à ação do fluxo e, em virtude disto, menos propensos ao movimento do que os grãos maiores. Dessa forma, o efeito relativo do tamanho age contra o efeito absoluto, na medida em que diminui a mobilidade das frações mais finas e aumenta a mobilidade das frações mais grossas [Wilcock e Southard (1988)].

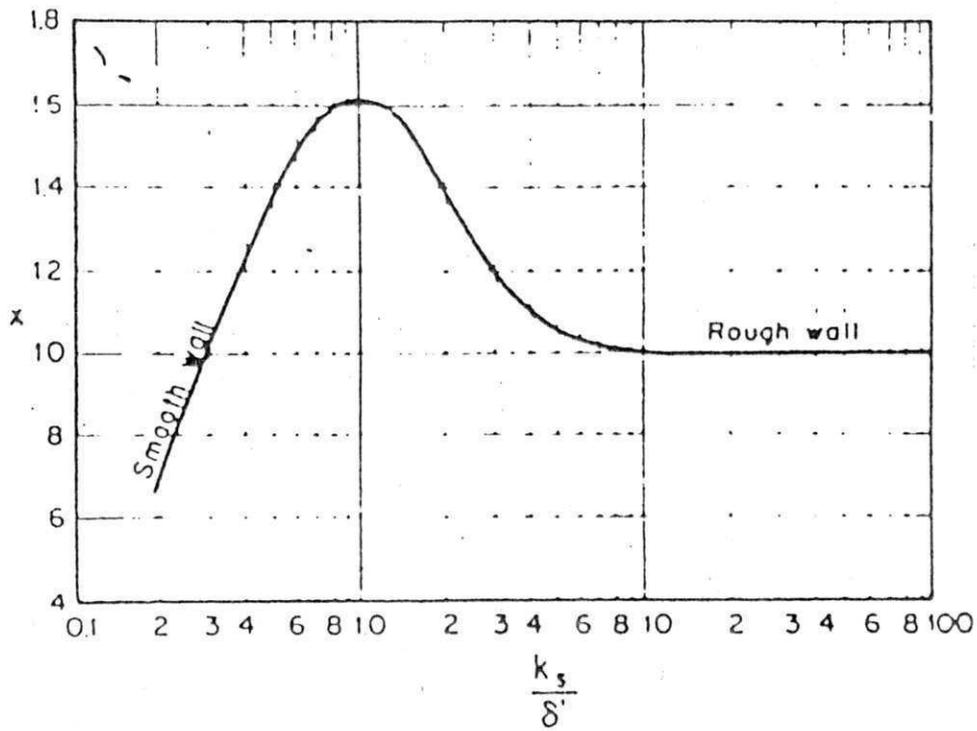


Fig. 2.16 – Fator de Correção X da Equação de Distribuição de Velocidade como Função da Relação K_s/δ

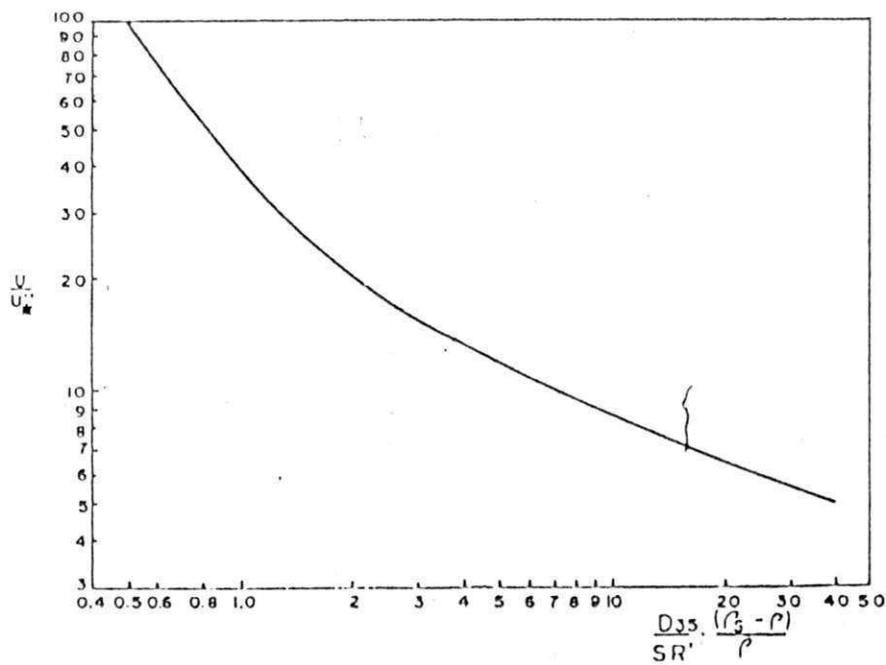


Fig. 2.17 – Relação de Einstein e Barbaross (1952) para a Resistência devida as Formas do leito

As pesquisas que tratam com transporte de sedimentos, em sua maioria, consideram os sedimentos uniformemente distribuídos. Existem poucos estudos que analisam as condições de transporte de sedimentos não uniformes, que é o caso típico de sedimentos naturais.

Partindo do princípio que no caso de sedimentos não uniformes, um único parâmetro como D_{50} não é suficiente para descrever completamente a natureza da mistura, diversos pesquisadores têm procurado, através de diferentes formas, levar em consideração o efeito da não uniformidade de uma mistura. Vale ressaltar que, de uma maneira geral, tais estudos partem de relações desenvolvidas para o caso de sedimentos uniformes.

Swamee e Ojha (1991) apresentam um trabalho no qual equações empíricas para taxas de transporte das cargas do leito e suspensão de sedimentos não uniformes são desenvolvidas. A não uniformidade dos tamanhos dos sedimentos pode ser levada em consideração se a equação da curva de distribuição granulométrica é conhecida. Dessa forma, essa não uniformidade dos sedimentos é descrita por uma equação empírica da distribuição de tamanho dos grãos com três parâmetros para forma unimodal. Uma ligação entre parâmetros de distribuição de tamanhos log-normal e a distribuição de tamanhos proposta é estabelecida. Baseados nas análises de um grande número de curvas de distribuição de tamanhos unimodal de sedimentos naturais, a seguinte equação é proposta:

$$P = \left[\left(\frac{d_*}{d} \right)^{\frac{m}{n}} + 1 \right]^{-n} \quad (2.20)$$

na qual P é a proporção mais fina do que o diâmetro da partícula (d); m é a declividade da curva de distribuição granulométrica (para os diâmetros menores) quando plotada sobre papel log-log (figura 2.18); n é um expoente transicional. Se a tendência inicial da curva da distribuição granulométrica é estendida como uma linha reta, em $P = 1$ esta dará um diâmetro $d=d_*$. Este diâmetro pode ser chamado de

diâmetro transicional, tendo P^* como a proporção mais fina correspondente. Colocando $d = d^*$ e $P = P^*$ na equação 2.20, tem-se que:

$$n = -1,4427 \cdot \ln P^* \quad (2.21)$$

Os parâmetros m , n e d^* definem completamente uma curva de distribuição de tamanhos unimodal.

Diferenciando a equação 2.20 duas vezes com relação a d e igualando esta a zero, \hat{d} (o tamanho mais dominante na mistura de sedimentos) é obtido como:

$$\hat{d} = \left[\frac{n(m-1)}{m+n} \right]^{n/m} \cdot d^* \quad (2.22)$$

Dessa forma o diâmetro transicional (d^*) é relacionado ao diâmetro de modo \hat{d} .

Usando o coeficiente de uniformidade de Kramer (M):

$$M = \frac{\int_0^{0,5} d \cdot dP}{\int_{0,5}^{1,0} d \cdot dP} \quad (2.23)$$

A equação 2.20 pode ser reescrita como:

$$d = d^* \cdot (P^{-1/n} - 1)^{-n/m} \quad (2.24)$$

Usando as equações 2.23 e 2.24, M tornar-se:

$$M = \frac{\int_0^{0,5} (P^{-1/n} - 1)^{-n/m} \cdot dP}{\int_{0,5}^{1,0} (P^{-1/n} - 1)^{-n/m} \cdot dP} \quad (2.25)$$

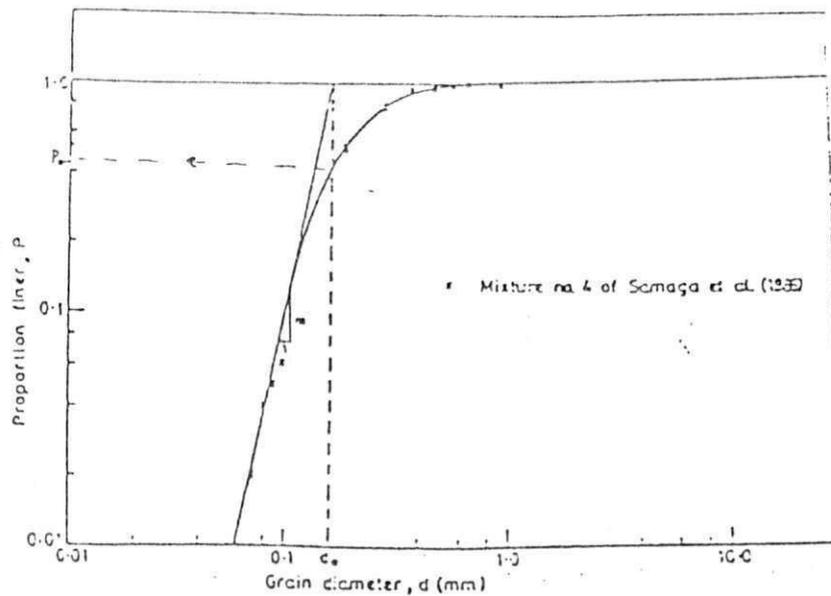


Fig. 2.18 – Determinação do Diâmetro Transicional (d_t) a partir da Curva Granulométrica dos Sedimento [Swamee e Ojha (1991)].

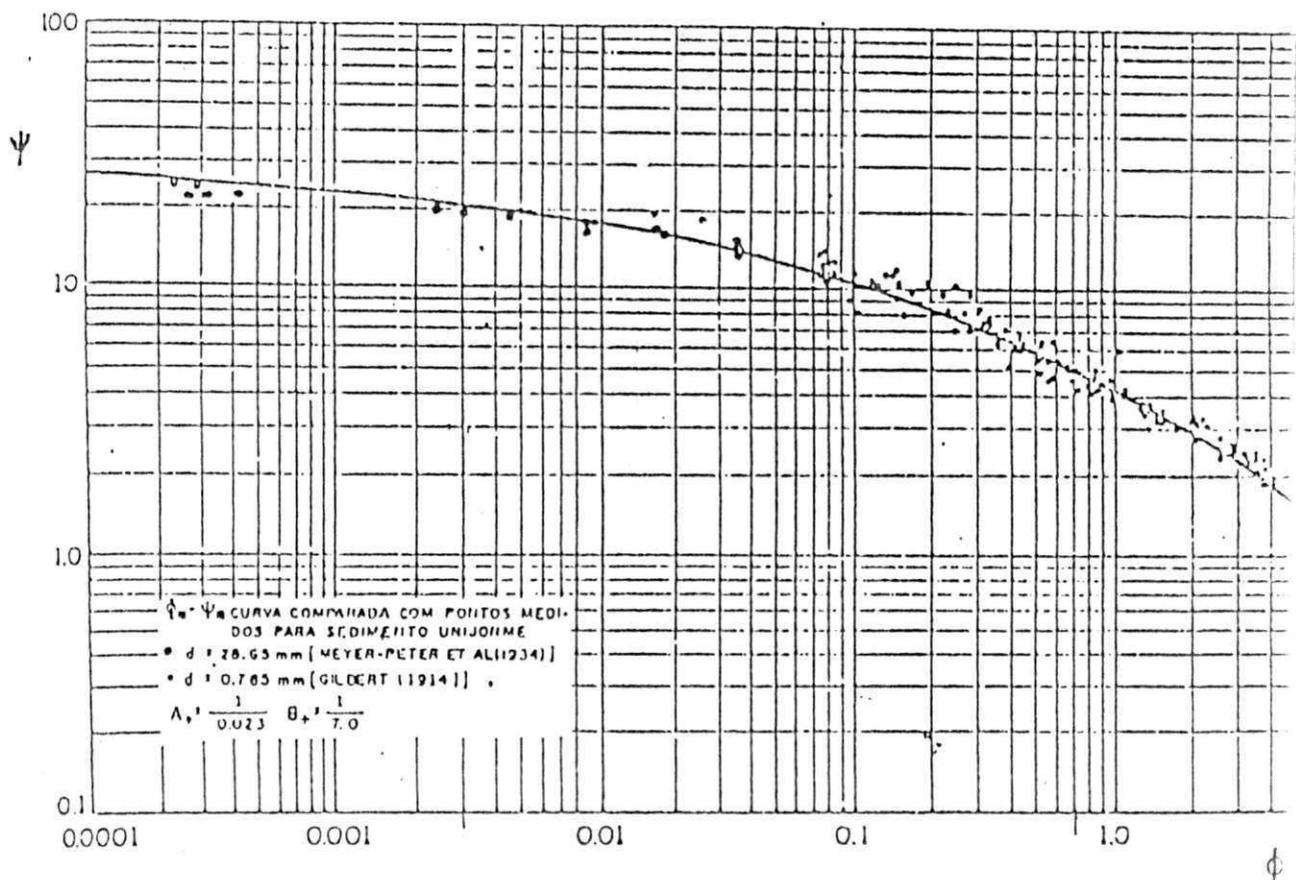


Fig. 2.19 – Relação entre o Parâmetro de Intensidade de Cisalhamento (ψ) e o Parâmetro de Carga do Leito (ϕ) [Einstein (1950)]

$$\hat{d} = \left[\frac{n(m-1)}{m+n} \right]^{n/m} d_* \quad (2.22)$$

Dessa forma o diâmetro transicional (d_*) é relacionado ao diâmetro de modo \hat{d} .

Usando o coeficiente de uniformidade de Kramer (M):

$$M = \frac{\int_0^{0,5} d \cdot dP}{\int_{0,5}^{1,0} d \cdot dP} \quad (2.23)$$

A equação 2.20 pode ser reescrita como:

$$d = d_* \cdot (P^{-1/n} - 1)^{-n/m} \quad (2.24)$$

Usando as equações 2.23 e 2.24, M tornar-se:

$$M = \frac{\int_0^{0,5} (P^{-1/n} - 1)^{-n/m} \cdot dP}{\int_{0,5}^{1,0} (P^{-1/n} - 1)^{-n/m} \cdot dP} \quad (2.25)$$

Logo, M é uma função de m e n somente. Avaliando as integrais da equação 2.25 pelo processo de quadratura de Gauss-Chebyshev, M é obtido para um dado valor de m e n. Usando o conjunto de dados de M (calculado com a equação 2.25) para vários valores de m e n assumidos, para $m \ll 1$:

$$M = \left(\frac{m}{0,181} \right)^{10} \cdot (n^{0,62} + 4n^{2,89})^3 \quad (2.26)$$

embora para $m \gg 1$, pode ser visto que $M = 1$.

Combinando as equações numa maneira tal que valores de M sobre toda faixa de m são satisfatoriamente representados, a seguinte equação é obtida:

$$M = \left[\frac{0,181}{m} (m^{0,62} + 4m^{2,89})^{0,3} + 1 \right]^{-10} \quad (2.27)$$

O erro máximo envolvido no uso da equação 2.27 é de cerca de 1%. Logo, esta equação é suficientemente precisa para todos os propósitos práticos.

Utilizando dados de Einstein (1950), Misri (1981) e Samaga et al. (1986), foram obtidas, para sedimentos não uniformes, relações para as taxas de transporte volumétricas adimensionais das cargas do leito (ϕ_B) e suspensão (ϕ_S) por unidade de largura do canal. Nestas relações, ϕ_B e ϕ_S são funções de T_*' e M , em que:

$$T_*' = \frac{R' \cdot S}{(s-1) \cdot d_*} \quad (2.28)$$

As taxas de transporte volumétricas das cargas do leito (q_B) e suspensão (q_S) por unidade de largura do canal, são obtidas por:

$$\phi_B = \frac{q_B}{d_* \cdot \sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d_*}} \quad (2.29)$$

$$\phi_S = \frac{q_S}{d_* \cdot \sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d_*}} \quad (2.30)$$

Gráficos comparativos de valores de ϕ_B e ϕ_S observados e calculados, obtidos com os dados anteriormente citados, mostraram que, em ambos os casos, 80% dos dados caíram numa faixa de erro de $\pm 50\%$.

Samaga, Raju e Garde (1986-a) apresentam um trabalho no qual taxas de transporte da carga do leito de frações individuais foram medidas. Os métodos de Einstein (1950), Proffitt e Sutherland (1983), e Misri (1984) de cálculo dessas cargas para misturas de sedimentos foram verificados com dados de laboratório.

Um dos métodos mais comumente usados de cálculo da carga do leito é aquele devido à Einstein (1950) que foi recentemente verificado a níveis microscópico e macroscópico por Misri (1981) com extensivos dados experimentais. Os experimentos de Misri têm confirmado diversas limitações desse método no cálculo das taxas de transporte de misturas de sedimentos. As taxas de transporte de frações individuais foram calculadas pelo procedimento de Einstein e estes valores foram comparados com os valores observados. Em geral, todas as frações mostraram uma taxa de transporte maior do que aquelas dadas por Einstein, sendo esta tendência mais pronunciada nas frações mais grossas.

Proffitt e Sutherland (1983) estudaram o efeito da não uniformidade dos sedimentos pela comparação de taxas de transporte de frações individuais numa mistura com aquela de material uniforme de mesmo tamanho. Suas análises foram baseadas nas leis de transporte para carga do leito de Paintal (1971) e Ackers e White (1973). Correções foram sugeridas para estas duas leis. Eles definiram um fator corretivo de exposição (e_i) para uma partícula de tamanho d_i e derivaram a partir de dados experimentais as seguintes expressões:

$$0.6 < \frac{d_i}{d_u} < 10.0; e_i = 1.0 \left(\frac{d_i}{d_u} \right)^{0.51} \quad (2.31)$$

$$\frac{d_i}{d_u} < 0.60; e_i = 1.16 \left(\frac{d_i}{d_u} \right)^{0.81} \quad (2.32)$$

em que d_u é o tamanho escalar que determina a rugosidade do leito. Proffitt e Sutherland (1983) relacionaram d_u com o tamanho mediano do material do leito (d_{50})

e $\frac{\tau_0}{(\Delta\gamma_s - d_{50})}$, onde $\Delta\gamma_s = \gamma_s - \gamma$.

Além dos dados dos autores, dados coletados por Misri et al. (1984) foram usados para verificar o método de Proffitt e Sutherland. Os dados suportaram, apenas

qualitativamente, a tendência da curva proposta por eles através das equações 2.31 e 2.32. O modelo de Proffitt e Sutherland não leva em consideração todos os parâmetros relevantes e os dados utilizados no desenvolvimento de suas relações para e_i , cobriram uma faixa relativamente estreita de condições de fluxo. Além disso, este método utiliza a tensão de cisalhamento total ao invés da tensão de cisalhamento devido à resistência dos grãos na análise.

Misri et al. (1984) baseados em dados experimentais definiram o seguinte coeficiente de proteção:

$$e_B = \frac{\tau_{eff}}{\tau_b} \quad (2.33)$$

em que τ_{eff} é a tensão de cisalhamento efetiva que é responsável por uma taxa de transporte do tamanho d_i , igual àquela do material uniforme de mesmo tamanho. τ_b é a tensão cisalhamento correspondente ao atrito com os grãos. Foi notado que a relação proposta precisa de modificações para se tornar aplicável a altos valores de $\frac{\tau_b}{\tau_{oc}}$, sendo τ_{oc} a tensão de cisalhamento crítica calculada para o tamanho médio aritmético com base no critério de Shields.

Samaga, Raju e Garde (1986-b) apresentam um estudo em que taxas de transporte da carga suspensa de frações individuais foram medidas e comparadas com os métodos de Einstein (1950) e Holtroff (1983) para cálculo dessas cargas. Foi obtida uma relação entre tensão de cisalhamento adimensional e a taxa de transporte suspenso para sedimentos uniformes. Para tornar tal relação aplicável a sedimentos não uniformes, um fator corretivo multiplicador para tensão de cisalhamento é introduzido. Os parâmetros adimensionais governando este fator de correção são identificados e uma relação para o mesmo é obtida. Dessa forma, a relação pode ser aplicada a porções de tamanhos individuais de uma mistura de sedimentos.

Einstein (1950) considerou que a análise do transporte da carga suspensa de misturas de sedimentos é mais complexa e não completamente entendida pelas seguintes razões: primeiro, o efeito ocultamento-exposição influencia a taxa de transporte da carga do leito e portanto a concentração próxima ao fundo; segundo, a presença de um tamanho interfere com outros tamanhos no processo de arrasto e movimento da carga suspensa. Einstein buscou considerar os efeitos anteriores pela introdução de certos fatores e seu método tem sido verificado a nível macroscópico por diversos investigadores. Em alguns casos as previsões têm sido satisfatórias, mas em muitos outros casos as previsões têm apresentado considerável variação em relação aos valores observados. Muito pouca verificação tem sido conduzida a nível microscópico, isto é, para taxas de transporte de frações individuais de uma mistura em suspensão.

Holtroff (1983) argumentou que somente uma porção da tensão de cisalhamento total é efetiva na causa do transporte do material suspenso, e mostrou que esta fração é dependente do valor da constante de Von Karman (k) e da rugosidade relativa do leito. Ele assumiu que k diminui a partir de 0.4 (para água limpa) para fluxos carregados de sedimentos e, relacionou a tensão de cisalhamento efetiva com k e D/d_{65} . Então escreveu a equação para carga suspensa como

$$\frac{q_s \cdot \Delta \gamma_{ss}}{\tau_0 \cdot U} = 0.005 \sum i_b \left(\frac{\tau_s}{\tau_0} \right) \left(\frac{U}{w_{oi}} \right) \quad (2.34)$$

em que q_s é a taxa de transporte da carga suspensa da mistura em peso por unidade de largura, i_b é a fração em peso de um tamanho qualquer d_i no leito de sedimento, w_{oi} é a velocidade de queda da partícula de tamanho d_i , τ_s é a tensão de cisalhamento correspondente à carga suspensa, U é a velocidade média do fluxo e τ_0 é a tensão de cisalhamento média total no leito. Conhecendo-se o valor de k para um tamanho específico i , $\left(\frac{\tau_s}{\tau_0} \right)$ é obtido da relação por ele proposta.

O método de Holtroff foi verificado com os dados dos autores. Taxas de transporte de frações individuais foram calculadas usando a equação anterior. O gráfico comparativo dos valores observados e calculados mostrou um considerável espalhamento dos pontos em torno da linha de concordância, principalmente para aqueles pontos correspondentes à pequenas taxas de transporte.

A aproximação adotada pelos autores neste trabalho foi relacionar a carga suspensa diretamente aos parâmetros relevantes, como é usualmente feito no caso do transporte da carga do leito, sob a premissa que o movimento da carga suspensa é um estágio avançado do movimento da carga do leito. As análises seguem essencialmente as mesmas diretrizes como usadas por Misri et al. (1984) para transporte da carga do leito. Dessa forma é definido um coeficiente ε_s para sedimento não uniforme como segue:

$$\varepsilon_s = \frac{\tau_{eff}}{\tau_0} \quad (2.35)$$

onde τ_{eff} é a tensão de cisalhamento requerida para obter a mesma carga suspensa, como no caso de sedimentos uniformes e, τ_0 é a tensão de cisalhamento sobre o leito.

Seguindo Misri et al. (1984) a relação funcional para ε_s pode então ser escrita como:

$$\varepsilon_s = f\left(\frac{\tau_0}{\tau_{0c}}, \frac{\tau_0}{\Delta\gamma_s \cdot d_i}, M\right) \quad (2.36)$$

O cálculo da taxa de transporte de cada fração i foi feita a partir da seguinte equação:

$$\phi_s = \frac{i_s \cdot q_s}{i_b \cdot \gamma_s \cdot d_i} \sqrt{\frac{\gamma_f}{\Delta\gamma_s} \cdot \frac{1}{g \cdot d_i}} \quad (2.37)$$

Na equação anterior q_s é a taxa de transporte da carga suspensa da mistura em peso por unidade de largura; i_s e i_b são as frações em peso do tamanho d_i na carga suspensa e no leito de sedimentos, respectivamente; ϕ_s é o parâmetro de transporte adimensional da carga suspensa que é calculado a partir de ϵ_s .

Os autores utilizaram dados de laboratório e do rio Snake para verificação deste procedimento. Comparativamente aos métodos de Einstein e Holtroff, os resultados obtidos se apresentaram bem menos dispersos.

2.8 – Equações Seleccionadas de Transporte de Sedimentos

Existe um grande número de equações estimativas de transporte de sedimentos disponível nas publicações referentes ao assunto. Desenvolvidas segundo métodos teóricos, empíricos ou semi-empíricos, estas equações, apesar da facilidade de utilização, fornecem resultados bastante imprecisos. Devido à complexidade dos processos envolvidos no escoamento com fronteiras móveis, alguns dos quais não são completamente bem entendidos, foram feitas simplificações nas hipóteses de cálculo utilizadas no desenvolvimento dessas equações.

A maioria das equações estimativas utilizam o diâmetro mediano (D_{50}) como único parâmetro representativo do tamanho dos grãos que compõem o leito, tendo os grãos tamanhos uniformes ou não. Estudos mostram que isto é uma simplificação que pode implicar em grandes erros [James (1990), Yalin e Karahan (1979), Vogel e Niekirk (1992, 1992-a)]. Não há, evidência física de que o diâmetro mediano (D_{50}) melhor represente uma mistura.

Com o objetivo de verificar a existência ou não de um outro diâmetro que melhor represente a mistura quanto ao aspecto de transporte, optou-se por seleccionar algumas equações estimativas e fazer variar este parâmetro dentro da faixa compreendida entre os diâmetros correspondentes a D_{35} e D_{65} para cada mistura. Dessa forma, para cada novo diâmetro utilizado nas equações, verificava-se o ajuste entre os valores de transporte calculados e aqueles observados nos experimentos.

A seleção das equações foi feita baseada nos resultados obtidos por Curi (1986) e Cavalcante (1992) em suas dissertações de mestrado. As equações selecionadas foram a de Einstein (1950), Bagnold (1966), Laursen (1958) e Yang (1973), tendo as três primeiras apresentado melhores resultados para o caso de leito plano e a última para o caso de dunas. A seguir essas equações são apresentadas.

2.8.1 - Equação de Einstein

Einstein (1942, 1950) partiu de conceitos utilizados por pesquisadores como DuBoys e Schoklitsch e considerou, no mínimo, duas idéias básicas diferentes do que até então existia para a determinação da carga do leito:

- a) evitou o critério crítico, porque a condição crítica para início do movimento dos sedimentos é difícil de ser definida;
- b) afirmou que era preferível relacionar o transporte da carga do leito às variações do fluxo turbulento, do que ao valor médio das forças que o fluxo exerce sobre as partículas de sedimento.

Dessa forma, Einstein desenvolveu sua teoria afirmando que o início e o término do movimento do sedimento estão relacionados ao conceito de probabilidade de erosão de uma partícula. Este conceito relaciona forças de levantamento hidrodinâmicas instantâneas com o peso submerso da partícula. Utilizando estes conceitos, Einstein definiu e relacionou dois parâmetros: o parâmetro de intensidade de cisalhamento (Ψ) e o parâmetro de carga do leito (ϕ). Sendo que:

$$\Psi = \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \left(\frac{D}{R.S} \right) \quad (2.38)$$

$$\phi = \left(\frac{q_s}{\gamma_s} \right) \sqrt{\frac{\gamma}{g \cdot \gamma_s \cdot D^3}} \quad (2.39)$$

$$q_b = \frac{\phi \cdot \gamma_s}{\sqrt{\frac{\gamma}{g \gamma_s D^3}}} \quad (2.40)$$

nas quais D é o tamanho representativo do material do leito, R' é o raio hidráulico referente ao atrito com os grãos, S é a declividade da linha de energia, γ_s o peso específico submerso do sedimento ($\gamma_s = \gamma_s - \gamma$) e q_b é a taxa de transporte da carga do leito em peso por unidade de tempo e largura. A figura 2.19 mostra graficamente a relação experimental entre ϕ e ψ . A partir das características dos sedimentos e das condições de fluxo, o valor de ψ pode ser calculado e através do gráfico da figura 2.19 (página 34) se obtém ϕ . Com o valor de ϕ e utilizando a equação 2.39, pode-se calcular o transporte da carga do leito.

Para a determinação da carga em suspensão, Einstein propôs um dos métodos mais largamente utilizados. Considerando a variação da concentração de sedimentos sobre uma profundidade a partir do fundo, Einstein assumiu que a espessura da camada correspondente à carga do leito é $a = 2D$, em que D é o tamanho do grão representativo do material do leito e, assumiu, além disso, que dentro dessa camada a suspensão do material é impossível e a concentração é constante. Einstein estabeleceu que a carga em suspensão é definida pela seguinte equação:

$$q_s = q_b (P_E \cdot I_1 + I_2) \quad (2.41)$$

na qual P_E é um parâmetro de transporte e I_1 e I_2 são integrais assim definidas:

$$I_1 = \int f_1(E, Y, Z) dy \quad (2.42)$$

$$I_2 = \int f_2(E, Y, Z) dy \quad (2.43)$$

nas quais $Y = \frac{a}{d}$, sendo d a profundidade de fluxo e $Y = \frac{y}{d}$, em que y é uma profundidade arbitrária a partir da espessura a . As integrais I_1 e I_2 podem ser obtidas em função de E para valores Z a partir das figuras 2.20 e 2.21. Tem-se que:

$$Z = Z_1 \cdot \beta \quad (2.44)$$

$$Z_1 = \frac{w}{(0.4U_{*b})} \quad (2.45)$$

$$\beta = \log 10.6 \quad (2.46)$$

em que w é a velocidade de queda na água de uma partícula de diâmetro médio D . Para o cálculo da velocidade de queda (w) foi utilizada a equação de Rubey que é dada por:

$$w = \left[\left(\frac{2 \cdot g \cdot D \cdot (\rho_s - \rho)}{3 \cdot \rho} + \frac{36 \cdot \mu^2}{\rho^2 \cdot D^2} \right)^{1/2} - \frac{6 \cdot \mu}{\rho \cdot D} \right] \quad (2.47)$$

em que μ é a viscosidade absoluta do fluido, ρ_s e ρ são as massas específicas do sedimento e do fluido. O parâmetro de transporte P_E é definido como:

$$P_E = 2.303 \log \left(3.02 \frac{d}{\Delta} \right) \quad (2.48)$$

sendo Δ a rugosidade aparente da superfície do leito que é igual a $\frac{D_{65}}{X}$, na qual X é um fator de correção obtido da figura 2.16 em função da relação $\frac{D_{65}}{\delta}$, em que:

$$\delta = 11.6 \frac{\nu}{U_{*b}} \quad (2.49)$$

sendo δ a espessura da subcamada limite laminar, D_{65} é o tamanho para o qual 65% do material do leito tem diâmetro inferior e ν a viscosidade cinemática da água.

A equação de Einstein foi proposta para uso em fluxos com altas taxas de transporte, leitos hidraulicamente rugosos e para fluxos cuja carga do leito seja uma parte significativa da carga total [Vanoni (1975)]. A carga total de sedimentos transportados (q_r), expressa em peso por unidade tempo e largura, é dada pela soma das parcelas referentes às cargas do leito e em suspensão, de acordo com a seguinte equação:

$$q_r = q_b \cdot (1 + P_E J_1 + I_2) \quad (2.50)$$

2.8.2 - Equação de Yang (1973) [Yang (1991), Annandale (1986)]

Yang concluiu que a taxa de dissipação de energia potencial por unidade de peso da água, ou o potencial de fluxo unitário, deveria determinar a composição dos sistemas de rios e seus perfis longitudinais. Esse potencial definido pela multiplicação da velocidade média do fluxo pela declividade da linha de energia, poderia ser relacionado à concentração de sedimentos a partir de uma teoria bem elaborada, baseada nos conceitos de mecânica dos fluidos e da turbulência. Baseado numa equação de dissipação de energia e na equação de Rouse (Chiew, 1991), Yang e Molinas (1982) mostraram que a distribuição da concentração de sedimentos em uma vertical é diretamente relacionada à taxa de distribuição vertical de energia produzida devido à turbulência. Yang obteve sua equação empiricamente, através da manipulação de dados experimentais e incluiu, posteriormente, o critério do movimento incipiente das partículas. A equação de Yang, a seguir apresentada, foi confirmada teoricamente por Rouseboom, em 1974, e estabelece diretamente a carga total.

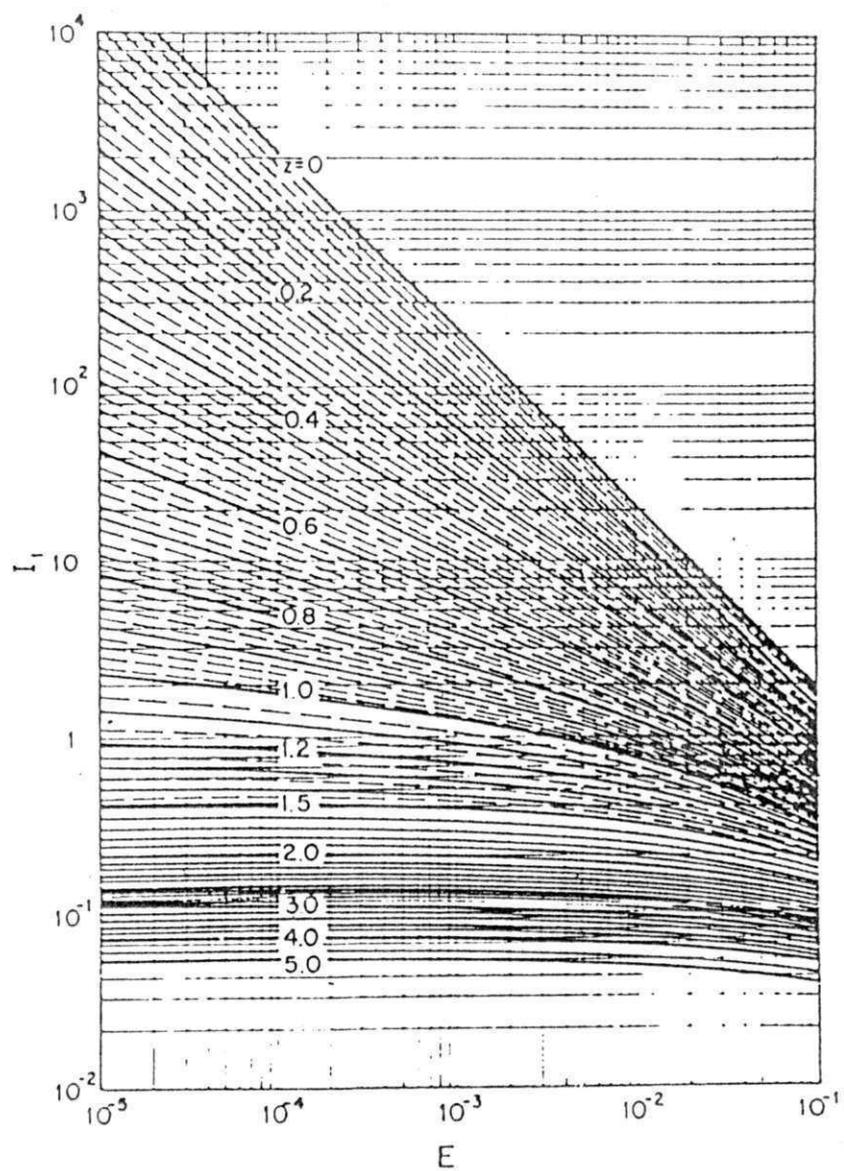


Fig. 2.20 – I_1 como Função de E para Valores de Z [Einstein (1950)].

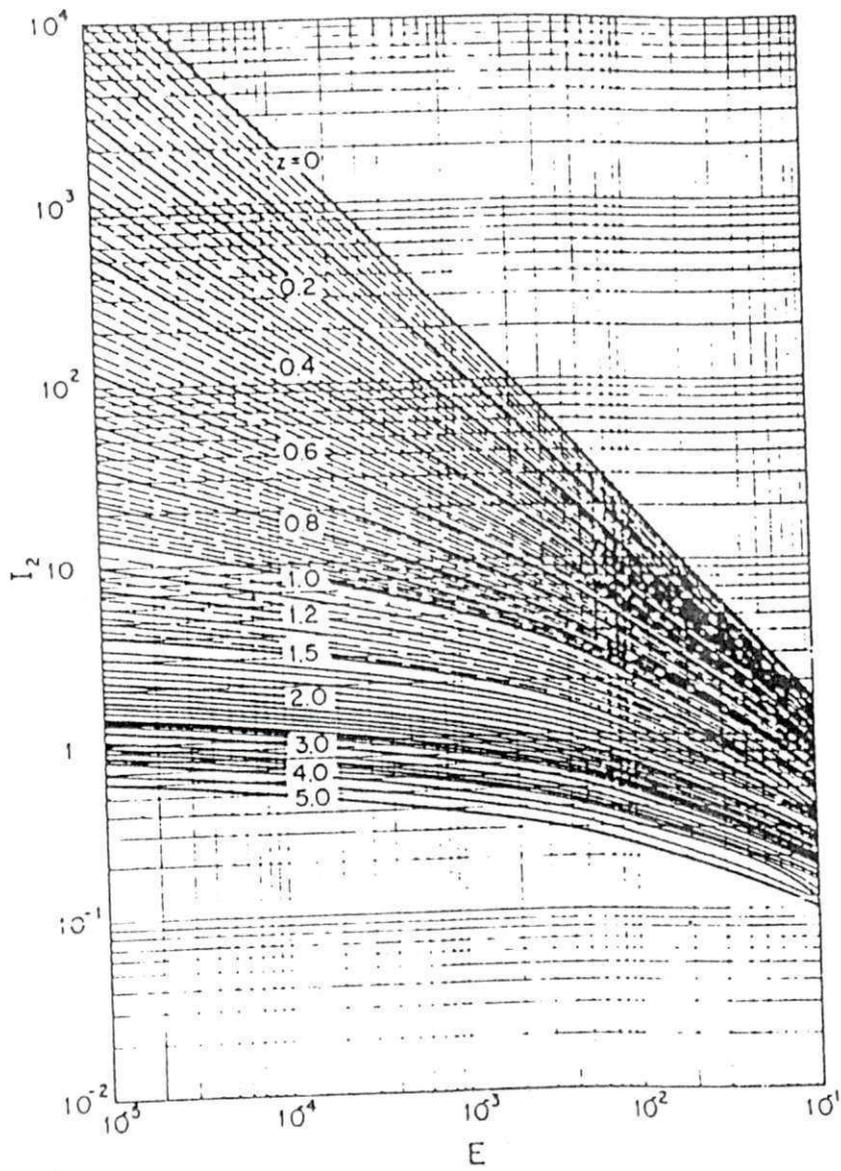


Fig. 2.21 - I_2 como Função de E para Valores de Z [Einstein (1950)].

equação de dissipação de energia e na equação de Rouse (Chiew, 1991), Yang e Molinas (1982) mostraram que a distribuição da concentração de sedimentos em uma vertical é diretamente relacionada à taxa de distribuição vertical de energia produzida devido à turbulência. Yang obteve sua equação empiricamente, através da manipulação de dados experimentais e incluiu, posteriormente, o critério do movimento incipiente das partículas. A equação de Yang, a seguir apresentada, foi confirmada teoricamente por Rouseboom, em 1974, e estabelece diretamente a carga total.

$$\log C = 5.435 - 0.286 \log \left(\frac{w \cdot D_{50}}{\nu} \right) - 0.457 \left(\frac{U_{*b}}{w} \right) + \left[1.799 - 0.409 \log \left(\frac{w \cdot D_{50}}{\nu} \right) - 0.314 \log \left(\frac{U_{*b}}{w} \right) \right] \cdot \log \left(\frac{U \cdot S}{w} - \frac{U_{cr} \cdot S}{w} \right) \quad (2.51)$$

A velocidade média crítica para o movimento incipiente das partículas (U_{cr}) é dada em função do número de Reynolds de cisalhamento da partícula (R_*) definido como:

$$R_* = \frac{U_{*b} \cdot D_{50}}{\nu} \quad (2.52)$$

Se $1.2 < R_* < 70$, U_{cr} é dada por:

$$\frac{U_{cr}}{W} = \frac{2.5}{\log \left(\frac{U_{*b} \cdot D_{50}}{\nu} \right) - 0.06} + 0.66 \quad (2.53)$$

Se R_* for maior ou igual a 70, então $\frac{U_{cr}}{w} = 2.05$.

A taxa total de sedimentos transportados em peso por unidade de tempo e largura é dada por:

$$q_T = 0.001.C^*.d.U \quad (2.54)$$

em que U é a velocidade média de fluxo. C é a concentração ou massa de sedimentos por unidade de volume de água.

2.8.3 - Equação de Bagnold (1966) [Graff (1977), Simons e Senturk (1977), Vanoni (1975)]

Bagnold baseou seu desenvolvimento nos conceitos do balanço de energia e no fato de que a potência útil do fluxo supera a energia gasta no transporte de sedimentos. Isto significa que a taxa de dissipação de energia utilizada para transportar o material deveria ser relacionada à taxa da quantidade de material que está sendo transportado.

$$\tau_0.U.(1 - e_b)e_s = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} . q_s . \frac{w}{U_s} \quad (2.55)$$

em que e_b e e_s são as eficiências de transporte das cargas do leito e em suspensão e, U_s é velocidade média do sedimento em suspensão. O parâmetro e_b é obtido do gráfico da figura 2.22.

Baseado nos estudos de transporte sólido em canais, Bagnold sugeriu que $e_s.(1 - e_b) = 0.01$ e $U_s = U$ assim a equação 2.55 torna-se:

$$\left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) q_s = 0.001 \tau_c . \frac{U^2}{w} \quad (2.56)$$

Raciocinando da mesma forma, Bagnold demonstrou que a taxa de trabalho produzida pelo transporte da carga do leito é o produto da taxa de transporte da carga

do leito (expresso em peso submerso por unidade de tempo e largura) e o coeficiente dinâmico de atrito sólido ($\tan \alpha$) obtido da figura 2.23. Logo:

$$\tau_b \cdot U \cdot e_b = \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot q_b \cdot \tan \alpha \quad (2.57)$$

sendo q_b a carga do leito em peso submerso por unidade de tempo e largura. A descarga total de sedimento (q_T) é a soma das descargas do leito (q_b) e da descarga suspensa (q_s) e é dada por:

$$q_T = \left(\frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \right) \cdot \tau_0 \cdot U \cdot \left(\frac{e_b}{\tan \alpha} + 0.01 \frac{U}{w} \right) \quad (2.58)$$

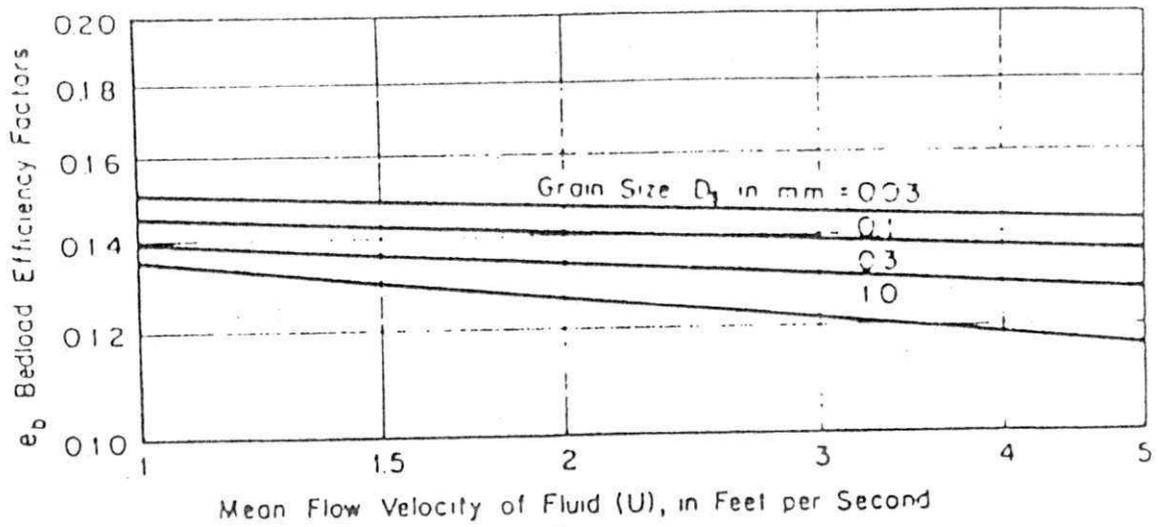


Fig. 2.22 – Fator de Eficiência da Carga do Leito (e_b) como Função da Velocidade de Fluxo (U) e do Diâmetro do Sedimento (D) [Bagnold (1966)].

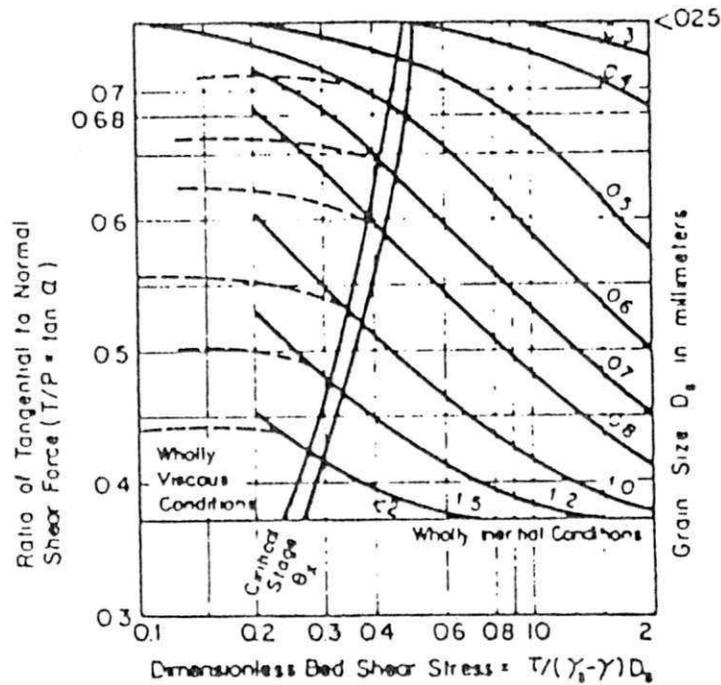


Fig. 2.23 – Coeficiente de Atrito Sólido ($\tan \alpha$) [Bagnold (1966)].

2.8.4 - Equação de Laursen (1958) [Simons e Senturk (1977), Raudkivi (1976), Vanoni (1975)]

Laursen desenvolveu a relação funcional entre a condição de fluxo e a descarga de sedimentos resultante. Ele preferiu não fazer distinção entre a carga do leito e a carga em suspensão, com a justificativa de que as forças hidrodinâmicas envolvidas tanto na ascensão das partículas como no arrasto são as mesmas, sendo desnecessário definir uma linha de separação. Mesmo assim, os parâmetros $\left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1\right)$ e $\frac{U_{*b}}{w}$ são importantes para a determinação da carga do leito e da carga suspensa, respectivamente, pois o movimento dos sedimentos por arrasto inicia-se quando τ_0 (tensão de cisalhamento no leito) excede o valor de τ_c (tensão de cisalhamento crítica) e a partir deste ponto a carga do leito seria diretamente proporcional à $(\tau_0 - \tau_c)$. O parâmetro $\frac{U_{*b}}{w}$, que expressa a ação da turbulência da mistura, foi utilizado para a determinação da carga suspensa porque a partir dele foi estabelecido uma função $f\left(\frac{U_{*b}}{w}\right)$ baseada em dados obtidos de canais e ajustada em função de dados coletados (figura 2.24) por vários pesquisadores. A fórmula de Laursen, a seguir apresentada, é indicada para sedimentos naturais com peso específico de 2.65.

$$C = 0.01 \gamma \left(\frac{D}{d}\right)^{7/6} \left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1\right) f\left(\frac{U_{*b}}{w}\right) \quad (2.59)$$

$$\tau_c = 0.039 (\gamma_s - \gamma) D_{50} \quad (2.60)$$

$$q_T = Q.C \quad (2.61)$$

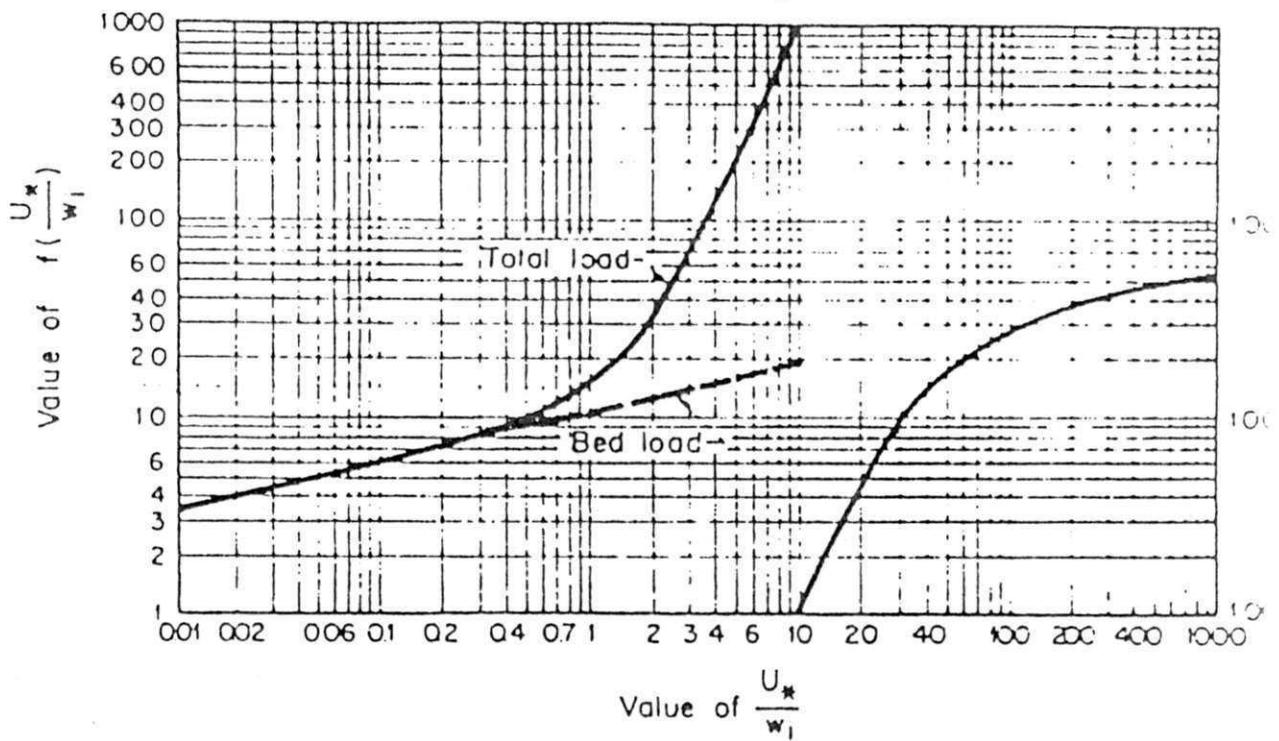


Fig. 2.24 – Valores da Função $f(U/W)$ para a Aplicação do Método de Laursen [Laursen (1958)].

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- Considerações Gerais

Para se alcançar o objetivo proposto neste trabalho, necessitava-se de um sistema experimental que permitisse a obtenção de um conjunto de dados confiáveis e precisos. O sistema utilizado constitui-se de um canal de recirculação, disponível no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, Campus II (Campina Grande).

O estudo comparativo do comportamento hidráulico de três diferentes misturas de sedimentos, submetidas à condições de fluxo idênticas entre si, mas abrangendo diferentes regimes de escoamento, só foi possível graças aos recursos do sistema experimental utilizado, que permitia, entre outras coisas, controlar a vazão automaticamente e controlar a profundidade de fluxo através de uma comporta na saída do canal.

Neste capítulo, descreve-se as instalações e os procedimentos experimentais, materiais utilizados e a coleta e organização dos dados.

3.2 - Instalações Experimentais

O sistema experimental utilizado é composto por um canal de aço inclinável capaz de suportar um leito de sedimentos sobre o fundo, cujas laterais são de vidro

temperado, que permitem a visualização do fluxo e perfil do leito, um tanque de aço receptor para a mistura água-sedimentos, um reservatório de concreto para a água, uma caixa para coleta de amostras, sistema de bombeamento composto por uma bomba para a água (capacidade máxima de 80l/s) e outra bomba para a mistura água-sedimentos (vazão entre 1l/s e 2.3l/s) e um sistema de controle computadorizado para a vazão. A figura 3.1 mostra uma vista lateral do sistema experimental com seus principais componentes. As figuras 3.2 e 3.3 mostram uma vista geral das partes jusante e montante do sistema, respectivamente. Nas figuras 3.4 e 3.5 são mostradas uma vista superior de um leito com ripples e uma vista em perfil de um leito com dunas, respectivamente, ambas referentes a experimentos realizados.

O canal tem 16m de comprimento, 0.50m de largura e 0.50m de profundidade. A entrada do fluxo é feita por baixo do leito, à montante do canal, onde também estão os tranqüilizadores de fluxo. O controle da profundidade de fluxo é feito através da abertura ou fechamento da comporta de aço inoxidável localizada na saída do canal. No caso de fluxo subcrítico, uma comporta funciona como uma seção de controle e portanto determina as condições de fluxo à montante daquela seção.

Ligados ao fundo do canal foram instalados dois piezômetros, distanciados 10m entre si, que permitiram determinar a declividade da superfície da água. A declividade do fundo do canal podia ser ajustada através de um dispositivo eletromecânico localizado na base do mesmo, numa faixa entre 3% positivo e 0.1% adverso (negativo).

O reservatório de água tem capacidade para 16m³. O tanque receptor da mistura água-sedimentos tem a forma de uma pirâmide invertida, o que facilitava que os sedimentos em suspensão fossem conduzidos para o centro do tanque e succionados pela bomba de sedimentos. Sobre o tanque receptor foram montados trilhos sobre os quais se deslocava a caixa para coleta de amostras, a qual é posicionada na saída do canal no momento da coleta.

O controle de vazão era feito automaticamente através de um microcomputador, que utilizava um programa na forma de hidrograma para tal.

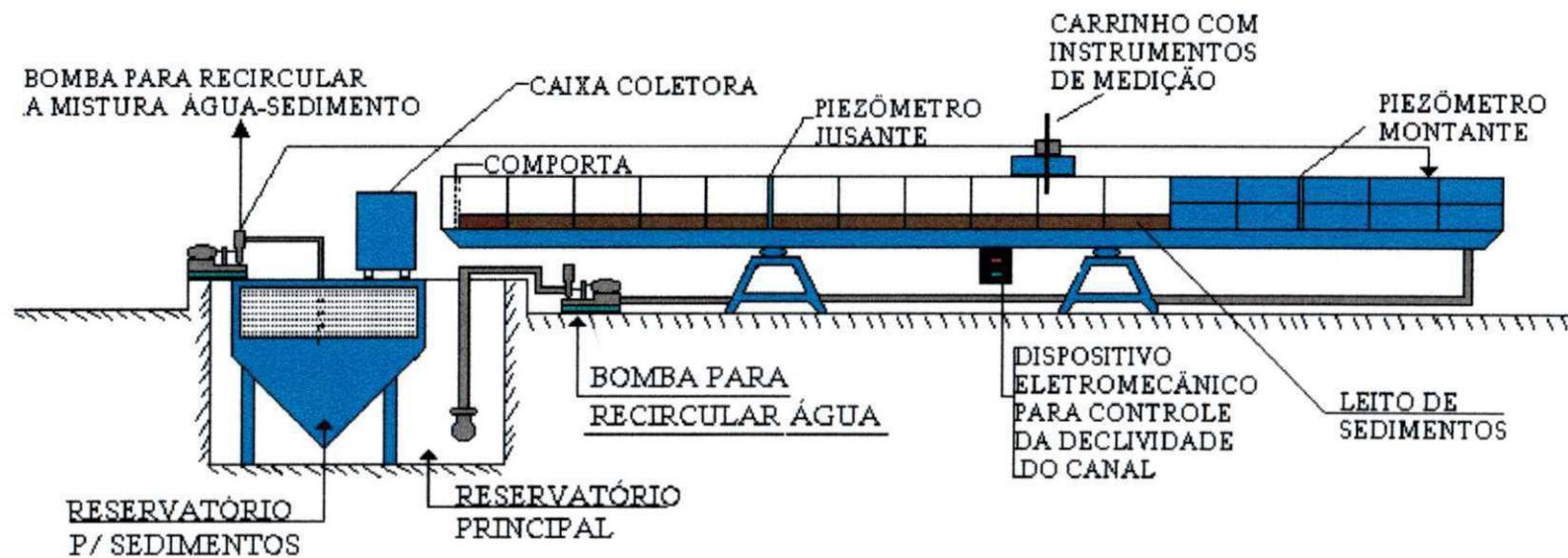


Figura 3.1 – Vista lateral do Sistema Experimental mostrando os principais componentes.

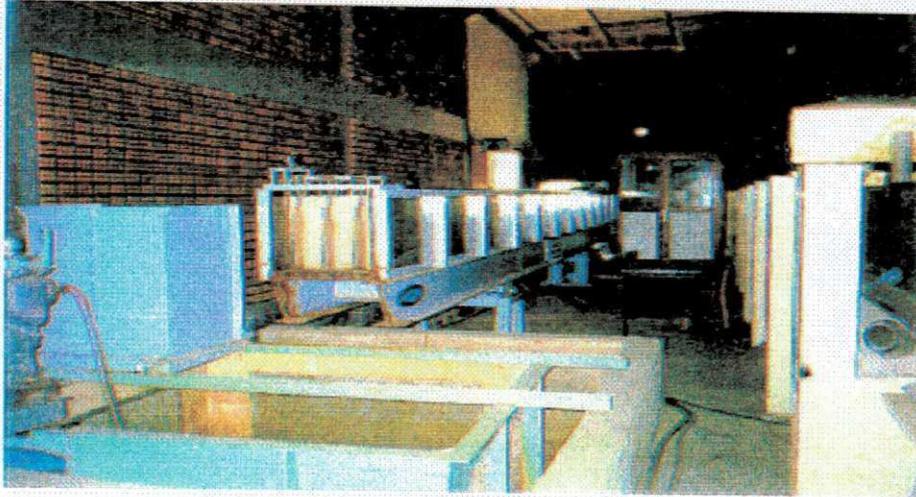


Figura 3.2 – Vista Geral da Parte Jusante do Sistema, Mostrando o Canal, Bomba de Sedimento, Caixa Coletora, Reservatório e Tanque Receptor.

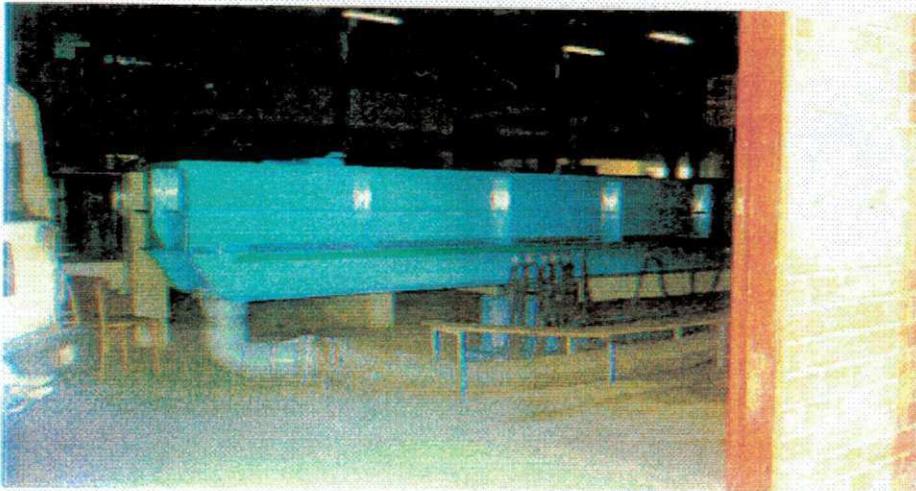


Figura 3.3 – Vista da Parte Montante do Canal, Mostrando a Entrada do Fluxo por baixo do Leito.

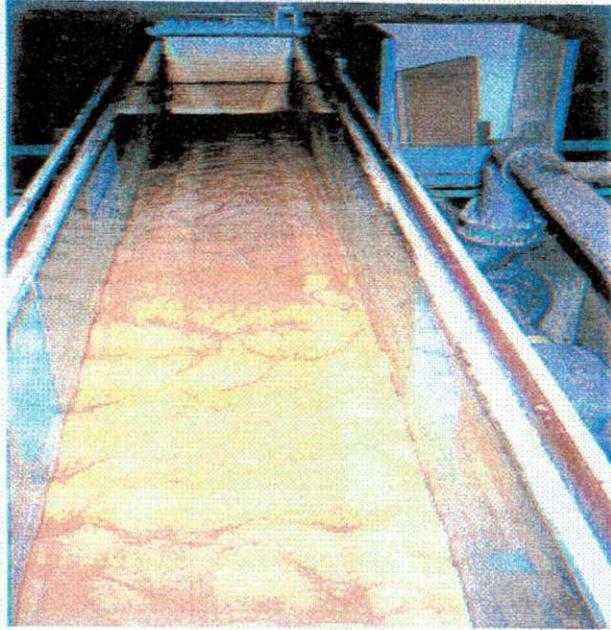


Figura 3.4 – Vista de cima de um Leito com Ripples, onde se vê a Bomba Principal (à direita) e a Caixa Coletora (no fundo).

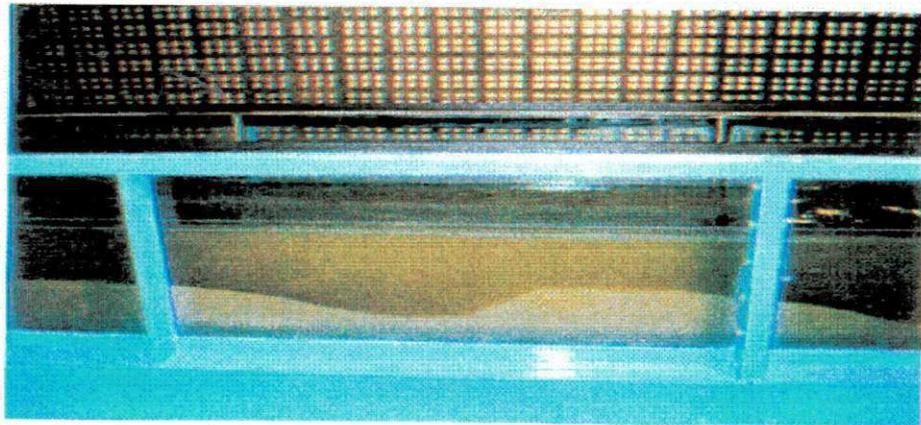


Figura 3.5 -- Vista em Perfil de um Lcito com Dunas

3.3 -Coleta de Dados

3.3.1- Controle da Vazão Líquida

A metodologia adotada para o controle da vazão é altamente sofisticada, além de simples e precisa. O conjunto utilizado é composto por um motor elétrico de rotação variável, um conversor transistorizado de frequência e torque, um medidor de vazão do tipo eletromagnético e um microcomputador operando sob o comando de um programa de controle.

Em princípio, a vazão real do sistema é medida pelo aparelho eletromagnético instalado na tubulação de adução de água ao canal, este produz um sinal analógico correspondente à vazão. Através de uma placa de conversão analógico-digital, o sinal é comparado com o valor programado, caso haja uma diferença, um sinal é comandado para o conversor de frequência que altera a frequência da corrente para o motor do conjunto motor-bomba. Dessa forma a cada instante as vazões real e programada são comparadas e as condições elétricas são alteradas no motor para eliminar a diferença. O medidor de vazão tem uma precisão de 0.5%.

3.3.2 - Declividades da Superfície de Água e do Canal

A declividade do fundo do canal, devidamente ajustada, pode permitir que uma condição de equilíbrio entre a declividade do leito arenoso e o fluxo seja alcançada mais rapidamente. Durante as três séries de ensaios, a declividade do fundo do canal foi mantida constante e igual a 0.22% positivo.

Em estudos de transporte e resistência em canais erodíveis, a determinação da declividade da linha de energia é de grande importância, pois esta é uma das variáveis hidráulicas que determinam a tensão de cisalhamento sobre o leito de sedimentos. No escoamento quase uniforme, a diferença entre esta declividade e a declividade da superfície de água é desprezível. No sistema experimental instalado, a declividade da

superfície da água foi obtida com a utilização de dois piezômetros ligados ao fundo do canal e distanciados 10m entre si. As leituras piezométricas indicavam a queda da superfície líquida, que dividida pela distância entre os piezômetros definia a declividade da superfície de água. Durante cada ensaio eram feitas leituras piezométricas que mostravam a evolução das condições de fluxo até ser alcançada a condição de equilíbrio, tal condição, que era indicada principalmente pela pouca ou nenhuma variação das leituras piezométricas, era mais facilmente perceptível nos ensaios com ripples e leito plano, devido ao comportamento mais estável da superfície líquida. Nos ensaios com dunas, a instabilidade da superfície líquida provocada pelo deslocamento dessas ondas de areia, dificultava o registro dos níveis de água. Este problema foi solucionado fazendo-se um maior número de leituras e identificando vários níveis entre os quais oscilava a superfície líquida, dessa forma, valores médios puderam ser definidos para os pontos nos quais estavam os piezômetros e posteriormente determinava-se a declividade da superfície de água.

3.3.3 - Profundidade Média de Fluxo

Para a determinação da profundidade média de fluxo foram efetuadas medições da superfície do leito num trecho central do canal, entre os piezômetros, cujo comprimento era de 10m. Neste trecho podia-se garantir a ausência de perturbações ao regime uniforme, oriundas das condições de entrada e saída do canal. As medições eram feitas a cada 25cm ao longo do eixo central do canal, totalizando 41 pontos para o cálculo da profundidade média, utilizando-se, para tal, uma régua linimétrica de ponta, fixada sobre um carrinho que se desloca sobre trilhos montados nas paredes laterais do canal.

Inicialmente, pouco antes de terminar o experimento, fazia-se a leitura do nível da superfície líquida no ponto onde se localizava o piezômetro de montante, este era o ponto inicial de medição. Em seguida fazia-se cessar o fluxo fechando-se a comporta no fim do canal e desligando-se a bomba principal (bomba de água). Estes dois

procedimentos, efetuados de forma simultânea, provocavam um rápido aumento da lâmina d'água e conseqüente cessação do transporte sólido, o que impedia alterações nas formas da superfície do leito. Após a drenagem lenta do canal através de uma pequena abertura na comporta, usava-se novamente a régua linimétrica para a leitura dos níveis da superfície do leito nos 41 pontos anteriormente citados. A posição média da superfície líquida nestes mesmos pontos era obtida a partir da leitura feita no ponto inicial, sobre o piezômetro de montante, e da declividade da superfície de água daquele ensaio. Tanto os níveis da superfície líquida quanto os níveis da superfície do leito eram relacionadas a um datum horizontal e, a diferença entre estes valores dava a profundidade de fluxo em cada ponto medido. A profundidade média de fluxo era determinada como sendo igual à média aritmética das profundidades de fluxo nas 41 seções de medição.

3.3.4 - Tamanho dos Sedimentos

A definição do diâmetro mediano (D_{50}) dos sedimentos que iriam compor as misturas foi feita em função dos objetivos deste trabalho e do material disponível para preparação das misturas. Tendo-se em mente que um dos objetivos seria investigar o comportamento hidráulico das misturas sob diferente regimes de transporte e resistência, ou seja, na presença de ripples, dunas e leito plano, e considerando que estudos mostram que ripples não se formam com leitos que têm D_{50} superior a 0.6mm, tinha-se, então, uma primeira limitação nesta escolha. Optou-se por um D_{50} igual a 0.38mm. Inicialmente o material obtido foi separado, por peneiramento, em 4 frações praticamente uniformes, tendo os seguintes D_{50} : 1.15mm, 0.68mm, 0.40mm e 0.26mm. Diferentes percentuais de cada uma destas frações foram misturados em amostras de 500g e tiveram determinadas suas curvas granulométricas. Dentre aquelas que apresentaram um $D_{50} \cong 0.38\text{mm}$, três foram escolhidas para compor a misturas. As curvas granulométricas são mostradas nas figuras 3.6, 3.7 e 3.8. A tabela 3.1 mostra alguns parâmetros característicos dessas misturas.

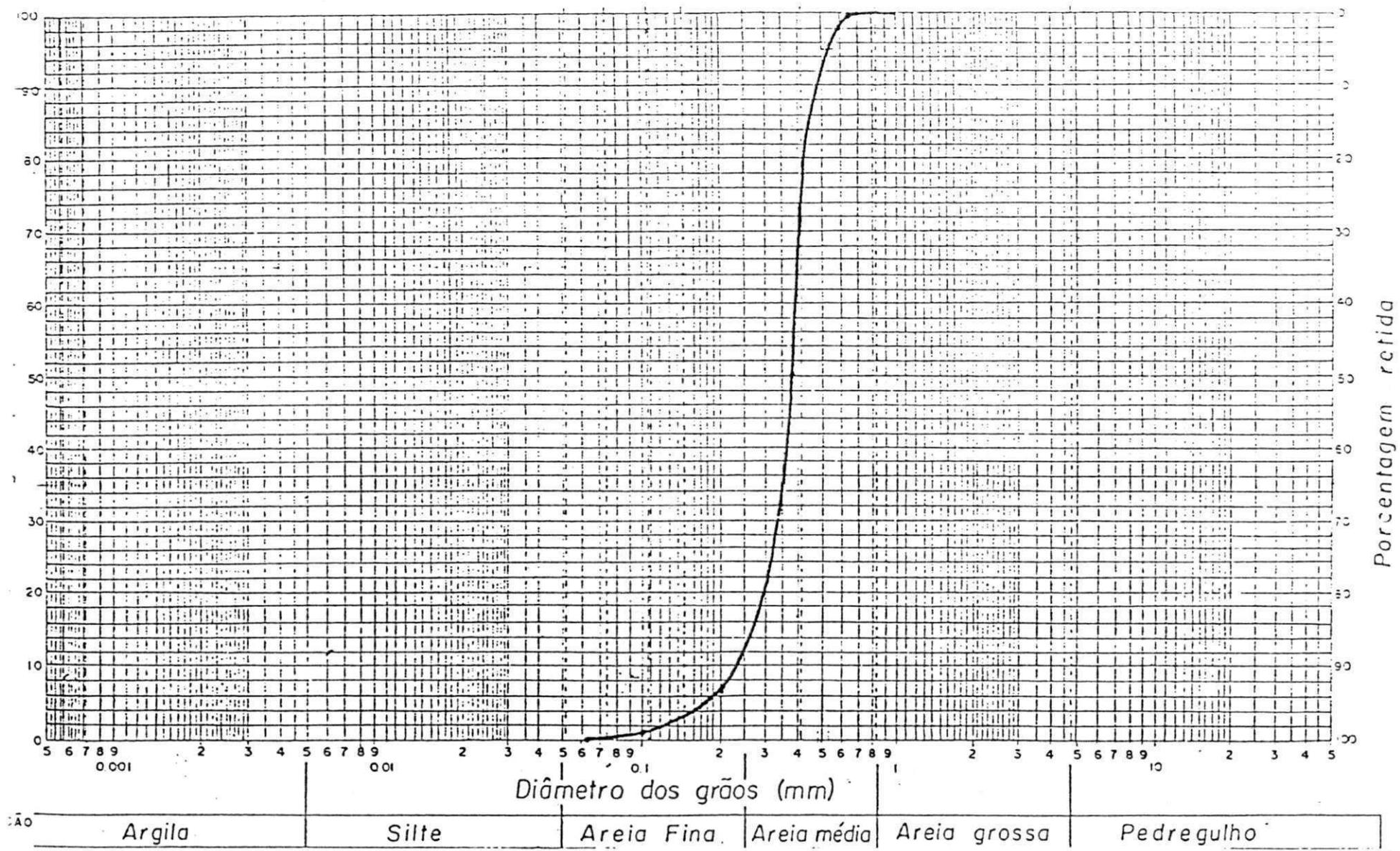


Fig. 3.6 – Curva Granulométrica da Primeira Mistura

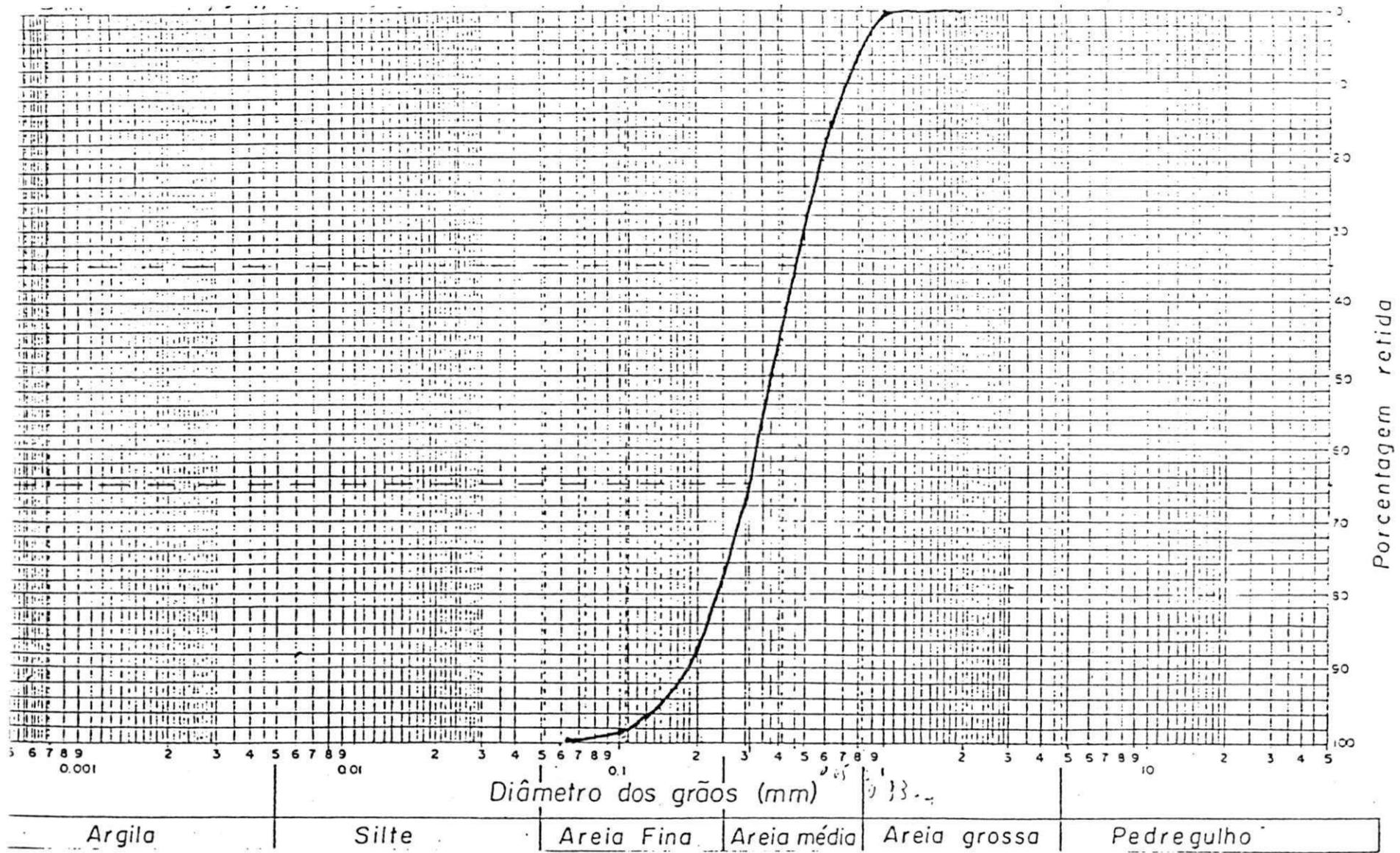


Fig. 3.7 – Curva Granulométrica da Segunda Mistura

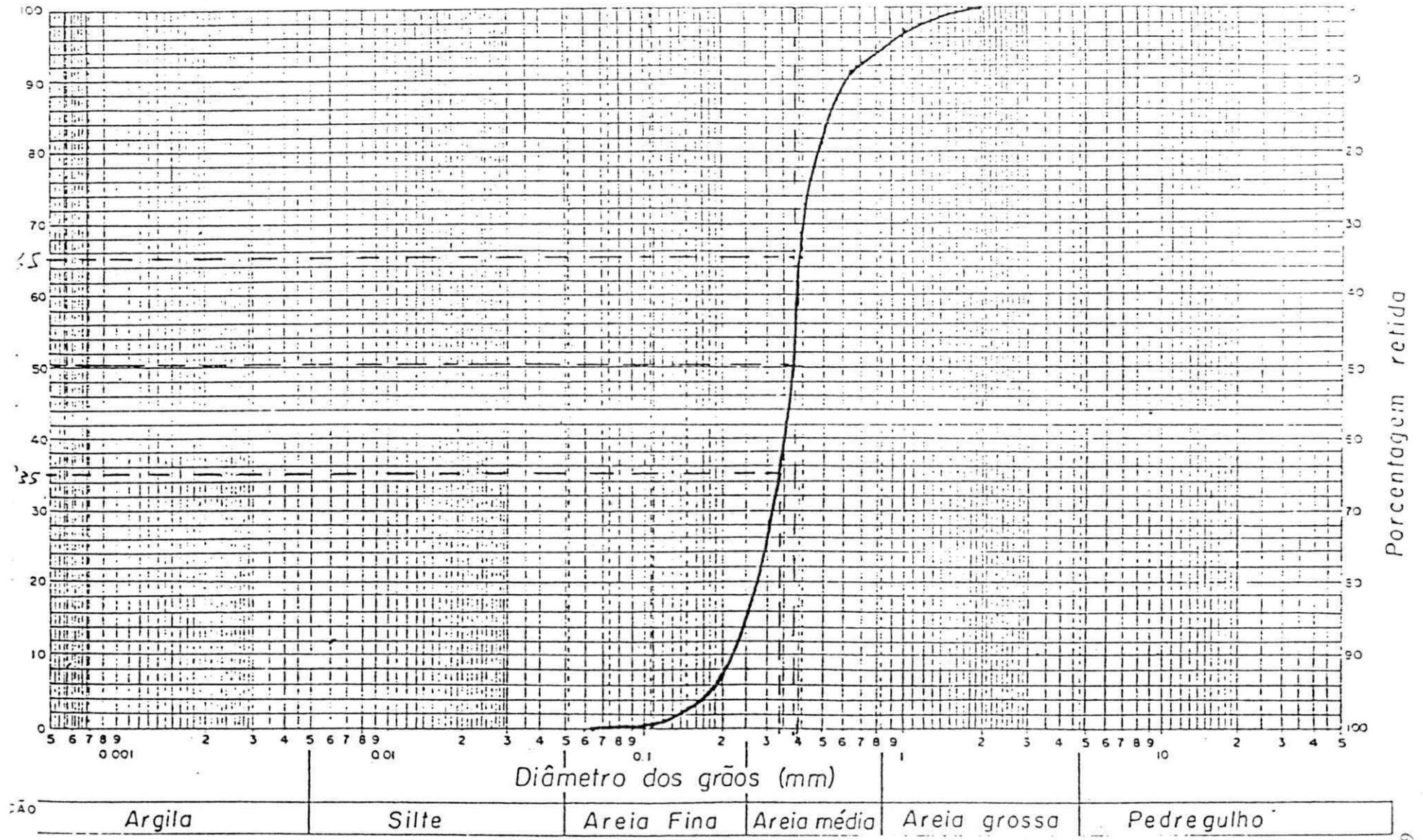


Fig. 3.8 – Curva Granulométrica da Terceira Mistura

Tabela 3.1 – Parâmetros Característicos das Misturas

CARACTERÍSTICAS DAS MISTURAS UTILIZADAS			
MISTURA CARACT	1	2	3
D50	0,38	0,38	0,38
D35	0,35	0,31	0,33
D65	0,40	0,46	0,40
D15.9	0,227	0,243	0,230
D84.1	0,414	0,620	0,540
DESVIO PADR.	1,351	1,597	1,532

Durante os experimentos também foram realizados ensaios de granulometria com o material do leito, com o objetivo de verificar o diâmetro efetivo real e efeitos decorrentes do transporte seletivo dos sedimentos.

3.3.5- Temperatura do Fluido

A temperatura do fluido é um parâmetro de fundamental importância, pois propriedades como a massa específica e a viscosidade do fluido variam com a temperatura. Durante cada experimento foram feitas leituras de temperatura do fluido utilizando-se um termômetro de mercúrio. Durante todas as séries de ensaios a variação da temperatura foi de 24°C a 28°C. A tabela 3.2 mostra os valores de massa específica e da viscosidade do fluido em função da temperatura.

Tabela 3.2 – Valores da Massa Específica e Viscosidade do Fluido em Função da Temperatura

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Massa Específica (g/cm^3)	Viscosidade Cinemática (cm^2/s)
21.7	0.9978	0.00965
22.0	0.9978	0.00957
22.2	0.9977	0.00952
22.8	0.9976	0.00940
23.0	0.9975	0.00935
23.3	0.9975	0.00928
23.9	0.9973	0.00916
24.0	0.9973	0.00914
24.4	0.9972	0.00905
25.0	0.9970	0.00893
25.6	0.9969	0.00882
26.0	0.9968	0.00873
26.1	0.9968	0.00871
26.7	0.9966	0.00861
27.0	0.9965	0.00854
27.2	0.9965	0.00850
27.8	0.9963	0.00840
28.0	0.9962	0.00836
28.3	0.9961	0.00830
28.9	0.9960	0.00820
29.0	0.9959	0.00818
29.4	0.9958	0.00811
30.0	0.9956	0.00801
30.6	0.9955	0.00792
31.0	0.9954	0.00785
31.1	0.9953	0.00783
31.7	0.9951	0.00774

3.3.6- Vazão Sólida

A vazão sólida ou quantidade de sedimentos transportados foi determinada em peso, para todos os ensaios, e em volume para a maioria dos ensaios com dunas e leito plano. O sistema experimental dispunha de uma caixa coletora montada sobre trilhos na saída do canal. Sobre o fundo da caixa coletora foi adaptado um filtro de tecido, que no momento da amostragem retinha os sedimentos transportados e permitia a passagem da água. O tempo de amostragem variava de ensaio para ensaio, tendo como condicionantes a taxa de transporte e a capacidade da caixa coletora. Após a coleta de cada amostra, este filtro era lavado e os sedimentos transportados transferidos para baldes, nos quais decantavam até o dia seguinte. Em seguida, as amostras de cada balde eram transferidas para pequenas bacias metálicas e levadas para secagem por 24 horas em estufa. Em cada ensaio eram coletadas 8 amostras. Depois de secas, as amostras eram pesadas numa balança de precisão e, de acordo com o tempo de amostragem, determinava-se a taxa média de transporte como sendo igual à média aritmética das taxas de transporte individuais de cada amostra.

3.4 - Planejamento dos Ensaios

Com o objetivo de investigar o comportamento das misturas sob diferentes regimes de transporte e resistência, ficou definida a necessidade de realizar ensaios com várias formas do leito. Optou-se por trabalhar com ripples, dunas e leito plano, visto que a maioria dos trabalhos de pesquisa neste campo de estudo abrangem estas formas do leito.

Para poder verificar a influência da distribuição granulométrica do material do leito, foram preparadas, como descrito anteriormente, três misturas tendo diferentes distribuições granulométricas e um mesmo diâmetro mediano (D_{50}). Dessa forma, cada mistura foi submetida a uma série de ensaios abrangendo as três formas do leito. Para se ter uma maior confiança nos resultados obtidos, cada ensaio era repetido pelos

menos uma vez nas mesmas condições, para cada mistura e forma do leito. Por exemplo: na primeira série de ensaios (primeira mistura), os ensaios com ripples identificados pelo código D1, correspondem a ensaios repetidos sob as mesmas condições, ou seja, mesma vazão e aproximadamente uma mesma profundidade média de fluxo. Na segunda e terceira séries de ensaios (segunda e terceira misturas), D2 e D3 correspondem às repetições realizadas, nas mesmas condições, com as outras duas misturas, respectivamente. Em resumo, tem-se para uma mesma vazão e aproximadamente uma mesma profundidade média de fluxo, seis ensaios (dois com cada mistura).

Numa fase preliminar de ensaios foram definidas as faixas de profundidade para cada vazão, dentro das quais eram obtidos ripples ou dunas. Isto propiciou um ganho de tempo considerável durante a realização dos ensaios definitivos.

O número de ensaios com cada mistura foi definido procurando-se realizar para cada vazão, dentro da faixa de vazões (16l/s a 40l/s) definida na fase preliminar de ensaios, pelo menos um ensaio. Observou-se também algumas limitações do sistema experimental, por exemplo: para a obtenção de ripples num ensaio cuja vazão fosse igual a 35l/s, seria necessária uma profundidade média de fluxo maior que a profundidade média máxima que o canal, devido às suas dimensões, podia oferecer e que era igual a 25cm (considerando um leito de sedimentos com espessura média de 15cm e a altura de 40cm da comporta).

Definiu-se, então, fazer pelo menos sete ensaios com cada forma do leito, escolhendo-se sete diferentes vazões dentro da faixa acima citada. Devido ao excessivo desgaste da bomba de sedimentos durante os ensaios com leito plano, tais ensaios, além de em menor número, eram sempre feitos por último em cada série. Considerando as repetições, o número total de ensaios foi de, pelo menos, 14 com ripples, 14 com dunas, e 8 com leito plano, para cada mistura.

3.5 - Procedimento Experimental

Devido ao grande número de informações que seriam obtidos de cada ensaio, definiu-se com antecedência dois modelos de folha de medição, sendo um referente aos dados obtidos ao longo do ensaio e outro referente às amostras coletadas no final de cada ensaio.

Como citado anteriormente, a fase preliminar de ensaios permitiu determinar as faixas de obtenção de cada forma do leito para diversas vazões. Dessa forma, já sabia-se antes de começar cada ensaio, que para determinada vazão, profundidade e abertura da comporta, o leito se deformaria em ripples, dunas ou leito plano. O procedimento utilizado em cada ensaio é descrito a seguir.

Após o lançamento do leito de sedimento com aproximadamente 15cm de espessura, definido para aquela série de ensaios e ajustada a declividade do canal, previamente definida, escorvava-se e ligava-se a bomba de sedimentos. Com a comporta ainda fechada, após o leito está totalmente coberto por uma pequena lâmina de água, procedia-se a regularização do leito, eliminando as deformações formadas durante o ensaio do dia anterior. Este procedimento favorecia que a condição de equilíbrio do fluxo fosse alcançada mais rapidamente.

Regularizado o leito, ligava-se a bomba principal no modo manual e, aduzia-se uma pequena vazão ao canal, ao mesmo tempo que a comporta era lentamente aberta de modo a permitir que se estabelecesse uma profundidade em torno de 15cm. Este procedimento servia apenas para efetuar a transição para o modo de controle automático da vazão, realizado via computador. Antes de mudar para o modo automático, o computador era ligado e o programa FLOW carregado no sistema. Este programa permitia criar, modificar, visualizar graficamente e carregar outros programas na forma de hidrogramas. Estes programas de controle na forma de hidrogramas, definiam a lei de crescimento das vazões ao longo do tempo, uma vez que fossem carregados no sistema e acionado o modo de controle automático.

Nos hidrogramas, os valores de vazão eram expressos em termos percentuais em relação à vazão máxima de 80l/s que podia ser aduzida ao canal. Uma vez que, determinado hidrograma era carregado no sistema, dois mostradores na tela permitiam saber qual a vazão que estava sendo aduzida ao canal num determinado instante. Um mostrador indicava o percentual em relação à vazão máxima de 80l/s e o outro indicava o percentual relativo à vazão máxima definida no hidrograma. Por exemplo: se estivesse carregado no sistema um hidrograma cuja vazão máxima fosse de 40l/s, no momento em que estivesse sendo aduzida no canal uma vazão de 20 l/s, os mostradores indicariam 50% ($20 = 0.5 \times 40$) e o outro indicaria 25% ($20 = 0.25 \times 80$).

A mudança do controle de vazão para o modo automático era feita mediante o acionamento de uma chave no painel do sistema de controle e, simultaneamente, a inicialização do hidrograma. O hidrograma era interrompido quando atingia o valor de vazão previamente definido para aquele ensaio, esta interrupção e/ou uma reinicialização eram feitas utilizando as funções F1 e F2 no teclado. A medida que o hidrograma se desenvolvia, a comporta ia sendo aberta gradativamente de modo que, quando a vazão alcançava o valor desejado, a comporta estava com sua abertura final. Eventualmente esta abertura era modificada para ajustar a profundidade de fluxo. Após fixadas a vazão e a abertura da comporta, restava acompanhar a evolução do sistema até alcançar a condição de equilíbrio, o que acontecia em média após 7 a 9 horas de ensaios para os casos de dunas e ripples e por volta de 2 horas para os casos de leito plano. Durante este tempo, o leito do canal ia adquirindo formas definitivas. Leituras piezométricas também eram feitas ao longo do ensaio e, uma vez que a condição de equilíbrio fosse alcançada, estas leituras se tornavam constantes. Formas do leito definidas, declividade da superfície d'água constante e profundidade média mais ou menos invariável, eram os sinais que surgiam a medida que a condição de equilíbrio era alcançada.

Após constatar-se que a condição de equilíbrio havia sido alcançada, procedia-se a coleta de amostras dos sedimentos transportados. Em cada experimento eram coletadas oito amostras, com um mesmo intervalo de tempo. A taxa média de

transporte era igual a média aritmética das taxas calculadas para as 8 amostras. Para finalizar o ensaio, leituras finais dos piezômetros e da superfície de água eram realizadas e o sistema desligado. Após drenagem do canal efetuava-se o levantamento do perfil do leito e determinava-se a profundidade média de fluxo, como descrito anteriormente.

3.6 – Apresentação dos Dados Coletados

Foram realizados ao todo 111 experimentos divididos em três séries, correspondentes às três misturas utilizadas, de acordo com a seguinte distribuição:

1. primeira mistura: 16 experimentos com ripples, 14 com dunas e 9 com leito plano, totalizando 39 experimentos;
2. segunda mistura: 15 experimentos com ripples, 13 com dunas e 8 com leito plano, totalizando 36 experimentos;
3. terceira mistura: 14 experimentos com ripples, 14 com dunas e 8 com leito plano, totalizando 36 experimentos;

As tabelas 3.3, 3.4 e 3.5 mostram os dados coletados para as três misturas, respectivamente. A tabela 3.3 apresenta os dados dos experimentos realizados com a primeira mistura, que tinha um $D_{50} = 0.38\text{mm}$, $D_{35} = 0.35\text{mm}$, $D_{65} = 0.40\text{mm}$ e desvio padrão igual a 1.351. A temperatura da água ao longo de toda a série de ensaios variou de 26°C a 28°C . A profundidade média de fluxo para os ensaios com ripples ficou entre 0.115m e 0.223m, com dunas variou de 0.133m a 0.205m e para leito plano de 0.067m a 0.100m. A declividade da superfície da água variou de 0.0006 a 0.0014 para ripples, 0.0015 a 0.0025 para dunas e 0.0040 a 0.0058 para leito plano. As faixas de variação das vazões para as três misturas foi de 17.58l/s a 31.58l/s para os ensaios com ripples, 29.58l/s a 39.58l/s para dunas e 26.17l/s a 38.17l/s para leito plano.

A tabela 3.4 apresenta os dados dos experimentos realizados com a segunda mistura, que tinha um $D_{50} = 0.38\text{mm}$, $D_{35} = 0.31\text{mm}$, $D_{65} = 0.46\text{mm}$ e desvio padrão igual a 1.597. A temperatura da água ao longo de toda a série de ensaios variou de

27°C a 28°C. A profundidade média de fluxo para os ensaios com ripples ficou entre 0.133m e 0.202m, com dunas variou de 0.155m a 0.207m e para leito plano de 0.082m a 0.106m. A declividade da superfície da água variou de 0.0011 a 0.0017 para ripples, 0.0016 a 0.0024 para dunas e 0.0040 a 0.0057 para leito plano.

A tabela 3.5 apresenta os dados dos experimentos realizados com a terceira mistura, que tinha um $D_{50} = 0.38\text{mm}$, $D_{35} = 0.33\text{mm}$, $D_{65} = 0.40\text{mm}$ e desvio padrão igual a 1.532. A temperatura da água ao longo de toda a série de ensaios variou de 24°C a 25°C. A profundidade média de fluxo para os ensaios com ripples ficou entre 0.137m e 0.198m, com dunas variou de 0.132m a 0.192m e para leito plano de 0.064m a 0.096m. A declividade da superfície da água variou de 0.0008 a 0.0017 para ripples, 0.0017 a 0.0024 para dunas e 0.0051 a 0.0073 para leito plano.

N	VAZÃO	PROFUNDID.	FORMA	TEMPER.	LEITURAS		DECLIVID.	CÓDIGO	TAXA DE
	(m ³ / s)	MÉDIA (m)	DO LEITO	DA ÁGUA (C)	PIEZOMÉTRICAS MONT.	JUSAN.	DA SUPER. DE ÁGUA	DE REPET.	TRANSP. (g/s)
7	0.03100	0.133552	DUNAS	26	301	306	0.0017	A1	16.413
8	0.03600	0.156469	DUNAS	27	271	271	0.0022	B1	28.081
9	0.03958	0.205471	DUNAS	26	274	276	0.0020	C1	7.898
10	0.02158	0.161361	RIPPLES	27	252	267	0.0007	D1	0.107
11	0.02658	0.180215	RIPPLES	26	279	293	0.0008	E1	0.284
12	0.02158	0.161677	RIPPLES	26	260	274	0.0008	D1	0.168
13	0.02658	0.186555	RIPPLES	27	278	290	0.0010	E1	0.156
14	0.03158	0.223745	RIPPLES	28	318	334	0.0006	F1	0.006
15	0.01758	0.152502	RIPPLES	27	245	256	0.0011	G1	0.001
16	0.02958	0.201084	RIPPLES	28	304	318	0.0008	H1	0.004
17	0.03158	0.169377	DUNAS	27	279	286	0.0015	A1	6.373
18	0.03758	0.172608	DUNAS	27	284	286	0.0020	B1	21.629
19	0.03958	0.188154	DUNAS	27	281	278	0.0025	C1	25.748
20	0.02958	0.147749	DUNAS	27	260	261	0.0021	I1	6.591
21	0.01758	0.115565	RIPPLES	27	244	253	0.0013	G1	0.138
22	0.03158	0.181353	RIPPLES	27	314	327	0.0009	F1	0.312
23	0.02958	0.218447	RIPPLES	27	298	310	0.0010	H1	0.164
24	0.01758	0.115480	RIPPLES	27	243	252	0.0013	G1	0.142
25	0.02958	0.145500	DUN/RIP	28	255	259	0.0018	I1	4.230
26	0.02558	0.150450	RIPPLES	28	268	276	0.0014	J1	0.611
27	0.02958	0.185550	RIPPLES	28	309	323	0.0008	H1	0.026
28	0.02558	0.169260	RIPPLES	28	290	300	0.0012	J1	0.522
29	0.02264	0.155690	RIPPLES	28	275	285	0.0012	L1	0.816
30	0.02264	0.157690	RIPPLES	28	273	283	0.0012	L1	1.573
31	0.03358	0.162390	DUNAS	28	283	286	0.0019	M1	12.564
32	0.03558	0.163780	DUNAS	28	283	284	0.0021	N1	15.717
33	0.03158	0.145330	DUNAS	28	269	267	0.0024	O1	18.438
34	0.03358	0.155510	DUNAS	28	281	282	0.0021	M1	8.435
35	0.03558	0.171220	DUNAS	28	286	287	0.0021	N1	8.250
36	0.03158	0.154450	DUNAS	28	269	269	0.0022	O1	9.234
37	0.03417	0.095310	L. PLANO	28	198	180	0.0040	P1	84.390
38	0.02217	0.073180	L. PLANO	28	180	153	0.0049	Q1	47.180
39	0.02617	0.067320	L. PLANO	28	174	138	0.0058	R1	96.090
40	0.02617	0.081740	L. PLANO	27	175	151	0.0046	R1	71.520
41	0.03417	0.096860	L. PLANO	27	187	163	0.0046	P1	106.080
42	0.03017	0.085000	L. PLANO	27	175	139	0.0058	S1	113.250
43	0.03017	0.083230	L. PLANO	28	174	142	0.0054	S1	127.280
44	0.03817	0.098910	L. PLANO	28	192	165	0.0049	T1	121.000
45	0.03817	0.100270	L. PLANO	28	190	165	0.0047	T1	110.340

Tabela 3.3 - Dados dos experimentos realizados com a primeira mistura

N	VAZÃO (m ³ /s)	PROFUNDID. MÉDIA (m)	FORMA DO LEITO	TEMPER. DA ÁGUA (C)	LEITURAS PIEZOMÉTRICAS		DECLIVID. DA SUPER. DE ÁGUA	CÓDIGO DE REPET.	TAXA DE TRANSP. (g/s)
					MONT.	JUSAN.			
46	0.03115	0.16279	DUN/RIP	28	277	281	0.0018	A2	5.200
47	0.03115	0.1629	DUN/RIP	27	274	279	0.0017	A2	4.420
48	0.03615	0.17732	DUNAS	28	280	281	0.0021	B2	8.180
49	0.03973	0.20739	DUNAS	28	306	307	0.0021	C2	3.890
50	0.03167	0.18293	RIPPLES	28	298	306	0.0014	F2	0.197
51	0.03617	0.17839	DUNAS	28	279	278	0.0023	B2	17.580
52	0.03167	0.1906	RIPPLES	28	291	299	0.0014	F2	0.216
53	0.02157	0.15433	RIPPLES	28	257	266	0.0013	D2	0.246
54	0.02658	0.18998	RIPPLES	28	291	301	0.0012	E2	0.057
55	0.02658	0.19133	RIPPLES	28	290	301	0.0011	E2	0.047
56	0.02157	0.159950	RIPPLES	28	258	267	0.0013	D2	0.361
57	0.03975	0.205600	DUNAS	28	305	311	0.0016	C2	3.194
58	0.01758	0.133870	RIPPLES	28	229	237	0.0014	G2	0.171
59	0.02958	0.202160	RIPPLES	28	298	308	0.0012	H2	0.408
60	0.01758	0.136720	RIPPLES	28	234	242	0.0014	G2	0.277
61	0.02958	0.198800	RIPPLES	28	295	304	0.0013	H2	0.569
62	0.02958	0.155330	DUN/RIP	28	251	255	0.0018	I2	4.436
63	0.02958	0.155430	DUN/RIP	27	249	255	0.0016	I2	5.062
64	0.03358	0.163960	DUNAS	27	260	260	0.0022	M2	16.065
65	0.02558	0.156630	RIPPLES	27	244	249	0.0017	J2	1.724
66	0.02558	0.151400	RIPPLES	27	240	246	0.0016	J2	1.383
67	0.03558	0.178520	DUNAS	27	258	260	0.0020	N2	8.423
68	0.02264	0.138650	RIPPLES	27	227	233	0.0016	L2	1.161
69	0.02264	0.136070	RIPPLES	27	227	232	0.0017	L2	2.430
70	0.03558	0.176320	DUNAS	27	263	262	0.0023	N2	15.884
71	0.03158	0.159650	DUNAS	27	235	233	0.0024	O2	15.281
72	0.03158	0.166400	DUNAS	27	241	241	0.0022	O2	9.511
73	0.02264	0.145050	RIPPLES	27	222	229	0.0015	L2	0.634
74	0.02617	0.083640	L.PLANO	27	167	141	0.0048	R2	75.517
75	0.03017	0.082430	L.PLANO	27	169	134	0.0057	S2	122.510
76	0.03417	0.096880	L.PLANO	27	174	146	0.0050	P2	125.510
77	0.03817	0.106570	L.PLANO	27	184	159	0.0047	T2	103.278
78	0.02617	0.083690	L.PLANO	27	153	135	0.004	R2	60.531
79	0.03017	0.086070	L.PLANO	27	159	131	0.005	S2	94.831
80	0.03417	0.092100	L.PLANO	27	165	140	0.0047	P2	88.902
81	0.03817	0.103690	L.PLANO	27	172	150	0.0044	T2	102.358

Tabela 3.4 - Dados dos experimentos realizados com a segunda mistura.

N	VAZÃO	PROFUNDID.	FORMA	TEMPER.	LEITURAS		DECLIVID.	CÓDIGO	TAXA DE
	(m ³ / s)	MÉDIA (m)	DO LEITO	DA ÁGUA (C)	PIEZOMÉTRICAS MONT.	JUSAN.	DA SUPER. DE ÁGUA	DE REPET.	TRANSP. (g/s)
82	0.02200	0.16156	RIPPLES	24	322	335	0.0009	D3	0.1140
83	0.02650	0.18668	RIPPLES	24	352	365	0.0009	E3	0.0702
84	0.03167	0.18891	RIPPLES	24	359	365	0.0016	F3	0.6371
85	0.01758	0.16544	RIPPLES	24	303	312	0.0013	G3	0.0317
86	0.02958	0.19856	RIPPLES	24	363	372	0.0013	H3	0.2156
87	0.02558	0.16441	RIPPLES	24	324	328	0.0017	J3	1.5416
88	0.02264	0.15838	RIPPLES	24	319	327	0.0014	L3	1.2500
89	0.02200	0.16835	RIPPLES	24	324	338	0.0008	D3	0.0371
90	0.02650	0.19421	RIPPLES	24	353	367	0.0008	E3	0.0233
91	0.03167	0.19098	RIPPLES	24	355	364	0.0013	F3	0.5117
92	0.01758	0.137380	RIPPLES	24	300	308	0.0014	G3	0.0437
93	0.02958	0.192270	RIPPLES	24	358	367	0.0013	H3	0.1350
94	0.02558	0.155050	RIPPLES	24	316	322	0.0016	J3	1.4933
95	0.02264	0.159590	RIPPLES	24	319	329	0.0012	L3	0.3700
96	0.031	0.137360	DUNAS	25	293	295	0.002	A3	8.4100
97	0.036	0.172020	DUNAS	25	307	307	0.0022	B3	15.6880
98	0.0395	0.192820	DUNAS	25	356	361	0.0017	C3	2.5680
99	0.02958	0.137950	DUNAS	25	296	296	0.0022	I3	4.9350
100	0.03358	0.155640	DUNAS	25	303	301	0.0024	M3	8.0786
101	0.03558	0.164820	DUNAS	25	315	316	0.0021	O3	9.1233
102	0.03158	0.149860	DUNAS	25	299	301	0.0020	O3	10.908
103	0.03100	0.132300	DUNAS	25	301	305	0.0018	A3	5.524
104	0.03600	0.161770	DUNAS	25	311	313	0.002	B3	12.584
105	0.0395	0.189630	DUN/RIP	25	356	359	0.0019	C3	1.775
106	0.02958	0.143250	DUNAS	25	292	295	0.0019	I3	3.068
107	0.03358	0.153540	DUNAS	25	302	303	0.0021	M3	8.400
108	0.03558	0.167690	DUNAS	25	313	313	0.0022	N3	12.024
109	0.03158	0.145340	DUNAS	25	300	301	0.0021	O3	13.820
110	0.03417	0.079560	L. PLANO	25	236	191	0.0067	P3	188.845
111	0.02617	0.064330	L. PLANO	25	224	188	0.0058	R3	116.685
112	0.03017	0.071130	L. PLANO	25	231	180	0.0073	S3	184.75
113	0.03817	0.092570	L. PLANO	25	245	210	0.0057	T3	141.66
114	0.03417	0.082530	L. PLANO	25	229	184	0.0067	P3	141.33
115	0.02617	0.065210	L. PLANO	25	217	167	0.0072	R3	143.25
116	0.03017	0.076850	L. PLANO	25	224	185	0.0051	S3	124.75
117	0.03817	0.096720	L. PLANO	25	239	206	0.0055	T3	126.08

Tabela 3.5 - Dados dos experimentos realizados com a terceira mistura.

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 - Análise dos Dados Experimentais

Os dados experimentais das três séries de ensaios que foram apresentados nas tabelas 3.3, 3.4 e 3.5 do capítulo anterior, constituem-se nas variáveis básicas que caracterizam as condições de fluxo e que serão utilizadas nos cálculos dos demais parâmetros necessários neste estudo.

Esses dados necessitavam de tratamento, considerando as reais condições do canal usado nos experimentos. Tendo o canal paredes laterais de vidro e leito de sedimentos arenosos, a rugosidade do perímetro molhado não era uniforme, sendo bem maior no leito do que nas paredes laterais. Isto implicava necessariamente em influências distintas sobre o escoamento. Tal condição, deveria ser diferenciada de uma situação real em que o canal tem leito e margens erodíveis, ou o canal é muito largo impedindo que o fluxo sofra influência da rugosidade das margens. Como esta última situação era a mais adequada para o trabalho em questão, adotou-se o método de correção recomendado e adaptado para paredes lisas por Vanoni e Brooks [Rêgo (1981), Srinivasan (1969)]. Através deste método são obtidos os parâmetros hidráulicos relativos ao leito. O método de Vanoni e Brooks encontra-se descrito no apêndice 1. Os dados obtidos através deste procedimento a que foram submetidos os dados brutos, são mostrados nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, para a primeira, segunda e terceira misturas, respectivamente. A partir do raio hidráulico relativo ao leito do canal, obtido pelo método de Vanoni e Brooks, e utilizando o método de Einstein e Barbarossa, foram obtidos, separadamente, parâmetros hidráulicos referentes à superfície do leito e às formas do leito, também necessários nesse estudo. As tabelas 4.4, 4.5 e 4.6 mostram estes dados.

N	VAZÃO (m ³ /s)	PROFUND. MÉDIA (m)	VELOCID. MÉDIA (m/s)	PERIMETRO MOLHADO (m)	ÁREA MOLHADA (m ²)	RAIO HIDRÁUL. (m)	VISCOSID. CINEMÁT. (cm ² /s)	DECLIVID. L. ENERG.	VELOCID. CISALHAM (m/s)
7	0,03100	0,133552	0,464246	0,7671	0,0668	0,087	0,00873	0,0017	0,03809
8	0,03600	0,156469	0,460152	0,8129	0,0782	0,0962	0,00854	0,0022	0,04556
9	0,03958	0,205471	0,385263	0,9109	0,1027	0,1128	0,00873	0,0020	0,04703
10	0,02158	0,161361	0,267477	0,8227	0,0807	0,0981	0,00854	0,0007	0,02594
11	0,02658	0,180215	0,294973	0,8604	0,0901	0,1047	0,00873	0,0008	0,02866
12	0,02158	0,161677	0,266947	0,8234	0,0808	0,0982	0,00873	0,0008	0,02775
13	0,02658	0,186555	0,284949	0,8731	0,0933	0,1068	0,00854	0,0010	0,03237
14	0,03158	0,223745	0,282279	0,9475	0,1119	0,1181	0,00836	0,0006	0,02636
15	0,01758	0,152502	0,230557	0,8050	0,0763	0,0947	0,00854	0,0011	0,03190
16	0,02958	0,201084	0,294211	0,9022	0,1005	0,1114	0,00836	0,0008	0,02957
17	0,03158	0,169377	0,372911	0,8387	0,0847	0,101	0,00854	0,0015	0,03854
18	0,03758	0,172608	0,435458	0,8452	0,0863	0,1021	0,00854	0,0020	0,04471
19	0,03958	0,188154	0,420728	0,8763	0,0941	0,1074	0,00854	0,0025	0,0513
20	0,02958	0,147749	0,400433	0,7955	0,0739	0,0929	0,00854	0,0021	0,04371
21	0,01758	0,115565	0,304258	0,7311	0,0578	0,079	0,00854	0,0013	0,03177
22	0,03158	0,181353	0,348277	0,8627	0,0907	0,1051	0,00854	0,0009	0,03040
23	0,02958	0,218447	0,270830	0,9369	0,1092	0,1166	0,00854	0,0010	0,0338
24	0,01758	0,11548	0,304468	0,731	0,0577	0,079	0,00854	0,0013	0,0317
25	0,02958	0,1455	0,406598	0,791	0,0728	0,092	0,00836	0,0018	0,0402
26	0,02558	0,15045	0,340047	0,8009	0,0752	0,0939	0,00836	0,0014	0,0359
27	0,02958	0,18555	0,275721	0,8711	0,0928	0,1065	0,00836	0,0008	0,0289
28	0,02558	0,16926	0,302257	0,8385	0,0846	0,1009	0,00836	0,0012	0,0344
29	0,02264	0,15569	0,290834	0,8114	0,0778	0,0959	0,00836	0,0012	0,0330
30	0,02264	0,15769	0,287146	0,8154	0,0788	0,0967	0,00836	0,0012	0,0337
31	0,03358	0,16239	0,413572	0,8248	0,0812	0,0984	0,00836	0,0019	0,0428
32	0,03558	0,16378	0,434485	0,8276	0,0819	0,099	0,00836	0,0021	0,0451
33	0,03158	0,14533	0,434597	0,7907	0,0727	0,0919	0,00836	0,0024	0,0461
34	0,03358	0,15551	0,431869	0,811	0,0778	0,0959	0,00836	0,0021	0,0444
35	0,03558	0,17122	0,415606	0,8424	0,0856	0,1016	0,00836	0,0021	0,0457
36	0,03158	0,15445	0,408935	0,8089	0,0772	0,0955	0,00836	0,0022	0,0450
37	0,03417	0,09531	0,717029	0,6906	0,0477	0,069	0,00836	0,0040	0,0520
38	0,02217	0,07318	0,605903	0,6464	0,0366	0,0566	0,00836	0,0049	0,0521
39	0,02617	0,06732	0,777481	0,6346	0,0337	0,053	0,00836	0,0058	0,0541
40	0,02617	0,08174	0,640323	0,06635	0,0409	0,0616	0,00854	0,0046	0,0521
41	0,03417	0,09686	0,705554	0,6937	0,0484	0,0698	0,00854	0,0046	0,056
42	0,03017	0,085	0,709882	0,67	0,0425	0,0634	0,00854	0,0058	0,060
43	0,03017	0,08323	0,724979	0,6665	0,0416	0,0624	0,00836	0,0054	0,057
44	0,03817	0,09891	0,771813	0,6978	0,0495	0,0709	0,00836	0,0049	0,058
45	0,03817	0,10027	0,761344	0,7005	0,0501	0,0716	0,00836	0,0047	0,057

TABELA 4.1 - Dados obtidos pelo Método de Vanoni e Brooks (Primeira mistura).

COEF. ATR. DO CANAL	NÚMERO REYNOLDS	RELAÇÃO Re / l	COEF. ATR. PAREDES	COEF. ATR. LEITO	RAIO HIDRA. LEITO (m)	VEL. CISCAL LEITO (m/s)	TENSÃO CIS. LEITO (N/m ²)	CÓDIGO REPET.
0,0539	185163,5	3.437.625	0,0194	0,072294	0,1168	0,0441	1,9414	A1
0,0784	202903,6	2.586.696	0,0205	0,11473	0,1408	0,0551	3,0269	B1
0,1192	199081,9	1.669.960	0,0223	0,198871	0,1881	0,0607	3,6779	C1
0,0753	122857,5	1.632.221	0,0224	0,109406	0,1425	0,0313	0,9750	D1
0,0755	141540,3	1.873.785	0,0218	0,114273	0,1584	0,0353	1,2389	E1
0,0865	120090,2	1.388.831	0,0231	0,12745	0,1447	0,0337	1,1316	D1
0,1032	142588,1	1.381.400	0,0231	0,162989	0,1687	0,0407	1,6485	E1
0,0697	159472,8	2.286.430	0,021	0,11339	0,192	0,0336	1,1251	F1
0,1538	102288,1	665.219	0,0267	0,23129	0,1425	0,0392	1,5314	G1
0,0808	156880,3	1.941.600	0,0216	0,128382	0,1771	0,0373	1,3838	H1
0,0854	176354,6	2.064.172	0,0214	0,12883	0,1522	0,0473	2,2316	A1
0,0845	208256,9	2.465.064	0,0207	0,128545	0,1554	0,0552	3,0362	B1
0,1189	211555,9	1.778.628	0,022	0,191879	0,1732	0,0652	4,2308	C1
0,0954	174169,1	1.825.539	0,0219	0,138836	0,1351	0,0528	2,7730	I1
0,0871	112624,4	1.293.603	0,0234	0,11647	0,1057	0,0367	1,343	G1
0,0612	171456,7	2.802.537	0,0201	0,090966	0,1563	0,0371	1,3744	F1
0,1247	147882,3	1.186.064	0,0238	0,212805	0,199	0,0442	1,9443	H1
0,0869	112649	1.296.293	0,0234	0,116218	0,1056	0,0367	1,342	G1
0,0786	178926,8	2.277.691	0,021	0,112054	0,1312	0,0481	2,3068	I1
0,0892	152818,5	1.713.006	0,0222	0,129545	0,1364	0,0433	1,8653	J1
0,0879	140503,2	1.598.051	0,0225	0,136504	0,1654	0,036	1,2922	H1
0,104	145962,3	1.403.521	0,023	0,158804	0,1541	0,0426	1,8066	J1
0,1068	133507,5	1.250.339	0,0236	0,158577	0,1425	0,0409	1,6703	L1
0,1104	132852,6	1.203.365	0,0238	0,165046	0,1446	0,0412	1,6946	L1
0,0858	194803,3	2.270.766	0,021	0,127863	0,1467	0,0523	2,7233	M1
0,0864	205712,3	2.382.198	0,0208	0,129292	0,1482	0,0552	3,0393	N1
0,0916	191106,8	2.086.033	0,0213	0,13246	0,1329	0,0559	3,1154	O1
0,0847	198108,4	2.339.429	0,0209	0,124364	0,1408	0,0538	2,8884	M1
0,0969	202078,8	2.084.956	0,0213	0,148682	0,1559	0,0567	3,198	N1
0,0985	186797,5	1.895.884	0,0217	0,145961	0,1414	0,0552	3,0395	O1
0,0421	236733,4	5.621.099	0,017	0,051442	0,0843	0,0575	3,2934	P1
0,0593	164113,7	2.768.762	0,0202	0,07072	0,0675	0,057	3,233	Q1
0,0399	197301,3	4.942.114	0,018	0,045813	0,0609	0,0588	3,4485	R1
0,0542	184747,3	3.407.687	0,0194	0,06656	0,0745	0,058	3,3504	R1
0,0506	230708,1	4.558.836	0,0184	0,063103	0,0871	0,0627	3,9129	P1
0,0573	210912,6	3.682.573	0,0191	0,070246	0,0778	0,0665	4,4094	S1
0,0503	216598,2	4.303.822	0,0186	0,060904	0,0756	0,0633	3,9861	S1
0,0457	261717,3	5.722.840	0,0176	0,056858	0,0881	0,0651	4,2177	T1
0,0455	260701,1	5.726.870	0,0176	0,056718	0,0892	0,0641	4,0939	T1

TABELA 4.1 - Continuação.

N	VAZÃO (m ³ /s)	PROFUND. MÉDIA (m)	VELOCID. MÉDIA (m/s)	PERIMETRO MOLHADO (m)	ÁREA MOLHADA (m ²)	RAIO HIDRÁUL. (m)	VISCOSID. CINEMÁT. (cm ² /s)	DECLIVID. DA SUPERF. DE ÁGUA	VELOCID. CISALHAM. (m/s)
46	0,03117	0,162790	0,382947	0,8256	0,0814	0,0986	0,00836	0,0018	0,04172
47	0,03117	0,162900	0,382689	0,8258	0,0815	0,0986	0,00854	0,0017	0,04055
48	0,03617	0,177320	0,448342	0,8546	0,0887	0,1037	0,00836	0,0021	0,04622
49	0,03975	0,207390	0,383336	0,9148	0,1037	0,1134	0,00836	0,0021	0,04831
50	0,03167	0,182930	0,346253	0,8659	0,0915	0,1056	0,00836	0,0014	0,03808
51	0,03617	0,178390	0,405516	0,8568	0,0892	0,1041	0,00836	0,0023	0,04846
52	0,03167	0,191100	0,331450	0,8822	0,0956	0,1083	0,00836	0,0014	0,03716
53	0,02157	0,154330	0,279531	0,8087	0,0772	0,0954	0,00836	0,0013	0,03488
54	0,02658	0,189980	0,279819	0,8800	0,095	0,1079	0,00836	0,0012	0,03564
55	0,02658	0,191330	0,277845	0,8827	0,0957	0,1084	0,00836	0,0011	0,03419
56	0,02157	0,16045	0,268869	0,8209	0,0802	0,0977	0,00836	0,0013	0,03391
57	0,03975	0,2056	0,386673	0,9112	0,1028	0,1128	0,00836	0,0016	0,04207
58	0,01758	0,13387	0,262643	0,7677	0,0669	0,0872	0,00836	0,0014	0,0346
59	0,02958	0,20216	0,292640	0,9063	0,1016	0,1121	0,00836	0,0012	0,03315
60	0,01758	0,13672	0,257168	0,7734	0,0684	0,0884	0,00836	0,0014	0,03483
61	0,02958	0,1988	0,297586	0,8996	0,0999	0,111	0,00836	0,0013	0,03461
62	0,02958	0,15533	0,380867	0,8107	0,0777	0,0958	0,00836	0,0018	0,04112
63	0,02958	0,15543	0,380622	0,8109	0,0777	0,0958	0,00854	0,0016	0,03878
64	0,03358	0,16396	0,409612	0,8279	0,082	0,099	0,00854	0,0022	0,04622
65	0,02558	0,15663	0,326630	0,8143	0,0786	0,0965	0,00854	0,0017	0,03891
66	0,02558	0,1519	0,336801	0,8048	0,0762	0,0947	0,00873	0,0015	0,03605
67	0,03558	0,17852	0,398656	0,857	0,0892	0,1041	0,00854	0,0020	0,04519
68	0,02264	0,13865	0,326578	0,7773	0,0693	0,0892	0,000854	0,0016	0,03741
69	0,02264	0,13657	0,331552	0,7731	0,0683	0,0883	0,00873	0,0016	0,3723
71	0,03558	0,17632	0,403584	0,8526	0,0882	0,1034	0,00854	0,0023	0,04829
72	0,03158	0,15965	0,395615	0,8193	0,0798	0,0974	0,00854	0,0024	0,04789
73	0,03158	0,1664	0,379567	0,8328	0,0832	0,0999	0,00854	0,0022	0,04642
74	0,02264	0,14605	0,310031	0,7921	0,073	0,0922	0,00854	0,0013	0,03428
75	0,02617	0,08364	0,625777	0,6673	0,0418	0,0627	0,00854	0,0048	0,05431
76	0,03017	0,08243	0,732015	0,6649	0,0412	0,062	0,00854	0,0057	0,05886
77	0,03417	0,09688	0,705409	0,6938	0,0484	0,0698	0,00854	0,0050	0,05851
78	0,03817	0,10657	0,716337	0,7131	0,0533	0,0747	0,00854	0,0047	0,05868
79	0,02617	0,08369	0,625403	0,6674	0,0418	0,0627	0,00854	0,0040	0,04959
80	0,03017	0,08607	0,701057	0,6721	0,043	0,064	0,00854	0,0050	0,05601
81	0,03417	0,0921	0,742020	0,6842	0,0461	0,0673	0,00854	0,0047	0,05571
82	0,03817	0,10369	0,736233	0,7074	0,0518	0,0733	0,00854	0,0044	0,05621

TABELA 4.2 - Dados obtidos pelos Métodos de Vanoni e Brooks (Segunda Mistura).

COEF. ATR. DO CANAL	NÚMERO REYNOLDS	RELAÇÃO Re / f	COEF. ATR. PAREDES	COEF. ATR. LEITO	RAIO HIDRA. LEITO (m)	VEL. CISAL LEITO (m/s)	TENSÃO CIS. LEITO (N/m ²)	CÓDIGO REPET.
0,0949	180647,3	1.902.903	0,0217	0,142597	0,1481	0,0511	2,6040	A2
0,0898	176792,6	1.968.378	0,0216	0,134282	0,1475	0,0496	2,4496	A2
0,085	222539,8	2.617.464	0,0204	0,130847	0,1597	0,0573	3,2752	B2
0,1271	207909,4	1.636.027	0,0224	0,213944	0,1908	0,0627	3,9148	C2
0,0968	175006,5	1.808.520	0,022	0,151506	0,1654	0,0477	2,2619	F2
0,1142	201991,4	1.768.348	0,0221	0,179995	0,164	0,0608	3,6858	B2
0,1005	171765	1.708.365	0,0222	0,160429	0,1728	0,0469	2,1947	F2
0,1245	127625,6	1.024.750	0,0244	0,186357	0,1428	0,0427	1,8133	D2
0,1298	144525,9	1.113.582	0,0241	0,210104	0,1748	0,0453	2,0485	E2
0,1212	144083,8	1.189.282	0,0238	0,195643	0,175	0,0434	1,8807	E2
0,1273	125722,7	987.897	0,0245	0,193185	0,1484	0,0418	1,739	D2
0,0947	208726,3	2.203.860	0,0211	0,155219	0,1849	0,0539	2,8899	C2
0,1388	109561,6	789.297	0,0256	0,199407	0,1252	0,0415	1,7129	G2
0,1037	156160,2	1.506.058	0,0227	0,169514	0,1849	0,0424	2,1670	H2
0,1468	108754,2	740.959	0,0259	0,212874	0,1282	0,042	1,7531	G2
0,1093	157326,7	1.439.386	0,0229	0,178339	0,1825	0,0442	2,3173	H2
0,0933	174587,5	1.872.051	0,0218	0,137655	0,1414	0,05	2,4865	I2
0,083	170865,5	2.057.692	0,0214	0,121361	0,1401	0,0469	2,91	I2
0,1019	189974,1	1.865.160	0,0218	0,154341	0,15	0,0569	3,2256	M2
0,1142	143940,6	1.259.964	0,0236	0,171235	0,1448	0,0476	2,4046	J2
0,0923	148872,6	1.613.351	0,0224	0,134854	0,1384	0,0436	1,893	J2
0,1028	194458,7	1.891.401	0,0218	0,160683	0,1628	0,0565	3,1809	N2
0,105	136423,7	1.299.750	0,0234	0,150184	0,1276	0,0447	1,9952	L2
0,1008	134172,7	1.330.446	0,0233	0,143205	0,1254	0,0444	1,9615	L2
0,1145	195453	1.706.458	0,0222	0,179658	0,1622	0,0605	3,645	N2
0,1172	180539,1	1.540.383	0,0226	0,177616	0,1477	0,0589	3,4627	O2
0,1197	177612,5	1.484.103	0,0228	0,184186	0,1538	0,0576	3,3054	O2
0,0978	133874,7	1.368.647	0,0232	0,141421	0,1333	0,0412	1,6932	L2
0,0603	183695,2	3.048.162	0,0198	0,073818	0,0768	0,0601	3,6007	R2
0,0517	212543,2	4.108.710	0,0187	0,062616	0,075	0,0648	4,1794	S2
0,055	230694,8	4.191.532	0,0186	0,069141	0,0877	0,0656	4,2855	P2
0,0537	250697,2	4.669.539	0,0183	0,068788	0,0957	0,0664	4,3968	T2
0,0503	183667,7	3.651.243	0,0191	0,060732	0,0757	0,0545	2,9589	R2
0,0511	210241,1	4.114.440	0,0187	0,06225	0,078	0,0618	3,8109	S2
0,0451	233918,2	5.190.012	0,0179	0,055086	0,0823	0,0616	3,778	P2
0,0467	252738,5	5.415.185	0,0178	0,058668	0,0921	0,063	3,9611	T2

TABELA 4.2 - Continuação.

N	VAZÃO (m ³ /s)	PROFUND. MÉDIA (m)	VELOCID. MÉDIA (m/s)	PERIMETRO MOLHADO (m)	ÁREA MOLHADA (m ²)	RAIO HIDRÁUL. (m)	VISCOSID. CINEMÁT. (cm ² /s)	DECLIVID. DA SUPERF. DE ÁGUA	VELOCID. CISALHAM. (m/s)
83	0,02200	0,161560	0,272345	0,8231	0,0808	0,0981	0,00914	0,0009	0,02943
84	0,02650	0,186680	0,283908	0,8734	0,0933	0,1069	0,00914	0,0009	0,03071
85	0,03167	0,188910	0,335292	0,8778	0,0945	0,1076	0,00914	0,0016	0,04109
86	0,01758	0,165440	0,212524	0,8309	0,0827	0,0996	0,00914	0,0013	0,03562
87	0,02958	0,198560	0,297945	0,8971	0,0993	0,1107	0,00914	0,0013	0,03756
88	0,02558	0,164410	0,311173	0,8288	0,0822	0,0992	0,00914	0,0017	0,04066
89	0,02264	0,158380	0,285895	0,8168	0,0792	0,097	0,00914	0,0014	0,03648
90	0,02200	0,168350	0,261360	0,8367	0,0842	0,1006	0,00914	0,0008	0,02809
91	0,02650	0,194210	0,272900	0,8884	0,0971	0,1093	0,00914	0,0008	0,02928
92	0,03167	0,190980	0,331658	0,882	0,0955	0,1083	0,00914	0,0013	0,03715
93	0,01758	0,13738	0,255932	0,7748	0,0687	0,0887	0,00914	0,0014	0,03489
94	0,02958	0,19227	0,307692	0,8845	0,0961	0,1087	0,00914	0,0013	0,03722
95	0,02558	0,15505	0,329958	0,8101	0,0775	0,0957	0,00914	0,0016	0,03875
96	0,02264	0,15959	0,283727	0,8192	0,0798	0,0974	0,00914	0,0012	0,03386
97	0,031	0,13736	0,451369	0,7747	0,0687	0,0887	0,00893	0,0020	0,0417
98	0,036	0,17202	0,418556	0,844	0,086	0,1019	0,00893	0,0022	0,04689
99	0,0395	0,19282	0,409709	0,8856	0,0964	0,1089	0,00893	0,0017	0,0426
100	0,02958	0,13795	0,428851	0,7759	0,069	0,0889	0,00893	0,0022	0,04379
101	0,03358	0,15564	0,431509	0,8113	0,0778	0,0959	0,00893	0,0021	0,04444
102	0,03558	0,16482	0,431744	0,8296	0,0824	0,0993	0,00893	0,0021	0,04523
103	0,03158	0,14986	0,421460	0,7997	0,0749	0,0937	0,00893	0,0020	0,04287
104	0,031	0,1323	0,468632	0,7646	0,0661	0,0865	0,00893	0,0018	0,03908
105	0,036	0,16177	0,445076	0,8235	0,0809	0,0982	0,00893	0,0020	0,04389
106	0,0395	0,18963	0,416600	0,8793	0,0948	0,1078	0,00893	0,0019	0,04482
107	0,02958	0,14325	0,412984	0,7865	0,0716	0,0911	0,00893	0,0019	0,04119
108	0,03358	0,15354	0,437411	0,8071	0,0768	0,0951	0,00893	0,0021	0,04426
109	0,03558	0,16769	0,424355	0,8354	0,0838	0,1004	0,00893	0,0022	0,04653
110	0,03158	0,14534	0,434567	0,7907	0,0727	0,0919	0,00893	0,0021	0,0435
111	0,03417	0,079560	0,858974	0,6591	0,0398	0,0604	0,00893	0,0067	0,06297
112	0,02617	0,064330	0,813617	0,6287	0,0322	0,0512	0,00893	0,0058	0,05394
113	0,03017	0,071130	0,848306	0,6423	0,0356	0,0554	0,00893	0,0073	0,06296
114	0,03817	0,092570	0,824673	0,6851	0,0463	0,0676	0,00893	0,0057	0,06144
115	0,03417	0,082530	0,828063	0,6651	0,0413	0,062	0,00893	0,0067	0,06384
116	0,02617	0,065210	0,802638	0,6304	0,0326	0,0517	0,00893	0,0072	0,0604
117	0,03017	0,076850	0,785166	0,6537	0,0384	0,0588	0,00893	0,0051	0,0542
118	0,03817	0,096720	0,789289	0,6934	0,0484	0,0697	0,00893	0,0055	0,0613

TABELA 4.3 - Dados obtidos pelo Método de VAnoni e Brooks (Terceira Mistura).

COEF. ATR. DO CANAL	NÚMERO REYNOLDS	RELAÇÃO Re/f	COEF. ATR. PAREDES	COEF. ATR. LEITO	RAIO HIDRA. LEITO (m)	VEL. CISAL LEITO (m/s)	TENSÃO CIS. LEITO (N/m ²)	CÓDIGO REPET.
0,0934	116969,7	1.252.120	0,0236	0,138541	0,1455	0,0358	1,2810	D3
0,0936	132790,3	1.418.482	0,023	0,146348	0,1671	0,0384	1,4706	E3
0,1201	157890,6	1.314.270	0,0234	0,193258	0,1731	0,0521	2,7084	F3
0,2248	92596,5	411.921	0,0296	0,353956	0,1568	0,0447	1,9930	G3
0,1271	144298,4	1.135.005	0,024	0,209037	0,182	0,0482	2,3133	H3
0,1366	135068,5	988.758	0,0245	0,210299	0,1527	0,0505	2,5385	J3
0,1303	121309,8	931.155	0,0248	0,197093	0,1467	0,0449	2,0083	L3
0,0924	115071,2	1.244.975	0,0236	0,138765	0,151	0,0344	1,1817	D3
0,0921	130539,3	1.417.278	0,023	0,145791	0,173	0,0368	1,3536	E3
0,1004	157149,5	1.565.522	0,0225	0,159844	0,1724	0,0469	2,1919	F3
0,1487	99303,7	668.005	0,0267	0,215699	0,1286	0,042	1,7613	G3
0,1171	146350,6	1.150.082	0,0236	0,188961	0,1754	0,0473	2,2302	H3
0,1103	138189,7	1.252.530	0,0236	0,164123	0,1424	0,0473	2,2275	J3
0,1139	120951,4	1.061.825	0,0243	0,171126	0,1463	0,0415	1,7173	L3
0,0683	179236,1	2.625.372	0,0204	0,094573	0,1228	0,0491	2,4012	A3
0,1004	191050,4	1.903.113	0,0217	0,15451	0,1568	0,0582	3,3734	B3
0,0865	199778,3	2.309.951	0,0209	0,137039	0,1725	0,0536	2,8668	C3
0,0834	170765,8	2.047.026	0,0214	0,117636	0,1254	0,052	2,6962	I3
0,0849	185403,8	2.184.620	0,0212	0,124525	0,1407	0,0538	2,8896	M3
0,0878	192098,9	2.188.193	0,0212	0,131715	0,149	0,0554	3,0598	N3
0,0732	188083,8	2.569.637	0,0205	0,104789	0,1341	0,0513	2,6228	O3
0,0556	181608,4	3.264.749	0,0195	0,074727	0,1162	0,0453	2,0452	A3
0,0778	195806,2	2.517.099	0,0206	0,114815	0,145	0,0533	2,8345	B3
0,0926	201228	2.172.868	0,0212	0,146783	0,1709	0,0564	3,1748	C3
0,0796	168464,3	2.116.770	0,0213	0,112989	0,1293	0,0491	2,4016	I3
0,0819	186368,6	2.275.490	0,021	0,119304	0,1386	0,0534	2,8447	M3
0,0962	190778,9	1.983.309	0,0215	0,146266	0,1526	0,0574	3,2825	N3
0,0802	178904	2.231.404	0,0211	0,114529	0,1313	0,052	2,6955	O3
0,043	232214,3	5.401.227	0,0178	0,051023	0,0716	0,0686	4,6917	P3
0,0352	186464,6	5.302.237	0,0178	0,039631	0,0577	0,0573	3,2695	R3
0,0441	210413,2	4.774.869	0,0182	0,051432	0,0646	0,068	4,6126	S3
0,0444	249546,5	5.618.203	0,0177	0,054328	0,0826	0,068	4,6046	T3
0,0476	230140,3	4.838.840	0,0181	0,057277	0,0747	0,0701	4,8946	P3
0,0453	185944	4.100.650	0,0187	0,05229	0,0596	0,0649	4,1982	R3
0,0381	206730,9	5.419.271	0,0177	0,044418	0,0684	0,0585	3,4126	S3
0,0483	246559,5	5.104.715	0,0179	0,060047	0,0867	0,0684	4,662	T3

TABELA 4.3 - Continuação.

RAIO HIDR. SUPERF LEITO ARBITR. (m)	DECLIVID. L. ENERG.	VEL. CISAL SUPERF LEITO (m/s)	VISCOSID. CINEMÁT. (cm ² /s)	ESPESSURA SUBCAMADA LIMITE (m)	RUGOS. EQUIV. K _s =D65 (m)	RELAÇÃO K _s /DELTA	FATOR DE CORREÇÃO X = f(K _s /DELTA)	VELOCIDADE CALCUL. (U') (m/s)	DIÂMETRO D35 (m)
0.0134699	0.0017	0.014985	8.73E-07	0.00067580	4.00E-04	0.59189	1.471889	0.23988	3.50E-04
0.0257303	0.0022	0.023560	8.54E-07	0.00042047	4.00E-04	0.95131	1.611131	0.42056	3.50E-04
0.0389496	0.0020	0.027064	8,73 E-07	0.00036640	4.00E-04	1.09169	1.608582	0.52185	3.50E-04
0.0127499	0.0007	0.009355	8.54E-07	0.00105893	4.00E-04	0.37774	1.175479	0.14322	3.50E-04
0.0136799	0.0008	0.010359	8.73E-07	0.00097755	4.00E-04	0.40919	1.238371	0.16177	3.50E-04
0.0128099	0.0008	0.010025	8.73E-07	0.00101020	4.00E-04	0.39596	1.211920	0.15435	3.50E-04
0.0140998	0.0010	0.011759	8.54E-07	0.00084249	4.00E-04	0.47478	1.342177	0.18687	3.50E-04
0.0159298	0.0006	0.009681	8.36E-07	0.00100170	4.00E-04	0.39932	1.218642	0.15447	3.50E-04
0.0123999	0.0011	0.011565	8.54E-07	0.00085657	4.00E-04	0.46698	1.330466	0.17983	3.50E-04
0.0147798	0.0008	0.010768	8.36E-07	0.00090061	4.00E-04	0.44414	1.288282	0.17128	3.50E-04
0.0180199	0.0015	0.016281	8.54E-07	0.00060848	4.00E-04	0.65737	1.518687	0.27372	3.50E-04
0.0275404	0.0020	0.023241	8.54E-07	0.00042626	4.00E-04	0.93840	1.609841	0.41874	3.50E-04
0.0460387	0.0025	0.033595	8.54E-07	0.00029488	4.00E-04	1.35651	1.568699	0.64625	3.50E-04
0.0229902	0.0021	0.021758	8.54E-07	0.00045529	4.00E-04	0.87856	1.599640	0.38188	3.50E-04
0.0098900	0.0013	0.011228	8.54E-07	0.00088227	4.00E-04	0.45338	1.306755	0.16775	3.50E-04
0.0134299	0.0009	0.010887	8.54E-07	0.00090994	4.00E-04	0.43959	1.279590	0.17039	3.50E-04
0.0177899	0.0010	0.013208	8.54E-07	0.00075004	4.00E-04	0.53331	1.413306	0.21927	3.50E-04
0.0098900	0.0013	0.011228	8.54E-07	0.00088227	4.00E-04	0.45338	1.306755	0.16775	3.50E-04
0.0172199	0.0018	0.017434	8.36E-07	0.00055625	4.00E-04	0.71911	1.559553	0.29230	3.50E-04
0.0140498	0.0014	0.013888	8.36E-07	0.00069826	4.00E-04	0.57285	1.452850	0.22333	3.50E-04
0.0140498	0.0008	0.010498	8.36E-07	0.00092372	4.00E-04	0.43303	1.273034	0.16536	3.50E-04
0.0138798	0.0012	0.012780	8.36E-07	0.00075882	4.00E-04	0.52714	1.407137	0.20410	3.50E-04
0.0125499	0.0012	0.012152	8.36E-07	0.00079801	4.00E-04	0.50125	1.371872	0.19025	3.50E-04
0.0127799	0.0012	0.012263	8.36E-07	0.00079080	4.00E-04	0.50582	1.378730	0.19270	3.50E-04
0.0233802	0.0019	0.020871	8.36E-07	0.00046464	4.00E-04	0.86088	1.595220	0.36704	3.50E-04
0.0267104	0.0021	0.023453	8.36E-07	0.00041349	4.00E-04	0.96737	1.612737	0.42088	3.50E-04
0.0257903	0.0024	0.024637	8.36E-07	0.00039363	4.00E-04	1.01619	1.613867	0.44001	3.50E-04
0.0246603	0.0021	0.022535	8.36E-07	0.00043034	4.00E-04	0.92950	1.608950	0.39978	3.50E-04
0.0292705	0.0021	0.024551	8.36E-07	0.00039500	4.00E-04	1.01267	1.614113	0.44626	3.50E-04
0.0258803	0.0022	0.023629	8.36E-07	0.00041041	4.00E-04	0.97463	1.613462	0.42220	3.50E-04

A 4.4 - Dados obtidos pelo Método de Einstein e Barbarossa (Primeira Mistura).

1.	RELAÇÃO (U' / U'') f(INTCIS)	VELOC. CISAL. FORMAS LEIT U'' (m/s)	RAIO HIDRA. FORMAS LEIT R'' (m)	RAIO HIDR. SUPERF LEITO CALC. (m)	DIFERENÇA R'calc - R'arb (m)	VEL. CISAL SUPERF. LEITO (m/s)	MASSA ESPEC DA ÁGUA (Kg/m3)	TENSÃO CISA. SUPERF. LEITO (N/m2)	ENSAIOS CORRESPOND
	5.7824	0.04148	0.103235	0.013565	9.55E-05	0.015038	996.80	0.22541	A1
	8.4434	0.04981	0.114997	0.025803	7.30E-05	0.023594	996.50	0.55471	B1
	9.6519	0.05407	0.149054	0.039046	9.62E-05	0.027672	996.80	0.76332	C1
	4.8000	0.02984	0.129700	0.0128	4.97E-05	0.009373	996.50	0.08755	D1
	4.8000	0.03370	0.014479	0.013621	-5.89E-05	0.010337	996.80	0.10651	E1
	4.8000	0.03216	0.131813	0.012887	7.76E-05	0.010055	996.80	0.10078	D1
	4.8000	0.03893	0.154555	0.014145	4.57E-05	0.011778	996.50	0.13823	E1
	4.8000	0.03218	0.176015	0.015985	5.54E-05	0.009698	996.20	0.09369	F1
	4.8000	0.03746	0.130122	0.012378	-2.20E-05	0.011555	996.50	0.13305	G1
	4.8000	0.03568	0.162320	0.01478	2.73E-07	0.010768	996.20	0.11551	H1
	6.1635	0.04441	0.134089	0.018111	9.11E-05	0.016322	996.50	0.26546	A1
	8.3643	0.05006	0.127795	0.027605	6.42E-05	0.023268	996.50	0.53949	B1
	11.579	0.05581	0.127065	0.046135	9.61E-05	0.03363	996.50	1.12704	C1
	7.9507	0.04803	0.112029	0.023071	8.06E-05	0.021797	996.50	0.47343	I1
	4.8000	0.03495	0.095805	0.009895	5.41E-06	0.011231	996.50	0.12570	G1
	4.8000	0.03550	0.142784	0.013516	8.62E-05	0.010922	996.50	0.11887	F1
	5.2030	0.04214	0.181113	0.017887	9.70E-05	0.013244	996.50	0.17478	H1
	4.8000	0.03495	0.095805	0.009795	-9.46E-05	0.011175	996.50	0.12443	G1
	6.5190	0.04484	0.113902	0.017298	7.83E-05	0.017474	996.20	0.30417	I1
	5.4512	0.04097	0.122265	0.014135	8.47E-05	0.01393	996.20	0.19331	J1
	4.8000	0.03445	0.151287	0.014113	6.35E-05	0.010522	996.20	0.11029	H1
	5.0262	0.04061	0.140137	0.013963	8.37E-05	0.012818	996.20	0.16369	J1
	4.8661	0.03910	0.129904	0.012596	4.64E-05	0.012175	996.20	0.14766	L1
	4.8937	0.03938	0.131764	0.012836	5.63E-05	0.01229	996.20	0.15047	L1
	7.6599	0.04792	0.123236	0.023464	8.41E-05	0.020909	996.20	0.43551	M1
	8.4172	0.05000	0.121415	0.026785	7.43E-05	0.023485	996.20	0.54947	N1
	8.7680	0.05018	0.107011	0.025889	9.92E-05	0.024684	996.20	0.60698	O1
	8.1776	0.04889	0.116061	0.024739	7.84E-05	0.022571	996.20	0.5075	M1
	8.742	0.05105	0.126543	0.029357	8.62E-05	0.024587	996.20	0.60223	N1
	8.4600	0.04991	0.115449	0.025951	7.08E-05	0.023661	996.20	0.55772	O1

A 4.4 -Continuação.

N	RAIO HIDR. SUPERF LEITO ARBITR. (m)	DECLIVID. L. ENERG.	VEL. CISAL SUPERF LEITO (m/s)	VISCOSID. CINEMÁT. (m ² /s)	ESPESSURA SUBCAMADA LIMITE (m)	RUGOS. EQUIV. K _s =D65 (m)	RELAÇÃO K _s /DELTA	FATOR DE CORREÇÃO X = f(K _s /DELTA)	VELOCIDADE CALCUL. (U') (m/s)	DIÂMETRO D35 (m)
46	0,0272304	0,0018	0,021923	8,36E-03	0,000442	4,60E-04	1,03993	1,612205	0,38682	3,10E-04
47	0,0255203	0,0017	0,020626	8,54E-03	0,000480	4,60E-04	0,95776	1,611776	0,36057	3,10E-04
48	0,0389596	0,0021	0,028325	8,36E-03	0,000342	4,60E-04	1,34356	1,571288	0,52328	3,10E-04
49	0,0572190	0,0021	0,034326	8,36E-03	0,000283	4,60E-04	1,62824	1,492939	0,66272	3,10E-04
50	0,0234302	0,0014	0,017935	8,36E-03	0,000541	4,60E-04	0,85073	1,592682	0,30917	3,10E-04
51	0,0472690	0,0023	0,032651	8,36E-03	0,000297	4,60E-04	1,54879	1,517925	0,61616	3,10E-04
52	0,0261103	0,0014	0,018933	8,36E-03	0,000512	4,60E-04	0,89807	1604517	0,33184	3,10E-04
53	0,0167300	0,0013	0,014604	8,36E-03	0,000664	4,60E-04	0,69272	1,546361	0,23839	3,10E-04
54	0,0211301	0,0012	0,015768	8,36E-03	0,000615	4,60E-04	0,74796	1,566991	0,26711	3,10E-04
55	0,0194900	0,0011	0,014499	8,36E-03	0,000669	4,60E-04	0,68777	1,543884	0,24215	3,10E-04
56	0,0163898	0,0012	0,013887	8,36E-03	0,000698	4,60E-04	0,65874	1,519372	0,22537	3,10E-04
57	0,0352201	0,0016	0,023507	8,36E-03	0,000413	4,60E-04	1,11505	1,606796	0,42967	3,10E-04
58	0,0145898	0,0014	0,014153	8,36E-03	0,000685	4,60E-04	0,67132	1,531318	0,22584	3,10E-04
59	0,0238103	0,0012	0,013657	8,36E-03	0,000710	4,60E-04	0,64781	1,513903	0,22658	3,10E-04
60	0,0151798	0,0014	0,014436	8,36E-03	0,000672	4,60E-04	0,68476	1,542378	0,23205	3,10E-04
61	0,0206501	0,0011	0,014925	8,36E-03	0,000650	4,60E-04	0,70794	1,55397	0,25165	3,10E-04
62	0,0252903	0,0018	0,021128	8,36E-03	0,000459	4,60E-04	1,00220	1,614846	0,36897	3,10E-04
63	0,0205500	0,0016	0,017956	8,54E-03	0,000552	4,60E-04	0,83378	1,58845	0,30353	3,10E-04
64	0,0365999	0,0022	0,028099	8,54E-03	0,000353	4,60E-04	1,30479	1,579043	0,51508	3,10E-04
65	0,0219001	0,0016	0,018537	8,73E-03	0,000546	4,60E-04	0,84200	1,590501	0,31635	3,10E-04
66	0,0171499	0,0014	0,015344	8,54E-03	0,000646	4,60E-04	0,71250	1,556248	0,25167	3,10E-04
67	0,0370200	0,0020	0,026945	8,54E-03	0,000368	4,60E-04	1,25118	1,589763	0,49515	3,10E-04
68	0,0175499	0,0016	0,016594	8,54E-03	0,000597	4,60E-04	0,77052	1,572631	0,27355	3,10E-04
69	0,0169699	0,0016	0,016317	8,73E-03	0,000621	4,60E-04	0,74119	1,565298	0,26743	3,10E-04
71	0,0456387	0,0023	0,032083	8,54E-03	0,000309	4,60E-04	1,48977	1,537558	0,60366	3,10E-04
72	0,0387291	0,0024	0,030190	8,54E-03	0,000328	4,60E-04	1,40188	1,559529	0,55674	3,10E-04
73	0,0385597	0,0022	0,028842	8,54E-03	0,000343	4,60E-04	1,33926	1,572147	0,53214	3,10E-04
74	0,0150298	0,0013	0,013842	8,54E-03	0,000716	4,60E-04	0,64274	1,511371	0,22145	3,10E-04

TABELA 4.5 - Dados obtidos pelo Método de Einstein e Barbarossa (Segunda Mistura).

INTENSIDADE DE CISALHAM.	RELAÇÃO (U' / U'') f(INTCIS)	VELOC. CISAL. FORMAS LEIT U'' (m/s)	RAIO HIDRA. FORMAS LEIT R'' (m)	RAIO HIDR. SUPERF LEITO CALC. (m)	DIFERENÇA R'calc - R'arb (m)	VEL. CISAL SUPERF. LEITO (m/s)	MASSA ESPEC DA ÁGUA (Kg/m3)	TENSÃO CISA. SUPERF. LEITO (N/m2)	CÓDIGO REPET.
10,4356	8,37802	0,04617	0,120775	0,0273252	9,48E-05	0,021923	996,20	0,47879	A2
11,7899	7,198822	0,04508	0,121898	0,0256022	8,19E-05	0,020626	996,50	0,42394	A2
6,2519	10,49848	0,04984	0,120644	0,0390556	9,60E-05	0,028325	996,20	0,79926	B2
4,2568	12,64044	0,05243	0,133483	0,0573166	9,76E-05	0,034326	996,20	1,17380	C2
15,5934	7,005051	0,04414	0,141889	0,0235106	8,04E-05	0,017935	996,20	0,32044	F2
4,7048	12,01328	0,05129	0,116639	0,0473611	9,21E-05	0,032651	996,20	1,06204	B2
13,9928	7,382006	0,04495	0,147197	0,0262033	9,30E-05	0,018933	996,20	0,35709	F2
23,5183	5,948168	0,04008	0,125998	0,0168019	7,19E-05	0,014604	996,20	0,21247	D2
20,1726	6,282736	0,04252	0,153611	0,0211895	5,94E-05	0,015768	996,20	0,24769	E2
23,8584	5,914161	0,04095	0,15542	0,0195797	8,97E-05	0,014499	996,20	0,20942	E2
26,0070	5,719438	0,03940	0,131952	0,0164477	5,79E-05	0,013887	996,20	0,19212	D2
9,0769	8,869261	0,04845	0,149585	0,0353149	9,48E-05	0,023507	996,20	0,55048	C2
25,0420	5,796644	0,03896	0,110566	0,0146342	4,44E-05	0,014153	996,20	0,19955	G2
26,8927	5,648581	0,04011	0,164089	0,0191117	-4,70E-03	0,013657	996,20	0,18580	H2
24,0686	5,893136	0,03938	0,112938	0,0152617	8,19E-05	0,014436	996,20	0,20761	G2
22,5181	6,048195	0,04161	0,160497	0,0207029	5,28E-05	0,014925	996,20	0,22191	H2
11,2362	8,153866	0,04525	0,116012	0,0253884	9,81E-05	0,021128	996,20	0,44470	I2
15,5566	7,010949	0,04329	0,119468	0,0206323	8,23E-05	0,017956	996,50	0,32129	I2
6,3525	10,41802	0,04944	0,113311	0,0366892	8,93E-05	0,028099	996,50	0,78679	M2
14,5975	7,21269	0,04386	0,122612	0,0219876	8,75E-05	0,018537	996,80	0,34252	J2
21,3038	6,169625	0,04079	0,121202	0,0171983	4,84E-05	0,015344	996,50	0,23461	J2
6,9084	9,973258	0,04965	0,125682	0,0371182	9,82E-05	0,026945	996,50	0,72349	N2
18,2159	6,585454	0,04154	0,109974	0,0176259	7,60E-05	0,016594	996,50	0,27440	L2
18,8385	6,48584	0,04123	0,108363	0,0170365	6,66E-05	0,016317	996,80	0,26539	L2
4,8729	11,77799	0,05125	0,116472	0,0457284	8,97E-05	0,032083	996,50	1,02572	N2
5,5030	10,99822	0,05062	0,108883	0,0388175	8,84E-05	0,030190	996,50	0,90825	O2
6,0296	10,67631	0,04984	0,115157	0,0386434	8,37E-05	0,028842	996,50	0,82895	O2
26,1788	5,705699	0,03881	0,118172	0,0151283	9,85E-05	0,013842	996,50	0,19093	L2

TABELA 4.5 - Continuação.

N	RAIO HIDR. SUPERF LEITO ARBITR. (m)	DECLIVID. L. ENERG.	VEL. CISAL SUPERF LEITO (m/s)	VISCOSID. CINEMÁT. (m ² /s)	ESPESSURA SUBCAMADA LIMITE (m)	RUGOS. EQUIV. Ks =D65 (m)	RELAÇÃO Ks/DELTA	FATOR DE CORREÇÃO X = f(Ks/DELT)	VELOCIDADE CALCUL. (U') (m/s)	DIÂMETRO D35 (m)
83	0,0128399	0,0009	0,010645	9,14E-03	0,000996	4,00E-04	0,40161	1,223209	0,16421	3,30E-04
84	0,0141898	0,0009	0,011191	9,14E-03	0,000947	4,00E-04	0,42219	1,262193	0,17630	3,30E-04
85	0,0278104	0,0016	0,020889	9,14E-03	0,000508	4,00E-04	0,78807	1,577018	0,37580	3,30E-04
86	0,0176499	0,0013	0,015000	9,14E-03	0,000707	4,00E-04	0,56591	1,445906	0,24958	3,30E-04
87	0,0225302	0,0013	0,016947	9,14E-03	0,000626	4,00E-04	0,63938	1,509688	0,29414	3,30E-04
88	0,0254302	0,0017	0,019763	9,14E-03	0,000536	4,00E-04	0,74561	1,566404	0,34676	3,30E-04
89	0,0171099	0,0014	0,015326	9,14E-03	0,000692	4,00E-04	0,57822	1,458215	0,25414	3,30E-04
90	0,0132999	0,0008	0,010214	9,14E-03	0,001038	4,00E-04	0,38536	1,190728	0,15778	3,30E-04
91	0,014670	0,0008	0,010728	9,14E-03	0,000988	4,00E-04	0,40473	1,229453	0,16920	3,30E-04
92	0,02033	0,0013	0,016099	9,14E-03	0,000659	4,00E-04	0,60735	1,487354	0,27468	3,30E-04
93	0,0139198	0,0014	0,013824	9,14E-03	0,000767	4,00E-04	0,52153	1,401533	0,22074	3,30E-04
94	0,0208101	0,0013	0,016288	9,14E-03	0,000651	4,00E-04	0,61448	1,494484	0,27904	3,30E-04
95	0,01886	0,0016	0,017202	9,14E-03	0,000616	4,00E-04	0,64898	1,5145	0,29105	3,30E-04
96	0,0143798	0,0012	0,013008	9,14E-03	0,000815	4,00E-04	0,49076	1,3607	0,20781	3,30E-04
97	0,01903	0,0020	0,019320	8,93E-03	0,000536	4,00E-04	0,74599	1,5665	0,32893	3,30E-04
98	0,0336703	0,0022	0,026951	8,93E-03	0,000384	4,00E-04	1,04071	1,61215	0,49230	3,30E-04
99	0,0295702	0,0017	0,022202	8,93E-03	0,000467	4,00E-04	0,85733	1,594333	0,40344	3,30E-04
100	0,0227803	0,0022	0,022169	8,93E-03	0,000467	4,00E-04	0,85603	1,59400	0,38838	3,30E-04
101	0,0260302	0,0021	0,023152	8,93E-03	0,000447	4,00E-04	0,89402	1,6035	0,41367	3,30E-04
102	0,0289901	0,0021	0,024433	8,93E-03	0,000424	4,00E-04	0,94348	1,6103	0,44338	3,30E-04
103	0,0230602	0,0020	0,021266	0,00893	0,000487	4,00E-04	0,82119	1,585297	0,37293	3,30E-04
104	0,0149598	0,0018	0,016250	0,00893	0,000637	4,00E-04	0,62747	1,503737	0,26525	3,30E-04
105	0,0261402	0,002	0,022642	0,00893	0,000458	4,00E-04	0,87431	1,598578	0,40461	3,30E-04
106	0,0328704	0,0019	0,024747	0,00893	0,000419	4,00E-04	0,95560	1,61156	0,45689	3,30E-04
107	0,01921	0,0019	0,018918	0,00893	0,000548	4,00E-04	0,73053	1,562632	0,32245	3,30E-04
108	0,0254403	0,0021	0,022888	0,00893	0,000453	4,00E-04	0,88383	1,600957	0,40755	3,30E-04
109	0,0321905	0,0022	0,026352	0,00893	0,000393	4,00E-04	1,01759	1,613769	0,48524	3,30E-04
110	0,0234502	0,0021	0,021975	0,00893	0,000471	4,00E-04	0,84855	1,592139	0,38651	3,30E-04

TABELA 4.6 - Dados obtidos pelo Método de Einstein e Barbarossa (Terceira Mistura).

INTENSIDADE DE CISALHAM.	RELAÇÃO (U' / U'') f(INTCIS)	VELOC. CISAL. FORMAS LEIT U'' (m/s)	RAIO HIDRA. FORMAS LEIT R'' (m)	RAIO HIDR. SUPERF LEITO CALC. (m)	DIFERENÇA R'calc - R'arb (m)	VEL. CISAL SUPERF. LEITO (m/s)	MASSA ESPEC DA ÁGUA (Kg/m3)	TENSÃO CISA. SUPERF. LEITO (N/m2)	CÓDIGO REPET.
47,1188	4,80000	0,03421	0,132620	0,0128805	4,06E-05	0,010645	997,30	0,11301	D3
42,6363	4,80000	0,03673	0,15286	0,0142397	4,99E-05	0,011191	997,30	0,12489	E3
12,2369	7,87367	0,04773	0,145195	0,0279049	9,45E-05	0,020889	997,30	0,43516	F3
23,7308	5,92692	0,04211	0,139097	0,0177033	5,34E-05	0,015000	997,30	0,22439	G3
18,5904	6,52553	0,04508	0,15938	0,0226204	9,02E-05	0,016947	997,30	0,28644	H3
13,6701	7,47236	0,04641	0,129185	0,0255149	8,47E-05	0,020589	997,30	0,42278	J3
22,7313	6,02688	0,04217	0,129522	0,0171779	6,80E-05	0,015326	997,30	0,23426	L3
51,7313	4,80000	0,03287	0,137739	0,0132612	-3,87E-05	0,010214	997,30	0,10405	D3
46,3957	4,80000	0,03525	0,158384	0,0146163	-5,37E-05	0,010728	997,30	0,11477	E3
20,6024	6,23970	0,04402	0,152009	0,0203904	6,04E-05	0,016099	997,30	0,25846	F3
27,9407	5,56470	0,03967	0,114614	0,0139862	6,64E-05	0,013824	997,30	0,19058	G3
20,1271	6,28730	0,04438	0,15452	0,0208806	7,05E-05	0,016288	997,30	0,26457	H3
18,0441	6,61290	0,04401	0,1235	0,0189337	7,37E-05	0,017202	997,30	0,29511	J3
31,5550	5,27560	0,03939	0,131857	0,0144424	6,26E-05	0,013008	997,30	0,16875	L3
14,3064	7,29420	0,04510	0,10369	0,0191097	7,97E-05	0,019319	997,00	0,37210	A3
7,3507	9,68960	0,05152	0,123047	0,0337529	8,26E-05	0,026951	997,00	0,72420	B3
10,8316	8,26710	0,04880	0,142861	0,0296389	6,87E-05	0,022202	997,00	0,49146	C3
10,8646	8,25790	0,04703	0,102531	0,0228695	8,92E-05	0,022169	997,00	0,48997	I3
9,9609	8,51560	0,04858	0,114593	0,0261074	7,72E-05	0,023152	997,00	0,53442	M3
8,9439	8,92240	0,04969	0,119917	0,029083	9,29E-05	0,024433	997,00	0,59519	N3
11,8061	7,99431	0,04665	0,11096	0,0231396	7,94E-05	0,021266	997,00	0,45089	O3
20,2209	6,27791	0,04225	0,101141	0,0150594	9,96E-05	0,016250	997,00	0,26327	A3
10,4150	8,38380	0,04826	0,118762	0,0262383	9,81E-05	0,022642	997,00	0,51112	B3
8,7184	9,01262	0,05069	0,137935	0,0329649	9,45E-05	0,024747	997,00	0,61058	C3
14,9182	7,12290	0,04527	0,109991	0,0193095	9,95E-05	0,018918	997,00	0,35682	I3
10,1919	8,44626	0,04825	0,113064	0,0255363	9,60E-05	0,022888	997,00	0,52229	M3
7,6886	9,52456	0,05095	0,120313	0,0322871	9,66E-05	0,026352	997,00	0,69234	N3
11,0569	8,20408	0,04711	0,107785	0,0235154	6,52E-05	0,021975	997,00	0,48145	O3

TABELA 4.6 - Continuação

4.2 – Resultados Obtidos com as Equações de Transporte

Todas as equações foram aplicadas nas situações de ripples, dunas e leito plano, porém, os resultados absurdos (valores negativos, excessivamente superestimados ou subestimados, etc.) obtidos em alguns casos não são apresentados neste trabalho, mas serão citados no próximo capítulo. Nas situações normais procurou-se verificar, de acordo com cada metodologia e sempre que possível, se o melhor ajuste entre os valores calculados e os observados era obtido com ou sem a repartição da tensão de cisalhamento no leito. Isto foi feito inicialmente, com cada equação, utilizando o diâmetro mediano (D_{50}) como tamanho representativo do material do leito, visto que este é o parâmetro mais utilizado por pesquisadores em geral. Concluída esta primeira etapa, os resultados obtidos com as equações de transporte foram avaliados verificando as variações percentuais ocorridas nos valores calculados, a medida que eram utilizados sucessivamente diferentes valores para o tamanho representativo do material do leito (D) nas equações. Como dito anteriormente, adotava-se inicialmente o valor $D = D_{50}$ (diâmetro mediano) e conforme o resultado fosse subestimado ou superestimado, este valor era diminuído ou aumentado, respectivamente. Vale lembrar que os valores limites para D eram D_{35} e D_{65} para cada uma das misturas. A cada mudança no valor adotado para D calculava-se, ponto a ponto, o ajuste ocorrido entre os valores calculados e observados, tendo sempre como objetivo final igualar os mesmos. O valor final escolhido para D , em cada caso, foi aquele que propiciou o menor erro médio considerando os percentuais de ajuste dos pontos considerados.

Dois métodos foram utilizados para a análise dos resultados obtidos com as equações de transporte: o método gráfico e o método numérico. Os gráficos mostram no eixo das abcissas os valores de transporte medidos nos experimentos e nas ordenadas os valores estimados pelas equações. Para permitir uma comparação imediata entre os valores medidos e os valores calculados, foram traçadas, também, retas de referência mostrando as faixas percentuais dentro das quais caíram os valores estimados (por exemplo: a reta $C = 0,2.M$ representa os pontos em que os valores

calculados (C) correspondem a 20% dos valores medidos (M)). Em cada gráfico são mostrados dois conjuntos de pontos (indicados por dois tipos de marcadores), que correspondem aos resultados obtidos com cada equação quando da utilização dos valores inicial e final para D. Por isto cada gráfico está relacionado com duas tabelas de resultados.

A interpretação numérica dos resultados foi feita dividindo-se os valores calculados pelos valores medidos e expressando-os em termos percentuais. Estes resultados são mostrados em tabelas que apresentam, em seqüência, todos os parâmetros calculados segundo cada metodologia. As últimas colunas de cada tabela mostram os valores calculados e observados, bem como a relação percentual entre os mesmos.

Os resultados da análise quantitativa com cada equação e para cada mistura estão assim apresentados: equação de Einstein (tabelas 4.7 a 4.12), equação de Bagnold (tabelas 4.13 a 4.18), equação de Laursen (tabelas 4.19 a 4.30) e equação de Yang (tabelas 4.31 a 4.39).

A análise gráfica dos resultados está apresentada nos gráficos das figuras 4.1 a 4.3 para a equação de Einstein, 4.4 a 4.6 para a equação de Bagnold, 4.7 a 4.12 para equação de Laursen e 4.13 a 4.18 para a equação de Yang.

4.3 – Parâmetros de Transporte e Resistência para as Misturas

Para possibilitar a análise comparativa do comportamento das misturas, no que se refere aos aspectos de transporte e resistência, foram selecionados os seguintes parâmetros: parâmetro de Shields, número de Reynolds da partícula, número de Froude de cisalhamento e a concentração total de sedimentos no fluxo. Tais parâmetros foram calculados com e sem a repartição da tensão de cisalhamento no leito e são apresentados a seguir.

a) **Parâmetro de Shields:** foi obtido através da relação entre a tensão de cisalhamento no leito (ou na superfície do leito) e $(\gamma_s - \gamma).d$, sendo dado por:

$$\tau^* = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d} \quad 4.1$$

b) **Número de Reynolds da partícula** foi obtido pela equação:

$$R_{cs} = \frac{U_{*b} \cdot D}{\nu} \quad 4.2$$

em que U_{*b} é a velocidade de cisalhamento no leito (ou na superfície do leito), D é o diâmetro representativo do material do leito e ν é a viscosidade cinemática do fluido.

c) **Número de Froude de cisalhamento** é definido pela relação:

$$F_{cs} = \frac{U_{*b}}{\sqrt{g \cdot D}} \quad 4.3$$

na qual g é a aceleração da gravidade

d) **Concentração Total de sedimentos (C)** foi obtida pela relação entre a taxa de transporte total de sedimentos (q_T) e a vazão mássica (Q_m), da seguinte forma:

$$C = \frac{q_T}{Q_m} \quad 4.4$$

sendo $Q_m = \rho \cdot Q_v$, onde Q_v é a vazão em volume por unidade de tempo e ρ é a massa específica do fluido.

Os valores calculados para esses parâmetros são mostrados nas tabelas 4.40, 4.41 e 4.42 para a primeira, segunda e terceira misturas, respectivamente. Estas tabelas mostram para cada mistura, experimento e forma do leito, os valores dos

parâmetros calculados considerando o atrito total com o leito e o atrito superficial devido aos grãos, bem como as concentrações totais de sedimentos.

Para a análise gráfica foram elaborados gráficos que mostram no eixo das ordenadas os valores da concentração total de sedimentos expressos em partes por milhão (ppm). No eixo das abcissas se encontram os valores de resistência superficial do leito expressas pelos parâmetros correspondentes. Este procedimento de calcular ambos os valores de resistência ao fluxo foi feito com o objetivo de poder analisar todos os dados das três misturas em um único gráfico, o que só era possível tomando-se em conta apenas a resistência superficial do leito, considerando que a ocorrência das formas do leito é a maneira pela qual as condições de equilíbrio entre a resistência do canal, o fluxo e o transporte de sedimentos são estabelecidas, e que ripples e dunas apresentam características de resistências bem distintas umas das outras [Srinivasam e Rêgo (1981); Srinivasan e Hill (1985)]. Dessa forma, os gráficos (4.19, 4.20 e 4.21) que apresentam a variação do transporte com a resistência superficial do leito, reúnem todos os dados das três misturas. Estes resultados, bem como aqueles referentes às equações de transporte serão discutidos no próximo capítulo.

ENSAIOS CORRESPOND	N	RAIO HIDR. DO LEITO (m)	DECLIVID. L. ENERG.	VEL. CISAL NO LEITO (m/s)	VISCOSID. CINEMÁT. (m ² /s)	ESPESSURA SUBCAMADA LIMITE (m)	RUGOS. EQUIV. K _s =D65 (m)	RELAÇÃO K _s /DELTA	FATOR DE CORREÇÃO X = f(K _s /DELTA)
P1	37	0,0843	0,0040	0,05750	8,36E-07	0,000169	0,0004	2,3718	1,3021
Q1	38	0,0675	0,0049	0,05695	8,36E-07	0,000170	0,0004	2,3490	1,3078
R1	39	0,0609	0,0058	0,05885	8,36E-07	0,000165	0,0004	2,4275	1,2881
R1	40	0,0745	0,0046	0,05797	8,54E-07	0,000171	0,0004	2,3407	1,3098
P1	41	0,0871	0,0046	0,06268	8,54E-07	0,000158	0,0004	2,5309	1,2638
S1	42	0,0778	0,0058	0,06652	8,54E-07	0,000149	0,0004	2,6859	1,2285
S1	43	0,0756	0,0054	0,06327	8,36E-07	0,000153	0,0004	2,6098	1,2476
T1	44	0,0881	0,0049	0,06506	8,36E-07	0,000149	0,0004	2,6837	1,2291
T1	45	0,0892	0,0047	0,06412	8,36E-07	0,000151	0,0004	2,6447	1,2388

Tabela 4.7 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Einstein utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Primeira Mistura – Leito Plano).

MASSA ESPEC DA ÁGUA (Kg/m ³)	TENSÃO CISA. NO LEITO (N/m ²)	INTENSIDADE DE CISALHAM. DE CISALHAM.	PARÂMETRO CARGA LEITO	CARGA LEITO N/m/s	RUGOS APARE SUPER LEITO	PARÂMETRO TRANSPORTE (Pe)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	PARÂMETRO Z†	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)
996,2	3,29402	1,71	5,00	3,55557	0,000307	9,147	0,09531	2,2765	0,05236
996,2	3,23101	1,75	5,00	3,55557	0,000306	8,887	0,07318	2,2985	0,05236
996,2	3,45051	1,63	5,20	3,69779	0,000311	8,788	0,06732	2,2242	0,05236
996,5	3,34875	1,69	5,00	3,55472	0,000305	8,999	0,08174	2,2477	0,05212
996,5	3,91512	1,44	5,80	4,12348	0,000317	9,133	0,09686	2,0788	0,05212
996,5	4,40937	1,28	6,00	4,26566	0,000326	8,974	0,08500	1,9588	0,05212
996,2	3,98799	1,41	5,80	4,12446	0,000321	8,969	0,08323	2,0689	0,05236
996,2	4,21707	1,34	6,00	4,26668	0,000325	9,126	0,09891	2,0119	0,05236
996,2	4,09545	1,38	6,00	4,26668	0,000323	9,148	0,10027	2,0416	0,05236

Tabela 4.7 – Continuação.

PARÂMETRO Z	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PARÂMETRO E	INTEGRAL I - 1	INTEGRAL I - 2	DESCARGA TOTAL (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CAL/MEDID %
2,3341	0,0843	0,00902	0,150	0,600	10,567250	0,08439	1,655057	638,48
2,3567	0,0675	0,01126	0,155	0,570	10,479965	0,04718	0,925294	1132,61
2,2805	0,0609	0,01248	0,150	0,550	10,606205	0,09609	1,884517	562,81
2,3046	0,0745	0,01020	0,150	0,570	10,379353	0,07152	1,402650	739,98
2,1314	0,0871	0,00873	0,150	0,650	12,452805	0,10608	2,080441	598,57
2,0084	0,0778	0,00977	0,190	0,700	14,525019	0,11325	2,221059	653,97
2,1213	0,0756	0,01005	0,190	0,570	13,503571	0,12728	2,496215	540,96
2,0629	0,0881	0,00863	0,200	0,650	14,827786	0,12100	2,373052	624,84
2,0933	0,0892	0,00852	0,200	0,650	14,846185	0,11034	2,163988	686,06

Tabela 4.7 – Continuação.

ENSAIOS CORRESPOND	N	RAIO HIDR. DO LEITO (m)	DECLIVID. L. ENERG.	VEL. CISAL NO LEITO (m/s)	VISCOSID. CINEMÁT. (m ² /s)	ESPESSURA SUBCAMADA LIMITE (m)	RUGOS. EQUIV. K _s =D65 (m)	RELAÇÃO K _s /DELTA	FATOR DE CORREÇÃO X = f(K _s /DELTA)
P1	37	0,0843	0,0040	0,05750	8,36E-07	0,000169	0,0004	2,3718	1,3021
Q1	38	0,0675	0,0049	0,05695	8,36E-07	0,000170	0,0004	2,3490	1,3078
R1	39	0,0609	0,0058	0,05885	8,36E-07	0,000165	0,0004	2,4275	1,2881
R1	40	0,0745	0,0046	0,05797	8,54E-07	0,000171	0,0004	2,3407	1,3098
P1	41	0,0871	0,0046	0,06268	8,54E-07	0,000158	0,0004	2,5309	1,2638
S1	42	0,0778	0,0058	0,06652	8,54E-07	0,000149	0,0004	2,6859	1,2285
S1	43	0,0756	0,0054	0,06327	8,36E-07	0,000153	0,0004	2,6098	1,2476
T1	44	0,0881	0,0049	0,06506	8,36E-07	0,000149	0,0004	2,6837	1,2291
T1	45	0,0892	0,0047	0,06412	8,36E-07	0,000151	0,0004	2,6447	1,2388

Tabela 4.8 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Einstein utilizando D65 como tamanho representativo do material do leito (Primeira Mistura – Leito Plano).

MASSA ESPEC DA ÁGUA (Kg/m ³)	TENSÃO CISA. NO LEITO (N/m ²)	INTENSIDADE DE CISALHAM. DE CISALHAM.	PARÂMETRO CARGA LEITO	CARGA LEITO N/m/s	RUGOS APARE SUPER LEITO	PARÂMETRO TRANSPORTE (Pe)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	PARÂMETRO Z1	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)
996,2	3,29402	1,96	3,90	3,38838	0,000307	9,147	0,09531	2,3707	0,05453
996,2	3,23101	2,00	3,70	3,21461	0,000306	8,887	0,07318	2,3937	0,05453
996,2	3,45051	1,87	3,80	3,30149	0,000311	8,788	0,06732	2,3163	0,05453
996,5	3,34875	1,93	3,90	3,38757	0,000305	8,999	0,08174	2,3415	0,05429
996,5	3,91512	1,65	5,00	4,34304	0,000317	9,133	0,09686	2,1655	0,05429
996,5	4,40937	1,46	5,80	5,03792	0,000326	8,974	0,08500	2,0406	0,05429
996,2	3,98799	1,62	5,00	4,34407	0,000321	8,969	0,08323	2,1546	0,05453
996,2	4,21707	1,53	5,30	4,60472	0,000325	9,126	0,09891	2,0953	0,05453
996,2	4,09545	1,57	5,30	4,60472	0,000323	9,148	0,10027	2,1262	0,05453

Tabela 4.8 – Continuação.

PARÂMETRO Z	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PARÂMETRO E	INTEGRAL I - 1	INTEGRAL I - 2	DESCARGA TOTAL (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CAL/MEDID %
2,4307	0,0843	0,00949	0,155	0,650	10,394732	0,08439	1,655057	628,06
2,4543	0,0675	0,01185	0,160	0,650	9,875015	0,04718	0,925294	1067,23
2,3750	0,0609	0,01314	0,155	0,600	9,779673	0,09609	1,884517	518,95
2,4008	0,0745	0,01074	0,155	0,570	10,043714	0,07152	1,402650	716,05
2,2203	0,0871	0,00918	0,130	0,600	12,105403	0,10608	2,080441	581,87
2,0922	0,0778	0,01028	0,140	0,550	14,138372	0,11325	2,221059	636,56
2,2091	0,0756	0,01058	0,170	0,520	13,226183	0,12728	2,496215	529,85
2,1483	0,0881	0,00908	0,170	0,600	14,511588	0,12100	2,373052	611,52
2,1800	0,0892	0,00897	0,170	0,600	14,528467	0,11034	2,163988	671,37

Tabela 4.8 – Continuação.

ENSAIOS CORRESPOND	N	RAIO HIDR. DO LEITO (m)	DECLIVID. L. ENERG.	VEL. CISAL NO LEITO (m/s)	VISCOSID. CINEMÁT. (m ² /s)	ESPESSURA SUBCAMADA LIMITE (m)	RUGOS. EQUIV. K _s =D65 (m)	RELAÇÃO K _s /DELTA	FATOR DE CORREÇÃO X = f(K _s /DELTA)
R2	75	0,0768	0,0048	0,06012	8,54E-07	0,000165	0,00046	2,7918	1,2110
S2	76	0,0750	0,0057	0,06475	8,54E-07	0,000153	0,00046	3,0065	1,1890
P2	77	0,0877	0,0050	0,06557	8,54E-07	0,000151	0,00046	3,0449	1,1830
T2	78	0,0957	0,0047	0,06641	8,54E-07	0,000149	0,00046	3,0838	1,1770
R2	79	0,0757	0,0040	0,05449	8,54E-07	0,000182	0,00046	2,5303	1,2640
S2	80	0,0780	0,0050	0,06184	8,54E-07	0,000160	0,00046	2,8716	1,2030
P2	81	0,0823	0,0047	0,06159	8,54E-07	0,000161	0,00046	2,8598	1,2040
T2	82	0,0921	0,0044	0,06304	8,54E-07	0,000157	0,00046	2,9271	1,1970

Tabela 4.9 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Einstein utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura – Leito Plano).

MASSA ESPEC DA ÁGUA (Kg/m ³)	TENSÃO CISA. NO LEITO (N/m ²)	INTENSIDADE DE CISALHAM. DE CISALHAM.	PARÂMETRO CARGA LEITO	CARGA LEITO N/m/s	RUGOS APARE SUPER LEITO	PARÂMETRO TRANSPORTE (Pe)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	PARÂMETRO Z1	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)
996,5	3,60223	1,39	5,80	3,43719	0,000380	8,804	0,08364	2,1672	0,05212
996,5	4,17739	1,20	7,00	4,14834	0,000387	8,771	0,08243	2,0125	0,05212
996,5	4,28488	1,17	7,00	4,14834	0,000389	8,928	0,09688	1,9871	0,05212
996,5	4,39520	1,14	7,20	4,26686	0,000391	9,018	0,10657	1,9620	0,05212
996,5	2,95886	1,69	5,00	2,96310	0,000364	8,847	0,08369	2,3912	0,05212
996,5	3,81095	1,31	6,50	3,85203	0,000382	8,826	0,08607	2,1070	0,05212
996,5	3,77978	1,32	6,50	3,85203	0,000382	8,894	0,09210	2,1157	0,05212
996,5	3,95988	1,26	6,80	4,02981	0,000384	9,007	0,10369	2,0670	0,05212

Tabela 4.9 – Continuação.

PARÂMETRO Z	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PARÂMETRO E	INTEGRAL I - 1	INTEGRAL I - 2	DESCARGA TOTAL (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CAL/MEDID %
2,2220	0,0768	0,00990	0,160	0,600	10,341236	0,07552	1,481039	698,24
2,0634	0,0750	0,01013	0,190	0,700	13,965344	0,12251	2,402666	581,24
2,0373	0,0877	0,00867	0,195	0,700	14,273860	0,12551	2,461502	579,88
2,0116	0,0957	0,00794	0,200	0,720	15,034510	0,10328	2,025488	742,27
2,4517	0,0757	0,01004	0,150	0,550	8,525142	0,06053	1,187134	718,13
2,1603	0,0780	0,00974	0,160	0,680	11,911046	0,09483	1,859826	640,44
2,1692	0,0823	0,00923	0,160	0,680	11,953300	0,08890	1,743546	685,57
2,1193	0,0921	0,00825	0,170	0,700	13,021239	0,10236	2,007445	648,65

Tabela 4.9 – Continuação.

ENSAIOS CORRESPOND	N	RAIO HIDR. DO LEITO (m)	DECLIVID. L. ENERG.	VEL. CISAL NO LEITO (m/s)	VISCOSID. CINEMÁT. (m ² /s)	ESPESSURA SUBCAMADA LIMITE (m)	RUGOS. EQUIV. Ks =D65 (m)	RELAÇÃO Ks/DELTA	FATOR DE CORREÇÃO X = f(Ks/DELTA)
R2	75	0,0768	0,0048	0,06012	8,54E-07	0,000165	0,00046	2,7918	1,2110
S2	76	0,0750	0,0057	0,06475	8,54E-07	0,000153	0,00046	3,0065	1,1890
P2	77	0,0877	0,0050	0,06557	8,54E-07	0,000151	0,00046	3,0449	1,1830
T2	78	0,0957	0,0047	0,06641	8,54E-07	0,000149	0,00046	3,0838	1,1770
R2	79	0,0757	0,0040	0,05449	8,54E-07	0,000182	0,00046	2,5303	1,2640
S2	80	0,0780	0,0050	0,06184	8,54E-07	0,000160	0,00046	2,8716	1,2030
P2	81	0,0823	0,0047	0,06159	8,54E-07	0,000161	0,00046	2,8598	1,2040
T2	82	0,0921	0,0044	0,06304	8,54E-07	0,000157	0,00046	2,9271	1,1970

Tabela 4.10 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Einstein utilizando D65 como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura – Leito Plano).

MASSA ESPEC DA ÁGUA (Kg/m ³)	TENSÃO CISA. NO LEITO (N/m ²)	INTENSIDADE DE CISALHAM. DE CISALHAM.	PARÂMETRO CARGA LEITO	CARGA LEITO N/m/s	RUGOS APARE SUPER LEITO	PARÂMETRO TRANSPORTE (Pe)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	PARÂMETRO Z1	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)
996,5	3,60223	2,06	3,60	3,85632	0,000380	8,804	0,08364	2,5103	0,06037
996,5	4,17739	1,78	4,00	4,28480	0,000387	8,771	0,08243	2,3311	0,06037
996,5	4,28488	1,73	4,10	4,39192	0,000389	8,928	0,09688	2,3017	0,06037
996,5	4,39520	1,69	4,30	4,60616	0,000391	9,018	0,10657	2,2726	0,06037
996,5	2,95886	2,51	2,60	2,78512	0,000364	8,847	0,08369	2,7698	0,06037
996,5	3,81095	1,95	3,80	4,07056	0,000382	8,826	0,08607	2,4406	0,06037
996,5	3,77978	1,96	3,80	4,07056	0,000382	8,894	0,09210	2,4507	0,06037
996,5	3,95988	1,87	3,90	4,17768	0,000384	9,007	0,10369	2,3943	0,06037

Tabela 4.10 – Continuação.

PARÂMETRO Z	RAIO HIDRÁUL LEITO (R _b) (m)	PARÂMETRO E	INTEGRAL I - 1	INTEGRAL I - 2	DESCARGA TOTAL (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CAL/MEDID %
2,5739	0,0768	0,01198	0,130	0,500	10,198068	0,07552	1,481039	688,58
2,3901	0,0750	0,01227	0,180	0,600	13,620433	0,12251	2,402666	566,89
2,3599	0,0877	0,01049	0,180	0,600	14,084659	0,12551	2,461502	572,20
2,3301	0,0957	0,00961	0,180	0,620	14,938674	0,10328	2,025488	737,53
2,8399	0,0757	0,01215	0,140	0,450	7,488153	0,06053	1,187134	630,78
2,5024	0,0780	0,01179	0,150	0,580	11,820451	0,09483	1,859826	635,57
2,5127	0,0823	0,01118	0,150	0,580	11,862311	0,08890	1,743546	680,36
2,4549	0,0921	0,00999	0,160	0,600	12,704959	0,10236	2,007445	632,89

Tabela 4.10 – Continuação.

ENSAIOS CORRESPOND	N	RAIO HIDR. DO LEITO (m)	DECLIVID. L. ENERG.	VEL. CISAL NO LEITO (m/s)	VISCOSID. CINEMÁT. (m ² /s)	ESPESSURA SUBCAMADA LIMITE (m)	RUGOS. EQUIV. K _s =D65 (m)	RELAÇÃO K _s /DELTA	FATOR DE CORREÇÃO X = f(K _s /DELTA)
P3	111	0,0716	0,0067	0,06859	8,93E-07	0,000151	0,0004	2,6484	1,2380
R3	112	0,0577	0,0058	0,05729	8,93E-07	0,000181	0,0004	2,2121	1,3380
S3	113	0,0646	0,0073	0,06800	8,93E-07	0,000152	0,0004	2,6259	1,2440
T3	114	0,0826	0,0057	0,06795	8,93E-07	0,000152	0,0004	2,6238	1,2440
P3	115	0,0747	0,0067	0,07006	8,93E-07	0,000148	0,0004	2,7052	1,2240
R3	116	0,0596	0,0072	0,06487	8,93E-07	0,000160	0,0004	2,5049	1,2690
S3	117	0,0684	0,0051	0,05849	8,93E-07	0,000177	0,0004	2,2584	1,3280
T3	118	0,0867	0,0055	0,06838	8,93E-07	0,000151	0,0004	2,6405	1,2400

Tabela 4.11 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Einstein utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Terceira Mistura – Leito Plano).

MASSA ESPEC DA ÁGUA (Kg/m ³)	TENSÃO CISA. NO LEITO (N/m ²)	INTENSIDADE DE CISALHAM. DE CISALHAM.	PARÂMETRO CARGA LEITO	CARGA LEITO N/m/s	RUGOS APARE SUPER LEITO	PARÂMETRO TRANSPORTE (Pe)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	PARÂMETRO Z1	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)
997,0	4,69002	1,14	7,2	4,68451	0,000323	8,916	0,07956	1,8811	0,0516079
997,0	3,27183	1,63	5,2	3,38326	0,000299	8,781	0,06433	2,2522	0,0516079
997,0	4,61044	1,15	7,2	4,68451	0,000322	8,809	0,07113	1,8973	0,0516079
997,0	4,60301	1,16	7,0	4,55439	0,000322	9,072	0,09257	1,8988	0,0516079
997,0	4,89308	1,09	7,4	4,81464	0,000327	8,941	0,08253	1,8417	0,0516079
997,0	4,19533	1,27	6,8	4,42426	0,000315	8,742	0,06521	1,9889	0,0516079
997,0	3,41046	1,56	5,4	3,51338	0,000301	8,951	0,07685	2,2060	0,0516079
997,0	4,66196	1,14	7,2	4,68451	0,000323	9,113	0,09672	1,8868	0,0516079

Tabela 4.11 – Continuação.

PARÂMETRO Z	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PARÂMETRO E	INTEGRAL I - 1	INTEGRAL I - 2	DESCARGA TOTAL (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CAL/MEDID %
1,9287	0,0716	0,01061	0,190	0,700	15,899192	0,18885	3,703726	429,28
2,3092	0,0577	0,01317	0,170	0,570	10,362092	0,11669	2,288524	452,78
1,9453	0,0646	0,01176	0,190	0,700	15,803789	0,18475	3,623317	436,17
1,9469	0,0826	0,00920	0,190	0,700	15,592813	0,14166	2,778236	561,25
1,8883	0,0747	0,01017	0,190	0,700	16,363963	0,14133	2,771764	590,38
2,0393	0,0596	0,01275	0,200	0,650	15,035007	0,14325	2,809419	535,16
2,2618	0,0684	0,01111	0,170	0,570	10,862385	0,12475	2,446597	443,98
1,9345	0,0867	0,00877	0,190	0,700	16,074496	0,12608	2,472681	650,08

Tabela 4.11 – Continuação.

ENSAIOS CORRESPOND	N	RAIO HIDR. DO LEITO (m)	DECLIVID. L. ENERG.	VEL. CISAL NO LEITO (m/s)	VISCOSID. CINEMÁT. (m ² /s)	ESPESSURA SUBCAMADA LIMITE (m)	RUGOS. EQUIV. K _s =D65 (m)	RELAÇÃO K _s /DELTA	FATOR DE CORREÇÃO X = f(K _s /DELTA)
P3	111	0,0716	0,0067	0,06859	8,93E-07	0,000151	0,0004	2,6484	1,2380
R3	112	0,0577	0,0058	0,05729	8,93E-07	0,000181	0,0004	2,2121	1,3380
S3	113	0,0646	0,0073	0,06800	8,93E-07	0,000152	0,0004	2,6259	1,2440
T3	114	0,0826	0,0057	0,06795	8,93E-07	0,000152	0,0004	2,6238	1,2440
P3	115	0,0747	0,0067	0,07006	8,93E-07	0,000148	0,0004	2,7052	1,2240
R3	116	0,0596	0,0072	0,06487	8,93E-07	0,000160	0,0004	2,5049	1,2690
S3	117	0,0684	0,0051	0,05849	8,93E-07	0,000177	0,0004	2,2584	1,3280
T3	118	0,0867	0,0055	0,06838	8,93E-07	0,000151	0,0004	2,6405	1,2400

Tabela 4.12 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Einstein utilizando D65 como tamanho representativo do material do leito (Terceira Mistura – Leito Plano).

MASSA ESPEC DA ÁGUA (Kg/m ³)	TENSÃO CISA. NO LEITO (N/m ²)	INTENSIDADE DE CISALHAM. DE CISALHAM.	PARÂMETRO CARGA LEITO	CARGA LEITO N/m/s	RUGOS APARE SUPER LEITO	PARÂMETRO TRANSPORTE (Pe)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	PARÂMETRO Z1	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)
997,0	4,69002	1,38	5,8	5,03592	0,000323	8,916	0,07956	1,9610	0,0537981
997,0	3,27183	1,97	3,8	3,29940	0,000299	8,781	0,06433	2,3478	0,0537981
997,0	4,61044	1,40	5,8	5,03592	0,000322	8,809	0,07113	1,9778	0,0537981
997,0	4,60301	1,40	5,8	5,03592	0,000322	9,072	0,09257	1,9794	0,0537981
997,0	4,89308	1,32	6,5	5,64370	0,000327	8,941	0,08253	1,9198	0,0537981
997,0	4,19533	1,54	5,4	4,68861	0,000315	8,742	0,06521	2,0733	0,0537981
997,0	3,41046	1,89	3,9	3,38622	0,000301	8,951	0,07685	2,2996	0,0537981
997,0	4,66196	1,38	5,8	5,03592	0,000323	9,113	0,09672	1,9668	0,0537981

Tabela 4.12 – Continuação.

PARÂMETRO Z	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PARÂMETRO E	INTEGRAL I - 1	INTEGRAL I - 2	DESCARGA TOTAL (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CAL/MEDID %
2,0106	0,0716	0,01117	0,170	0,600	15,690300	0,18885	3,703726	423,64
2,4072	0,0577	0,01386	0,165	0,560	9,927391	0,11669	2,288524	433,79
2,0279	0,0646	0,01238	0,170	0,600	15,598536	0,18475	3,623317	430,50
2,0295	0,0826	0,00969	0,170	0,550	15,572327	0,14166	2,778236	560,51
1,9684	0,0747	0,01071	0,155	0,500	16,286935	0,14133	2,771764	587,60
2,1258	0,0596	0,01342	0,180	0,550	14,644790	0,14325	2,809419	521,27
2,3578	0,0684	0,01170	0,165	0,560	10,283822	0,12475	2,446597	420,33
2,0166	0,0867	0,00923	0,170	0,600	15,858917	0,12608	2,472681	641,37

Tabela 4.12 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (ft/s)	fator de efic. carga leito	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m3)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m3)
37	0,0843	0,05236	0,7170286	2,3519	0,130	0,0040	26500	9768,74
38	0,0675	0,05236	0,6059033	1,9874	0,132	0,0049	26500	9768,74
39	0,0609	0,05236	0,7774807	2,5501	0,128	0,0058	26500	9768,74
40	0,0745	0,05212	0,6403230	2,1003	0,132	0,0046	26500	9771,68
41	0,0871	0,05212	0,7055544	2,3142	0,130	0,0046	26500	9771,68
42	0,0778	0,05212	0,7098823	2,3284	0,130	0,0058	26500	9771,68
43	0,0756	0,05236	0,7249790	2,3779	0,130	0,0054	26500	9768,74
44	0,0881	0,05236	0,7718127	2,5315	0,128	0,0049	26500	9768,74
45	0,0892	0,05236	0,7613443	2,4972	0,128	0,0047	26500	9768,74

Tabela 4.13 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Bagnold utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Primeira mistura – Leito Plano).

TENSÃO CISAL NO LEITO - T _o (N / m ²)	PARAMETRO SHIELDS	COEFICIENT ATRIT SOLID	RELAÇÃO efic / atrit	TAXA TRANSP. CALCULADA (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CALC / MEDID %
3,29402	0,5181	0,75	0,173	0,427874	0,08439	1,655057	25,85
3,23101	0,5082	0,75	0,176	0,333436	0,04718	0,925294	36,04
3,45051	0,5427	0,75	0,171	0,499896	0,09609	1,884517	26,53
3,34875	0,5268	0,75	0,176	0,374336	0,07152	1,402650	26,69
3,91512	0,6159	0,74	0,176	0,501903	0,10608	2,080441	24,12
4,40937	0,6937	0,73	0,178	0,574650	0,11325	2,221059	25,87
3,98799	0,6273	0,74	0,176	0,530277	0,12728	2,496215	21,24
4,21707	0,6633	0,73	0,175	0,613325	0,12100	2,373052	25,85
4,09545	0,6442	0,74	0,173	0,579604	0,11034	2,163988	26,78

Tabela 4.13 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (R _b) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (ft/s)	fator de efic. carga leito	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)
37	0,0843	0,048944	0,7170286	2,3519	0,130	0,0040	26500	9768,74
38	0,0675	0,048944	0,6059033	1,9874	0,132	0,0049	26500	9768,74
39	0,0609	0,048944	0,7774807	2,5501	0,128	0,0058	26500	9768,74
40	0,0745	0,048692	0,6403230	2,1003	0,132	0,0046	26500	9771,68
41	0,0871	0,048692	0,7055544	2,3142	0,130	0,0046	26500	9771,68
42	0,0778	0,048692	0,7098823	2,3284	0,130	0,0058	26500	9771,68
43	0,0756	0,048944	0,7249790	2,3779	0,130	0,0054	26500	9768,74
44	0,0881	0,048944	0,7718127	2,5315	0,128	0,0049	26500	9768,74
45	0,0892	0,048944	0,7613443	2,4972	0,128	0,0047	26500	9768,74

Tabela 4.14 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Bagnold utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Primeira mistura – Leito Plano).

TENSÃO CISAL NO LEITO - To (N / m 2)	PARAMETRO SHIELDS	COEFICIENT ATRIT SOLID	RELAÇÃO efic / atrit	TAXA TRANSP. CALCULADA (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CALC / MEDID %
3,29402	0,5625	0,75	0,173	0,441056	0,08439	1,655057	26,65
3,23101	0,5517	0,75	0,176	0,342669	0,04718	0,925294	37,03
3,45051	0,5892	0,74	0,173	0,519744	0,09609	1,884517	27,58
3,34875	0,5720	0,74	0,178	0,388148	0,07152	1,402650	27,67
3,91512	0,6687	0,73	0,178	0,521163	0,10608	2,080441	25,05
4,40937	0,7531	0,73	0,178	0,592181	0,11325	2,221059	26,66
3,98799	0,6810	0,73	0,178	0,550656	0,12728	2,496215	22,06
4,21707	0,7201	0,73	0,175	0,632879	0,12100	2,373052	26,67
4,09545	0,6994	0,73	0,175	0,602397	0,11034	2,163988	27,84

Tabela 4.14 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (ft/s)	fator de efic. carga leito	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m3)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m3)
75	0,0768	0,05212	0,6257771	2,0525	0,132	0,0048	26500	9771,68
76	0,0750	0,05212	0,7320151	2,4010	0,129	0,0057	26500	9771,68
77	0,0877	0,05212	0,7054088	2,3137	0,130	0,0050	26500	9771,68
78	0,0957	0,05212	0,7163367	2,3496	0,130	0,0047	26500	9771,68
79	0,0757	0,05212	0,6254033	2,0513	0,132	0,0040	26500	9771,68
80	0,0780	0,05212	0,7010573	2,2995	0,130	0,0050	26500	9771,68
81	0,0823	0,05212	0,7420195	2,4338	0,129	0,0047	26500	9771,68
82	0,0921	0,05212	0,7362329	2,4148	0,129	0,0044	26500	9771,68

Tabela 4.15 – Resultado do transporte total obtidos com a equação de Bagnold utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Segunda mistura – Leito Plano).

TENSÃO CISAL NO LEITO - T_o (N / m ²)	PARAMETRO SHIELDS	COEFICIENT ATRIT SOLID	RELAÇÃO efic / atrit	TAXA TRANSP. CALCULADA (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CALC / MEDID %
3,60223	0,5667	0,750	0,176	0,389849	0,07552	1,48104	26,32
4,17739	0,6572	0,730	0,177	0,566530	0,12251	2,40267	23,58
4,28488	0,6741	0,730	0,178	0,553391	0,12551	2,46150	22,48
4,39520	0,6914	0,730	0,178	0,580289	0,10328	2,02549	28,65
2,95886	0,4655	0,755	0,175	0,318692	0,06053	1,18713	26,85
3,81095	0,5995	0,740	0,176	0,484089	0,09483	1,85983	26,03
3,77978	0,5946	0,740	0,174	0,518845	0,08890	1,74355	29,76
3,95988	0,6229	0,740	0,174	0,537436	0,10236	2,00745	26,77

Tabela 4.15 –Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (ft/s)	fator de efic. carga leito	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m3)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m3)
75	0,0768	0,04377	0,6257771	2,0525	0,132	0,0048	26500	9771,68
76	0,0750	0,04377	0,7320151	2,4010	0,129	0,0057	26500	9771,68
77	0,0877	0,04377	0,7054088	2,3137	0,130	0,0050	26500	9771,68
78	0,0957	0,04377	0,7163367	2,3496	0,130	0,0047	26500	9771,68
79	0,0757	0,04377	0,6254033	2,0513	0,132	0,0040	26500	9771,68
80	0,0780	0,04377	0,7010573	2,2995	0,130	0,0050	26500	9771,68
81	0,0823	0,04377	0,7420195	2,4338	0,129	0,0047	26500	9771,68
82	0,0921	0,04377	0,7362329	2,4148	0,129	0,0044	26500	9771,68

Tabela 4.16 – Resultado do transporte total obtidos com a equação de Bagnold utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura – Leito Plano).

TENSÃO CISAL NO LEITO - T_o (N / m ²)	PARAMETRO SHIELDS	COEFICIENT ATRIT SOLID	RELAÇÃO efic / atrit	TAXA TRANSP. CALCULADA (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CALC / MEDID %
3,60223	0,6946	0,730	0,181	0,426359	0,07552	1,48104	28,79
4,17739	0,8055	0,720	0,179	0,618774	0,12251	2,40267	25,75
4,28488	0,8263	0,720	0,181	0,603346	0,12551	2,46150	24,51
4,39520	0,8475	0,720	0,181	0,633060	0,10328	2,02549	31,25
2,95886	0,5706	0,750	0,176	0,344696	0,06053	1,18713	29,04
3,81095	0,7349	0,730	0,178	0,527892	0,09483	1,85983	28,38
3,77978	0,7289	0,730	0,177	0,567254	0,08890	1,74355	32,53
3,95988	0,7636	0,730	0,177	0,587396	0,10236	2,00745	29,26

Tabela 4.16 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (ft/s)	fator de efic. carga leito	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m3)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m3)
111	0,0716	0,0516079	0,858974	2,8174	0,127	0,0067	26500	9776,58
112	0,0577	0,0516079	0,813617	2,6687	0,128	0,0058	26500	9776,58
113	0,0646	0,0516079	0,848306	2,7824	0,127	0,0073	26500	9776,58
114	0,0826	0,0516079	0,824673	2,7049	0,128	0,0057	26500	9776,58
115	0,0747	0,0516079	0,828063	2,7160	0,128	0,0067	26500	9776,58
116	0,0596	0,0516079	0,802638	2,6327	0,128	0,0072	26500	9776,58
117	0,0684	0,0516079	0,785166	2,5753	0,128	0,0051	26500	9776,58
118	0,0867	0,0516079	0,789289	2,5889	0,128	0,0055	26500	9776,58

Tabela 4.17 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Bagnold utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Terceira Mistura – Leito Plano).

TENSÃO CISAL NO LEITO - T_o (N / m ²)	PARAMETRO SHIELDS	COEFICIENT ATRIT SOLID	RELAÇÃO efic / atrit	TAXA TRANSP. CALCULADA (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CALC / MEDID %
4,69002	0,7380	0,73	0,174	0,801725	0,18885	3,703628	21,65
3,27183	0,5149	0,75	0,171	0,510941	0,11669	2,288426	22,33
4,61044	0,7255	0,73	0,174	0,773607	0,18475	3,623317	21,35
4,60301	0,7243	0,73	0,175	0,743721	0,14166	2,778236	26,77
4,89308	0,7700	0,73	0,175	0,795394	0,14133	2,771764	28,70
4,19533	0,6602	0,73	0,175	0,651333	0,14325	2,809419	23,18
3,41046	0,5367	0,75	0,171	0,505336	0,12475	2,446597	20,65
4,66196	0,7336	0,73	0,175	0,706178	0,12608	2,472681	28,56

Tabela 4.17 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (ft/s)	fator de efic. carga leito	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	PESC ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m3)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m3)
111	0,0716	0,0457346	0,858974	2,8174	0,127	0,0067	26500	9776,58
112	0,0577	0,0457346	0,813617	2,6687	0,128	0,0058	26500	9776,58
113	0,0646	0,0457346	0,848306	2,7824	0,127	0,0073	26500	9776,58
114	0,0826	0,0457346	0,824673	2,7049	0,128	0,0057	26500	9776,58
115	0,0747	0,0457346	0,828063	2,7160	0,128	0,0067	26500	9776,58
116	0,0596	0,0457346	0,802638	2,6327	0,128	0,0072	26500	9776,58
117	0,0684	0,0457346	0,785166	2,5753	0,128	0,0051	26500	9776,58
118	0,0867	0,0457346	0,789289	2,5889	0,128	0,0055	26500	9776,58

Tabela 4.18— Resultados do transporte total obtidos com a equação de Bagnold utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Terceira Mistura- Leito Plano).

TENSÃO CISAL NO LEITO - T_o (N / m ²)	PARAMETRO SHIELDS	COEFICIENT ATRIT SOLID	RELAÇÃO efic / atrit	TAXA TRANSP. CALCULADA (N/m/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (kg/s)	TAXA TRANSP. MEDIDA (N/m/s)	RELAÇÃO CALC / MEDID %
4,69002	0,8498	0,72	0,176	0,857756	0,18885	3,703628	23,16
3,27183	0,5929	0,74	0,173	0,546037	0,11669	2,288426	23,86
4,61044	0,8354	0,72	0,176	0,827396	0,18475	3,623317	22,84
4,60301	0,8341	0,72	0,178	0,794665	0,14166	2,778236	28,60
4,89308	0,8866	0,72	0,178	0,849971	0,14133	2,771764	30,67
4,19533	0,7602	0,73	0,175	0,690651	0,14325	2,809419	24,58
3,41046	0,6180	0,74	0,173	0,539532	0,12475	2,446597	22,05
4,66196	0,8448	0,72	0,178	0,753666	0,12608	2,472681	30,48

Tabela 4.18 – Continuação.

NÚMERO	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)
7	0,0135654	0,1168	0,133552	0,05186673	0,464246	8,73E-07	0,0017	0,044126	26500	9774,62
8	0,0258033	0,1408	0,156469	0,05211955	0,460152	8,54E-07	0,0022	0,055114	26500	9771,68
9	0,0390458	0,1881	0,205471	0,05186673	0,385263	8,73E-07	0,0020	0,060737	26500	9774,62
17	0,0181110	0,1522	0,169377	0,05211955	0,372911	8,54E-07	0,0015	0,047315	26500	9771,68
18	0,0276046	0,1554	0,172608	0,05211955	0,435458	8,54E-07	0,0020	0,055206	26500	9771,68
19	0,0461348	0,1732	0,188154	0,05211955	0,420728	8,54E-07	0,0025	0,065161	26500	9771,68
20	0,0230708	0,1351	0,147749	0,05211955	0,400433	8,54E-07	0,0021	0,052745	26500	9771,68
25	0,0172982	0,1312	0,145500	0,05236111	0,406598	8,36E-07	0,0018	0,048123	26500	9768,74
31	0,0234643	0,1467	0,162390	0,05236111	0,413572	8,36E-07	0,0019	0,052280	26500	9768,74
32	0,0267847	0,1482	0,163780	0,05236111	0,434485	8,36E-07	0,0021	0,055243	26500	9768,74
33	0,0258895	0,1329	0,145330	0,05236111	0,434597	8,36E-07	0,0024	0,055926	26500	9768,74
34	0,0247388	0,1408	0,155510	0,05236111	0,431869	8,36E-07	0,0021	0,053846	26500	9768,74
35	0,0293567	0,1559	0,171220	0,05236111	0,415606	8,36E-07	0,0021	0,056660	26500	9768,74
36	0,0259511	0,1414	0,154450	0,05236111	0,408935	8,36E-07	0,0022	0,055231	26500	9768,74

Tabela 4.19 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Primeira Mistura – Dunas).

Massa Espec. da Água (Kg/m ³)	CISALH. LEITO DEVID GRÃOS To' - (N / m ²)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N / m ²)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (PESO / VOL)	VAZÃO m ³ /s	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
996,8	0,22541	0,85075	15,0	0,24787	-0,142272	0,03100	-0,00441	-0,0004498	0,01641	-2,74
996,5	0,55471	1,05745	16,0	0,24791	1,722752	0,03600	0,06202	0,0063246	0,02808	22,52
996,8	0,76332	1,17103	17,0	0,24787	2,238962	0,03958	0,08862	0,0090371	0,00790	114,42
996,5	0,26546	0,90782	15,5	0,24791	0,087027	0,03158	0,00275	0,0002803	0,00637	4,40
996,5	0,53949	1,05922	16,0	0,24791	1,460087	0,03758	0,05487	0,0055956	0,02163	25,87
996,5	1,12704	1,25023	18,0	0,24791	4,478571	0,03958	0,17726	0,0180769	0,02575	70,21
996,5	0,47343	1,01200	16,0	0,24791	1,353922	0,02958	0,04005	0,0040841	0,00659	61,97
996,2	0,30417	0,91905	15,5	0,24796	0,332666	0,02958	0,00984	0,0010035	0,00423	23,72
996,2	0,43551	0,99846	16,0	0,24796	1,008022	0,03358	0,03385	0,0034519	0,01256	27,47
996,2	0,54947	1,05504	16,0	0,24796	1,604471	0,03558	0,05709	0,0058216	0,01572	37,04
996,2	0,60698	1,06808	16,0	0,24796	2,196344	0,03158	0,06936	0,0070733	0,01844	38,36
996,2	0,50750	1,02837	16,0	0,24796	1,467188	0,03358	0,04927	0,0050243	0,00844	59,56
996,2	0,60223	1,08211	16,3	0,24796	1,823587	0,03558	0,06488	0,0066167	0,00825	80,20
996,2	0,55772	1,05481	16,0	0,24796	1,765116	0,03158	0,05574	0,0056845	0,00923	61,56

Tabela 4.19 – Continuação.

NÚMERO	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb' (m)	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISLHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)
7	0,0135654	0,1168	0,133552	0,04842788	0,464246	8,73E-07	0,0017	0,044126	26500	9774,62
8	0,0258033	0,1408	0,156469	0,04869195	0,460152	8,54E-07	0,0022	0,055114	26500	9771,68
9	0,0390458	0,1881	0,205471	0,04842788	0,385263	8,73E-07	0,0020	0,060737	26500	9774,62
17	0,0181110	0,1522	0,169377	0,04869195	0,372911	8,54E-07	0,0015	0,047315	26500	9771,68
18	0,0276046	0,1554	0,172608	0,04869195	0,435458	8,54E-07	0,0020	0,055206	26500	9771,68
19	0,0461348	0,1732	0,188154	0,04869195	0,420728	8,54E-07	0,0025	0,065161	26500	9771,68
20	0,0230708	0,1351	0,147749	0,04869195	0,400433	8,54E-07	0,0021	0,052745	26500	9771,68
25	0,0172982	0,1312	0,145500	0,04894438	0,406598	8,36E-07	0,0018	0,048123	26500	9768,74
31	0,0234643	0,1467	0,162390	0,04894438	0,413572	8,36E-07	0,0019	0,052280	26500	9768,74
32	0,0267847	0,1482	0,163780	0,04894438	0,434485	8,36E-07	0,0021	0,055243	26500	9768,74
33	0,0258895	0,1329	0,145330	0,04894438	0,434597	8,36E-07	0,0024	0,055926	26500	9768,74
34	0,0247388	0,1408	0,155510	0,04894438	0,431869	8,36E-07	0,0021	0,053846	26500	9768,74
35	0,0293567	0,1559	0,171220	0,04894438	0,415606	8,36E-07	0,0021	0,056660	26500	9768,74
36	0,0259511	0,1414	0,154450	0,04894438	0,408935	8,36E-07	0,0022	0,055231	26500	9768,74

Tabela 4.20 - Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Primeira Mistura - Dunas).

Massa Espec. da Água (Kg/m ³)	CISALH. LEITO DEVID GRÃOS To' - (N / m ²)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N / m ²)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (PESO / VOL)	VAZÃO m ³ /s	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
996,8	0,22541	0,91116	16,0	0,22830	-0,019246	0,03100	-0,00060	-0,0000608	0,01641	-0,37
996,5	0,55471	1,13188	19,0	0,22834	2,146652	0,03600	0,07728	0,0078808	0,02808	28,06
996,8	0,76332	1,25418	20,0	0,22830	2,696855	0,03958	0,10674	0,0108853	0,00790	137,82
996,5	0,26546	0,97172	16,3	0,22834	0,190957	0,03158	0,00603	0,0006150	0,00637	9,65
996,5	0,53949	1,13378	19,0	0,22834	1,825053	0,03758	0,06859	0,0069942	0,02163	32,34
996,5	1,12704	1,33824	22,0	0,22834	5,519501	0,03958	0,21846	0,0222784	0,02575	86,53
996,5	0,47343	1,08324	18,0	0,22834	1,632823	0,02958	0,04830	0,0049254	0,00659	74,73
996,2	0,30417	0,98321	16,7	0,22838	0,476667	0,02958	0,01410	0,0014379	0,00423	33,99
996,2	0,43551	1,06816	17,7	0,22838	1,214749	0,03358	0,04079	0,0041598	0,01256	33,11
996,2	0,54947	1,12870	19,0	0,22838	2,001390	0,03558	0,07121	0,0072618	0,01572	46,20
996,2	0,60698	1,14264	19,1	0,22838	2,727206	0,03158	0,08613	0,0087829	0,01844	47,64
996,2	0,50750	1,10016	18,0	0,22838	1,750916	0,03358	0,05880	0,0059959	0,00844	71,08
996,2	0,60223	1,15765	19,2	0,22838	2,235862	0,03558	0,07955	0,0081126	0,00825	98,33
996,2	0,55772	1,12844	19,0	0,22838	2,198201	0,03158	0,06942	0,0070793	0,00923	76,66

Tabela 4.20 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)	Massa Espec. da Água (Kg/m ³)
37	0,0843	0,095310	0,05236111	0,717029	8,36E-07	0,0040	0,057503	26500	9771,68	996,5
38	0,0675	0,073180	0,05236111	0,605903	8,36E-07	0,0049	0,056950	26500	9771,68	996,5
39	0,0609	0,067320	0,05236111	0,777481	8,36E-07	0,0058	0,058853	26500	9771,68	996,5
40	0,0745	0,081740	0,05211955	0,640323	8,54E-07	0,0046	0,057970	26500	9771,68	996,5
41	0,0871	0,096860	0,05211955	0,705554	8,54E-07	0,0046	0,062681	26500	9771,68	996,5
42	0,0778	0,085000	0,05211955	0,709882	8,54E-07	0,0058	0,066520	26500	9771,68	996,5
43	0,0756	0,083230	0,05236111	0,724979	8,36E-07	0,0054	0,063271	26500	9771,68	996,5
44	0,0881	0,098910	0,05236111	0,771813	8,36E-07	0,0049	0,065063	26500	9771,68	996,5
45	0,0892	0,100270	0,05236111	0,761344	8,36E-07	0,0047	0,064118	26500	9771,68	996,5

Tabela 4.21 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Primeira Mistura – Leito Plano).

CISAL. TOTAL NO LEITO - Tb (N / m2)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N / m2)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (PESO / VOL)	VAZÃO m3/s	DESC. TOTAL SEDIMENTOS (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
3,29501	1,09820	16,3	0,24791	31,081016	0,03417	1,06204	0,1083049	0,08439	128,34
3,23198	1,08764	16,3	0,24791	41,427459	0,02217	0,91845	0,0936617	0,04718	198,52
3,45155	1,12398	17,0	0,24791	51,129783	0,02617	1,33807	0,1364538	0,09609	142,01
3,34875	1,11225	17,0	0,24791	39,461257	0,02617	1,03270	0,1053132	0,07152	147,25
3,91512	1,20263	17,5	0,24791	39,411343	0,03417	1,34669	0,1373328	0,10608	129,46
4,40937	1,27629	18,0	0,24791	53,572959	0,03017	1,61630	0,1648273	0,11325	145,54
3,98919	1,20836	17,5	0,24791	47,989652	0,03017	1,44785	0,1476492	0,12728	116,00
4,21834	1,24258	18,0	0,24791	42,829723	0,03817	1,63481	0,1667153	0,12100	137,78
4,09668	1,22453	17,7	0,24791	40,180138	0,03817	1,53368	0,1564018	0,11000	142,18

Tabela 4.21 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)	Massa Espec. da Água (Kg/m ³)
37	0,0843	0,095310	0,0545295	0,717029	8,36E-07	0,0040	0,057503	26500	9771,68	996,5
38	0,0675	0,073180	0,0545295	0,605903	8,36E-07	0,0049	0,056950	26500	9771,68	996,5
39	0,0609	0,067320	0,0545295	0,777481	8,36E-07	0,0058	0,058853	26500	9771,68	996,5
40	0,0745	0,081740	0,0542950	0,640323	8,54E-07	0,0046	0,057970	26500	9771,68	996,5
41	0,0871	0,096860	0,0542950	0,705554	8,54E-07	0,0046	0,062681	26500	9771,68	996,5
42	0,0778	0,085000	0,0542950	0,709882	8,54E-07	0,0058	0,066520	26500	9771,68	996,5
43	0,0756	0,083230	0,0545295	0,724979	8,36E-07	0,0054	0,063271	26500	9771,68	996,5
44	0,0881	0,098910	0,0545295	0,771813	8,36E-07	0,0049	0,065063	26500	9771,68	996,5
45	0,0892	0,100270	0,0545295	0,761344	8,36E-07	0,0047	0,064118	26500	9771,68	996,5

bela 4.22 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D65 como tamanho representativo do material do leito (Primeira Mistura – Leito Plano).

CISAL. TOTAL NO LEITO - Tb (N / m2)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N / m2)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (PESO / VOL)	VAZÃO m3/s	DESC. TOTAL SEDIMENTOS (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
3,29501	1,05453	16,2	0,26096	29,220155	0,03417	0,99845	0,1018206	0,08439	120,65
3,23198	1,04439	16,2	0,26096	38,943605	0,02217	0,86338	0,0880461	0,04718	186,62
3,45155	1,07929	16,2	0,26096	46,098968	0,02617	1,20641	0,1230277	0,09609	128,03
3,34875	1,06769	16,2	0,26096	35,573720	0,02617	0,93096	0,0949382	0,07152	132,74
3,91512	1,15445	17,2	0,26096	36,668002	0,03417	1,25295	0,1277734	0,10608	120,45
4,40937	1,22515	17,7	0,26096	49,889155	0,03017	1,50516	0,1534934	0,11325	135,53
3,98919	1,16030	17,2	0,26096	44,652349	0,03017	1,34716	0,1373813	0,12728	107,94
4,21834	1,19316	17,5	0,26096	39,428008	0,03817	1,50497	0,1534741	0,12100	126,84
4,09668	1,17583	17,2	0,26096	36,967098	0,03817	1,41103	0,1438950	0,11000	130,81

Tabela 4.22 – Continuação.

NÚMERO	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb' (m)	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISLHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)	Massa Espec. da Água (Kg/m ³)
46	0,0272304	0,1481	0,162790	0,05236111	0,382947	8,36E-07	0,0018	0,051128	26500	9768,74	996,2
47	0,0255203	0,1475	0,162900	0,05211955	0,382689	8,54E-07	0,0017	0,049587	26500	9771,68	996,5
48	0,0389596	0,1597	0,177320	0,05236111	0,448342	8,36E-07	0,0021	0,057347	26500	9768,74	996,2
49	0,0572190	0,1908	0,207390	0,05236111	0,383336	8,36E-07	0,0021	0,062682	26500	9768,74	996,2
51	0,0472690	0,1640	0,178390	0,05236111	0,405516	8,36E-07	0,0023	0,060818	26500	9768,74	996,2
57	0,0352201	0,1849	0,205600	0,05236111	0,386673	8,36E-07	0,0016	0,053861	26500	9768,74	996,2
62	0,0252903	0,1414	0,155330	0,05236111	0,380867	8,36E-07	0,0018	0,049958	26500	9768,74	996,2
63	0,0205500	0,1401	0,155430	0,05211955	0,380622	8,54E-07	0,0016	0,046884	26500	9771,68	996,5
64	0,0365999	0,1500	0,163960	0,05211955	0,409612	8,54E-07	0,0022	0,056886	26500	9771,68	996,5
67	0,0370200	0,1628	0,178520	0,05211955	0,398656	8,54E-07	0,0020	0,056505	26500	9771,68	996,5
71	0,0456387	0,1622	0,176320	0,05211955	0,403584	8,54E-07	0,0023	0,060483	26500	9771,68	996,5
72	0,0387291	0,1477	0,159650	0,05211955	0,395615	8,54E-07	0,0024	0,058958	26500	9771,68	996,5
73	0,0385597	0,1538	0,166400	0,05211955	0,379567	8,54E-07	0,0022	0,057602	26500	9771,68	996,5

Tabela 4.23 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura - Dunas).

SALH. LEITO EVID GRÃOS 'o' - (N / m2)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N / m2)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (PESO / VOL)	VAZÃO m3/s	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
0,47881	0,97645	16,0	0,24796	1,237187	0,03115	0,03854	0,0039301	0,005200	75,58
0,42394	0,95141	16,0	0,24791	0,943057	0,03115	0,02938	0,0029957	0,004420	67,78
0,79923	1,09521	16,3	0,24796	2,724037	0,03615	0,09847	0,0100422	0,008180	122,77
1,17381	1,19712	17,0	0,24796	3,974486	0,03973	0,15791	0,0161030	0,003890	413,96
1,06204	1,16151	17,0	0,24796	4,166102	0,03617	0,15069	0,0153669	0,017580	87,41
0,55049	1,02865	16,0	0,24796	1,234734	0,03975	0,04908	0,0050052	0,003194	156,71
0,44470	0,95411	16,0	0,24796	1,113674	0,02958	0,03294	0,0033594	0,004436	75,73
0,32129	0,89955	15,5	0,24791	0,402281	0,02958	0,01190	0,0012135	0,005062	23,97
0,78681	1,09145	16,3	0,24791	2,919113	0,03358	0,09802	0,0099963	0,016065	62,22
0,72350	1,08415	16,3	0,24791	2,332709	0,03558	0,08300	0,0084640	0,008423	100,49
1,02572	1,16047	17,0	0,24791	4,036949	0,03558	0,14363	0,0146476	0,015884	92,22
0,90828	1,13120	16,7	0,24791	3,780517	0,03158	0,11939	0,0121751	0,015281	92,22
0,82894	1,10518	16,3	0,24791	3,093552	0,03158	0,09769	0,0099627	0,009511	79,67

Tabela 4.23 – Continuação.

NÚMERO	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)	Massa Espec. da Água (Kg/m ³)
46	0,0272304	0,1481	0,162790	0,04894438	0,382947	8,36E-07	0,0018	0,051128	26500	9768,74	996,2
47	0,0255203	0,1475	0,162900	0,04869195	0,382689	8,54E-07	0,0017	0,049587	26500	9771,68	996,5
48	0,0389596	0,1597	0,177320	0,04894438	0,448342	8,36E-07	0,0021	0,057347	26500	9768,74	996,2
49	0,0572190	0,1908	0,207390	0,04894438	0,383336	8,36E-07	0,0021	0,062682	26500	9768,74	996,2
51	0,0472690	0,1640	0,178390	0,04894438	0,405516	8,36E-07	0,0023	0,060818	26500	9768,74	996,2
57	0,0352201	0,1849	0,205600	0,04894438	0,386673	8,36E-07	0,0016	0,053861	26500	9768,74	996,2
62	0,0252903	0,1414	0,155330	0,04894438	0,380867	8,36E-07	0,0018	0,049958	26500	9768,74	996,2
63	0,0205500	0,1401	0,155430	0,04869195	0,380622	8,54E-07	0,0016	0,046884	26500	9771,68	996,5
64	0,0365999	0,1500	0,163960	0,04869195	0,409612	8,54E-07	0,0022	0,056886	26500	9771,68	996,5
67	0,0370200	0,1628	0,178520	0,04869195	0,398656	8,54E-07	0,0020	0,056505	26500	9771,68	996,5
71	0,0456387	0,1622	0,176320	0,04869195	0,403584	8,54E-07	0,0023	0,060483	26500	9771,68	996,5
72	0,0387291	0,1477	0,159650	0,04869195	0,395615	8,54E-07	0,0024	0,058958	26500	9771,68	996,5
73	0,0385597	0,1538	0,166400	0,04869195	0,379567	8,54E-07	0,0022	0,057602	26500	9771,68	996,5

Tabela 4.24 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D45 como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura - Dunas).

CISALH. LEITO DEVID GRÃOS To - (N / m2)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N / m2)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (PESO / VOL)	VAZÃO m3/s	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
0,47881	1,04462	16,0	0,22838	1,323826	0,03115	0,04124	0,0042053	0,005200	80,87
0,42394	1,01838	16,0	0,22834	1,033649	0,03115	0,03220	0,0032835	0,004420	74,29
0,79923	1,17167	17,0	0,22838	2,901857	0,03615	0,10490	0,0106977	0,008180	130,78
1,17381	1,28068	18,2	0,22838	4,285855	0,03973	0,17028	0,0173646	0,003890	446,39
1,06204	1,24259	18,0	0,22838	4,455745	0,03617	0,16116	0,0164353	0,017580	93,49
0,55049	1,10045	16,4	0,22838	1,329151	0,03975	0,05283	0,0053879	0,003194	168,69
0,44470	1,02071	16,0	0,22838	1,207815	0,02958	0,03573	0,0036434	0,004436	82,13
0,32129	0,96287	15,7	0,22834	0,509129	0,02958	0,01506	0,0015358	0,005062	30,34
0,78681	1,16828	17,0	0,22834	3,112095	0,03358	0,10450	0,0106572	0,016065	66,34
0,72350	1,16046	17,0	0,22834	2,498529	0,03558	0,08890	0,0090656	0,008423	107,63
1,02572	1,24216	18,0	0,22834	4,322324	0,03558	0,15379	0,0156831	0,015884	98,74
0,90828	1,21083	17,8	0,22834	4,092483	0,03158	0,12924	0,0131797	0,015281	98,74
0,82894	1,18298	17,2	0,22834	3,328388	0,03158	0,10511	0,0107190	0,009511	86,25

Tabela 4.24 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)	Massa Espec. da Água (Kg/m ³)
75	0,0768	0,083640	0,05211955	0,6257771	8,54E-07	0,0048	0,060124	26500	9771,68	996,5
76	0,0750	0,082430	0,05211955	0,7320151	8,54E-07	0,0057	0,064746	26500	9771,68	996,5
77	0,0877	0,096880	0,05211955	0,7054088	8,54E-07	0,0050	0,065574	26500	9771,68	996,5
78	0,0957	0,106570	0,05211955	0,7163367	8,54E-07	0,0047	0,066413	26500	9771,68	996,5
79	0,0757	0,083690	0,05211955	0,6254033	8,54E-07	0,0040	0,054491	26500	9771,68	996,5
80	0,0780	0,086070	0,05211955	0,7010573	8,54E-07	0,0050	0,061841	26500	9771,68	996,5
81	0,0823	0,092100	0,05211955	0,7420195	8,54E-07	0,0047	0,061588	26500	9771,68	996,5
82	0,0921	0,103690	0,05211955	0,7362329	8,54E-07	0,0044	0,063038	26500	9771,68	996,5

Tabela 4.25 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura – Leito Plamno).

CISAL. TOTAL NO LEITO - Tb (N / m2)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N / m2)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (PESO / VOL)	VAZÃO m3/s	DESC. TOTAL SEDIMENTOS (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
3,60223	1,15358	17,0	0,24791	41,557839	0,02617	1,08757	0,1109085	0,075517	146,87
4,17739	1,24226	18,0	0,24791	52,431321	0,03017	1,58185	0,1613148	0,122510	131,67
4,28488	1,25814	18,0	0,24791	44,613960	0,03417	1,52446	0,1554619	0,125510	123,86
4,39520	1,27424	18,2	0,24791	41,464631	0,03817	1,58270	0,1614017	0,103278	156,28
2,95886	1,04550	16,0	0,24791	31,589198	0,02617	0,82669	0,0843044	0,060531	139,27
3,81095	1,18653	17,4	0,24791	43,697756	0,03017	1,31836	0,1344444	0,094831	141,77
3,77978	1,18166	17,4	0,24791	40,025228	0,03417	1,36766	0,1394720	0,088902	156,88
3,95988	1,20949	17,5	0,24791	36,843820	0,03817	1,40633	0,1434151	0,102358	140,11

Tabela 4.25 –Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)	Massa Espec. da Água (Kg/m ³)
75	0,0768	0,083640	0,0603724	0,6257771	8,54E-07	0,0048	0,060124	26500	9771,68	996,5
76	0,0750	0,082430	0,0603724	0,7320151	8,54E-07	0,0057	0,064746	26500	9771,68	996,5
77	0,0877	0,096880	0,0603724	0,7054088	8,54E-07	0,0050	0,065574	26500	9771,68	996,5
78	0,0957	0,106570	0,0603724	0,7163367	8,54E-07	0,0047	0,066413	26500	9771,68	996,5
79	0,0757	0,083690	0,0603724	0,6254033	8,54E-07	0,0040	0,054491	26500	9771,68	996,5
80	0,0780	0,086070	0,0603724	0,7010573	8,54E-07	0,0050	0,061841	26500	9771,68	996,5
81	0,0823	0,092100	0,0603724	0,7420195	8,54E-07	0,0047	0,061588	26500	9771,68	996,5
82	0,0921	0,103690	0,0603724	0,7362329	8,54E-07	0,0044	0,063038	26500	9771,68	996,5

Tabela 4.26 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D65 como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura – Leito Plano).

CISAL. TOTAL NO LEITO - Tb (N / m2)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N / m2)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (PESO / VOL)	VAZÃO m3/s	DESC. TOTAL SEDIMENTOS (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
3,60223	0,99588	16,0	0,30011	31,808204	0,02617	0,83242	0,0848889	0,075517	112,41
4,17739	1,07245	16,2	0,30011	38,463784	0,03017	1,16045	0,1183411	0,122510	96,60
4,28488	1,08616	16,2	0,30011	32,740674	0,03417	1,11875	0,1140882	0,125510	90,90
4,39520	1,10005	16,3	0,30011	30,291421	0,03817	1,15622	0,1179098	0,103278	114,17
2,95886	0,90258	15,5	0,30011	24,793242	0,02617	0,64884	0,0661676	0,060531	109,31
3,81095	1,02433	16,2	0,30011	33,116311	0,03017	0,99912	0,1018885	0,094831	107,44
3,77978	1,02013	16,2	0,30011	30,329109	0,03417	1,03635	0,1056849	0,088902	118,88
3,95988	1,04415	16,2	0,30011	27,779064	0,03817	1,06033	0,1081304	0,102358	105,64

Tabela 4.26 – Continuação.

NÚMERO	RAJO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	RAJO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)	Massa Espec. da Água (Kg/m ³)
97	0,0190300	0,1228	0,137360	0,0516079	0,451369	8,93E-07	0,0020	0,049075	26500	9776,58	997,0
98	0,0336703	0,1568	0,172020	0,0516079	0,418556	8,93E-07	0,0022	0,058161	26500	9776,58	997,0
99	0,0295702	0,1725	0,192820	0,0516079	0,409709	8,93E-07	0,0017	0,053625	26500	9776,58	997,0
100	0,0227803	0,1254	0,137950	0,0516079	0,428851	8,93E-07	0,0022	0,052012	26500	9776,58	997,0
101	0,0260302	0,1407	0,155640	0,0516079	0,431509	8,93E-07	0,0024	0,057544	26500	9776,58	997,0
102	0,0289901	0,1490	0,164820	0,0516079	0,431744	8,93E-07	0,0021	0,055392	26500	9776,58	997,0
103	0,0230602	0,1341	0,149860	0,0516079	0,421460	8,93E-07	0,0020	0,051283	26500	9776,58	997,0
104	0,0149598	0,1162	0,132300	0,0516079	0,468632	8,93E-07	0,0018	0,045288	26500	9776,58	997,0
105	0,0261402	0,1450	0,161770	0,0516079	0,445076	8,93E-07	0,0020	0,053327	26500	9776,58	997,0
106	0,0328704	0,1709	0,189630	0,0516079	0,416600	8,93E-07	0,0019	0,056428	26500	9776,58	997,0
107	0,0192100	0,1293	0,143250	0,0516079	0,412984	8,93E-07	0,0019	0,049082	26500	9776,58	997,0
108	0,0254403	0,1386	0,153540	0,0516079	0,437411	8,93E-07	0,0021	0,053424	26500	9776,58	997,0
109	0,0321905	0,1526	0,167690	0,0516079	0,424355	8,93E-07	0,0022	0,057377	26500	9776,58	997,0
110	0,0234502	0,1313	0,145340	0,0516079	0,434567	8,93E-07	0,0021	0,051998	26500	9776,58	997,0

Tabela 4.27 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Terceira Mistura- Dunas).

CISALH. LEITO DEVID GRÃOS To' - (N / m2)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N/m2)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (N/m3)	VAZÃO m3/s	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
0,37210	0,95092	16,0	0,24784	0,812881	0,03100	0,02520	0,002570	0,008410	30,56
0,72420	1,12697	16,5	0,24784	2,471732	0,03600	0,08898	0,009074	0,015688	57,84
0,49146	1,03908	16,0	0,24784	1,072965	0,03950	0,04238	0,004322	0,002568	168,30
0,48997	1,00784	16,0	0,24784	1,576106	0,02958	0,04662	0,004754	0,004935	96,34
0,61077	1,11502	16,4	0,24784	2,103531	0,03358	0,07064	0,007203	0,008079	89,17
0,59519	1,07333	16,3	0,24784	1,871561	0,03558	0,06659	0,006791	0,009123	74,43
0,45090	0,99371	16,0	0,24784	1,200061	0,03158	0,03790	0,003865	0,010908	35,43
0,26326	0,87754	15,0	0,24784	0,098801	0,03100	0,00306	0,000312	0,005524	5,65
0,51112	1,03331	16,0	0,24784	1,423167	0,03600	0,05123	0,005225	0,012584	41,52
0,61058	1,09340	16,3	0,24784	1,659549	0,03950	0,06555	0,006685	0,001775	376,61
0,35684	0,95106	16,0	0,24784	0,678956	0,02958	0,02008	0,002048	0,003068	66,77
0,52231	1,03519	16,0	0,24784	1,576824	0,03358	0,05295	0,005400	0,008400	64,28
0,69237	1,11178	16,3	0,24784	2,347412	0,03558	0,08352	0,008517	0,012024	70,84
0,48145	1,00756	16,0	0,24784	1,430842	0,03158	0,04519	0,004608	0,013820	33,34

Tabela 4.27 – Continuação.

NÚMERO	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISLHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)
97	0,0190300	0,1228	0,137360	0,0457346	0,451369	8,93E-07	0,0020	0,049075	26500	9776,58
98	0,0336703	0,1568	0,172020	0,0457346	0,418556	8,93E-07	0,0022	0,058161	26500	9776,58
99	0,0295702	0,1725	0,192820	0,0457346	0,409709	8,93E-07	0,0017	0,053625	26500	9776,58
100	0,0227803	0,1254	0,137950	0,0457346	0,428851	8,93E-07	0,0022	0,052012	26500	9776,58
101	0,0260302	0,1407	0,155640	0,0457346	0,431509	8,93E-07	0,0024	0,057544	26500	9776,58
102	0,0289901	0,1490	0,164820	0,0457346	0,431744	8,93E-07	0,0021	0,055392	26500	9776,58
103	0,0230602	0,1341	0,149860	0,0457346	0,421460	8,93E-07	0,0020	0,051283	26500	9776,58
104	0,0149598	0,1162	0,132300	0,0457346	0,468632	8,93E-07	0,0018	0,045288	26500	9776,58
105	0,0261402	0,1450	0,161770	0,0457346	0,445076	8,93E-07	0,0020	0,053327	26500	9776,58
106	0,0328704	0,1709	0,189630	0,0457346	0,416600	8,93E-07	0,0019	0,056428	26500	9776,58
107	0,0192100	0,1293	0,143250	0,0457346	0,412984	8,93E-07	0,0019	0,049082	26500	9776,58
108	0,0254403	0,1386	0,153540	0,0457346	0,437411	8,93E-07	0,0021	0,053424	26500	9776,58
109	0,0321905	0,1526	0,167690	0,0457346	0,424355	8,93E-07	0,0022	0,057377	26500	9776,58
110	0,0234502	0,1313	0,145340	0,0457346	0,434567	8,93E-07	0,0021	0,051998	26500	9776,58

Tabela 4.28 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Laursen utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Terceira Mistura - Dunas).

Massa Espec. da Água (Kg/m ³)	CISALH. LEITO DEVID GRÃOS To' - (N / m ²)	RELAÇÃO Ub / w	FUNÇÃO F F (Ub / w)	TENSÃO CISAL CRÍTICA - Tcr (N / m ²)	CONC. MÉDIA SEDIMENTO - C (PESO / VOL)	VAZÃO m ³ /s	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (N/s)	DESC. TOTAL SEDIM. CALC. (Kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
997,0	0,37210	1,07304	16,0	0,21523	1,00237	0,03100	0,0310700	0,0031690	0,008410	37,68
997,0	0,72420	1,27170	16,5	0,21523	2,57957	0,03600	0,0928600	0,0094700	0,015688	60,37
997,0	0,49146	1,17252	16,0	0,21523	1,18832	0,03950	0,0469400	0,0047870	0,002568	186,40
997,0	0,48997	1,13726	16,0	0,21523	1,74682	0,02958	0,0516700	0,0052690	0,004935	106,77
997,0	0,61077	1,25821	16,4	0,21523	2,23927	0,03358	0,0751900	0,0076680	0,008079	94,92
997,0	0,59519	1,21117	16,3	0,21523	1,99970	0,03558	0,0711500	0,0072560	0,009123	79,53
997,0	0,45090	1,12132	16,0	0,21523	1,36042	0,03158	0,0429600	0,0043810	0,010908	40,17
997,0	0,26326	0,99024	15,0	0,21523	0,30061	0,03100	0,0093200	0,0009500	0,005524	17,20
997,0	0,51112	1,16600	16,0	0,21523	1,56227	0,03600	0,0562400	0,0057360	0,012584	45,58
997,0	0,61058	1,23381	16,3	0,21523	1,76671	0,03950	0,0697900	0,0071170	0,001775	400,93
997,0	0,35684	1,07319	16,0	0,21523	0,86160	0,02958	0,0254900	0,0025990	0,003068	84,73
997,0	0,52231	1,16813	16,0	0,21523	1,72318	0,03358	0,0578600	0,0059010	0,008400	70,25
997,0	0,69237	1,25456	16,3	0,21523	2,46107	0,03558	0,0875600	0,0089300	0,012024	74,27
997,0	0,48145	1,13695	16,0	0,21523	1,59269	0,03158	0,0503000	0,0051290	0,013820	37,11

Tabela 4.28 – Continuação.

RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m3)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m3)	Massa Espec. da Água (Kg/m3)
0,0716	0,079560	0,0516079	0,858974	8,93E-07	0,0067	0,068587	26500	9776,582	997,0
0,0577	0,064330	0,0516079	0,813617	8,93E-07	0,0058	0,057286	26500	9776,582	997,0
0,0646	0,071130	0,0516079	0,848306	8,93E-07	0,0073	0,068002	26500	9776,582	997,0
0,0826	0,092570	0,0516079	0,824673	8,93E-07	0,0057	0,067947	26500	9776,582	997,0
0,0747	0,082530	0,0516079	0,828063	8,93E-07	0,0067	0,070056	26500	9776,582	997,0
0,0596	0,065210	0,0516079	0,802638	8,93E-07	0,0072	0,064869	26500	9776,582	997,0
0,0684	0,076850	0,0516079	0,785166	8,93E-07	0,0051	0,058487	26500	9776,582	997,0
0,0867	0,096720	0,0516079	0,789289	8,93E-07	0,0055	0,068381	26500	9776,582	997,0

Figura 4.29 - Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D50 como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura - Leito Plano)

OTAL	RELAÇÃO	FUNÇÃO F	TENSÃO CISAL	CONC. MÉDIA	VAZÃO	DESC. TOTAL	DESC. TOTAL	TAXA TOTAL	RELAÇ PERC
O - Tb	Ub / w	F (Ub / w)	CRÍTICA - T _{cr}	SEDIMENTO - C	m ³ /s	SEDIMENTOS	SEDIM. CALC.	SEDIM TRANSP	CALC / MEDID
n ²)			(N / m ²)	(PESO / VOL)		(N/s)	(Kg/s)	medid(kg/s)	(%)
39002	1,32900	19,0	0,24784	65,258025	0,03417	2,22987	0,2273982	0,18885	120,42
27183	1,11002	16,3	0,24784	48,833006	0,02617	1,27796	0,1303243	0,11669	111,69
31044	1,31767	19,0	0,24784	73,035162	0,03017	2,20347	0,2247064	0,18475	121,63
30301	1,31661	19,0	0,24784	53,617266	0,03817	2,04657	0,2087060	0,14166	147,33
39308	1,35746	19,1	0,24784	65,728806	0,03417	2,24595	0,2290387	0,14133	162,06
19533	1,25695	18,0	0,24784	69,287439	0,02617	1,81325	0,1849125	0,14325	129,08
11046	1,13330	16,3	0,24784	41,502890	0,03017	1,25214	0,1276914	0,12475	102,36
36196	1,32501	19,0	0,24784	51,632553	0,03817	1,97081	0,2009805	0,12608	159,41

abela 4.29 - Continuação

RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (S)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	PESO ESPECÍF DO SEDIMEN (N / m ³)	PESO ESPECÍF DA ÁGUA (N / m ³)	Massa Espec. da Água (Kg/m ³)
0,0716	0,079560	0,0537981	0,858974	8,93E-07	0,0067	0,068587	26500	9776,582	997,0
0,0577	0,064330	0,0537981	0,813617	8,93E-07	0,0058	0,057286	26500	9776,582	997,0
0,0646	0,071130	0,0537981	0,848306	8,93E-07	0,0073	0,068002	26500	9776,582	997,0
0,0826	0,092570	0,0537981	0,824673	8,93E-07	0,0057	0,067947	26500	9776,582	997,0
0,0747	0,082530	0,0537981	0,828063	8,93E-07	0,0067	0,070056	26500	9776,582	997,0
0,0596	0,065210	0,0537981	0,802638	8,93E-07	0,0072	0,064869	26500	9776,582	997,0
0,0684	0,076850	0,0537981	0,785166	8,93E-07	0,0051	0,058487	26500	9776,582	997,0
0,0867	0,096720	0,0537981	0,789289	8,93E-07	0,0055	0,068381	26500	9776,582	997,0

Figura 4.30 - Resultados do Transporte Total Obtidos com a Equação de Laursen Utilizando D65 como Tamanho Representativo do Material do Leito (Terceira Mistura - Leito Plano)

OTAL	RELAÇÃO	FUNÇÃO F	TENSÃO CISCAL	CONC. MÉDIA	VAZÃO	DESC. TOTAL	DESC. TOTAL	TAXA TOTAL	RELAÇ PERC
)- Tb	Ub / w	F (Ub / w)	CRÍTICA - Tcr	SEDIMENTO - C	m3/s	SEDIMENTOS	SEDIM. CALC.	SEDIM TRANSP	CALC / MEDID
12)			(N / m2)	(PESO / VOL)		(N/s)	(Kg/s)	medid(kg/s)	(%)
9002	1,27489	18,0	0,26089	62,171079	0,03417	2,12439	0,2166414	0,18885	114,72
7183	1,06483	16,0	0,26089	48,137235	0,02617	1,25975	0,1284674	0,11669	110,10
1044	1,26403	18,0	0,26089	69,576590	0,03017	2,09913	0,2140654	0,18475	115,87
0301	1,26301	18,0	0,26089	51,077964	0,03817	1,94965	0,1988217	0,14166	140,35
9308	1,30220	19,0	0,26089	65,760856	0,03417	2,24705	0,2291504	0,14133	162,14
9533	1,20578	16,3	0,26089	63,073200	0,02617	1,65063	0,1683281	0,14325	117,51
1046	1,08716	16,0	0,26089	40,919328	0,03017	1,23454	0,1258960	0,12475	100,92
6196	1,27107	18,0	0,26089	49,189221	0,03817	1,87755	0,1914698	0,12608	151,86

ela 4.30 - Continuação

N	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (s)	VELOC. CISAL SUPERF. LEITO U _{b'} - (m/s)
7	0,0135654	0,133552	0,05186673	0,464246	8,73E-07	0,0017	0,015038
8	0,0258033	0,156469	0,05211955	0,460152	8,54E-07	0,0022	0,023594
9	0,0390458	0,205471	0,05186673	0,385263	8,73E-07	0,0020	0,027672
17	0,0181110	0,169377	0,05211955	0,372911	8,54E-07	0,0015	0,016322
18	0,0276046	0,172608	0,05211955	0,435458	8,54E-07	0,0020	0,023268
19	0,0461348	0,188154	0,05211955	0,420728	8,54E-07	0,0025	0,033630
20	0,0230708	0,147749	0,05211955	0,400433	8,54E-07	0,0021	0,021797
25	0,0172982	0,145500	0,05236111	0,406598	8,36E-07	0,0018	0,017474
31	0,0234643	0,162390	0,05236111	0,413572	8,36E-07	0,0019	0,020909
32	0,0267847	0,163780	0,05236111	0,434485	8,36E-07	0,0021	0,023485
33	0,0258895	0,145330	0,05236111	0,434597	8,36E-07	0,0024	0,024684
34	0,0247388	0,155510	0,05236111	0,431869	8,36E-07	0,0021	0,022571
35	0,0293567	0,171220	0,05236111	0,415606	8,36E-07	0,0021	0,024587
36	0,0259511	0,154450	0,05236111	0,408935	8,36E-07	0,0022	0,023661

Tabela 4.31 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Yang utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Primeira Mistura - Dunas).

Ub* * D50/VISC	Ucr / W	VELOC MÉDIA CRÍTICA - Ucr (m/s)	log C	CONCENTRAÇ (mass/vol) - C (mg/l)	TAXA TOTAL TRANSP. CALC. (Kg/m.s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. medid(kg/s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. (Kg/m.s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
6,545699	3,967071	0,205759	2,363376	230,874286	0,01431443	0,016412500	0,032825000	43,61
10,498344	3,261130	0,169969	2,623304	420,053143	0,03024363	0,028081250	0,056162500	53,85
12,045302	3,109017	0,161255	2,425845	266,590431	0,02110340	0,007898333	0,015796667	133,59
7,262536	3,780755	0,197051	2,063410	115,72055	0,00730920	0,006373125	0,012746250	57,34
10,353265	3,277589	0,170826	2,512470	325,439673	0,02446120	0,021628571	0,043257142	56,55
14,964291	2,902040	0,151253	2,675749	473,967928	0,03752009	0,025747500	0,051495000	72,86
9,698687	3,357707	0,175002	2,441828	276,584868	0,01636375	0,006590625	0,013181250	124,14
7,942546	3,636333	0,190402	2,309247	203,819887	0,01205799	0,004230000	0,008460000	142,53
9,503942	3,383597	0,177169	2,410513	257,343322	0,01728317	0,012564286	0,025128572	68,78
10,675209	3,241641	0,169736	2,544839	350,621519	0,02495021	0,015716667	0,031433334	79,38
11,219934	3,185277	0,166785	2,632669	429,209214	0,02710885	0,018437500	0,036875000	73,52
10,259396	3,288475	0,172188	2,530690	339,383104	0,02279295	0,008435417	0,016870834	135,10
11,176011	3,189630	0,167013	2,511464	324,686329	0,02310470	0,008250000	0,016500000	140,03
10,755047	3,233043	0,169286	2,514373	326,868258	0,02064500	0,009234091	0,018468182	111,79

Tabela 4.31 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (s)	VELOC. CISAL SUPERF. LEITO Ub' - (m/s)
7	0,0135654	0,133552	0,04842788	0,464246	8,73E-07	0,0017	0,015038
8	0,0258033	0,156469	0,04869195	0,460152	8,54E-07	0,0022	0,023594
9	0,0390458	0,205471	0,04842788	0,385263	8,73E-07	0,0020	0,027672
17	0,0181110	0,169377	0,04869195	0,372911	8,54E-07	0,0015	0,016322
18	0,0276046	0,172608	0,04869195	0,435458	8,54E-07	0,0020	0,023268
19	0,0461348	0,188154	0,04869195	0,420728	8,54E-07	0,0025	0,033630
20	0,0230708	0,147749	0,04869195	0,400433	8,54E-07	0,0021	0,021797
25	0,0172982	0,145500	0,04894438	0,406598	8,36E-07	0,0018	0,017474
31	0,0234643	0,162390	0,04894438	0,413572	8,36E-07	0,0019	0,020909
32	0,0267847	0,163780	0,04894438	0,434485	8,36E-07	0,0021	0,023485
33	0,0258895	0,145330	0,04894438	0,434597	8,36E-07	0,0024	0,024684
34	0,0247388	0,155510	0,04894438	0,431869	8,36E-07	0,0021	0,022571
35	0,0293567	0,171220	0,04894438	0,415606	8,36E-07	0,0021	0,024587
36	0,0259511	0,154450	0,04894438	0,408935	8,36E-07	0,0022	0,023661

Tabela 4.32 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Yang utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Primeira Mistura – Dunas).

Ub' * D60/VISC	Ucr / W	VELOC MÉDIA CRÍTICA - Ucr (m/s)	log C	CONCENTRAÇ (mass/vol) - C (mg/l)	TAXA TOTAL TRANSP. CALC. (Kg/m.s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. medid(kg/s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. (Kg/m.s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
6,028934	4,131063	0,200059	2,388579	244,66924	0,01516973	0,016412500	0,032825000	46,21
9,669527	3,361519	0,163679	2,648253	444,890391	0,03203190	0,028081250	0,056162500	57,03
11,094357	3,197808	0,154863	2,451630	282,898289	0,02239433	0,007898333	0,015796667	141,77
6,689178	3,926382	0,191183	2,090627	123,204678	0,00778192	0,006373125	0,012746250	61,05
9,535902	3,379278	0,164544	2,537276	344,568685	0,02589900	0,021628571	0,043257142	59,87
13,782899	2,976229	0,144918	2,700252	501,478003	0,03969783	0,025747500	0,051495000	77,09
8,933001	3,465844	0,168759	2,468449	294,06888	0,01739817	0,006590625	0,013181250	131,99
7,315503	3,768509	0,184447	2,335099	216,321131	0,01279756	0,004230000	0,008460000	151,27
8,753631	3,493862	0,171005	2,435585	272,636985	0,01831029	0,012564286	0,025128572	72,87
9,832429	3,340503	0,163499	2,569427	371,04571	0,02640360	0,015716667	0,031433334	84,00
10,334150	3,279791	0,160527	2,657974	454,961165	0,02873534	0,018437500	0,036875000	77,93
9,449444	3,391028	0,165972	2,555567	359,391174	0,02413669	0,008435417	0,016870834	143,07
10,293694	3,284476	0,160757	2,536255	343,759715	0,02446196	0,008250000	0,016500000	148,25
9,905965	3,331235	0,163045	2,539953	346,699045	0,02189752	0,009234091	0,018468182	118,57

Tabela 4.32 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (s)	VELOC. CISAL SUPERF. LEITO Ub' - (m/s)
46	0,0272304	0,162790	0,05236111	0,382947	8,36E-07	0,0018	0,021923
47	0,0255203	0,162900	0,05211955	0,382689	8,54E-07	0,0017	0,020626
48	0,0389596	0,177320	0,05236111	0,448342	8,36E-07	0,0021	0,028325
49	0,0572190	0,207390	0,05236111	0,383336	8,36E-07	0,0021	0,034326
51	0,0472690	0,178390	0,05236111	0,405516	8,36E-07	0,0023	0,032651
57	0,0352201	0,205600	0,05236111	0,386673	8,36E-07	0,0016	0,023507
62	0,0252903	0,155330	0,05236111	0,380867	8,36E-07	0,0018	0,021128
63	0,0205500	0,155430	0,05211955	0,380622	8,54E-07	0,0016	0,017956
64	0,0365999	0,163960	0,05211955	0,409612	8,54E-07	0,0022	0,028099
67	0,0370200	0,178520	0,05211955	0,398656	8,54E-07	0,0020	0,026945
71	0,0456387	0,176320	0,05211955	0,403584	8,54E-07	0,0023	0,032083
72	0,0387291	0,159650	0,05211955	0,395615	8,54E-07	0,0024	0,030190
73	0,0385597	0,166400	0,05211955	0,379567	8,54E-07	0,0022	0,028842

Tabela 4.33 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Yang utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura – Dunas).

Ub' * D50/VISC	Ucr / W	VELOC MÉDIA CRÍTICA - Ucr (m/s)	log C	CONCENTRAÇ (mass/vol) - C (mg/l)	TAXA TOTAL TRANSP. CALC. (Kg/m.s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. medid(kg/s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. (Kg/m.s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
9,965212	3,323863	0,174041	2,309903	204,128366	0,01272536	0,005200	0,010400	122,36
9,177809	3,429350	0,178736	2,252522	178,863739	0,01115036	0,004420	0,008840	126,14
12,874790	3,041542	0,159259	2,608487	405,963215	0,03227408	0,008180	0,016360	197,27
15,602818	2,866136	0,150074	2,500542	316,622433	0,02517148	0,003890	0,007780	323,54
14,841418	2,909263	0,152332	2,594289	392,906141	0,02842283	0,017580	0,035160	80,84
10,685099	3,240569	0,169680	2,269830	186,135958	0,01479781	0,003194	0,006388	231,65
9,603654	3,370214	0,176468	2,293552	196,585777	0,01163001	0,004436	0,008872	131,09
7,989831	3,627227	0,189049	2,164700	146,116825	0,00864427	0,005062	0,010124	85,38
12,503251	3,070747	0,160046	2,547425	352,715907	0,02368840	0,016065	0,032130	73,73
11,989605	3,113856	0,162293	2,457954	287,047834	0,02042861	0,008423	0,016846	121,27
14,275858	2,943935	0,153437	2,583411	383,186849	0,02726758	0,015884	0,031768	85,83
13,433711	3,000394	0,156379	2,578085	378,516894	0,02390713	0,015281	0,030562	78,23
12,833639	3,044700	0,158688	2,479213	301,448105	0,01903946	0,009511	0,019022	100,09

Tabela 4.33 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (s)	VELOC. CISAL SUPERF. LEITO U b' - (m/s)
46	0,0272304	0,162790	0,04403683	0,382947	8,36E-07	0,0018	0,021923
47	0,0255203	0,162900	0,04376954	0,382689	8,54E-07	0,0017	0,020626
48	0,0389596	0,177320	0,04403683	0,448342	8,36E-07	0,0021	0,028325
49	0,0572190	0,207390	0,04403683	0,383336	8,36E-07	0,0021	0,034326
51	0,0472690	0,178390	0,04403683	0,405516	8,36E-07	0,0023	0,032651
57	0,0352201	0,205600	0,04403683	0,386673	8,36E-07	0,0016	0,023507
62	0,0252903	0,155330	0,04403683	0,380867	8,36E-07	0,0018	0,021128
63	0,0205500	0,155430	0,04376954	0,380622	8,54E-07	0,0016	0,017956
64	0,0365999	0,163960	0,04376954	0,409612	8,54E-07	0,0022	0,028099
67	0,0370200	0,178520	0,04376954	0,398656	8,54E-07	0,0020	0,026945
71	0,0456387	0,176320	0,04376954	0,403584	8,54E-07	0,0023	0,032083
72	0,0387291	0,159650	0,04376954	0,395615	8,54E-07	0,0024	0,030190
73	0,0385597	0,166400	0,04376954	0,379567	8,54E-07	0,0022	0,028842

Tabela 4.34 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Yang utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura - Dunas).

Ub' * D50/VISC	Ucr / W	VELOC MÉDIA CRÍTICA - Ucr (m/s)	log C	CONCENTRAÇ (mass/vol) - C (mg/l)	TAXA TOTAL TRANSP. CALC. (Kg/m.s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. medid(kg/s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. (Kg/m.s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
8,129515	3,600953	0,158575	2,377976	238,767976	0,01488480	0,005200	0,010400	143,12
7,487160	3,730057	0,163263	2,322168	209,974993	0,01308984	0,004420	0,008840	148,08
10,503118	3,260596	0,143586	2,670830	468,629998	0,03725609	0,008180	0,016360	227,73
12,728615	3,052846	0,134438	2,563296	365,844237	0,02908461	0,003890	0,007780	373,84
12,107472	3,103665	0,136676	2,658153	455,148534	0,03292544	0,017580	0,035160	93,64
8,716791	3,499758	0,154118	2,334087	215,817554	0,01715750	0,003194	0,006388	268,59
7,834560	3,657549	0,161067	2,362494	230,406217	0,01363083	0,004436	0,008872	153,64
6,518020	3,975141	0,173990	2,235638	172,043377	0,01017809	0,005062	0,010124	100,53
10,200021	3,295460	0,144241	2,614227	411,364688	0,02762725	0,016065	0,032130	85,99
9,780994	3,347066	0,146500	2,524477	334,562481	0,02381014	0,008423	0,016846	141,34
11,646095	3,144644	0,137640	2,649141	445,80103	0,03172320	0,015884	0,031768	99,86
10,959080	3,211609	0,140571	2,646250	442,842856	0,02796995	0,015281	0,030562	91,52
10,469548	3,264362	0,142880	2,547926	353,12285	0,02230324	0,009511	0,019022	117,25

Tabela 4.34 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (s)	VELOC. CISAL SUPERF. LEITO U _{b'} - (m/s)
97	0,0190300	0,137360	0,0516079	0,451369	8,93E-07	0,0020	0,019319
98	0,0336703	0,172020	0,0516079	0,418556	8,93E-07	0,0022	0,026951
99	0,0295702	0,192820	0,0516079	0,409709	8,93E-07	0,0017	0,022202
100	0,0227803	0,137950	0,0516079	0,428851	8,93E-07	0,0022	0,022169
101	0,0260302	0,155640	0,0516079	0,431509	8,93E-07	0,0024	0,024751
102	0,0289901	0,164820	0,0516079	0,431744	8,93E-07	0,0021	0,024433
103	0,0230602	0,149860	0,0516079	0,421460	8,93E-07	0,0020	0,021266
104	0,0149598	0,132300	0,0516079	0,468632	8,93E-07	0,0018	0,016250
105	0,0261402	0,161770	0,0516079	0,445076	8,93E-07	0,0020	0,022642
106	0,0328704	0,189630	0,0516079	0,416600	8,93E-07	0,0019	0,024747
107	0,0192100	0,143250	0,0516079	0,412984	8,93E-07	0,0019	0,018918
108	0,0254403	0,153540	0,0516079	0,437411	8,93E-07	0,0021	0,022888
109	0,0321905	0,167690	0,0516079	0,424355	8,93E-07	0,0022	0,026352
110	0,0234502	0,145340	0,0516079	0,434567	8,93E-07	0,0021	0,021975

Tabela 4.35 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Yang utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Terceira Mistura – Dunas).

Ub' * D50/VISC	Ucr / W	VELOC MÉDIA CRÍTICA - Ucr (m/s)	log C	CONCENTRAÇ (mass/vol) - C (mg/l)	TAXA TOTAL TRANSP. CALC. (Kg/m.s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. medid(kg/s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. (Kg/m.s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
8,220770	3,584276	0,184977	2,496937	314,0050	0,0194683	0,0084100	0,0168200	115,75
11,468666	3,161218	0,163144	2,551980	356,4348	0,0256633	0,0156880	0,0313760	81,79
9,447778	3,391256	0,175016	2,335523	216,5325	0,0171061	0,0025680	0,0051360	333,06
9,433419	3,393229	0,175117	2,534546	342,4096	0,0202569	0,0049350	0,0098700	205,24
10,532281	3,257342	0,168105	2,615188	412,2755	0,0276884	0,0080786	0,0161571	171,37
10,397109	3,272569	0,168890	2,534735	342,5591	0,0243765	0,0091233	0,0182467	133,59
9,049501	3,448235	0,177956	2,450392	282,0926	0,0178170	0,0109080	0,0218160	81,67
6,914762	3,866044	0,199518	2,426210	266,8148	0,0165425	0,0055240	0,0110480	149,73
9,634907	3,366074	0,173716	2,519359	330,6430	0,0238063	0,0125840	0,0251680	94,59
10,530703	3,257518	0,168114	2,443965	277,9492	0,0219579	0,0017750	0,0035500	618,53
8,050420	3,615717	0,186600	2,366487	232,5344	0,0137567	0,0030675	0,0061350	224,23
9,739773	3,352373	0,173009	2,533618	341,6785	0,0229472	0,0084000	0,0168000	136,59
11,213812	3,185882	0,164417	2,560662	363,6316	0,0258761	0,0120240	0,0240480	107,60
9,351063	3,404656	0,175707	2,518196	329,7583	0,0208275	0,0138200	0,0276400	75,35

Tabela 4.35 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL SUP LEIT (Rb') (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (s)	VELOC. CISAL SUPERF. LEITO Ub' - (m/s)
97	0,0190300	0,137360	0,0457346	0,451369	8,93E-07	0,0020	0,019319
98	0,0336703	0,172020	0,0457346	0,418556	8,93E-07	0,0022	0,026951
99	0,0295702	0,192820	0,0457346	0,409709	8,93E-07	0,0017	0,022202
100	0,0227803	0,137950	0,0457346	0,428851	8,93E-07	0,0022	0,022169
101	0,0260302	0,155640	0,0457346	0,431509	8,93E-07	0,0024	0,024751
102	0,0289901	0,164820	0,0457346	0,431744	8,93E-07	0,0021	0,024433
103	0,0230602	0,149860	0,0457346	0,421460	8,93E-07	0,0020	0,021266
104	0,0149598	0,132300	0,0457346	0,468632	8,93E-07	0,0018	0,016250
105	0,0261402	0,161770	0,0457346	0,445076	8,93E-07	0,0020	0,022642
106	0,0328704	0,189630	0,0457346	0,416600	8,93E-07	0,0019	0,024747
107	0,0192100	0,143250	0,0457346	0,412984	8,93E-07	0,0019	0,018918
108	0,0254403	0,153540	0,0457346	0,437411	8,93E-07	0,0021	0,022888
109	0,0321905	0,167690	0,0457346	0,424355	8,93E-07	0,0022	0,026352
110	0,0234502	0,145340	0,0457346	0,434567	8,93E-07	0,0021	0,021975

Tabela 4.36 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Yang utilizando D35 como tamanho representativo do material do leito (Terceira Mistura - Dunas).

Ub' * D50/VISC	Ucr / W	VELOC MÉDIA CRÍTICA - Ucr (m/s)	log C	CONCENTRAÇ (mass/vol) - C (mg/l)	TAXA TOTAL TRANSP. CALC. (Kg/m.s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. medid(kg/s)	TAXA TOTAL TRANSP. MEDI. (Kg/m.s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
7,139089	3,810032	0,174250	2,544273	350,165	0,0217102	0,0084100	0,0168200	129,07
9,959631	3,324554	0,152047	2,598664	396,884	0,0285757	0,0156880	0,0313760	91,07
8,204649	3,587195	0,164059	2,381492	240,709	0,0190160	0,0025680	0,0051360	370,25
8,192180	3,589460	0,164163	2,582876	382,716	0,0226415	0,0049350	0,0098700	229,40
9,146455	3,433916	0,157049	2,663386	460,665	0,0309383	0,0080786	0,0161571	191,48
9,029068	3,451291	0,157843	2,581319	381,346	0,0271366	0,0091233	0,0182467	148,72
7,858777	3,652740	0,167057	2,498267	314,969	0,0198934	0,0109080	0,0218160	91,19
6,004925	4,139434	0,189315	2,472532	296,847	0,0184045	0,0055240	0,0110480	166,59
8,367156	3,558289	0,162737	2,565542	367,741	0,0264773	0,0125840	0,0251680	105,20
9,145084	3,434117	0,157058	2,489804	308,890	0,0244023	0,0017750	0,0035500	687,39
6,991155	3,846544	0,175920	2,415302	260,197	0,0153932	0,0030675	0,0061350	250,91
8,458224	3,542578	0,162018	2,580638	380,748	0,0255711	0,0084000	0,0168000	152,21
9,738311	3,352562	0,153328	2,607342	404,895	0,0288124	0,0120240	0,0240480	119,81
8,120660	3,602591	0,164763	2,565743	367,911	0,0232373	0,0138200	0,0276400	84,07

Tabela 4.36 – Continuação.

O	N	RAIO HIDRÁUL LEITO (Rb) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (s)	VELOCIDADE CISALHAMENT Ub - (m/s)	Ub*D50/VISCO
	37	0,0843	0,095310	0,05236111	0,717029	8,36E-07	0,0040	0,057503	26,137681
	38	0,0675	0,073180	0,05236111	0,605903	8,36E-07	0,0049	0,056950	25,886491
	39	0,0609	0,067320	0,05236111	0,777481	8,36E-07	0,0058	0,058853	26,751363
	40	0,0745	0,081740	0,05211955	0,640323	8,54E-07	0,0046	0,057970	25,794596
	41	0,0871	0,096860	0,05211955	0,705554	8,54E-07	0,0046	0,062681	27,890716
	42	0,0778	0,085000	0,05211955	0,709882	8,54E-07	0,0058	0,066520	29,598893
	43	0,0756	0,083230	0,05236111	0,724979	8,36E-07	0,0054	0,063271	28,759481
	44	0,0881	0,098910	0,05236111	0,771813	8,36E-07	0,0049	0,065063	29,573945
	45	0,0892	0,100270	0,05236111	0,761344	8,36E-07	0,0047	0,064118	29,144367

Tabela 4.37 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Yang utilizando D50 como tamanho representativo do material do leito (Primeira Mistura – Leito Plano).

Ucr / W	VELOC MÉDIA CRÍTICA - Ucr (m/s)	log C	CONCENTRAÇ (mass/vol) - C (mg/l)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP calc(Kg/m/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP med(kg/m/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
2,501937	0,131004	3,372565	2358,1145	0,16115	0,08439	0,16878	95,48
2,507646	0,131303	3,368478	2336,0255	0,10358	0,04718	0,09436	109,77
2,488360	0,130293	3,621704	4185,0852	0,21905	0,09609	0,19218	113,98
2,509757	0,130807	3,371776	2353,8342	0,12320	0,07152	0,14304	86,13
2,464455	0,128446	3,436375	2731,3363	0,18666	0,10608	0,21216	87,98
2,431447	0,126726	3,562066	3648,0903	0,22013	0,11325	0,22650	97,19
2,447270	0,128142	3,538512	3455,5119	0,20851	0,12728	0,25456	81,91
2,431907	0,127337	3,526908	3364,4026	0,25684	0,12100	0,24200	106,13
2,439924	0,127757	3,496567	3137,3805	0,23951	0,11034	0,22068	108,53

Tabela 4.37 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (R _b) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (s)	VELOCIDADE CISALHAMENT U _b - (m/s)	U _b *D ₅₀ /VISCO
75	0,0768	0,083640	0,05211955	0,6257771	8,54E-07	0,0048	0,060124	26,753025
76	0,0750	0,082430	0,05211955	0,7320151	8,54E-07	0,0057	0,064746	28,809766
77	0,0877	0,096880	0,05211955	0,7054088	8,54E-07	0,0050	0,065574	29,178064
78	0,0957	0,106570	0,05211955	0,7163367	8,54E-07	0,0047	0,066413	29,551298
79	0,0757	0,083690	0,05211955	0,6254033	8,54E-07	0,0040	0,054491	24,246531
80	0,0780	0,086070	0,05211955	0,7010573	8,54E-07	0,0050	0,061841	27,517183
81	0,0823	0,092100	0,05211955	0,7420195	8,54E-07	0,0047	0,061588	27,404414
82	0,0921	0,103690	0,05211955	0,7362329	8,54E-07	0,0044	0,063038	28,049674

Tabela 4.38 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Yang utilizando D₅₀ como tamanho representativo do material do leito (Segunda Mistura – Leito Plano).

Ucr / W	VELOC MÉDIA CRÍTICA - Ucr (m/s)	log C	CONCENTRAÇ (mass/vol) - C (mg/l)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP calc(Kg/m/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP med(kg/m/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
2,488323	0,129690	3,379642	2396,8590	0,12545	0,07552	0,15103	83,06
2,446302	0,127500	3,572823	3739,5856	0,22565	0,12251	0,24502	92,09
2,439288	0,127135	3,480226	3021,5259	0,20649	0,12551	0,25102	82,26
2,432325	0,126772	3,457572	2867,9542	0,21894	0,10328	0,20656	106,00
2,547292	0,132764	3,279699	1904,1413	0,09966	0,06053	0,12106	82,32
2,472114	0,128845	3,476249	2993,9841	0,18066	0,09483	0,18966	95,25
2,474460	0,128968	3,480095	3020,6133	0,20643	0,08890	0,17780	116,10
2,461246	0,128279	3,440268	2755,9291	0,21039	0,10236	0,20472	102,77

Tabela 4.38 – Continuação.

N	RAIO HIDRÁUL LEITO (R _b) (m)	PROFUNDIDADE MÉDIA (d) (m)	VELOCIDADE DE QUEDA (w) (m/s)	VELOCIDADE MÉDIA (U) (m/s)	VISCOSIDADE CINEMÁTICA (m ² /s)	DECLIVIDADE LINHA ENERG (s)	VELOCIDADE CISALHAMENT U _b - (m/s)
111	0,0716	0,079560	0,0516079	0,858974	8,93E-07	0,0067	0,068587
112	0,0577	0,064330	0,0516079	0,813617	8,93E-07	0,0058	0,057286
113	0,0646	0,071130	0,0516079	0,848306	8,93E-07	0,0073	0,068002
114	0,0826	0,092570	0,0516079	0,824673	8,93E-07	0,0057	0,067947
115	0,0747	0,082530	0,0516079	0,828063	8,93E-07	0,0067	0,070056
116	0,0596	0,065210	0,0516079	0,802638	8,93E-07	0,0072	0,064869
117	0,0684	0,076850	0,0516079	0,785166	8,93E-07	0,0051	0,058487
118	0,0867	0,096720	0,0516079	0,789289	8,93E-07	0,0055	0,068381

Tabela 4.39 – Resultados do transporte total obtidos com a equação de Yang utilizando D₅₀ como tamanho representativo do material do leito (Terceira Mistura – Leito Plano).

Ub*D50/VISCO	Ucr / W	VELOC MÉDIA CRÍTICA - Ucr (m/s)	log C	CONCENTRAÇ (mass/vol) - C (mg/l)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP calc(Kg/m/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP medid(kg/s)	TAXA TOTAL SEDIM TRANSP med(kg/m/s)	RELAÇ PERC CALC / MEDID (%)
29,185826	2,439142	0,125879	3,757335	5719,1967	0,39085	0,18885	0,37770	103,48
24,376985	2,543977	0,131289	3,652032	4487,7835	0,23489	0,11669	0,23338	100,65
28,937151	2,443859	0,126122	3,795113	6238,9648	0,37646	0,18475	0,36950	101,88
28,913824	2,444305	0,126145	3,647314	4439,2951	0,33890	0,14166	0,28332	119,62
29,810948	2,427564	0,125281	3,733916	5418,9546	0,37033	0,14133	0,28266	131,02
27,603710	2,470325	0,127488	3,755144	5690,4175	0,29784	0,14325	0,28650	103,96
24,888070	2,531270	0,130633	3,559912	3630,0425	0,21904	0,12475	0,24950	87,79
29,098391	2,440793	0,125964	3,601002	3990,2659	0,30462	0,12608	0,25216	120,80

Tabela 4.39 – Continuação.

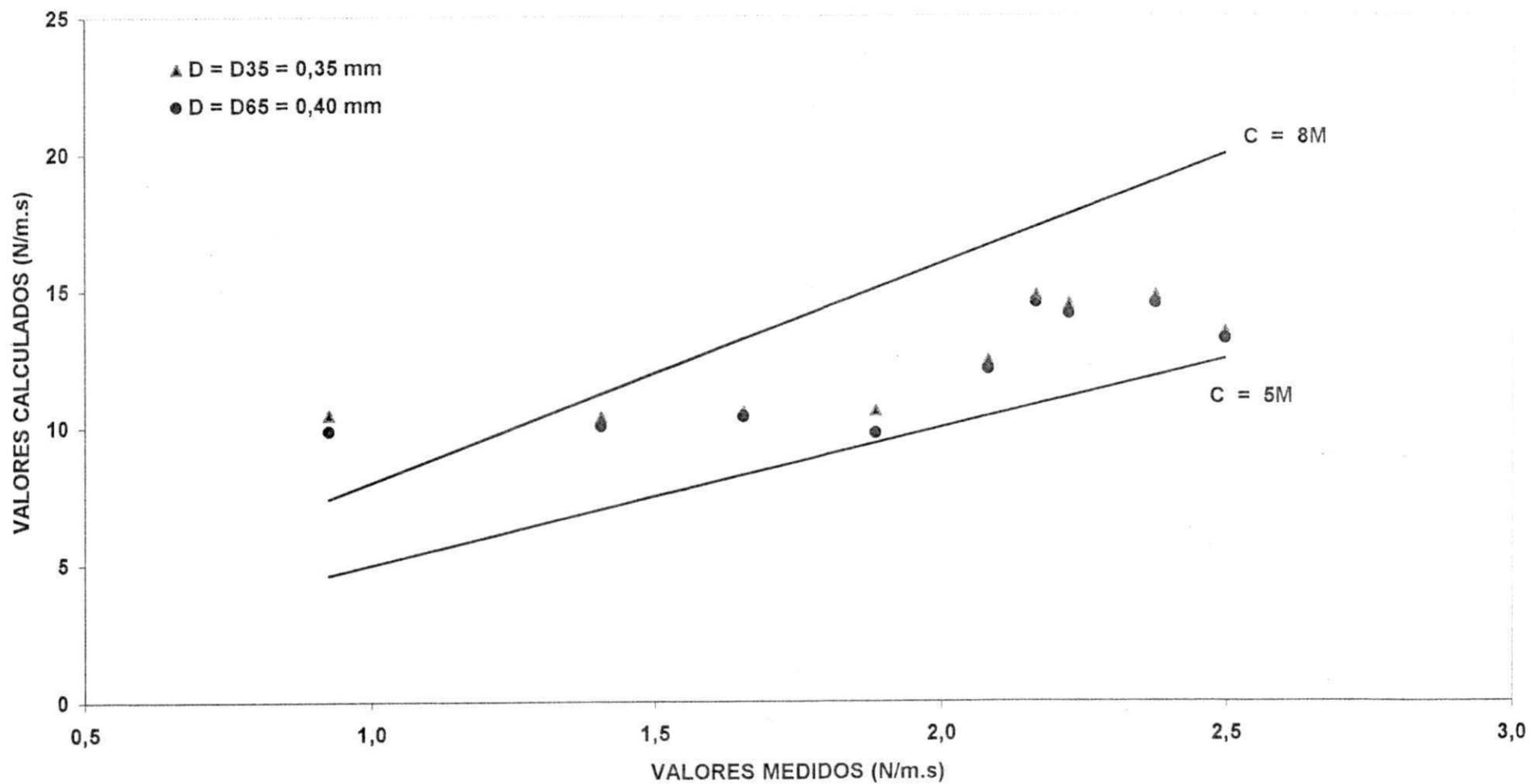
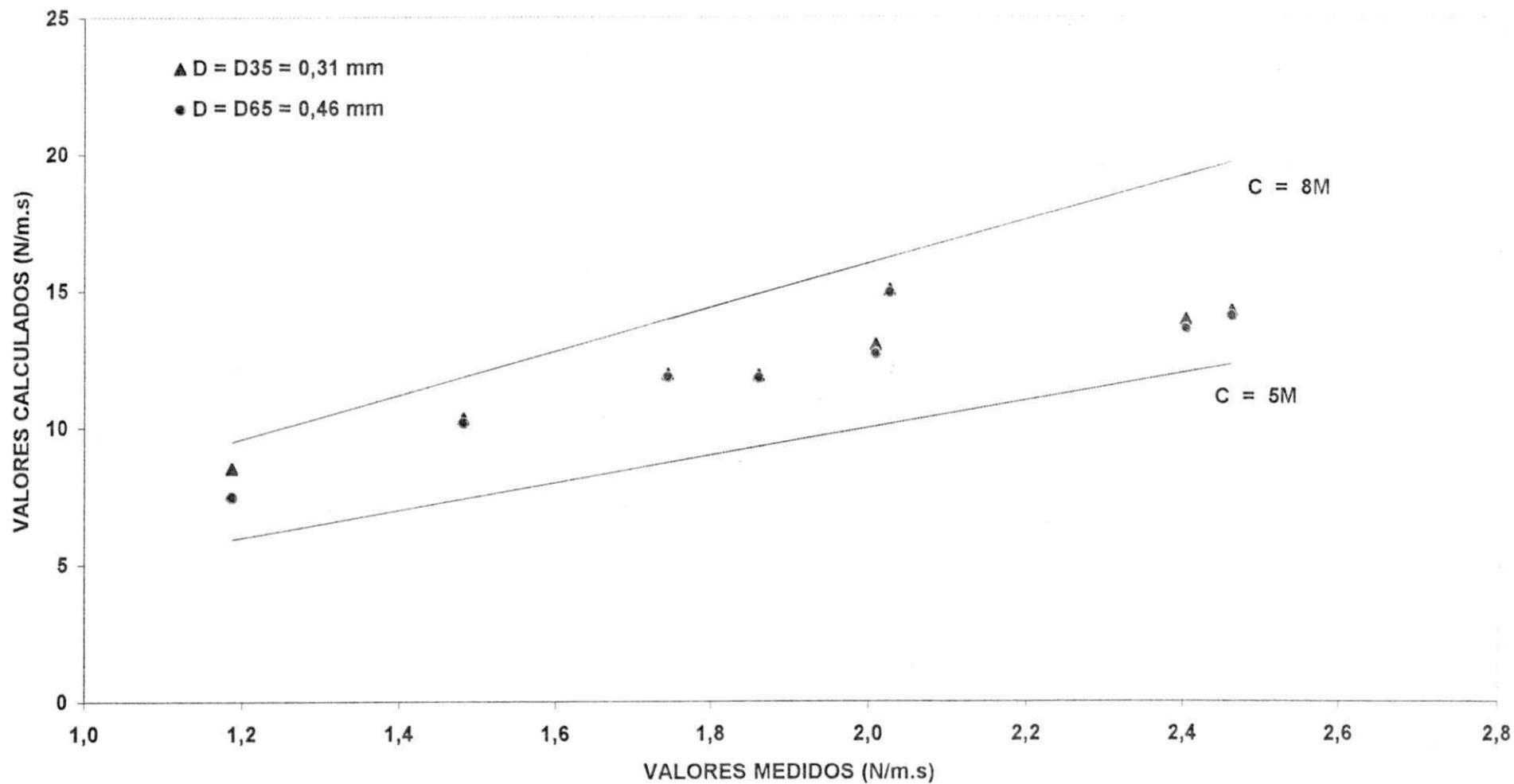


Figura 4.1 - Gráfico de dispersão comparativo dos valores de transporte calculados com a equação de Einstein usando os diâmetros D35 e D65 (Primeira Mistura - Leito Plano).



gura 4.2 - Gráfico de dispersão comparativo dos valores de transporte calculados com a equação de Einstein usando os diâmetros D35 e D65 (Segunda Mistura - Leito Plano).

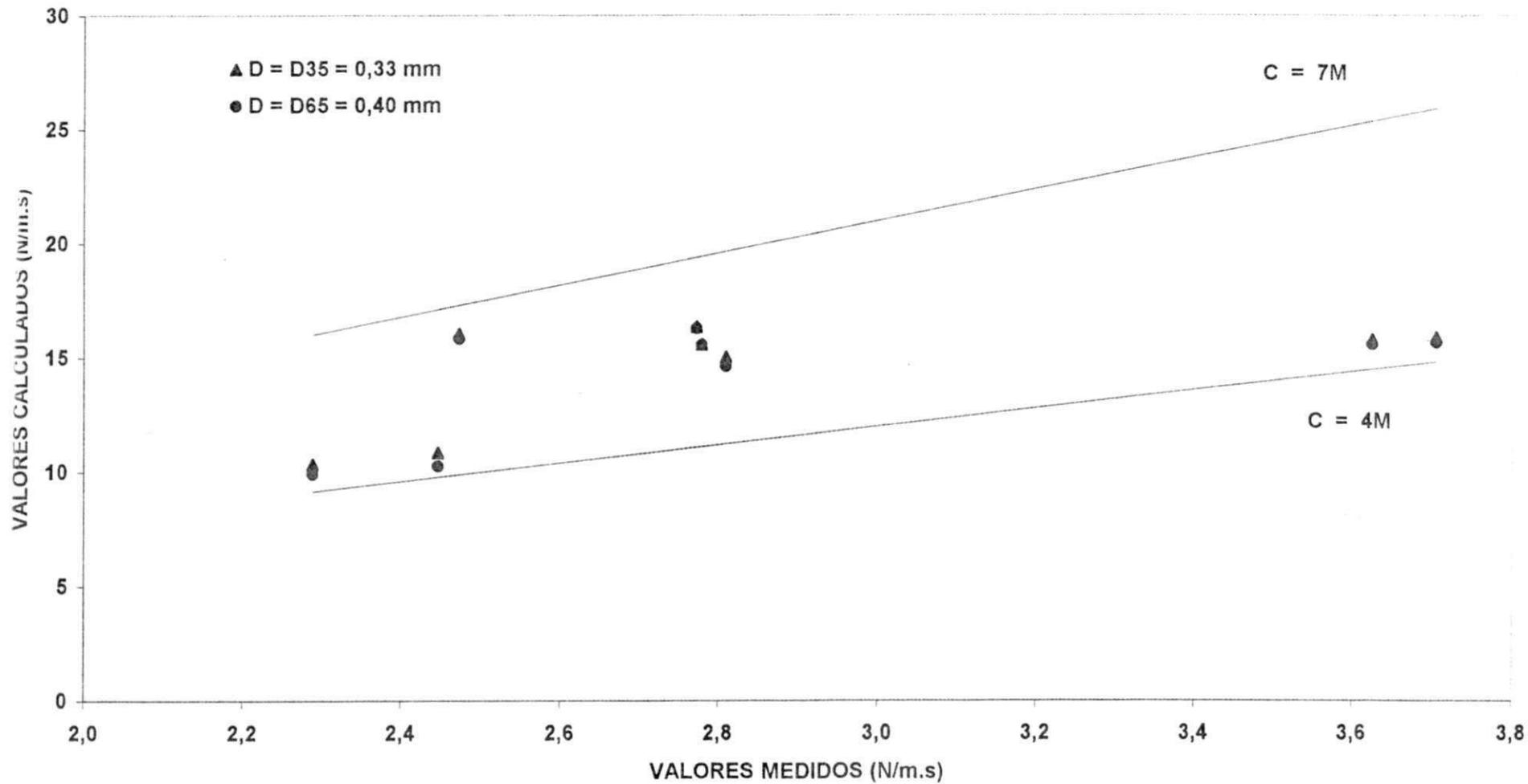


Figura 4.3 - Gráfico de dispersão comparativo dos valores de transporte calculados com a equação de Einstein usando os diâmetros D35 e D65 (Terceira Mistura - Leito Plano).

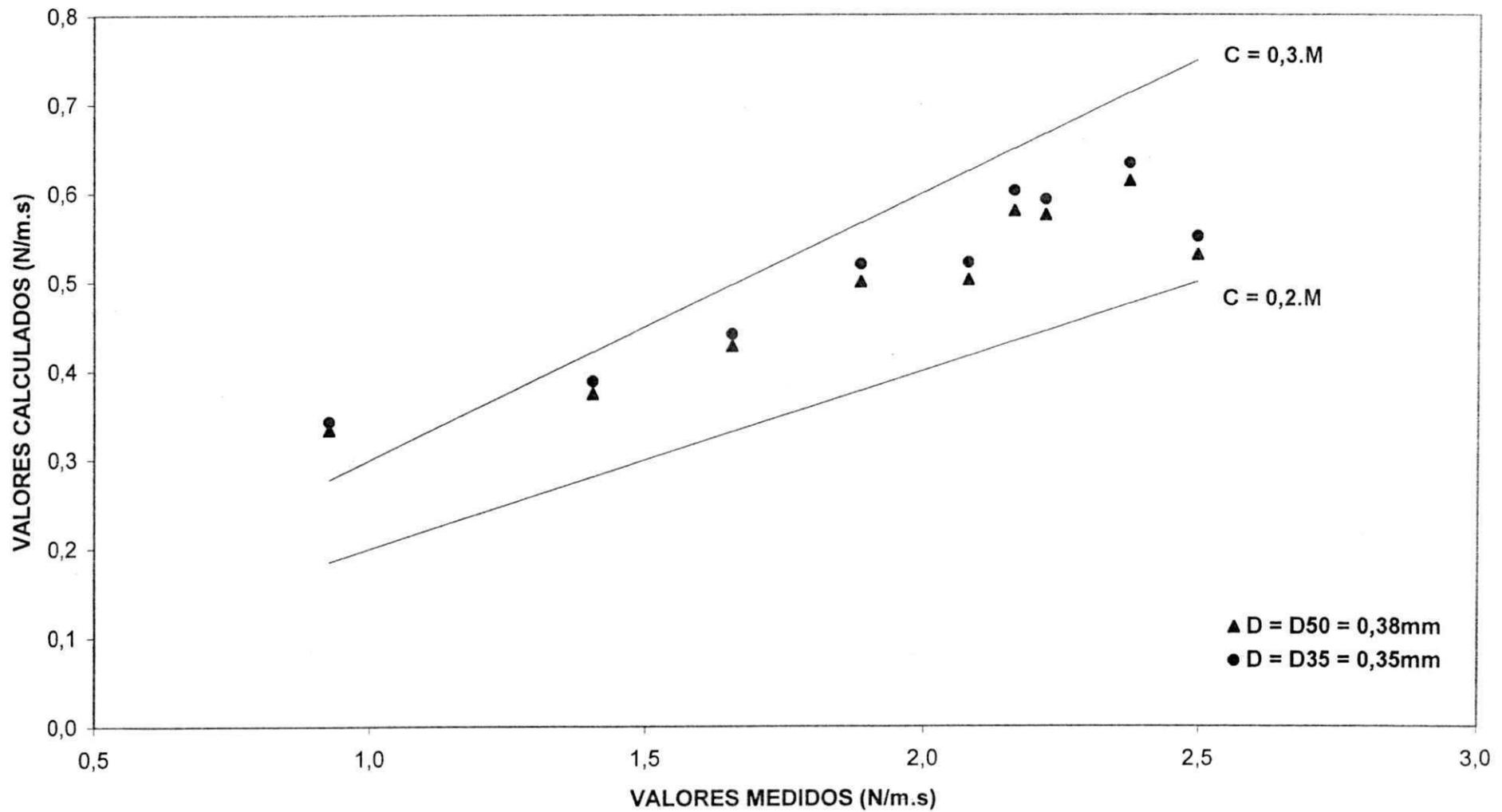


Figura 4.4 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Bagnold Usando os Diâmetros D50 e D35 (Primeira Mistura - Leito Plano)

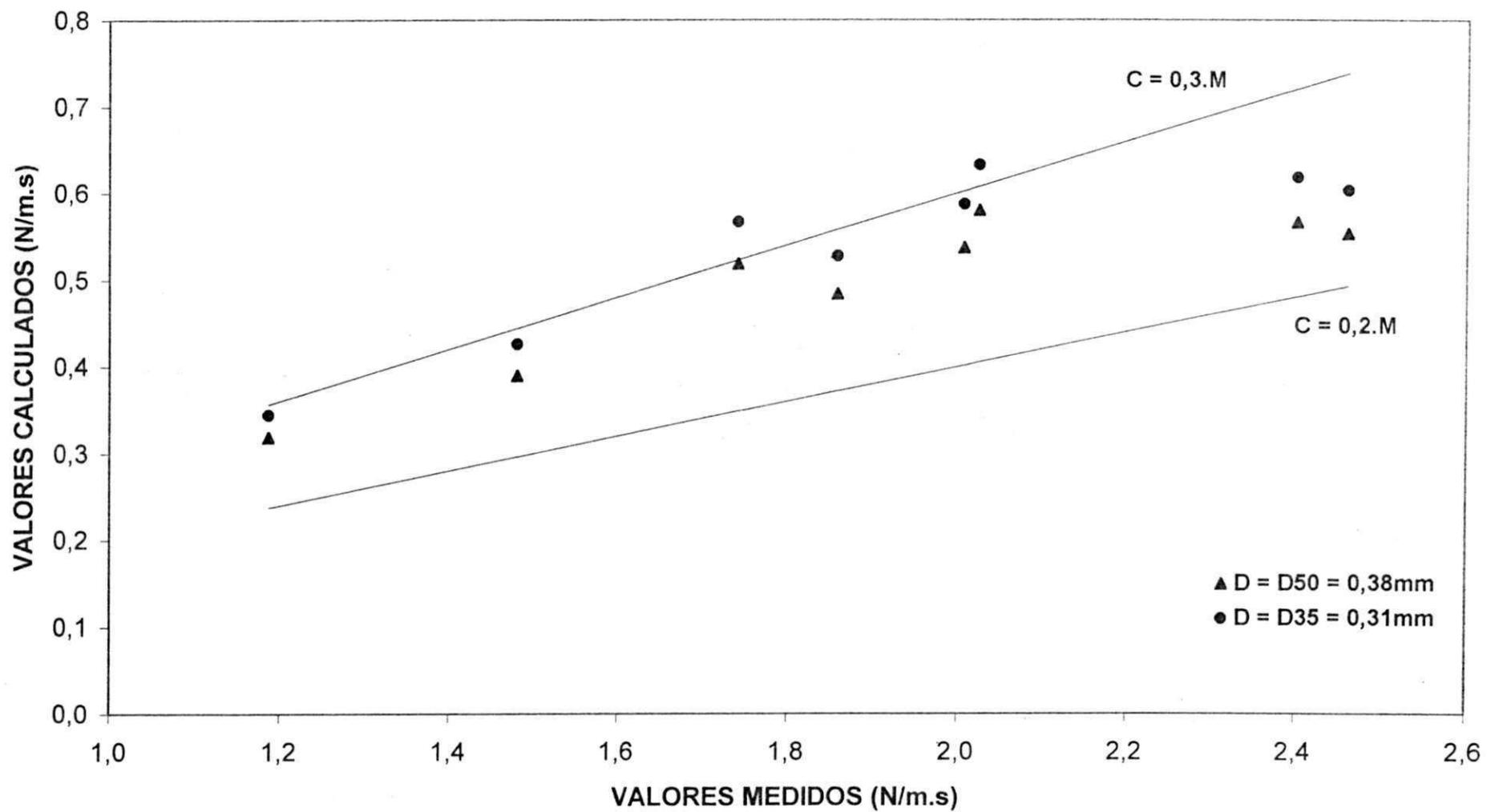


Figura 4.5 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Bagnold Usando os Diâmetros D50 e D35 (Segunda Mistura - Leito Plano)

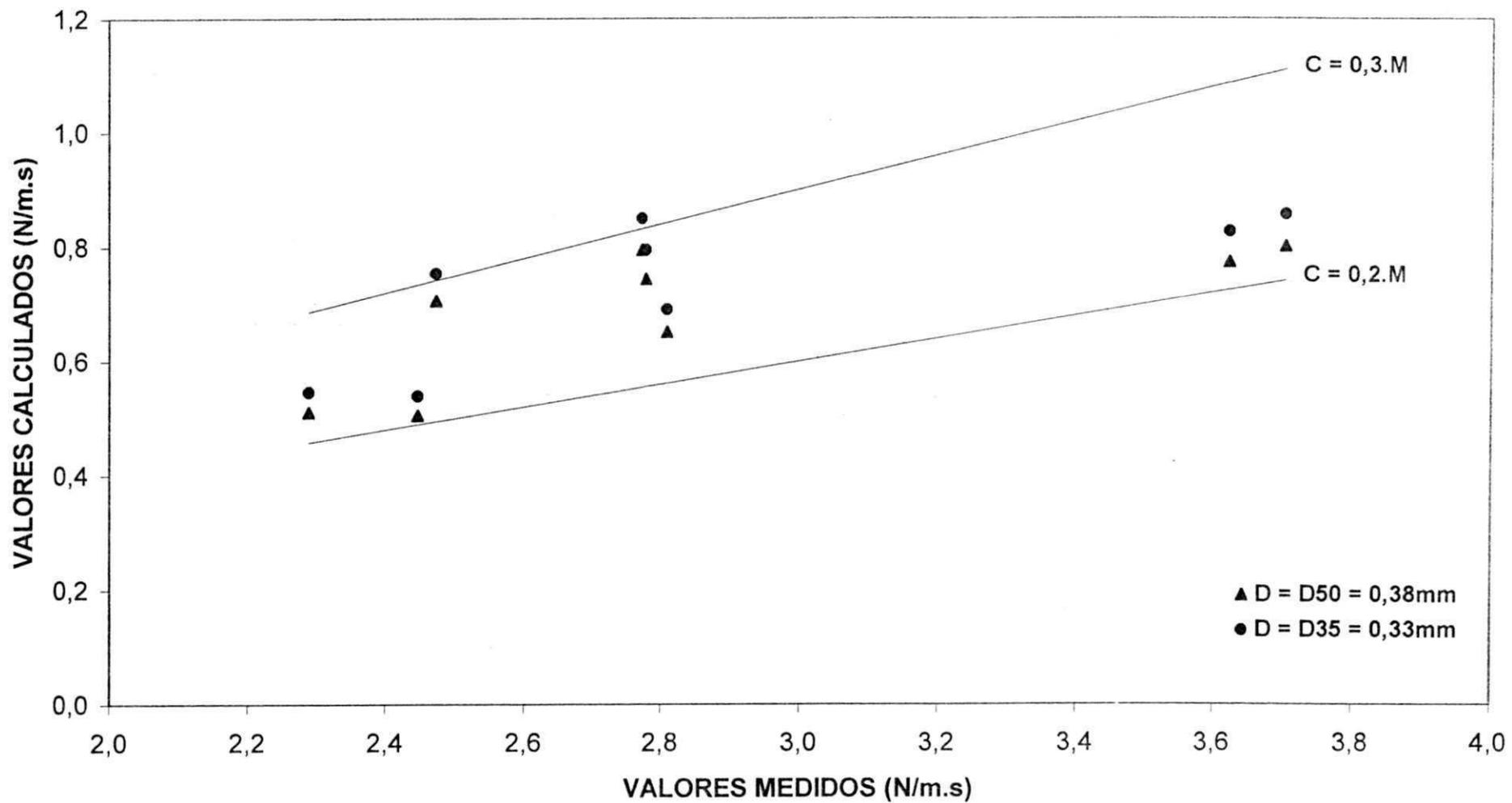


Figura 4.6 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Bagnold Usando os Diâmetros D50 e D35 (Terceira Mistura - Leito Plano)

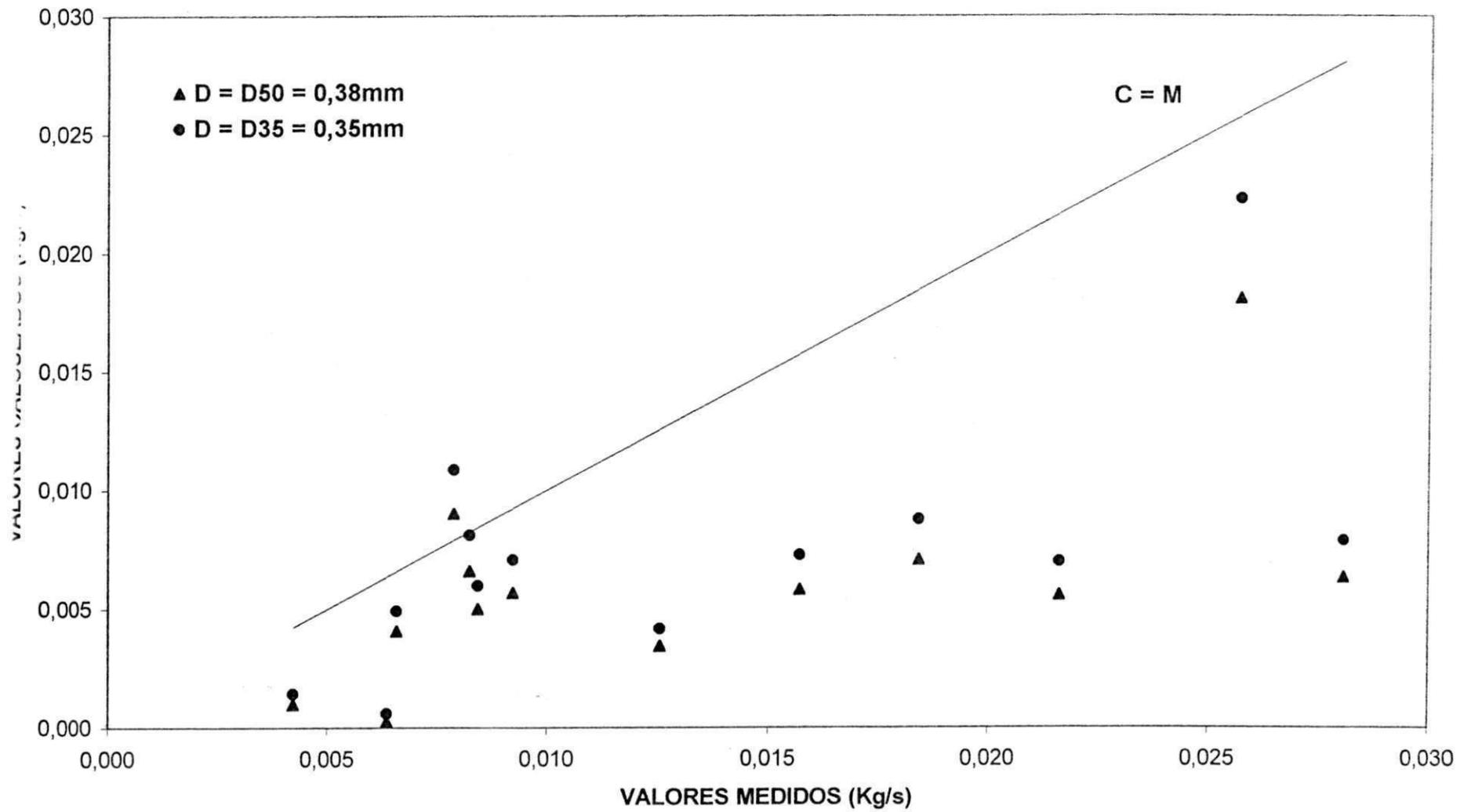


Figura 4.7 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen Usando os Diâmetros D50 e D35 (Primeira Mistura - Dunas)

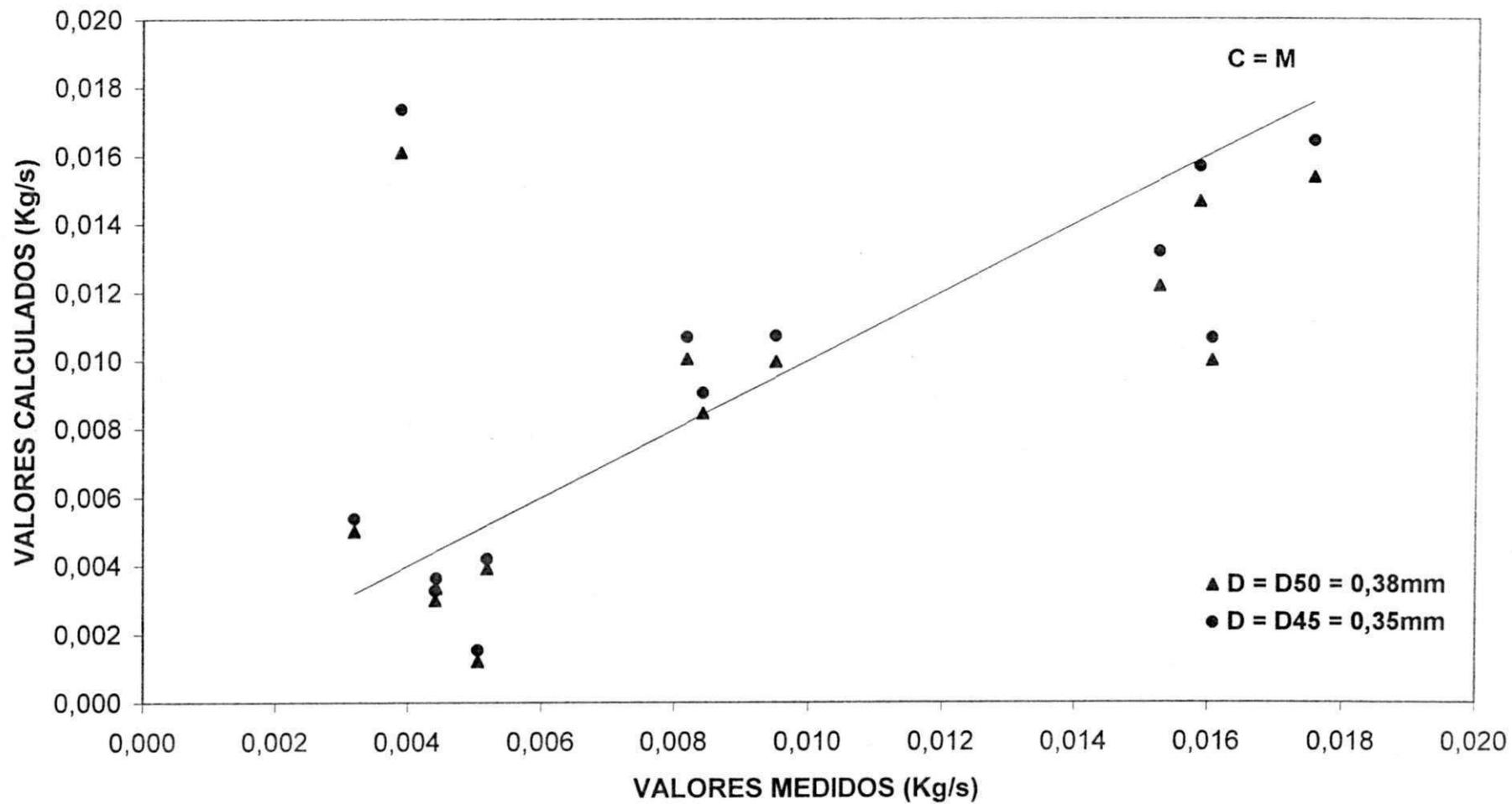


Figura 4.8 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen Usando os Diâmetros D50 e D45 (Segunda Mistura - Dunas)

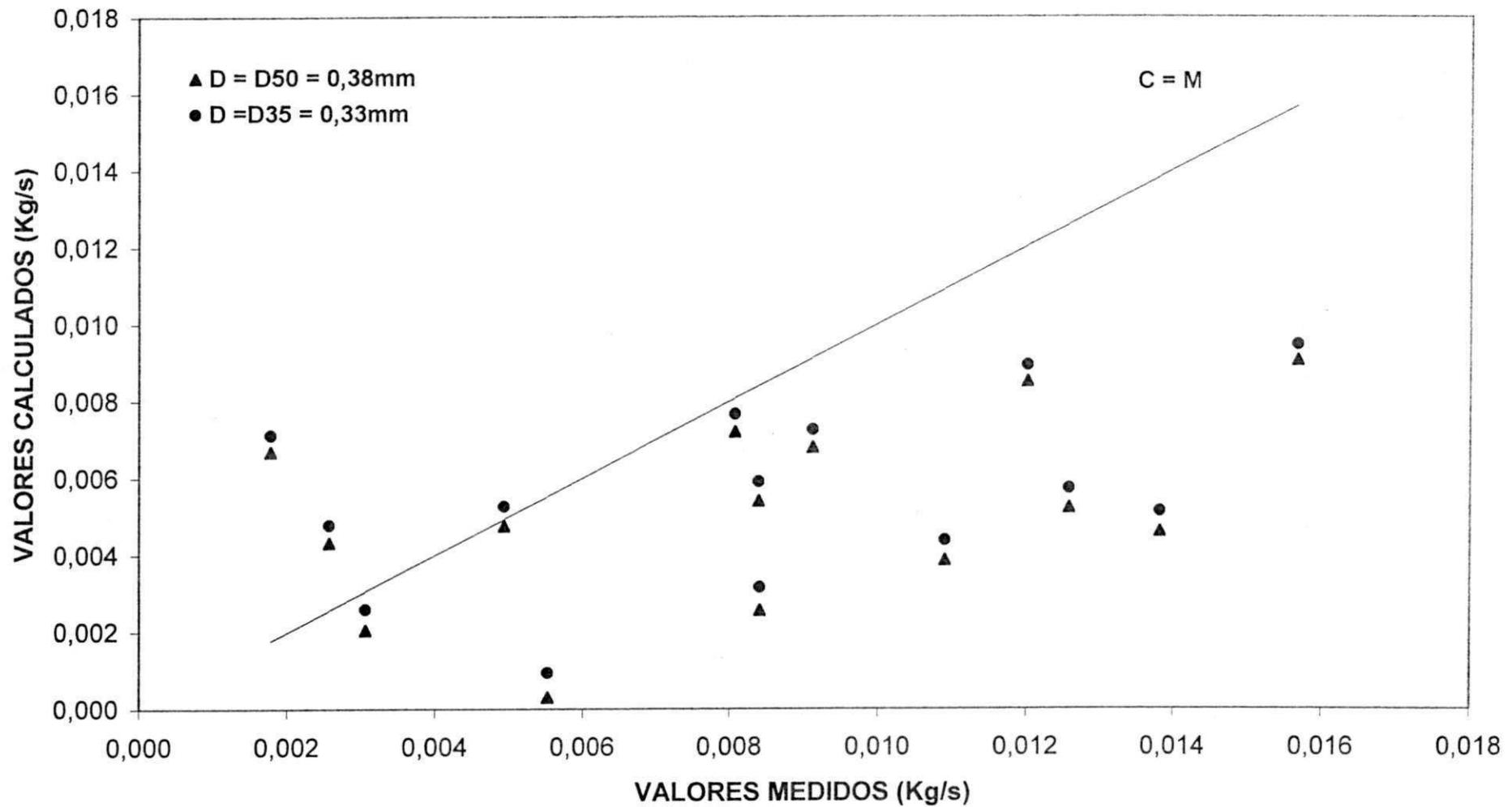


Figura 4.9 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen Usando os Diâmetros D50 e D35 (Terceira Mistura - Dunas)

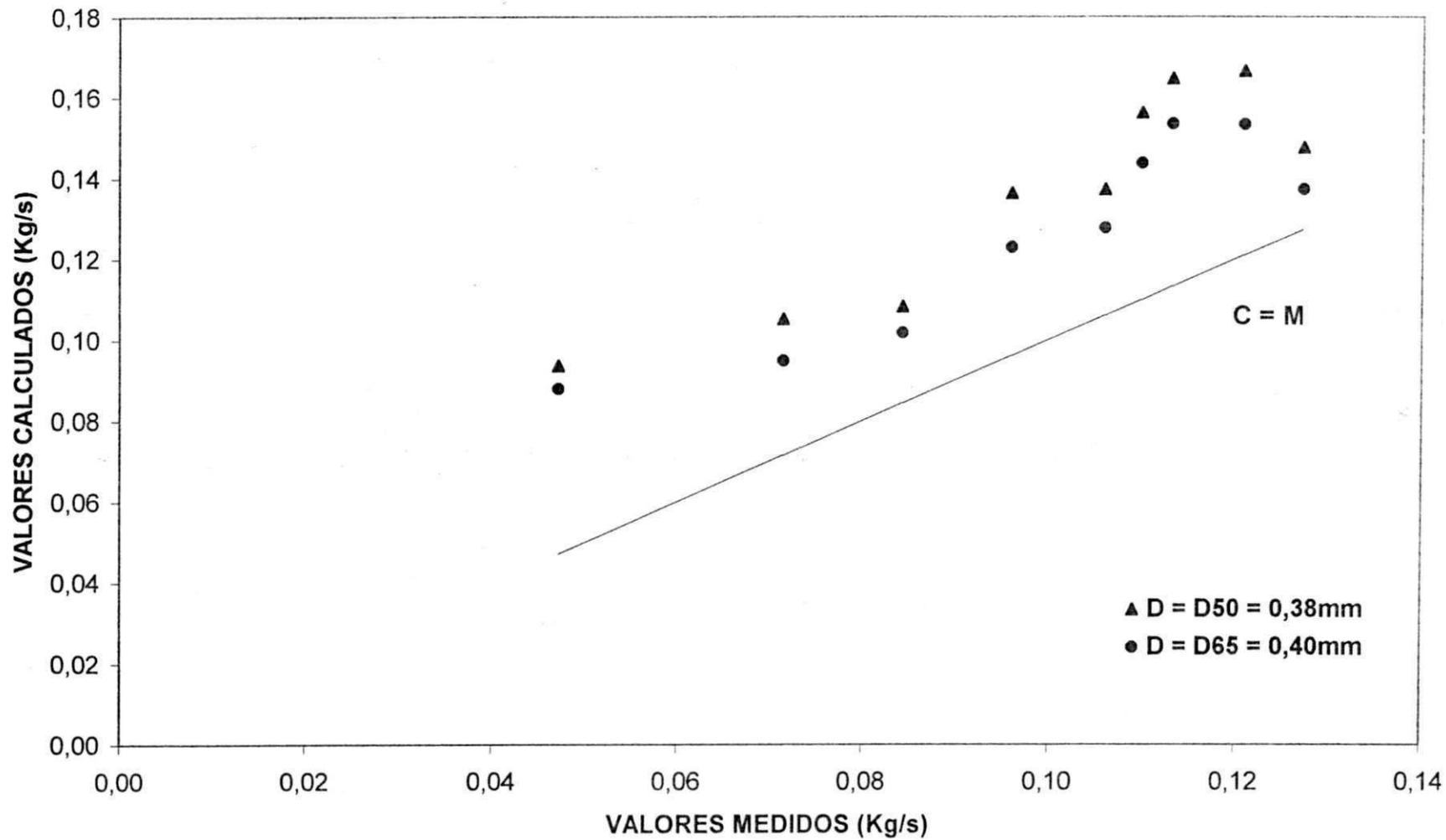


Figura 4.10 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen Usando os Diâmetros D50 e D65 (Primeira Mistura - Leito Plano)

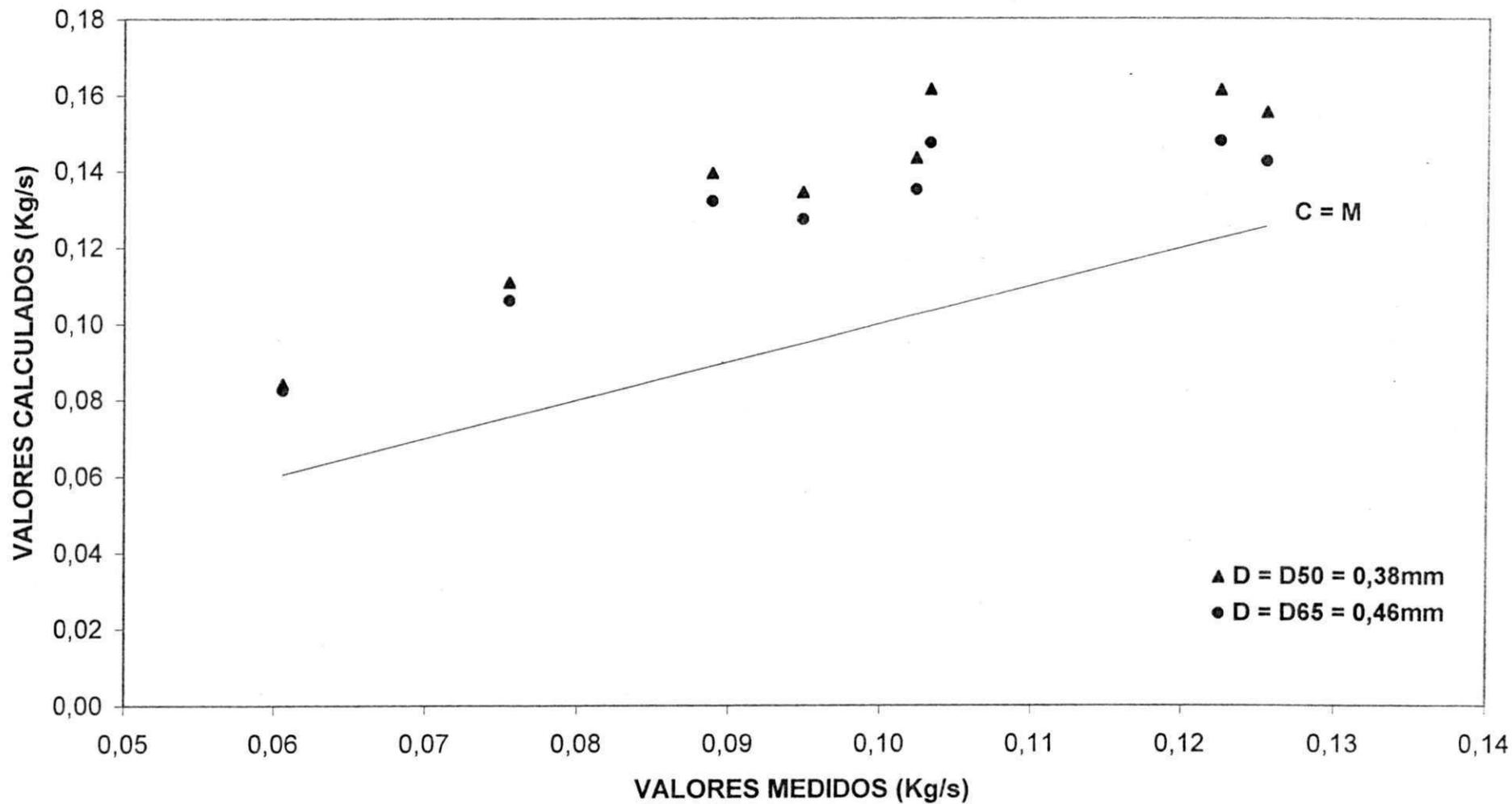


Figura 4.11 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen Usando os Diâmetros D50 e D65 (Segunda Mistura - Leito Plano)

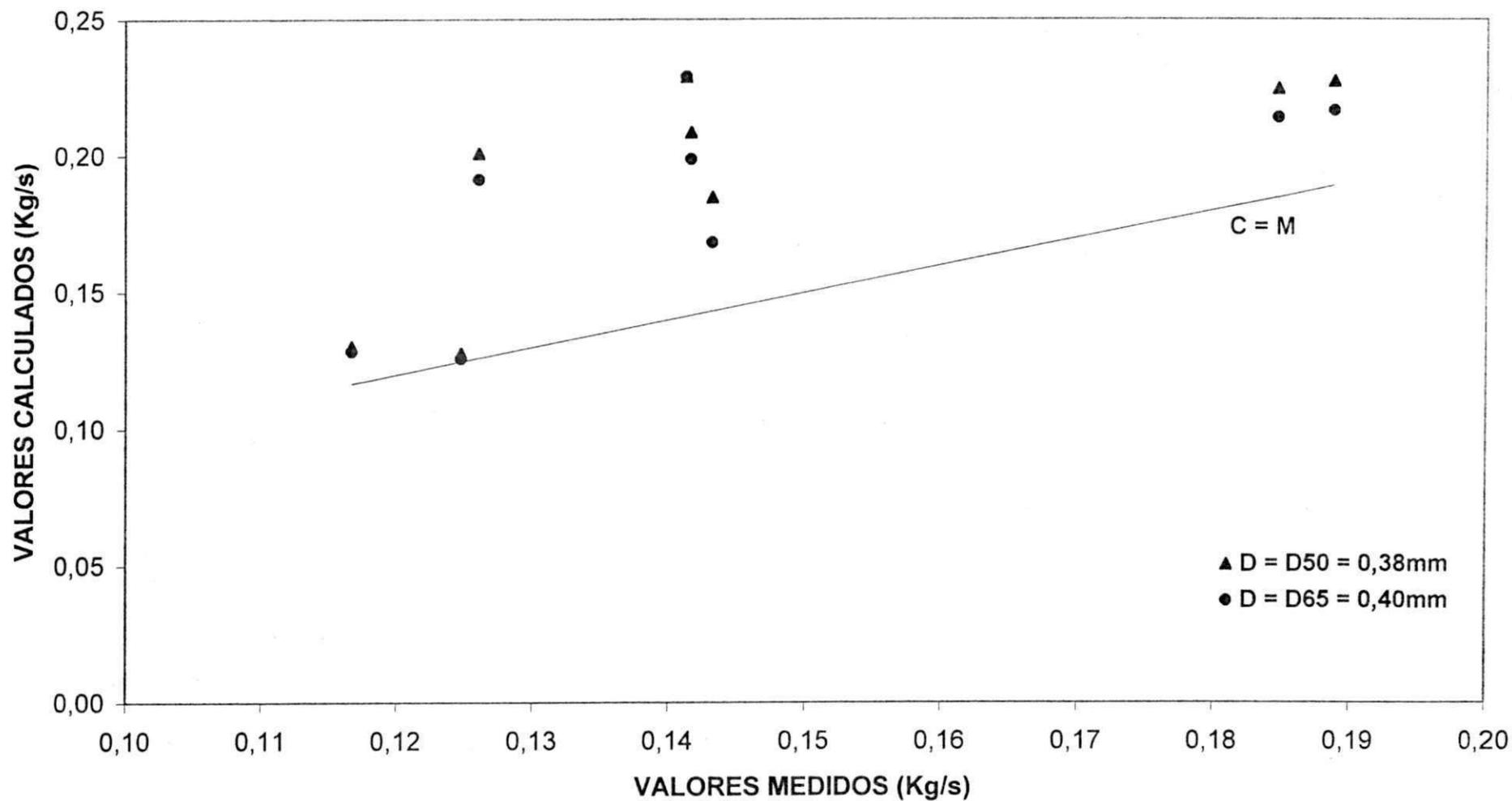


Figura 4.12 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Laursen Usando os Diâmetros D50 e D65 (Terceira Mistura - Leito Plano)

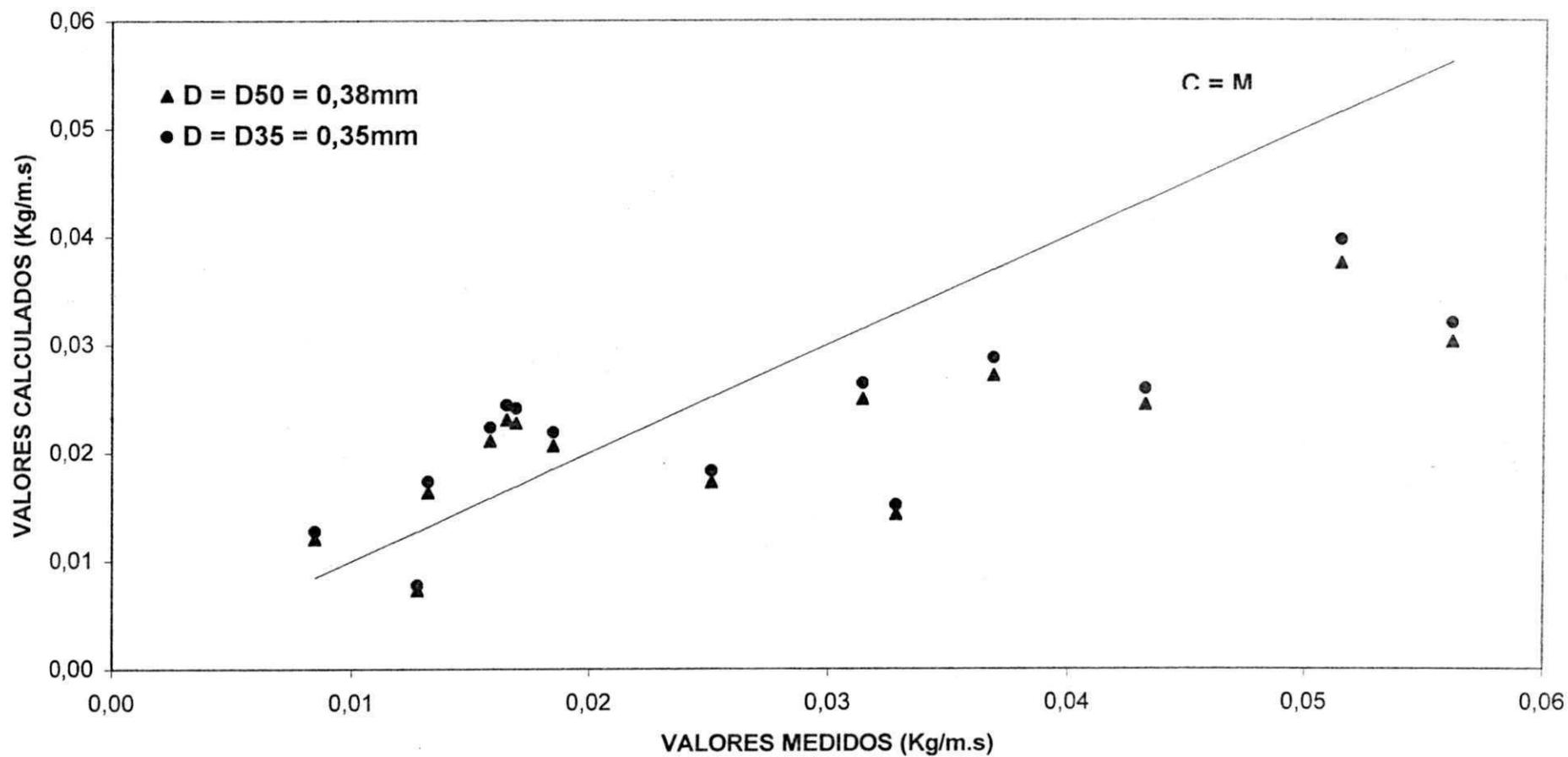


Figura 4.13 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Yang Usando os Diâmetros D50 e D35 (Primeira Mistura - Dunas)

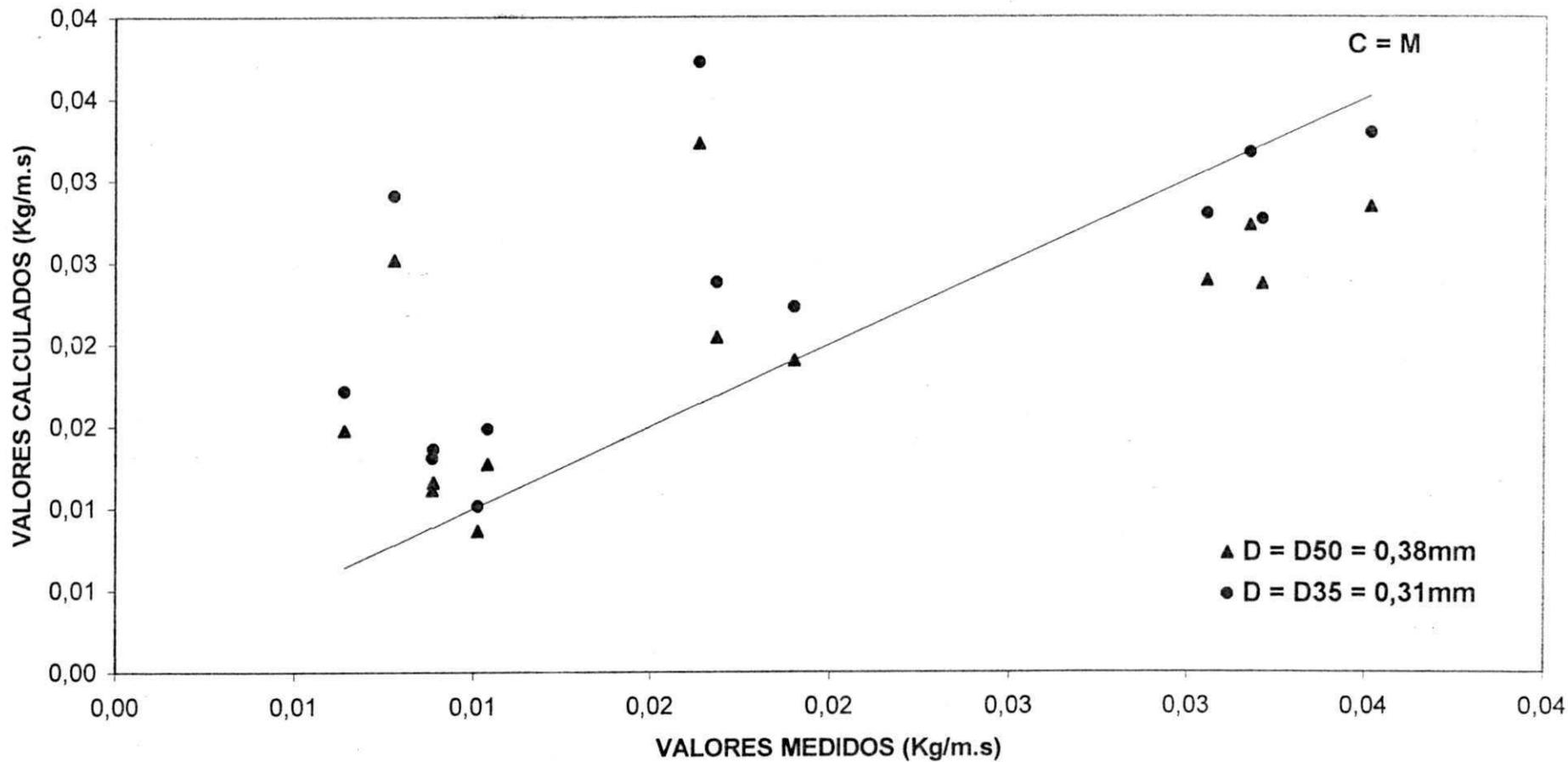


Figura 4.14 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Yang Usando os Diâmetros D50 e D35 (Segunda Mistura - Dunas)

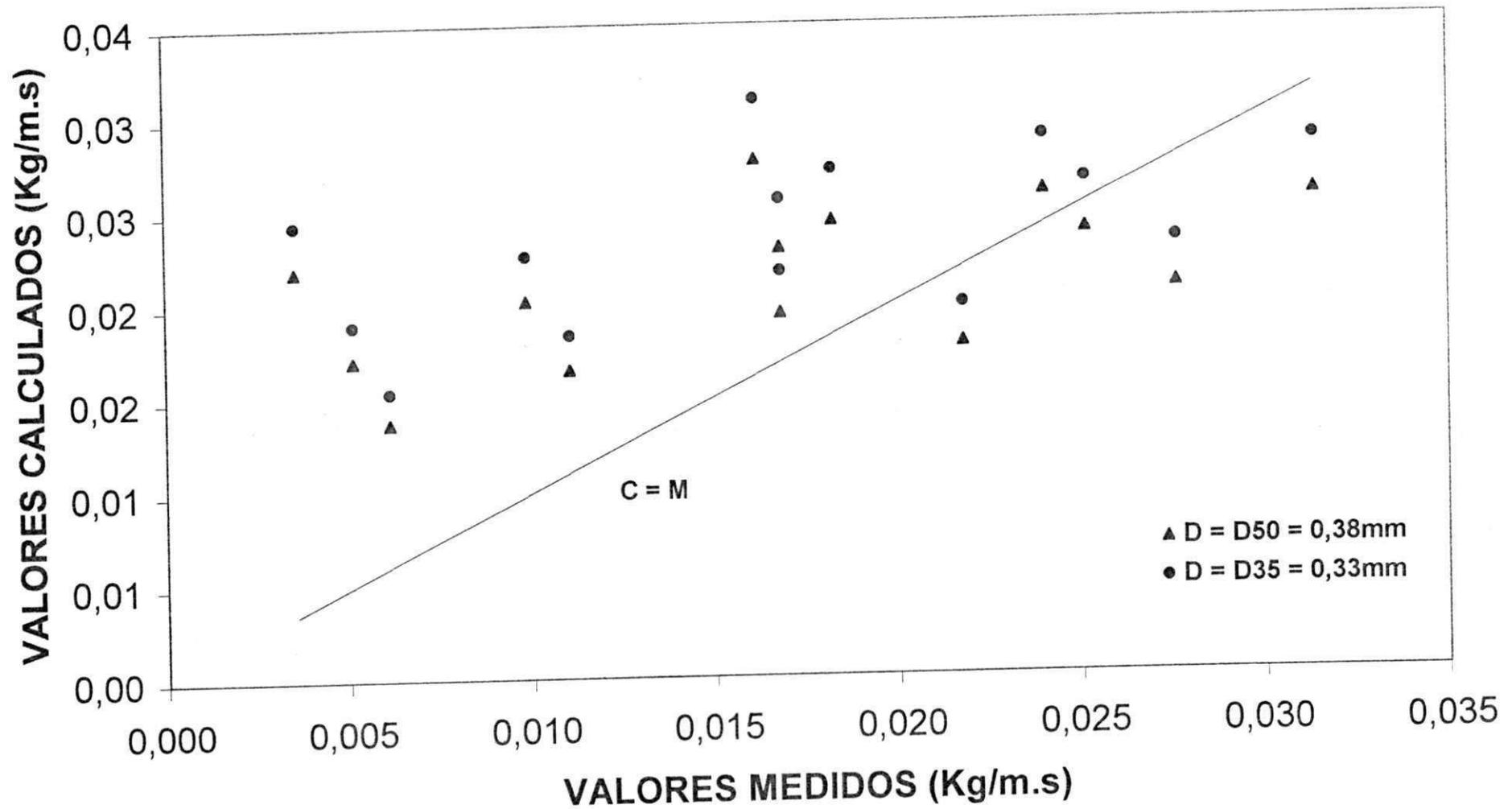


Figura 4.15 - Gráfico de Dispersão Comparativo dos Valores de Transporte Calculados com a Equação de Yang Usando os Diâmetros D50 e D35 (Terceira Mistura - Dunas)

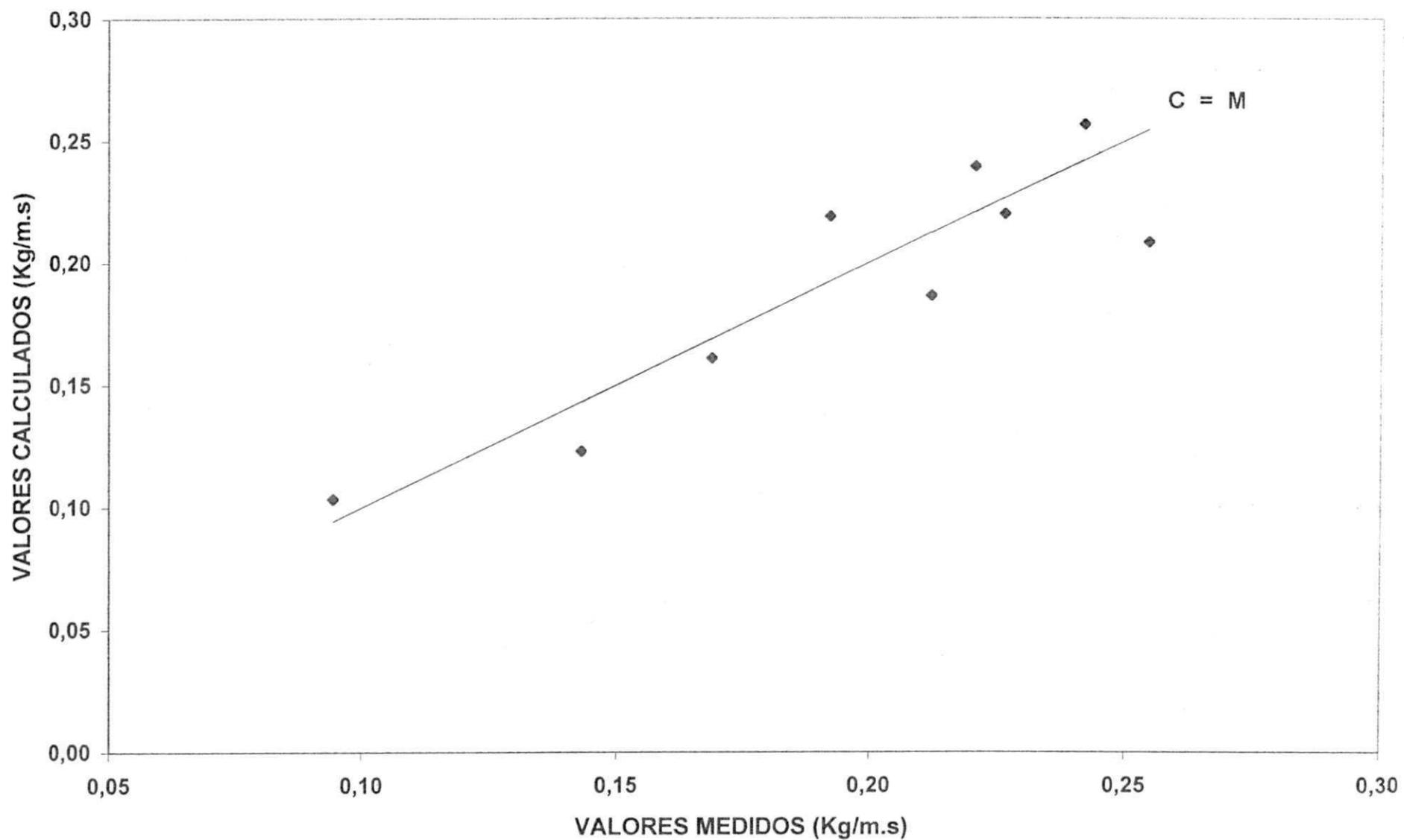


figura 4.16 -Gráfico de dispersão Comparativo dos valores de transporte calculados com a equação de Yang usando os diâmetros D50 e D35 (Primeira Mistura - Leito Plano).

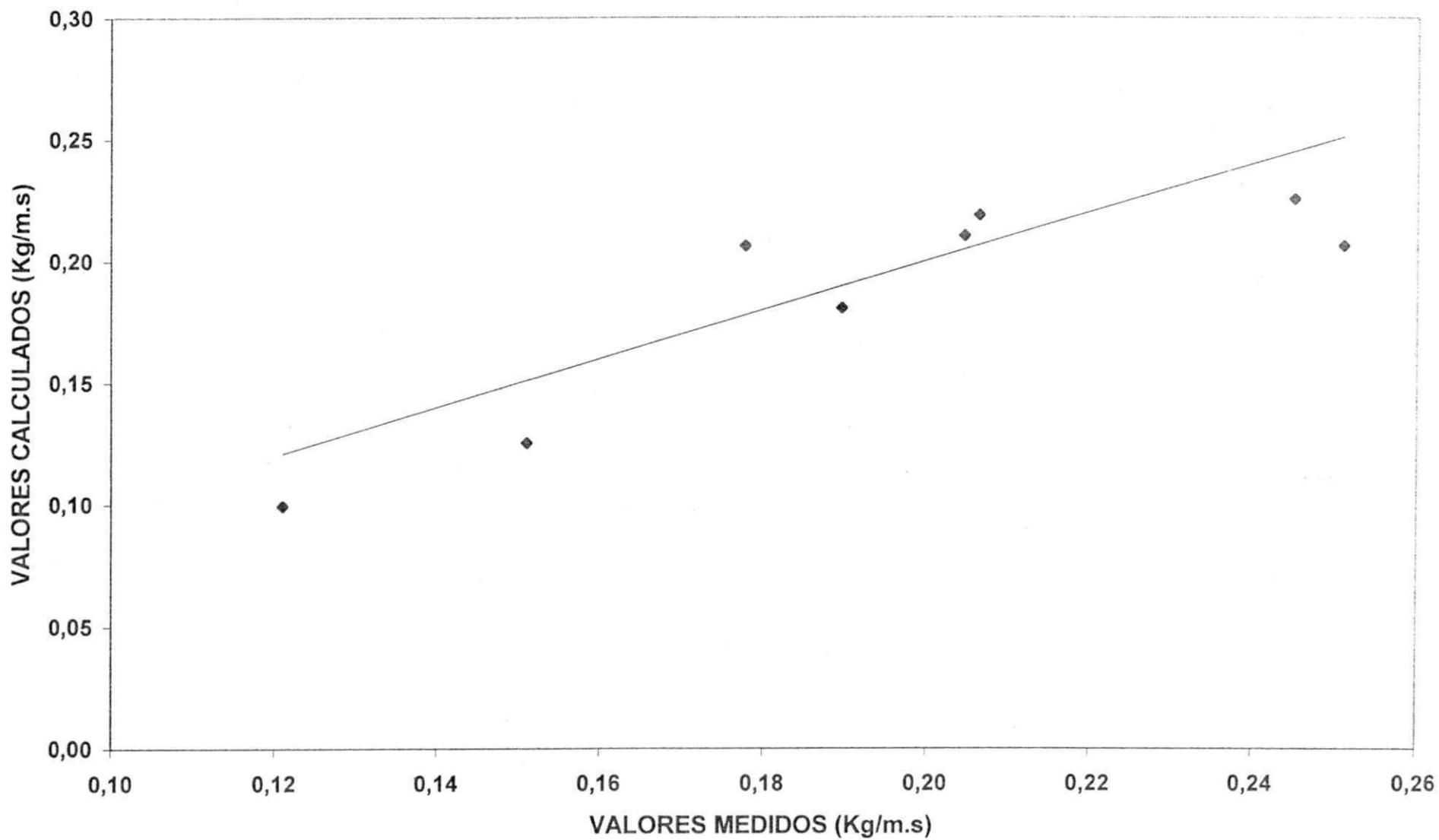


Figura 4.17 - Gráfico de dispersão comparativo dos valores de transporte calculados com a equação de Yang usando os diâmetros D50 e D35 (Segunda Mistura - Leito Plano).

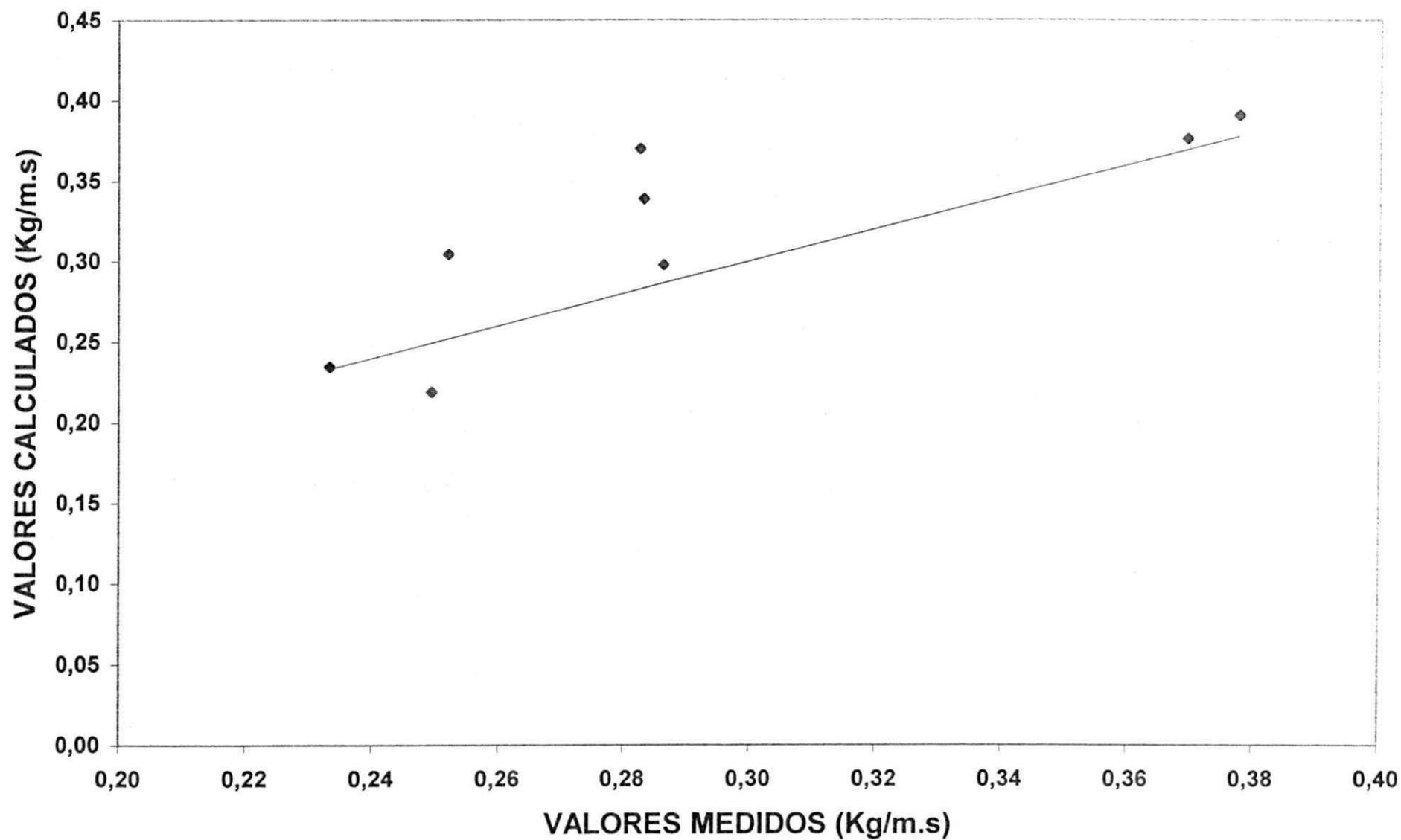


Figura 4.18 - Gráfico comparativo dos valores de transporte calculados com a equação de Yang usando os diâmetros D50 e D35 (Terceira Mistura - Leito Plano).

N	FORMA DO LEITO	PARÂMETRO DE SHIELDS CONSIDERANDO ATRITO		NÚMERO REYNOLDS PARTÍC. CONSIDERANDO ATRITO		NÚM. FROUDE CISALHAMENTO CONSIDERANDO ATRITO		CONCENTRAÇÃO (CX1000000)
		TOTAL	SUPERF.	TOTAL	SUPERF.	TOTAL	SUPERF.	
10	RIPPLES	0,15338	0,01377	13,920	4,1708	0,51235	0,15355	4,980
12	RIPPLES	0,17805	0,01586	14,670	4,3767	0,55193	0,16472	7,830
14	RIPPLES	0,17696	0,01474	15,280	4,4082	0,55060	0,15887	0,200
11	RIPPLES	0,19493	0,01676	15,340	4,4995	0,57747	0,16934	10,730
27	RIPPLES	0,20324	0,01735	16,391	4,7828	0,59009	0,17237	0,890
22	RIPPLES	0,21621	0,01870	16,562	4,8598	0,60843	0,17892	9,900
16	RIPPLES	0,21765	0,01817	17,014	4,8945	0,61061	0,17640	0,130
24	RIPPLES	0,21111	0,01957	16,330	4,9723	0,60105	0,18306	8,090
21	RIPPLES	0,21127	0,01977	16,330	5,0350	0,60134	0,18399	7,586
15	RIPPLES	0,24091	0,02093	17,450	5,1415	0,64226	0,18929	0,085
13	RIPPLES	0,25891	0,02174	18,100	5,2406	0,6629	0,19294	5,890
29	RIPPLES	0,26271	0,02322	18,720	5,5340	0,67082	0,19944	36,200
30	RIPPLES	0,26654	0,02367	18,750	5,5864	0,67575	0,20133	69,750
28	RIPPLES	0,28415	0,02575	19,391	5,8265	0,69759	0,20999	20,490
23	RIPPLES	0,30586	0,02750	19,660	5,8930	0,72366	0,21696	5,370
26	RIPPLES	0,29338	0,03040	19,670	6,4121	0,70889	0,22820	23,990
7	DUNAS	0,30546	0,03547	19,266	6,5457	0,72286	0,24635	531,140
17	DUNAS	0,35106	0,04176	21,050	7,2625	0,77511	0,26738	194,984
25	DUNAS	0,36283	0,04784	21,870	8,0168	0,78834	0,28625	143,550
31	DUNAS	0,42833	0,06850	23,760	9,5280	0,85645	0,34252	375,590
20	DUNAS	0,43623	0,07448	23,470	9,6987	0,86406	0,35707	223,590
34	DUNAS	0,45430	0,07982	24,480	10,2594	0,88210	0,36975	252,160
18	DUNAS	0,47763	0,08487	24,774	10,3533	0,90438	0,38117	577,560
8	DUNAS	0,47617	0,08726	24,520	10,5439	0,90286	0,38651	782,770
32	DUNAS	0,47804	0,08642	25,110	10,6752	0,90499	0,38473	443,410
36	DUNAS	0,47807	0,08772	25,100	10,8393	0,90478	0,38761	293,520
35	DUNAS	0,49001	0,09472	25,750	11,1760	0,92820	0,40278	232,760
33	DUNAS	0,50300	0,09547	25,420	11,1686	0,91617	0,40437	586,060
9	DUNAS	0,57868	0,12010	26,440	12,0453	0,99499	0,45333	196,336
19	DUNAS	0,66556	0,17730	28,990	14,9643	1,06746	0,55093	639,735
40	L.PLANO	0,52706	0,52706	25,7946	25,7946	0,94965	0,94965	2742,499
38	L.PLANO	0,50850	0,50850	25,9418	25,8865	0,93295	0,93295	2136,219
37	L.PLANO	0,51800	0,51800	26,1377	26,1377	0,94200	0,94200	2479,131
39	L.PLANO	0,54240	0,54240	26,7514	26,7514	0,96412	0,96412	3685,767
41	L.PLANO	0,61555	0,61555	27,8907	27,7971	1,02682	1,02682	3115,381
43	L.PLANO	0,62695	0,62695	28,7595	28,7595	1,03649	1,03649	4234,853
45	L.PLANO	0,64391	0,64391	29,1444	29,1444	1,05036	1,05036	2901,779
44	L.PLANO	0,66338	0,66338	29,5739	29,5739	1,06585	1,06585	3182,121
42	L.PLANO	0,69366	0,69366	29,5989	29,5983	1,08971	1,08971	3766,913

Tabela 4.40 – Parâmetros de resistência e transporte para a primeira mistura.

N	FORMA DO LEITO	PARÂMETRO DE SHIELDS CONSIDERANDO ATRITO		NÚMERO REYNOLDS PARTÍC. CONSIDERANDO ATRITO		NÚM. FROUDE CISALHAMENTO CONSIDERANDO ATRITO		CONCENTRAÇÃO (CX1000000)
		TOTAL	SUPERF.	TOTAL	SUPERF.	TOTAL	SUPERF.	
74	RIPPLES	0,30816	0,03004	19,802	6,1592	0,72620	0,22676	28,102
59	RIPPLES	0,34084	0,02922	21,203	6,2077	0,76413	0,22373	13,838
58	RIPPLES	0,26941	0,03139	18,876	6,4332	0,67916	0,23185	9,790
60	RIPPLES	0,27574	0,03265	19,033	6,5618	0,68725	0,23649	15,815
55	RIPPLES	0,29581	0,03294	19,749	6,5905	0,71174	0,23700	1,770
53	RIPPLES	0,28521	0,03342	19,394	6,6382	0,69895	0,23924	11,460
61	RIPPLES	0,36448	0,03490	21,924	6,7841	0,79015	0,24450	19,301
66	RIPPLES	0,34132	0,03691	20,725	6,8275	0,76447	0,25107	54,256
56	RIPPLES	0,27352	0,03559	19,770	6,8509	0,71252	0,24800	16,783
54	RIPPLES	0,32220	0,03896	20,615	7,1673	0,74297	0,25831	2,156
69	RIPPLES	0,32796	0,04176	20,353	7,2605	0,74930	0,26730	107,677
68	RIPPLES	0,31387	0,04317	19,966	7,2946	0,73298	0,27184	51,641
50	RIPPLES	0,35576	0,05040	21,660	8,1523	0,78062	0,29381	6,244
65	RIPPLES	0,37834	0,05389	21,862	8,2483	0,80485	0,30367	67,613
52	RIPPLES	0,37295	0,05617	22,139	8,6058	0,79789	0,31015	6,846
63	DUNAS	0,45778	0,05054	20,862	7,9898	0,76805	0,29415	171,730
47	DUNAS	0,38535	0,06669	22,064	9,1778	0,81232	0,33789	138,038
62	DUNAS	0,39109	0,06994	22,708	9,6036	0,81841	0,34612	150,529
46	DUNAS	0,40957	0,07531	23,240	9,9650	0,83757	0,35914	167,420
57	DUNAS	0,45454	0,08658	24,482	10,6850	0,88234	0,38509	80,652
67	DUNAS	0,50040	0,11381	25,143	11,9399	0,92566	0,44141	237,566
64	DUNAS	0,50743	0,12377	25,159	12,5031	0,93189	0,46031	480,090
73	DUNAS	0,51998	0,13040	25,631	12,8337	0,94362	0,47248	302,229
48	DUNAS	0,51514	0,12571	26,067	12,8750	0,93944	0,46402	227,143
72	DUNAS	0,54473	0,14288	26,285	13,4335	0,96584	0,49457	485,582
71	DUNAS	0,27341	0,16136	26,996	14,2758	0,99083	0,52558	447,999
51	DUNAS	0,57972	0,16704	27,645	14,8414	0,99631	0,53488	488,197
49	DUNAS	0,61574	0,18462	28,492	15,6027	1,02685	0,56232	98,298
79	L.PLANO	0,46547	0,46547	24,2465	24,2465	0,89266	0,89266	2321,116
75	L.PLANO	0,56644	0,56644	26,7530	26,7530	0,98494	0,98494	2895,768
81	L.PLANO	0,59433	0,59433	27,4044	27,4044	1,00892	1,00892	2610,894
80	L.PLANO	0,59950	0,59950	27,5172	27,5172	1,01400	1,011400	3154,262
82	L.PLANO	0,62313	0,62313	27,9898	28,0497	1,03268	1,03268	2691,053
76	L.PLANO	0,65747	0,65747	28,8098	28,8098	1,06066	1,06066	4074,918
77	L.PLANO	0,67416	0,67416	29,1781	29,1781	1,07422	1,07422	3686,006
78	L.PLANO	0,68743	0,68743	29,5513	29,5513	1,08796	1,08796	2715,241

Tabela 4.41 – Parâmetros de resistência e transporte para a Segunda mistura.

N	FORMA DO LEITO	PARÂMETRO DE SHIELDS CONSIDERANDO ATRITO		NÚMERO REYNOLDS PARTÍC. CONSIDERANDO ATRITO		NÚM. FROUDE CISALHAMENTO CONSIDERANDO ATRITO		CONCENTRAÇÃO (CX1000000)
		TOTAL	SUPERF.	TOTAL	SUPERF.	TOTAL	SUPERF.	
90	RIPPLES	0,35100	0,04164	14,309	4,2467	0,56382	0,16733	4,576
83	RIPPLES	0,34498	0,02656	14,898	4,4257	0,58703	0,17439	16,200
91	RIPPLES	0,27721	0,02999	15,316	4,5082	0,60350	0,17574	2,492
84	RIPPLES	0,18598	0,01638	15,966	4,6526	0,62910	0,18332	1,691
96	RIPPLES	0,21304	0,01806	17,250	5,4082	0,67971	0,21310	0,883
93	RIPPLES	0,27028	0,04068	21,155	5,7943	0,83357	0,22646	17,378
86	RIPPLES	0,20161	0,1779	18,588	6,2363	0,73241	0,24573	5,198
89	RIPPLES	0,31608	0,03687	18,658	6,3719	0,73517	0,25136	55,361
92	RIPPLES	0,39953	0,06131	19,491	6,6930	0,76798	0,26372	60,429
94	RIPPLES	0,31367	0,03531	19,720	6,7716	0,77463	0,26800	1,806
87	RIPPLES	0,42756	0,06849	20,026	7,0459	0,78907	0,27763	20,173
95	RIPPLES	0,36408	0,04508	19,652	7,1518	0,77432	0,28180	7,308
88	RIPPLES	0,23145	0,01964	20,976	8,7902	0,82652	0,33900	2,658
85	RIPPLES	0,35156	0,04645	21,667	8,6845	0,85372	0,34219	58,537
104	DUNAS	0,32183	0,04143	19,272	6,9149	0,74190	0,26620	178,730
107	DUNAS	0,37791	0,05615	20,886	7,9616	0,80405	0,30991	104,014
97	DUNAS	0,37785	0,05855	20,883	8,2208	0,80394	0,31648	272,107
103	DUNAS	0,41272	0,07095	21,823	9,0494	0,84011	0,34838	307,499
110	DUNAS	0,42416	0,07576	22,127	9,3511	0,85182	0,35999	389,589
100	DUNAS	0,42427	0,07710	22,133	9,4334	0,85206	0,36316	167,338
99	DUNAS	0,45112	0,07734	22,819	9,3756	0,87847	0,36371	65,208
105	DUNAS	0,44603	0,08043	22,692	9,5940	0,87359	0,37200	350,607
108	DUNAS	0,44764	0,08219	22,734	9,7396	0,87518	0,37495	250,902
101	DUNAS	0,45470	0,08410	24,487	9,8520	0,94267	0,37928	241,301
102	DUNAS	0,48149	0,09366	23,571	10,3971	0,90743	0,40026	257,189
106	DUNAS	0,49958	0,09608	24,012	10,5306	0,92439	0,40540	45,072
109	DUNAS	0,51653	0,10895	24,416	11,2136	0,93993	0,43169	338,960
98	DUNAS	0,53083	0,11396	24,749	11,4687	0,95278	0,44151	437,089
112	L.PLANO	0,51448	0,51448	24,3777	24,3770	0,93845	0,93845	4472,339
117	L.PLANO	0,53700	0,53700	24,8881	24,8881	0,95812	0,95812	4147,344
116	L.PLANO	0,66062	0,66062	27,6037	27,5423	1,06267	1,06267	5490,296
114	L.PLANO	0,72457	0,72457	28,9138	29,1743	1,11310	1,11310	3722,459
113	L.PLANO	0,72583	0,72583	28,9372	28,9372	1,11400	1,11400	6142,059
118	L.PLANO	0,73361	0,73361	29,0984	29,0984	1,12100	1,12100	3313,057
111	L.PLANO	0,73828	0,73828	29,1858	29,1858	1,12358	1,12358	5543,408
115	L.PLANO	0,77021	0,77021	29,8109	29,8109	1,14764	1,14764	4148,530

Tabela 4.42 – Parâmetros de resistência e transporte para a terceira mistura.

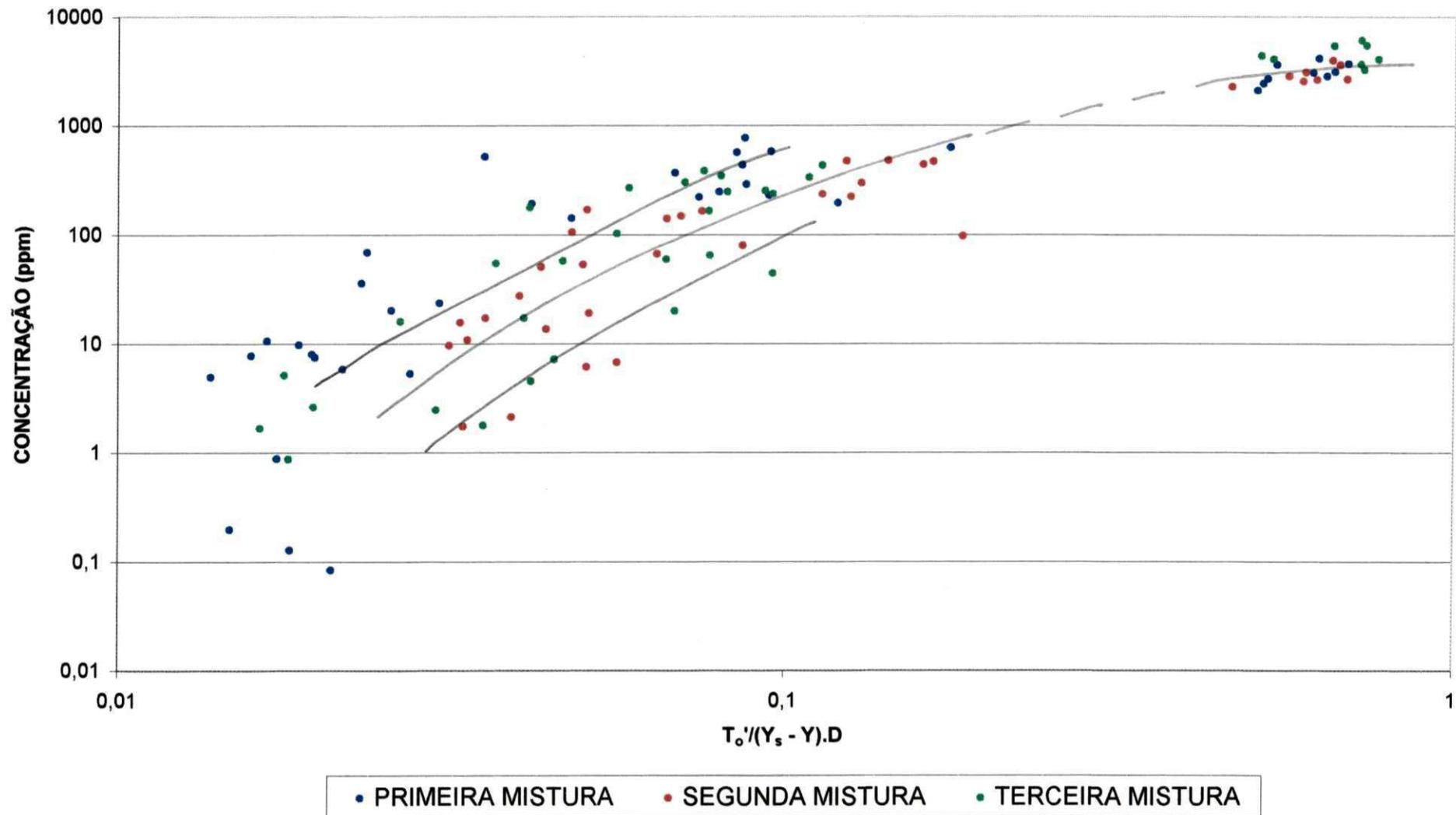


Figura 4.19 - Relações entre transporte e resistência (expressa pelo parâmetro de Shields) para as três misturas (considerando o atrito superficial do leito)

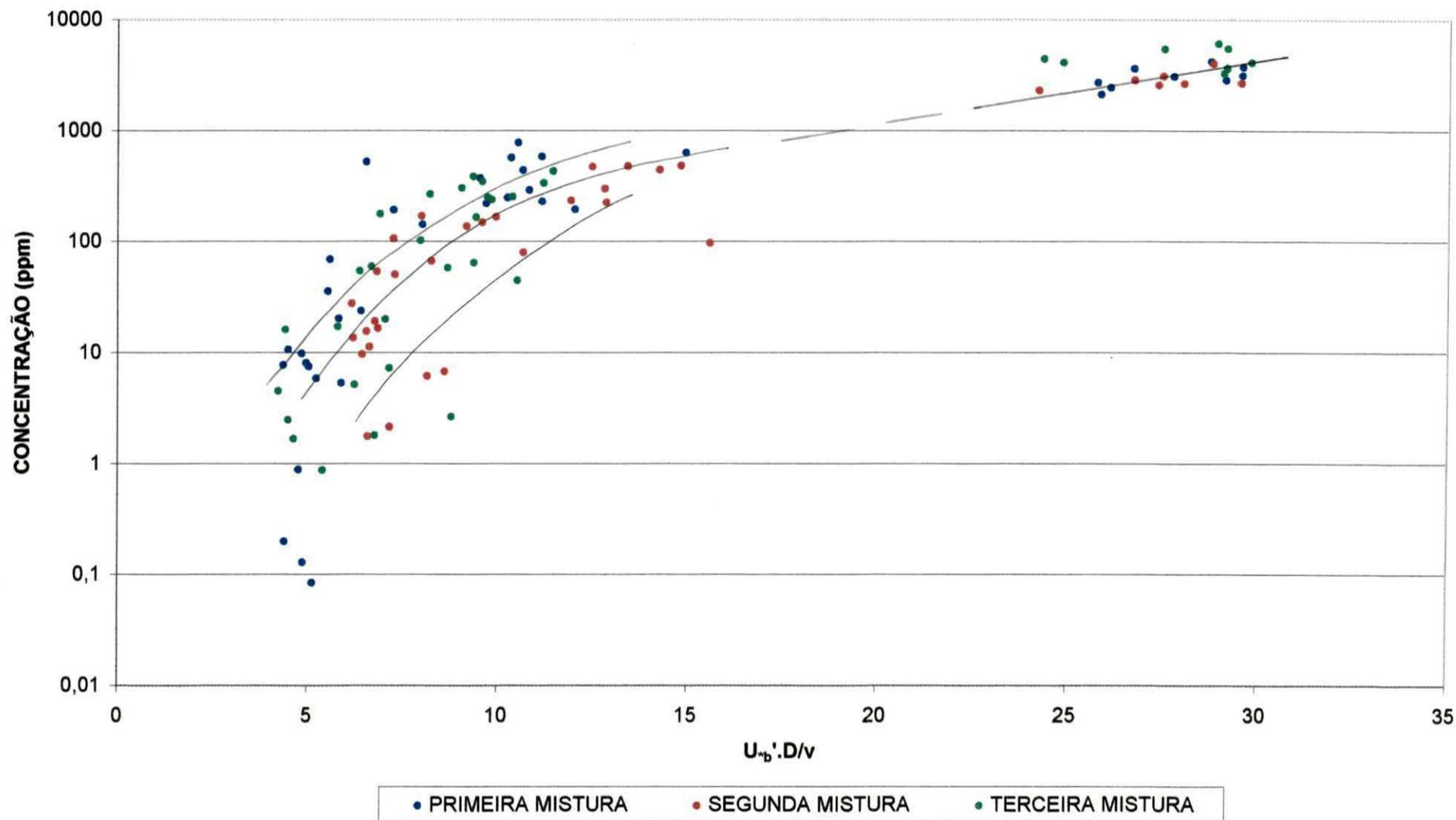


Figura 4.20 - Relações entre transporte e resistência (expressa pelo número de Reynolds da partícula) para as três misturas (considerando o atrito superficial com o leito).

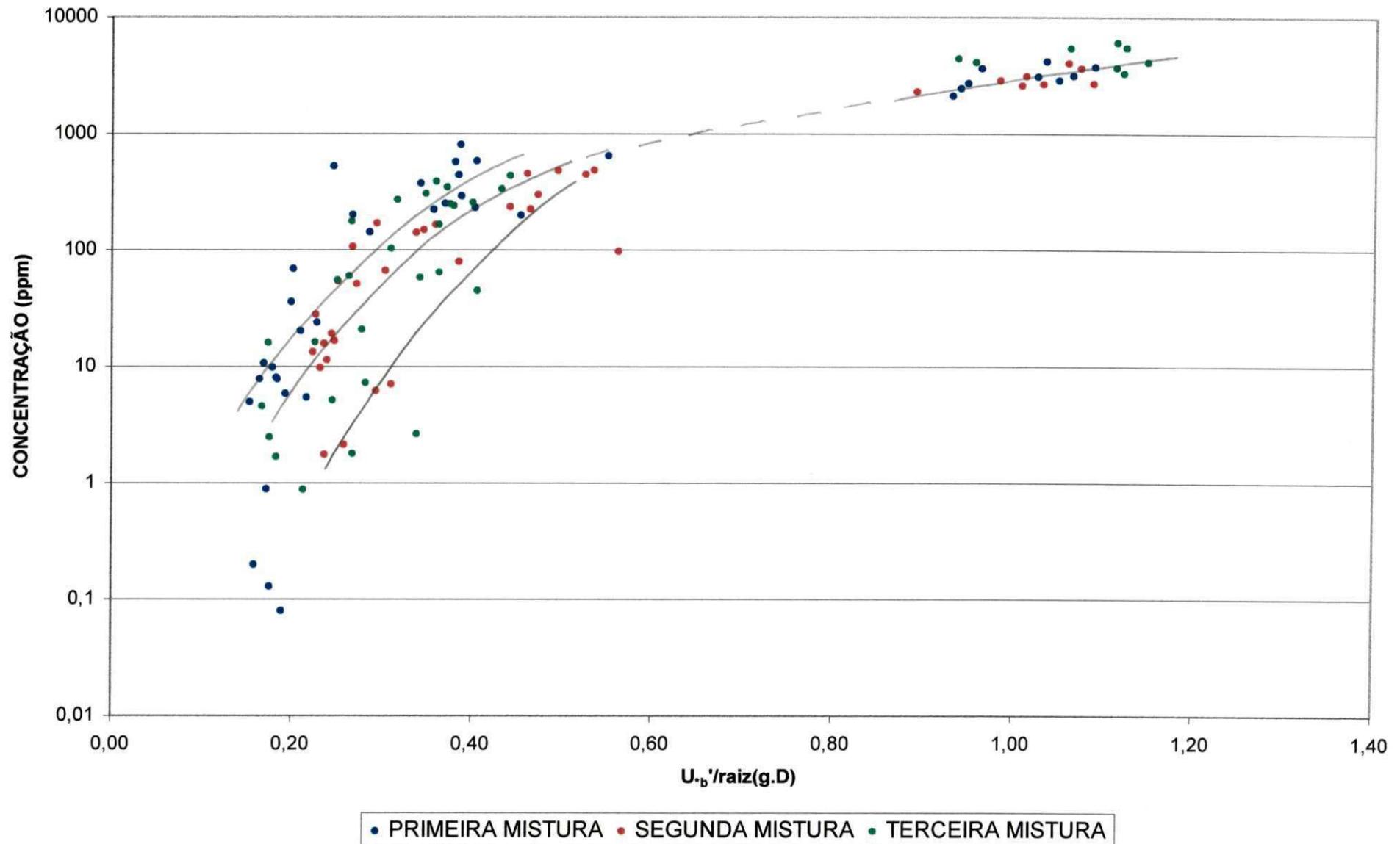


Figura 4.21 - Relações entre transporte e resistência (expressa pelo número de Froude de cisalhamento) para as três misturas (considerando o atrito superficial com o leito)

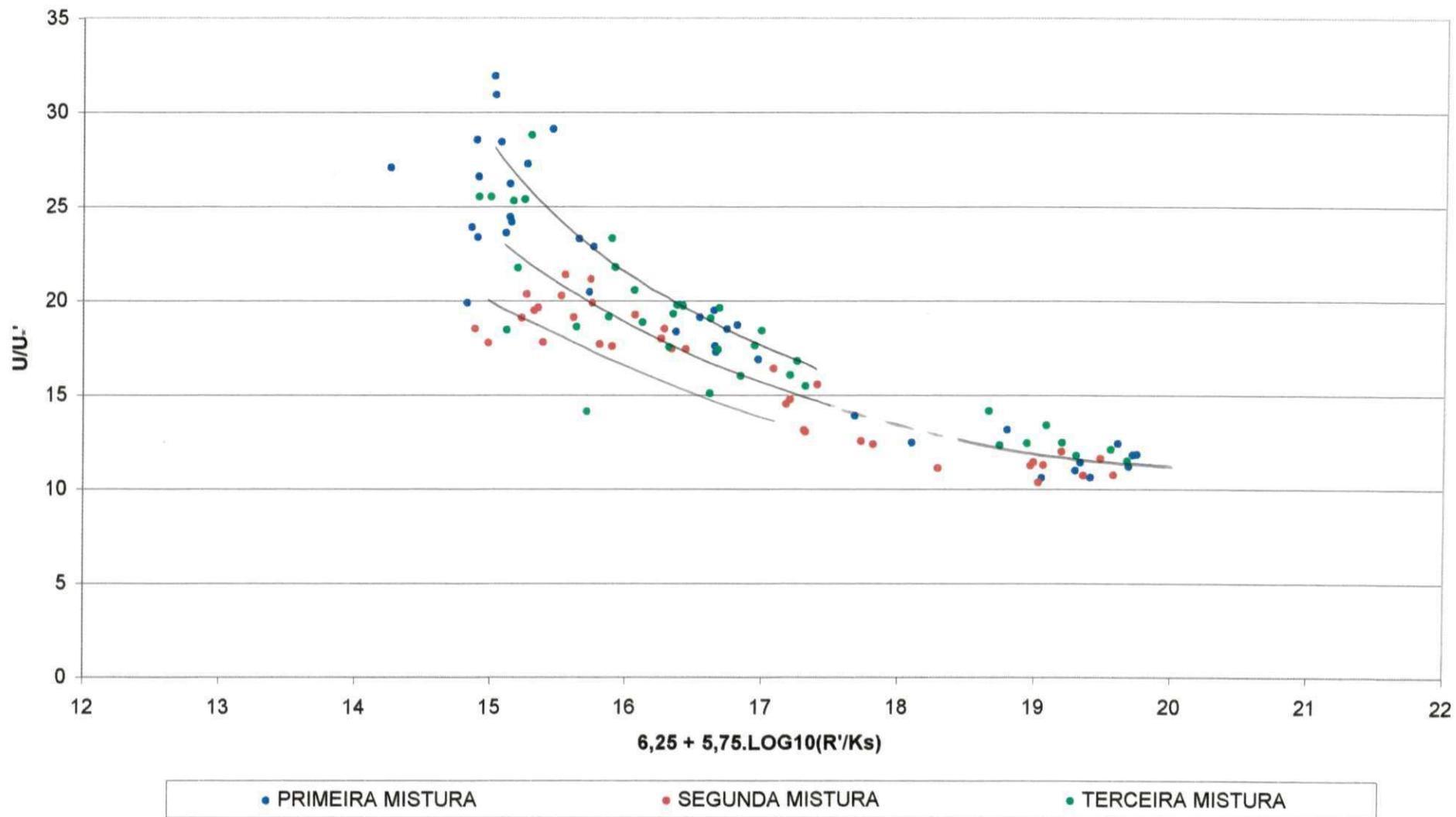


Figura 4.22 - Variação da resistência ao fluxo devido ao atrito superficial do leito para as três misturas.

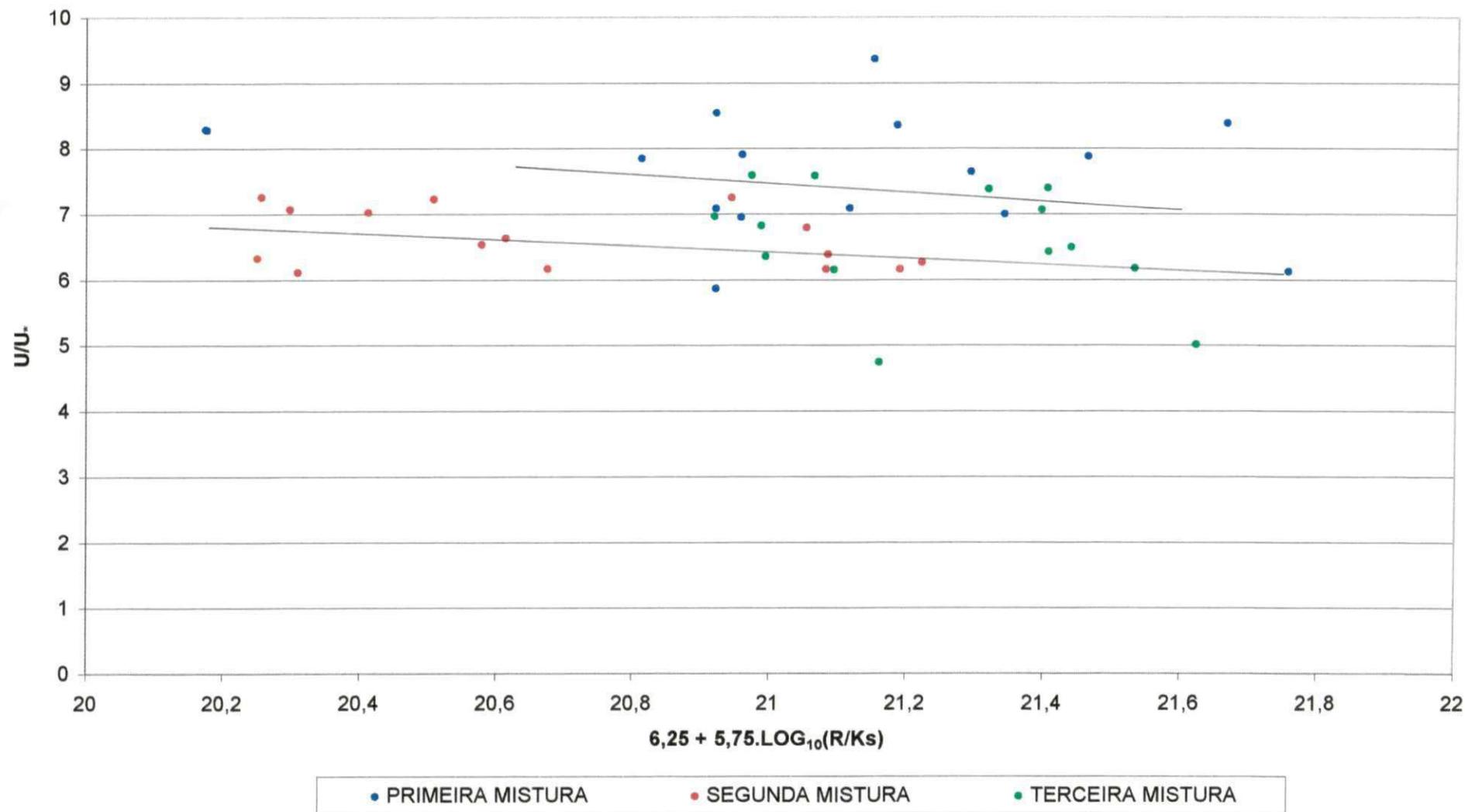


Figura 4.23 - Variação da resistência ao fluxo devido ao atrito total do leito com Ripples para as três misturas

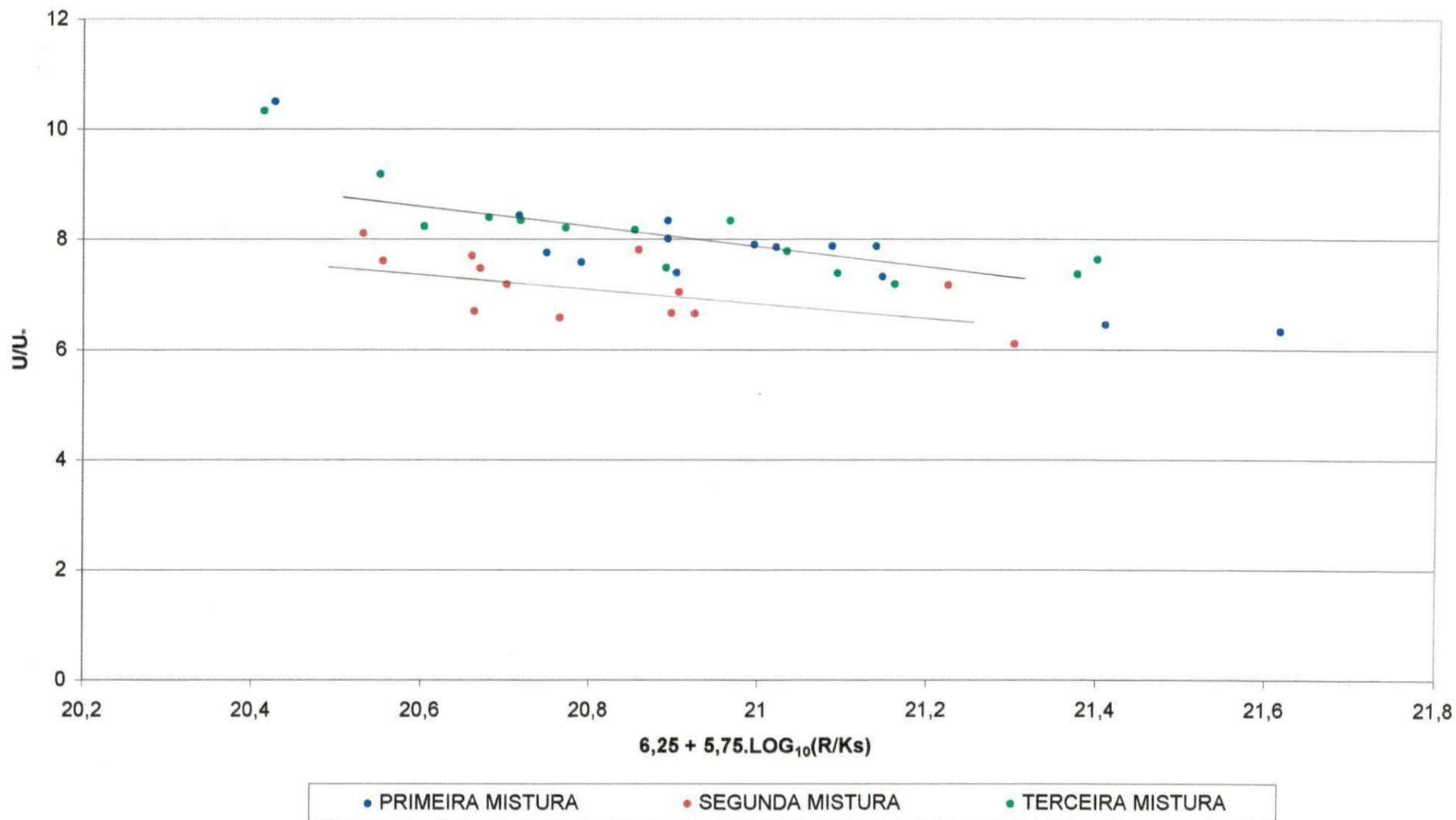


Figura 4.24 - Variação da resistência ao fluxo devido ao atrito total do leito com Dunas para as três misturas

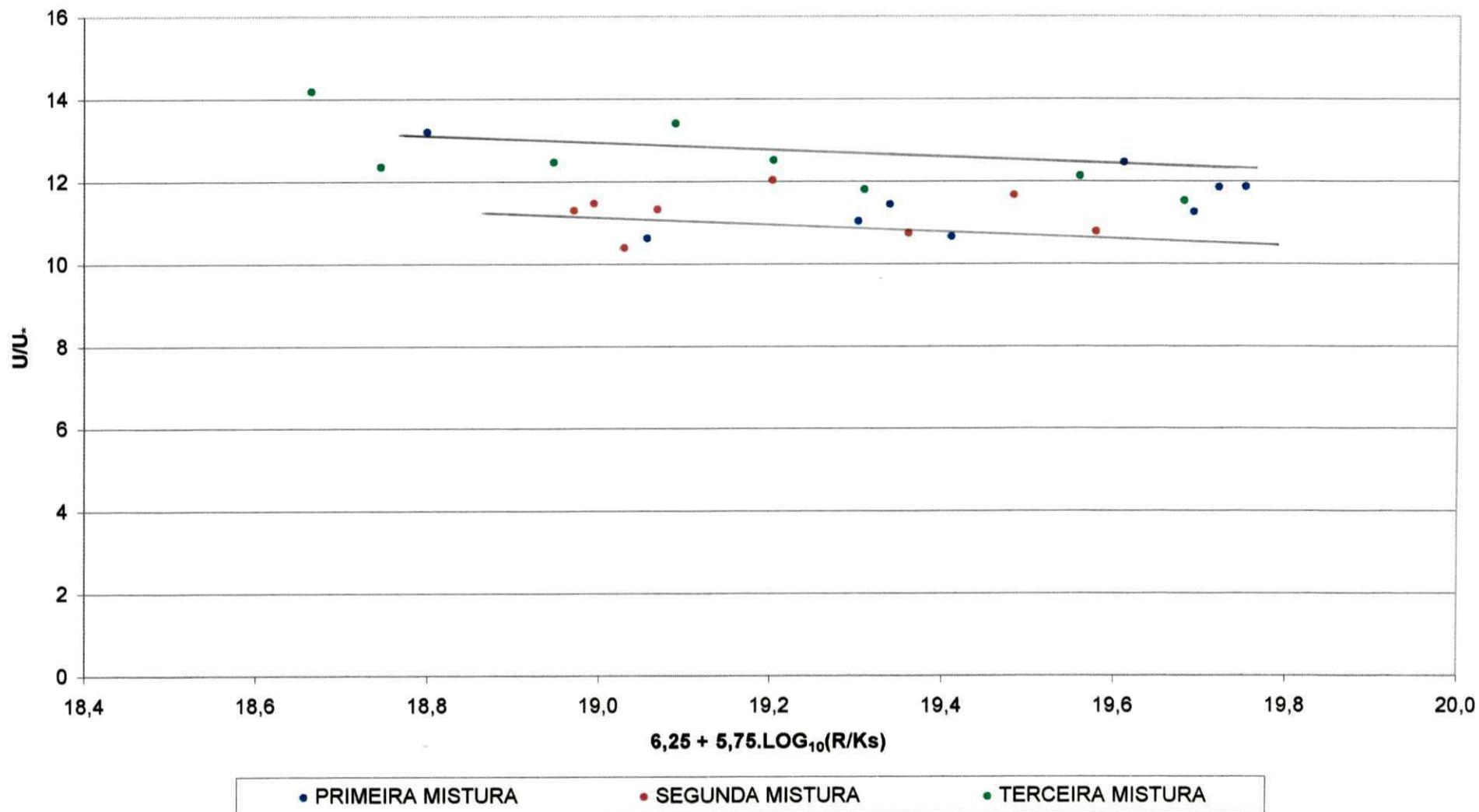


Figura 4.25 - Variação da resistência ao fluxo devido ao atrito total com Leito Plano para as três misturas

CAPÍTULO V

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 – Análise dos Resultados das Equações de Transporte

Os resultados obtidos com as equações de transporte (mostrados nas tabelas 4.7 a 4.39) foram avaliados verificando-se a variação percentual ocorrida nos valores calculados, a medida que foram utilizados sucessivamente diversos tamanhos de sedimentos (D) como representativos do material do leito. Para facilitar a análise, estes resultados se encontram resumidos neste capítulo nas seguintes tabelas: equação de Einstein (tabela 5.1), equação de Bagnold (tabela 5.2), equação de Laursen (tabelas 5.3 e 5.4) e equação de Yang (tabela 5.5).

As tabelas 5.1 a 5.5 apresentam para cada equação, mistura e forma do leito, os seguintes dados: número do ensaio, taxas de transporte medidas e calculadas com os tamanhos de sedimentos (D) inicial e final, relações percentuais entre os valores calculados e medidos e, na última coluna, as variações percentuais correspondentes.

As fórmulas estimativas de transporte utilizadas neste estudo se mostraram inadequadas para o caso de Ripples, pois exageravam na quantidade de sedimentos transportados. Inicialmente pensou-se que isto poderia ter sido causado por erros na amostragem e na determinação da quantidade de sedimentos medida em laboratório. Em virtude disto, todo o procedimento adotado foi revisto e considerando também que cada experimento foi repetido ao menos uma vez em cada série, a probabilidade de erros desta natureza foi bastante reduzida. Os resultados de cada equação obtidos com ripples serão comentados mais adiante neste capítulo.

Nas equações estimativas selecionadas foram utilizados seguidamente, tanto o raio hidráulico total do leito, como também o raio hidráulico da superfície do leito, com o objetivo de verificar a sensibilidade das equações a estes parâmetros, já que alguns pesquisadores [Srinivasan e Rego (1981)], julgam que os métodos para

considerar as rugosidades devido às formas do leito, inclusive o desenvolvido por Einstein [Simons e Senturk (1977)], gerando o raio hidráulico da superfície do leito, tem certas inconsistências.

Com exceção da metodologia de Einstein, que já considera os dois tipos de raio hidráulico, os resultados obtidos com as equações de Laursen, Yang e Bagnold foram bastante distintos, demonstrando que os resultados são bastante sensíveis ao valor do raio hidráulico utilizado.

Nas equações de Laursen e Bagnold, a verificação da sensibilidade ao raio hidráulico foi feita substituindo-se a tensão de cisalhamento total do leito pela da superfície do leito. Na equação de Yang, utilizou-se um ou outro raio hidráulico para calcular a velocidade de cisalhamento. Na condição de leito plano não foi necessária a aplicação de nenhuma correção de rugosidade, visto que os melhores resultados foram obtidos com a utilização do raio hidráulico total do leito e, pela ausência de qualquer irregularidade no leito, não há nenhuma justificativa para corrigir o valor do raio hidráulico real calculado.

5.1.1 – Resultados Obtidos com a Equação de Einstein [Vanoni et al.]

Esta metodologia evita o critério do início do movimento do sedimento associado a um valor crítico e define dois parâmetros a partir dos quais é calculada a taxa de transporte da carga do leito: o parâmetro de intensidade de cisalhamento (ψ) e o parâmetro da carga do leito (ϕ). Para a determinação da carga em suspensão é considerada a variação da concentração de sedimentos na seção transversal vertical do canal. Utiliza-se a distribuição de velocidade de Keulegan [Vanoni (1975)], e considera-se a rugosidade das formas do leito criando um método para a determinação do raio hidráulico do fundo do canal, que relaciona a profundidade média do fluxo ao parâmetro denominado rugosidade aparente da superfície do fundo (Δ). Um parâmetro de transporte (P_E) é introduzido e os efeitos da turbulência são expressos pela relação entre a velocidade de queda e a velocidade de cisalhamento devido à superfície do leito. Estes parâmetros são interrelacionados numericamente por duas integrais e a carga em suspensão é determinada. A carga total é então obtida somando-se as cargas do leito e em suspensão [Cavalcante (1992)].

Quando aplicada às condições de ripples e dunas, a equação de Einstein superestimou excessivamente as quantidades de sedimentos transportados, sendo os resultados com ripples muito mais exagerados que os resultados obtidos com dunas, que caíram numa faixa de 1.000% a 15.000%. Em virtude disto, qualquer tentativa de ajuste através da variação do tamanho representativo D foi descartada. As tabelas com estes resultados não foram incluídas neste trabalho, devido à grande disparidade nos resultados.

Os melhores resultados, apesar de ainda superestimados, foram obtidos para a condição de leito plano, o que confirma esta metodologia como mais adequada para fluxos com altas taxas de transporte e leitos planos e hidraulicamente rugosos. Como pode ser visto na tabela 5.1, quase todos os resultados caíram numa faixa inferior a 700%. Nas tentativas de ajuste nos resultados das três misturas foram utilizados diâmetros compreendidos entre D_{35} e D_{65} . A tabela 5.1 mostra os resultados referentes aos diâmetros inicial (D_{35}) e final (D_{65}) adotados.

No caso da primeira mistura, que tinha $D_{35} = 0,35$ mm e $D_{65} = 0,40$ mm, as reduções percentuais obtidas variaram de 10,4% a 65,4%. Para a segunda mistura ($D_{35} = 0,31$ mm e $D_{65} = 0,46$ mm) a variação foi de 4,8% a 87,3%. Com a terceira mistura ($D_{35} = 0,33$ mm e $D_{65} = 0,40$ mm) a variação ficou entre 0,7% a 23,6%. Vale ressaltar que na maioria dos casos este percentual de ajuste não ultrapassou 15%. De uma maneira geral os resultados obtidos não diferiram muito quando foi utilizado um ou outro tamanho representativo (D) na metodologia de Einstein. Isto significa que a superestimação inerente à metodologia deixa o tamanho do sedimento insensível para promover alterações significativas na taxa de transporte.

5.1.2 – Resultados Obtidos com a Equação de Bagnold [Graff (1977), Simons e Senturk (1977), Vanoni (1975)]

Bagnold desenvolveu sua fórmula de transporte de sedimentos baseado nos conceitos de balanço de energia, relacionando a energia gasta pelo fluxo e a quantidade de sedimentos transportada pelo mesmo. Ele estabeleceu que a taxa de trabalho realizado era igual ao produto entre a energia de fluxo disponível e a

MISTURA	ENSAIO	TAXA DE TRANSPORTE (N/m.s)			RELAÇÃO (%) CALCULADO / MEDIDO		REDUÇÃO (%)
		MEDIDA	CALCULADA		USANDO	USANDO	
			D = D35	D = D65	D = D35	D = D65	
PRIMEIRA	37	1,65506	10,56725	10,39473	638,48	628,06	10,42
	38	0,92529	10,47996	9,87501	1132,61	1067,23	65,38
	39	1,88452	10,60620	9,77967	562,81	518,95	43,86
	40	1,40265	10,37935	10,04371	739,98	716,05	23,93
	41	2,08044	12,45280	12,10540	598,57	581,87	16,70
	42	2,22106	14,52502	14,13837	653,97	636,56	17,41
	43	2,49622	13,50357	13,22618	540,96	529,85	11,11
	44	2,37305	14,82779	14,51159	624,84	611,52	13,32
	45	2,16399	14,84619	14,52847	686,06	671,37	14,68
SEGUNDA	75	1,4810	10,3412	10,1981	698,24	688,58	9,67
	76	2,4027	13,9653	13,6204	581,24	566,89	14,36
	77	2,4615	14,2739	14,0847	579,88	572,20	7,69
	78	2,0255	15,0345	14,9387	742,27	737,53	4,73
	79	1,1871	8,5251	7,4882	718,13	630,78	87,35
	80	1,8598	11,9110	11,8205	640,44	635,57	4,87
	81	1,7435	11,9533	11,8623	685,57	680,36	5,22
	82	2,0074	13,0212	12,7050	648,65	632,89	15,76
TERCEIRA	111	3,70373	15,89919	15,69030	429,28	423,64	5,64
	112	2,28852	10,36209	9,92739	452,78	433,79	18,99
	113	3,62332	15,80379	15,59854	436,17	430,50	5,66
	114	2,77824	15,59281	15,57233	561,25	560,51	0,74
	115	2,77176	16,36396	16,28693	590,38	587,60	2,78
	116	2,80942	15,03501	14,64479	535,16	521,27	13,89
	117	2,44660	10,86238	10,28382	443,98	420,33	23,65
	118	2,47268	16,07450	15,85892	650,08	641,37	8,72

TABELA 5.1 - Equação de Einstein (Leito Plano).

eficiência. Definiu empiricamente, então, dois fatores de eficiência para as cargas do leito e em suspensão, que consideram as parcelas da energia de fluxo disponíveis para o transporte daquelas cargas.

Na equação de Bagnold foram utilizados, para os casos de ripples e dunas, as tensões de cisalhamentos na superfície do leito e total no leito. No caso de ripples, ambas as situações conduziram a resultados bastante superestimados. Quando aplicada às condições de dunas os resultados se inverteram. Superestimados com a tensão de cisalhamento total no leito e subestimados com a tensão devido ao atrito com os grãos de sedimento do leito. Dessa forma ficou clara a sensibilidade dessa equação a este parâmetro. Devido aos resultados obtidos com D50 terem sido bastante exagerados, nenhuma tentativa de ajuste através da variação do tamanho representativo (D) foi realizada para os casos de ripples e dunas.

Quando aplicada à condição de leito plano, esta metodologia apresentou resultados que subestimaram entre -80% a -60% os valores medidos nos experimentos (ver tabela 5.2). Os percentuais de ajustes obtidos com a utilização de D₅₀ e D₃₅ variaram de 0,79% a 2,78%, sendo menores para a primeira mistura (quase uniforme) e maiores para a segunda mistura (não uniforme).

Mesmo assim, em função dos resultados obtidos, esta metodologia se mostrou mais adequada para o caso de leito plano, o que concorda com as recomendações do autor e com as conclusões de Srinivasan e Curi [Curi (1986)].

5.1.3 – Resultados Obtidos com a Equação de Laursen [Simons e Senturk (1977), Vanoni (1975)]

Laursen desenvolveu uma relação funcional entre as condições de fluxo e a descarga de sedimento resultante, não fazendo distinção entre a carga do leito e a carga em suspensão, que são levadas em consideração na equação, respectivamente,

pelos parâmetros $\left(\frac{\tau_0}{\tau_c} - 1\right)$ e $\frac{U_{*b}}{w}$.

Inicialmente na metodologia de Laursen foi utilizada a tensão de cisalhamento total no leito, os resultados obtidos com ripples e dunas foram bastante superestimados, principalmente no caso de ripples.

TABELA 5.2 - EQUAÇÃO DE BAGNOLD (LEITO PLANO)

MISTURA	ENSAIO	TAXA DE TRANSPORTE (N/m.s)			RELAÇÃO (%) CALCULADO / MEDIDO		AUMENTO (%)
		MEDIDA	CALCULADA		USANDO	USANDO	
			D = D50	D = D35	D = D50	D = D35	
PRIMEIRA	37	1,65506	0,42787	0,44106	25,85	26,65	0,80
	38	0,92529	0,33344	0,34267	36,04	37,03	1,00
	39	1,88452	0,49990	0,51974	26,53	27,58	1,05
	40	1,40265	0,37434	0,38815	26,69	27,67	0,98
	41	2,08044	0,50190	0,52116	24,12	25,05	0,93
	42	2,22106	0,57465	0,59218	25,87	26,66	0,79
	43	2,49622	0,53028	0,55066	21,24	22,06	0,82
	44	2,37305	0,61333	0,63288	25,85	26,67	0,82
	45	2,16399	0,57960	0,60240	26,78	27,84	1,05
SEGUNDA	75	1,4810	0,3898	0,4264	26,32	28,79	2,47
	76	2,4027	0,5665	0,6188	23,58	25,75	2,17
	77	2,4615	0,5534	0,6033	22,48	24,51	2,03
	78	2,0255	0,5803	0,6331	28,65	31,25	2,61
	79	1,1871	0,3187	0,3447	26,85	29,04	2,19
	80	1,8598	0,4841	0,5279	26,03	28,38	2,36
	81	1,7435	0,5188	0,5673	29,76	32,53	2,78
	82	2,0074	0,5374	0,5874	26,77	29,26	2,49
TERCEIRA	111	3,70373	0,80173	0,85776	21,65	23,16	1,51
	112	2,28852	0,51094	0,54604	22,33	23,86	1,53
	113	3,62332	0,77361	0,82740	21,35	22,84	1,48
	114	2,77824	0,74372	0,79466	26,77	28,60	1,83
	115	2,77176	0,79539	0,84997	28,70	30,67	1,97
	116	2,80942	0,65133	0,69065	23,18	24,58	1,40
	117	2,44660	0,50534	0,53953	20,65	22,05	1,40
	118	2,47268	0,70618	0,75367	28,56	30,48	1,92

Na condição de dunas, os resultados obtidos com a tensão de cisalhamento na superfície do leito e D_{50} foram quase todos subestimados entre 4,4% e 96%, considerando as três misturas. Quando foi utilizado D_{35} como tamanho representativo do material do leito, o ganho percentual conseguido nos resultados ficou entre 5% e 23% com a primeira mistura, 4% e 32% para a segunda mistura e 2,5% a 24% para a terceira mistura. Estes resultados são mostrados na tabela 5.3.

Para os experimentos com leito plano, apesar de um pouco superestimadas, foram boas as taxas de transporte obtidas com a equação de Laursen utilizando D_{50} . Estes resultados ficaram entre 2% e 98% acima dos valores medidos, sendo que a grande maioria se situou abaixo dos 50% de variação (ver tabela 5.4). As reduções obtidas nos resultados de transporte com a utilização de D_{65} não foram tão significativas: 0,24% a 6,32% com a primeira mistura; 2,67% a 10,9% para a segunda mistura; 1,4% a 11,6% com a terceira mistura.

5.1.4 – Resultados Obtidos com a Equação de Yang [Annandale (1986), Yang (1973)]

A metodologia de Yang utiliza o conceito de potencial de fluxo, que é definido como o produto da velocidade média de fluxo pela declividade da linha de energia. Yang procurou demonstrar que a distribuição da concentração de sedimentos numa vertical entre o fundo e a superfície do canal é diretamente relacionada à taxa de distribuição vertical da energia produzida devido à turbulência, por isto ressalta a importância da velocidade de queda das partículas. A relação de Yang foi elaborada empiricamente e fornece diretamente a carga total no fluxo através do cálculo da concentração de sedimentos.

Nos casos de ripples, independente do raio hidráulico utilizado, os resultados obtidos foram bastante superestimados.

No cálculo da velocidade de cisalhamento foram utilizados os raios hidráulicos do leito e da superfície do leito. Para os casos de dunas, os dois conjuntos de resultados obtidos com cada um destes parâmetros não apresentaram grandes diferenças entre si. Isto leva a crer que a influência da rugosidade proveniente da

TABELA 5.3 - EQUAÇÃO DE LAURSEN (DUNAS)

MISTURA	ENSAIO	TAXA DE TRANSPORTE (Kg/s)			RELAÇÃO (%) CALCULADO / MEDIDO		AUMENTO (%)
		MEDIDA	CALCULADA		USANDO D = D50	USANDO D = D35	
			D = D50	D = D35			
PRIMEIRA	8	0,02808	0,00632	0,00788	22,52	28,06	5,54
	9	0,00790	0,00904	0,01089	114,42	137,82	23,40
	17	0,00637	0,00028	0,00061	4,40	9,65	5,25
	18	0,02163	0,00560	0,00699	25,87	32,34	6,47
	19	0,02575	0,01808	0,02228	70,21	86,53	16,32
	20	0,00659	0,00408	0,00493	61,97	74,73	12,77
	25	0,00423	0,00100	0,00144	23,72	33,99	10,27
	31	0,01256	0,00345	0,00416	27,47	33,11	5,63
	32	0,01572	0,00582	0,00726	37,04	46,20	9,16
	33	0,01844	0,00707	0,00878	38,36	47,64	9,27
	34	0,00844	0,00502	0,00600	59,56	71,08	11,52
	35	0,00825	0,00662	0,00811	80,20	98,33	18,13
	36	0,00923	0,00568	0,00708	61,56	76,66	15,10
SEGUNDA	46	0,00520	0,00393	0,00421	75,58	80,87	5,29
	47	0,00442	0,00300	0,00328	67,78	74,29	6,51
	48	0,00818	0,01004	0,01070	122,77	130,78	8,01
	49	0,00389	0,01610	0,01736	413,96	446,39	32,43
	51	0,01758	0,01537	0,01644	87,41	93,49	6,08
	57	0,00319	0,00501	0,00539	156,71	168,69	11,98
	62	0,00444	0,00336	0,00364	75,73	82,13	6,40
	63	0,00506	0,00121	0,00154	23,97	30,34	6,37
	64	0,01607	0,01000	0,01066	62,22	66,34	4,11
	67	0,00842	0,00846	0,00907	100,49	107,63	7,14
	71	0,01588	0,01465	0,01568	92,22	98,74	6,52
	72	0,01528	0,01218	0,01318	79,67	86,25	6,57
73	0,00951	0,00996	0,01072	104,75	112,70	7,95	
TERCEIRA	97	0,00841	0,00257	0,00317	30,56	37,68	7,12
	98	0,01569	0,00907	0,00947	57,84	60,37	2,52
	99	0,00257	0,00432	0,00479	168,30	186,40	18,09
	100	0,00494	0,00475	0,00527	96,34	106,77	10,43
	101	0,00808	0,00720	0,00767	89,17	94,92	5,75
	102	0,00912	0,00679	0,00726	74,43	79,53	5,10
	103	0,01091	0,00386	0,00438	35,43	40,17	4,73
	104	0,00552	0,00031	0,00095	5,65	17,20	11,55
	105	0,01258	0,00522	0,00574	41,52	45,58	4,06
	106	0,00178	0,00668	0,00712	376,61	400,94	24,32
	107	0,00307	0,00205	0,00260	66,77	84,73	17,96
	108	0,00840	0,00540	0,00590	64,28	70,25	5,97
109	0,01202	0,00852	0,00893	70,84	74,27	3,43	
110	0,01382	0,00461	0,00513	33,34	37,11	3,77	

TABELA 5.4 - EQUAÇÃO DE LAURSEN (LEITO PLANO)

MISTURA	ENSAIO	TAXA DE TRANSPORTE (Kg/s)			RELAÇÃO (%) CALCULADO / MEDIDO		REDUÇÃO (%)
		MEDIDA	CALCULADA		USANDO D = D50	USANDO D = D35	
			D = D50	D = D35			
PRIMEIRA	37	0,08439	0,10830	0,10810	128,34	128,10	0,24
	38	0,04718	0,09366	0,09348	198,52	198,13	0,39
	39	0,09609	0,13645	0,13061	142,01	135,93	6,08
	40	0,07152	0,10531	0,10079	147,25	140,93	6,32
	41	0,10608	0,13733	0,13565	129,46	127,88	1,58
	42	0,11325	0,16483	0,16296	145,54	143,89	1,65
	43	0,12728	0,14765	0,14585	116,00	114,59	1,41
	44	0,12100	0,16672	0,16294	137,78	134,66	3,12
	45	0,11000	0,15640	0,15277	142,18	138,88	3,30
SEGUNDA				D = D45		D = D45	
	75	0,07552	0,11091	0,1061	146,87	140,48	6,39
	76	0,12251	0,16131	0,1479	131,67	120,72	10,96
	77	0,12551	0,15546	0,1426	123,86	113,60	10,27
	78	0,10328	0,16140	0,1474	156,28	142,67	13,60
	79	0,06053	0,08430	0,0827	139,27	136,61	2,67
	80	0,09483	0,13444	0,1273	141,77	134,27	7,50
	81	0,08890	0,13947	0,1321	156,88	148,56	8,32
82	0,10236	0,14342	0,1351	140,11	132,02	8,09	
TERCEIRA	111	0,18885	0,22740	0,21664	120,42	114,72	5,70
	112	0,11669	0,13032	0,12847	111,69	110,10	1,59
	113	0,18475	0,22471	0,21407	121,63	115,87	5,76
	114	0,14166	0,20871	0,19882	147,33	140,35	6,98
	115	0,14133	0,22904	0,22915	162,06	162,14	-0,08
	116	0,14325	0,18491	0,16833	129,08	117,51	11,58
	117	0,12475	0,12769	0,12590	102,36	100,92	1,44
	118	0,12608	0,20098	0,19147	159,41	151,86	7,54

formação do leito não tem um papel significativo na metodologia, o que está em conformidade com as conclusões de Srinivasan e Cavalcante (1992).

Outra característica marcante que pôde ser notada nos resultados com dunas, independente do raio hidráulico utilizado, foi a boa distribuição em torno das quantidades medidas em laboratório. Os resultados obtidos com R_b' e D_{50} ou D_{35} são mostrados na tabela 5.5. Optou-se por tentar o ajuste dos valores subestimados porque estes se apresentaram mais próximos dos valores medidos ou eram em maior quantidade do que os valores superestimados, como no caso da primeira mistura. Os percentuais de ajuste obtidos com a primeira mistura ficaram entre 2,6% e 8,7%. Para a segunda e terceira misturas, que possuíam granulometria mais desuniforme, esses percentuais variaram de 12,2% a 50,3% e 8,7% a 68,8%, respectivamente. Porém, vale ressaltar que na grande maioria dos casos esse percentual não ultrapassou os 20%.

Os melhores resultados com a equação de Yang foram obtidos nos experimentos com leito plano, conforme pôde ser visto nas tabelas 4.37, 4.38 e 4.39 e nos gráficos das figuras 4.16, 4.17 e 4.18 para a primeira, segunda e terceira misturas, respectivamente. Os resultados de transporte estimados ficaram muito bem distribuídos em torno dos valores medidos e, por isso mesmo, não foi feita nenhuma tentativa de ajuste através do diâmetro representativo (D), pois dificilmente haveria qualquer melhoria nos resultados. Para a primeira mistura estes resultados variaram de 81,9% a 113,9%, para a segunda mistura ficaram entre 82,2% e 116,1% e no caso da terceira mistura variaram de 87,8% a 131,0%.

5.2 – Análise dos Resultados de Transporte e Resistência

Considerando que o transporte sólido e a resistência ao fluxo são fenômenos interrelacionados e dependem das mesmas variáveis de fluxo, foram elaborados os gráficos das figuras 4.19 a 4.21, que permitem uma análise conjunta desses fenômenos, pois apresentam relações entre o transporte sólido (expresso pela concentração de sedimentos referentes à carga total) e a resistência superficial ao fluxo (expressa pelo parâmetro de Shields, número de Reynolds da partícula e número de Froude de cisalhamento). Entretanto, com o objetivo de analisar de forma mais clara as diferenças de comportamento das misturas no que se refere à resistência oferecida ao fluxo, foram construídos os gráficos das figuras 4.22 a 4.25, nos quais a resistência é expressa pela velocidade de cisalhamento devido ao atrito superficial ou total com o leito. Estes gráficos relacionam a resistência com as condições de fluxo.

Para poder analisar todos os dados das misturas, independente dos diferentes regimes de fluxo determinados pelas formas do leito, os parâmetros de resistência foram calculados utilizando tanto a resistência superficial devido ao atrito com os grãos (que contribui efetivamente para o transporte das partículas), quanto a resistência total do leito. Nos gráficos das figuras 4.19 a 4.22 considera-se apenas a resistência superficial, enquanto os gráficos 4.23 a 4.25 se referem à resistência total do leito, agrupados por forma do leito (ripples, dunas e leito plano).

As misturas utilizadas neste estudo tinham em comum o fato de serem unimodais e log-normais com um mesmo $D_{50} = 0,38$ mm, porém apresentavam distribuições granulométricas distintas. A primeira mistura ($\sigma = 1,351$) foi composta por duas frações cujos D_{50} foram 0,26 mm (60%) e 0,40 mm (40%) que, por não serem muito diferentes, conferiram a esta mistura um aspecto quase uniforme. A segunda mistura ($\sigma = 1,597$) teve frações com D_{50} iguais a 0,26 mm (80%) e 0,68 mm (20%), enquanto a terceira mistura ($\sigma = 1,532$) teve em sua composição 90% da fração de 0,26 mm e o restante das frações de 0,68 mm (5%) e 1,15 mm (5%), conforme foi explicado no capítulo 3.

Os experimentos foram conduzidos procurando-se reproduzir as mesmas condições hidráulicas de fluxo na repetição dos ensaios de uma mesma mistura e entre

TABELA 5.5 - EQUAÇÃO DE YANG (DUNAS)

MISTURA	ENSAIO	TAXA DE TRANSPORTE (Kg/m.s)			RELAÇÃO (%) CALCULADO / MEDIDO		AUMENTO (%)
		MEDIDA	CALCULADA		USANDO	USANDO	
			D = D50	D = D35	D = D50	D = D35	
PRIMEIRA	7	0,032825	0,014314	0,015170	43,61	46,21	2,61
	8	0,056163	0,030244	0,032032	53,85	57,03	3,18
	9	0,015797	0,021103	0,022394	133,59	141,77	8,17
	17	0,012746	0,007309	0,007782	57,34	61,05	3,71
	18	0,043257	0,024461	0,025899	56,55	59,87	3,32
	19	0,051495	0,037520	0,039698	72,86	77,09	4,23
	20	0,013181	0,016364	0,017398	124,14	131,99	7,85
	25	0,008460	0,012058	0,012798	142,53	151,27	8,74
	31	0,025129	0,017283	0,018310	68,78	72,87	4,09
	32	0,031433	0,024950	0,026404	79,38	84,00	4,62
	33	0,036875	0,027109	0,028735	73,52	77,93	4,41
	34	0,016871	0,022793	0,024137	135,10	143,07	7,96
	35	0,016500	0,023105	0,024462	140,03	148,25	8,23
36	0,018468	0,020645	0,021898	111,79	118,57	6,78	
SEGUNDA	46	0,010400	0,012725	0,01488	122,36	143,12	20,76
	47	0,008840	0,011150	0,01309	126,14	148,08	21,94
	48	0,016360	0,032274	0,03726	197,27	227,73	30,45
	49	0,007780	0,025171	0,02908	323,54	373,84	50,30
	51	0,035160	0,028423	0,03293	80,84	93,64	12,81
	57	0,006388	0,014798	0,01716	231,65	268,59	36,94
	62	0,008872	0,011630	0,01363	131,09	153,64	22,55
	63	0,010124	0,008644	0,01018	85,38	100,53	15,15
	64	0,032130	0,023688	0,02763	73,73	85,99	12,26
	67	0,016846	0,020429	0,02381	121,27	141,34	20,07
	71	0,031768	0,027268	0,03172	85,83	99,86	14,03
	72	0,030562	0,023907	0,02797	78,23	91,52	13,29
73	0,019022	0,019039	0,02230	100,09	117,25	17,16	
TERCEIRA	97	0,016820	0,019468	0,02171	115,75	129,07	13,33
	98	0,031376	0,025663	0,02858	81,79	91,07	9,28
	99	0,005136	0,017106	0,01902	333,06	370,25	37,19
	100	0,009870	0,020257	0,02264	205,24	229,40	24,16
	101	0,016157	0,027688	0,03094	171,37	191,48	20,11
	102	0,018247	0,024377	0,02714	133,59	148,72	15,13
	103	0,021816	0,017817	0,01989	81,67	91,19	9,52
	104	0,011048	0,016543	0,01840	149,73	166,59	16,85
	105	0,025168	0,023806	0,02648	94,59	105,20	10,61
	106	0,003550	0,021958	0,02440	618,53	687,39	68,85
	107	0,006135	0,013757	0,01539	224,23	250,91	26,68
	108	0,016800	0,022947	0,02557	136,59	152,21	15,62
	109	0,024048	0,025876	0,02881	107,60	119,81	12,21
110	0,027640	0,020828	0,02324	75,35	84,07	8,72	

as misturas, como descrito no item 3.4 do capítulo 3. Desta forma foi possível isolar o efeito da granulometria de cada mistura sobre os resultados

Nos gráficos das figuras 4.19 a 4.22, pode-se notar uma redução gradativa na dispersão dos pontos da zona correspondente às menores taxas de transporte (ripples) para taxas maiores (dunas e leito plano). Pequenas taxas de transporte estão associadas a tensões de cisalhamento pouco maiores que os valores críticos, que nem sempre são capazes de colocar em movimento partículas de todos os tamanhos numa mistura. Dessa forma os efeitos relacionados à influência do tamanho de uma partícula sobre a outra tendem a ser mais pronunciados.

Na região correspondente aos ensaios com ripples e dunas, apesar dos pontos se apresentarem misturados, é possível notar alguns aspectos importantes que podem estar relacionados às diferenças granulométricas existentes entre as misturas. Os pontos da primeira mistura (azuis) se localizaram numa região superior em relação aos pontos da segunda mistura (vermelhos), sugerindo taxas de transporte maiores sob idênticas condições de fluxo.

Pelos gráficos das figuras 4.19 a 4.21 as seguintes relações foram identificadas na faixa de ripples e dunas:

- relação superior: definida principalmente pelos pontos da primeira mistura e alguns pontos da terceira mistura;
- relação intermediária: definida basicamente pelos pontos da segunda mistura e alguns pontos da terceira;
- relação inferior: definida por pontos da segunda e terceira misturas.

Pode-se notar claramente que a maior dispersão foi apresentada pelos pontos pertencentes à terceira mistura. Provavelmente este comportamento está relacionado ao fato de ser esta a mistura com maior quantidade de finos em sua composição, aliada a uma pequena quantidade de frações bastante grossas. Se por um lado, em termos absolutos, a fração mais fina transmite grande mobilidade a essa mistura, a presença das partículas mais grossas tende a esconder as menores e por isso mesmo reduzir sua mobilidade. Os efeitos absoluto e relativo do tamanho de uma partícula sobre as outras tendem a ser mais pronunciados na zona de ripples e dunas devido ao fato de que nem todas as partículas estariam em movimento, pois as tensões de cisalhamento não seriam tão elevadas.

A primeira mistura, que foi composta com a distribuição quase uniforme, apresentou as maiores taxas de transporte na região de ripples e dunas. Esta condição pode ser explicada pelo fato de todas as partículas, por terem tamanhos bem próximos, entrarem em movimento ao mesmo tempo, após ser superada a tensão de cisalhamento crítica, não havendo efeitos de escondimento e proteção pela grande variação no tamanho dos grãos.

A segunda mistura teve a maior diversidade de tamanhos de grãos em sua composição, por isto apresentou o maior desvio padrão. Apesar de possuir mais finos do que a primeira mistura, suas menores taxas de transporte parecem refletir os efeitos de proteção dos finos pela presença da fração mais grossa, reduzindo a mobilidade da mistura como um todo.

A condição de leito plano é obtida com grandes tensões de cisalhamento no leito, onde todas as frações estão em movimento. Observando-se ainda os gráficos das figuras 4.19 a 4.21, pode-se notar que os pontos representativos dos ensaios com leito plano (menor grupo de pontos que se encontra mais afastado e apresenta as maiores taxas de transporte ou concentrações), apesar de ter sido indicada apenas uma relação, sugere claramente a existência de duas relações, quais sejam: uma definida basicamente pelos pontos da terceira mistura e outra pelos pontos da primeira e segunda misturas. Considerando que todas as frações se encontravam em movimento, a terceira mistura por conter a maior quantidade de finos apresentou as maiores taxas de transporte, enquanto a segunda e terceira misturas se comportaram de forma equivalente neste aspecto. Nesta região o efeito relativo do tamanho de um grão sobre o outro tem pouca influência devido às elevadas tensões de cisalhamento. Estes resultados levam a crer que para taxas de transporte elevadas, efeitos relacionados à granulometria do material se tornam menos evidentes, uma vez que todas as frações estão em movimento.

Para analisar o aspecto da resistência ao fluxo, conforme é mostrado nos gráficos das figuras 4.22 a 4.25, é preciso considerar o conceito de rugosidade superficial, segundo o qual o fluxo sobre superfícies rugosas pode ser classificado em três tipos básicos, quais sejam:

1. fluxo sobre elementos rugosos isolados;
2. fluxo com interferência de esteiras;

3. fluxo sobre superfície quase lisa.

No primeiro caso, os elementos rugosos estão bastante afastados uns dos outros e a rugosidade aparente resulta do arrasto de forma sobre estes elementos, representados principalmente por suas alturas, em adição ao arrasto por atrito sobre a superfície das paredes entre os elementos, o qual depende do espaçamento entre os mesmos. No segundo caso os elementos rugosos estão próximos a ponto da esteira e o vórtex em cada elemento interfere com aqueles desenvolvidos no elemento seguinte, resultando numa intensa e complexa vorticidade e uma mistura turbulenta. Em tais fluxos o espaçamento entre os elementos assume maior importância do que suas alturas. O fluxo sobre superfície quase lisa ocorre quando os elementos rugosos estão tão próximos que o fluxo essencialmente salta sobre a crista dos elementos, neste caso, a superfície se comporta como hidraulicamente lisa, apesar das perdas por atrito serem maiores que no caso de uma superfície verdadeiramente lisa.

Nos gráficos das figuras 4.22 a 4.25, pode-se verificar as diferenças de comportamento das misturas no que se refere ao aspecto de resistência. O gráfico da figura 4.22 mostra a variação da resistência com as condições de fluxo, considerando o atrito superficial com o leito, para as três misturas. Na região correspondente a ripples e dunas, da mesma forma que nos gráficos das figuras 4.19 a 4.21, pôde-se identificar três relações. Nota-se de forma mais clara a separação entre os pontos da primeira mistura, definindo uma relação superior, e da segunda mistura, definindo uma relação inferior, enquanto os pontos da terceira mistura apresentam-se dispersos em ambas as regiões. Deve-se notar que, da forma como o gráfico foi construído, a relação inferior indica maiores valores de resistência sob idênticas condições de fluxo, em outras palavras, o leito composto pela segunda mistura ofereceu maior resistência do que aqueles compostos pela primeira ou terceira misturas, sob idênticas condições de fluxo. O fato da segunda mistura ter sido composta por grãos com maior diversidade de tamanhos sugere a ocorrência de uma situação semelhante a do fluxo com interferência de esteiras, enquanto para a primeira mistura, com distribuição granulométrica quase uniforme, a situação se assemelha a do fluxo sobre uma superfície quase lisa. Nos experimentos com a terceira mistura, composta por uma quantidade de finos maior do que as outras duas misturas e uma pequena percentagem de frações bastante grossas, o fluxo parece ter apresentado características do segundo

e terceiro tipos, o que explicaria a maior dispersão observada nos pontos desta mistura no gráfico da figura 4.22.

Os gráficos das figuras 4.23 a 4.25 apresentam a variação da resistência total ao fluxo, separados por forma do leito, para as três misturas. Os gráficos 4.23 e 4.24 se referem às condições de ripples e dunas, respectivamente. Nestes gráficos, ficam claras, também, as separações entre os pontos da primeira e segunda misturas. Mais uma vez as relações definidas pela segunda mistura em ambos os gráficos, indicam maiores resistências do que aquelas definidas pela primeira e terceira misturas. É interessante notar como os pontos da terceira mistura aparecem dispersos entre os da primeira e segunda misturas no gráfico de ripples, mas no gráfico de dunas o comportamento desta mistura já passa a se confundir com o da primeira mistura (a mais uniforme), o que se explica considerando sua granulometria (90% de grãos com tamanhos bem próximos) e que com o aumento da intensidade de fluxo as diferenças de comportamento das misturas tendem a diminuir, uma vez que todas as frações entrariam em movimento.

O gráfico da figura 4.25 apresenta a variação da resistência ao fluxo na condição de leito plano. Neste gráfico observam-se duas relações: uma superior definida pelos pontos da terceira mistura e outra inferior definida pelos pontos da primeira e segunda misturas. Esta situação pode ser explicada considerando que, por apresentar a maior quantidade de finos em sua composição, a terceira mistura, numa condição em que todos os grãos estivessem em movimento, apresentaria menor resistência ao fluxo do que a primeira e segunda misturas, que possuíam grãos de maiores tamanhos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 – Conclusões

O interesse em investigar o comportamento das misturas de sedimentos com diferentes distribuições granulométricas foi o ponto de partida deste trabalho, dessa forma, foram estudados os aspectos de transporte e resistência sob idênticas condições de fluxo. Além disto, foi investigado, também, a existência de um diâmetro representativo, diferente de D_{50} , para cada mistura estudada, utilizando as equações estimativas de transporte de Einstein (1950), Bagnold (1966), Laursen (1958) e Yang (1973).

Considerando os resultados obtidos neste estudo, utilizando três misturas de sedimentos unimodais com distribuições granulométricas log-normais, tendo um mesmo diâmetro mediano D_{50} (0,38 mm), as seguintes conclusões foram evidenciadas, no que se refere aos aspectos de transporte e resistência:

1. Em condições de fluxo onde as tensões de cisalhamento não são tão intensas, como nos casos de ripples e dunas, os efeitos de escondimento e proteção, que ocorrem com misturas não uniformes, parecem ser pronunciados, influenciando, inclusive, as taxas de transporte resultantes. Porém, mais dados são necessários para se chegar a uma conclusão definitiva a esse respeito;
2. Nas condições de ripples e dunas, quanto maior a não uniformidade da distribuição granulométrica dos sedimentos, maior a resistência ao fluxo;
3. Na condição de leito plano, efeitos relacionados à granulometria do material do leito são menos evidentes.

No que diz respeito aos resultados obtidos com as equações estimativas de transporte de sedimentos, pode-se concluir que:

1. As equações utilizadas neste estudo não se mostraram adequadas quando aplicadas à condições com baixas taxas de transporte, como ripples;
2. Os resultados obtidos com as equações de Laursen e Bagnold se mostraram bastante sensíveis ao valor do raio hidráulico utilizado, enquanto a equação de Yang não apresentou tal sensibilidade;

3. A equação de Einstein superestimou excessivamente os resultados quando aplicada a dunas. Os melhores resultados, apesar de ainda superestimados, foram obtidos com leito plano. A superestimação inerente à metodologia de Einstein faz com que as alterações promovidas nas taxas de transporte, quando se utilizou outros tamanhos de sedimentos, diferentes de D_{50} , para representar a mistura, não sejam significativas;
4. A equação de Bagnold apresentou melhores resultados, apesar de subestimados, quando aplicada à condição de leito plano, porém, as variações obtidas nas taxas de transporte para diferentes tamanhos de sedimentos não foram significativas;
5. Com a metodologia de Laursen foram obtidos bons resultados para os casos de dunas e leito plano e, apesar não tão significativos, ajustes um pouco melhores nas taxas de transporte, com a utilização de outros tamanhos de sedimentos, foram obtidos para o caso de dunas;
6. Os melhores resultados com a equação de Yang foram obtidos com leito plano. Para o caso de dunas, os resultados foram bons e os ajustes promovidos com a utilização de outros diâmetros não foram tão significativos.

6.2 – Recomendações

É preciso que sejam realizados estudos mais detalhados de fluxos com baixas taxas de transporte com a forma do leito ripples.

Recomenda-se um estudo com um maior número de experimentos utilizando misturas de sedimentos unimodais, para que se possa avaliar de forma mais precisa os efeitos de escondimento e proteção das partículas, sobre o comportamento hidráulico da mistura como um todo.

Recomenda-se, ainda, que seja realizado um estudo detalhado utilizando misturas de sedimentos bimodais, de modo a caracterizar a influência da distribuição granulométrica sobre os aspectos de transporte e resistência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ackers, P., and White, W. R., "Sediment Transport, New Approach and Analysis," Journal of Hydraulics Division, Proc ASCE, Vol. 99, No. 11, Nov., 1973, pp. 2041-2060.
2. Andrews, E. D. (1983), "Entrainment of Gravel From Naturally Sorted Riverbed Material", Geol. Soc. Am. Bull, vol. 14, pp. 1225-1231
3. Andrews, E. D., e Erman, D. C. (1986), "Persistence in the Size Distribution of Surficial Bed Material During an Extreme Snowmelt Flood", Water Resources Research, vol. 22, No. 2, pp. 191-197.
4. Annandale, G. W. (1986) "Reservoir Sedimentation", Developments in Water Resources, vol. 29, Elsevier, Amsterdam, 215 p.
5. Brooks, N. H. (1958), "Mechanics of Streams With Movable Beds of Fine Sand", Transactions, ASCE, vol. 123, pp. 526-594.
6. Cavalcante, R. G. (1992) "Um Estudo Comparativo da Confiabilidade das Equações de Transporte de Sedimentos", Dissertação de Mestrado da UFPB, Campina Grande - PB.
7. Chiew, Y. M. (1991) "Bed Features in Non-Uniforms Sediments", Journal of Hydraulics Engineering, vol. 117, No. 1, pp 116-120.
8. Curi, R. C. (1986), "Avaliação das Equações de Transporte de Sedimentos em Canais Aluviais", Tese de Mestrado da UFPB, Campina Grande – PB.

9. Egiazaroff, I. V.,(1965) "Calculation of Nonuniform Sediment Concentrations". Journal Hydraulic Division Am. Soc. Civ. Eng., HY4, pp. 225-247.
10. Einstein, H. A. (1950) the Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channels, Technical Bulletin 1026, USDA.
11. Einstein, H. A. e Barbarossa, N. L. (1952) "River Channel Roughness Transactions", ASCE, vol. 117, pp 1121-1146.
12. Einstein, H. A., The Bed Load Function in Open Channel Flows, United States, Dept. of Agriculture, Technical Bulletin, No. 1026, Sept., 1950.
13. Fenton, J., e J. E. Abott (1977) "Initial Moviment of Grains on a Stream Bed: The Effect of Relative Protrusion", Proc R. Soc. London, Ser. A, 352, pp. 523-537.
14. Fisher, J. S., B. L. Sill, e D. F. Clark (1983). "Organic Detritns Particles: Initiation of Motoion Enteria on Sand and gravel Bed", Water Resources Research, vol. 19, No. 6, pp. 1627-1631.
15. Graff, W. H. (1977) "Hidraulics of Sediment Transport", Mc Graw Hill Book Company, New York, 513p.
16. Holtroff G., "Steady Bed Material Transport in Alluvial Channels", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, HY3, Mar., 1983.
17. James, C. S. (1990) "Prediction of Entrainment Conditions for non Uniform non Cohesive Sediments", Journal os Hidraulic Research, vol. 28, No. 1, pp. 25-41.

18. Kramer, H. (1965) "Sand Mixtures and Sand Movement in Fluvial Models", Transactions, ASCE, vol. 100, pp. 798-878.
19. Kuhnle, R. A., (1993) "Incipient Motion of Sand- Gravel Sdiment Mistures", Journal of Hidraulic Engineering, vol. 119, No. 12, pp. 1400-1415.
20. Miller, R. L., e R. J. Byrne (1966) "The angle of repose for a single grain on a fixed Rough Bed, Sedimentology, 6, pp. 303-314.
21. Misri, R. L., "Partial Bed Load Transport of Coarse Nonuniform Sediment", thesis presented to the University of Roorkee , Roorkee, India, in 1981, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
22. Misri, R. L., Garde, R. J., Ranga Raju, K. G., "Bed Load Transport of Coarse Nonuniform Sediments", Journal of Hydraulic Engineering, Proc, ASCE, Vol. 110, No. 3, Mar.,1984.
23. Moreira, L. F. F. (1996) "Estudio Experimental de la Influencia de la Granulometria en el Transporte Solido para Cauces con Fondo Movil", Tese de Doutorado, Departamento de Ingenieria Civil, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales e Puertos, Madrid, Espanha.
24. Paintal, A. S., "A Stochastic Model for Bed Load Transport," Journal of Hydraulic Research, Proc IAHR, Vol. 9, No. 4, 1971.
25. Parker, G. M. e Anderson, A. G. (1977) "Basic Principles of River Hidraulics", Journal of the Hidraulics Division, ASCE, vol. 103, HY 9, pp. 1077-1087.

26. Parker, G., Klingeman P. C. e Mc Lean D. L. (1982) "Bed Load and Size Distribution in Paved Gravel Bed Streams.", *Journal Hidraulic Engineering*, vol. 108, No. 4, pp. 544-571
27. Parker, G., Klingeman, P. C. (1982) "On why Gravel Bed Streams are paved", *Walter Resouces Reseach*, vol. 18, pp. 1409-1423.
28. Peter R. Wilcock, John B. Southard. "Experimental Study of Incipient Motion in Mixed-Size Sediment". *Water Resources Research*, vol 24, No. 7, pp. 1137-1151, July 1988.
29. Proffitt, G. J., Sutherland, A. J., "Transport of Nonuniform Sediment", *Journal of Hydraulic Research, Proc. IAHR*, Vol. 21, No. 1, 1983.
30. Raudkivi, A. J. (1976) "Loose Boundary Hydraulics", 2nd. Ed. Pergamon Press International, Library.
31. Rêgo, J. C. (1981) "Relações de Resistência e de Transporte para Canais Aluviais", *Dissertação de Mestrado da UFPB, Campina Grande - PB*.
32. Samaga, B. R., Raju, K. G. R., Garde, R. J., "Bed Load Transport of Sediment Mixtures". *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 112, No. 11, November 1986-a, pp. 1003-1018.
33. Samaga, B. R., Raju, K. G. R., Garde, R. J., "Suspended Load Transport of Sediment Mixtures". *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 112, No. 11, November 1986-b, pp. 1019-1035.
34. Schulz, E. F., Wilde, R. H., and Albertson, M. L., (1954), "Influence of Shape on the fall velocity of Sedimentary Particles," *MRD Sediment Series No. 5*

35. Shields, A. (1936) "Anwendung der Aehnlichkeitsmechanik und Turbulenz Forschung auf die Geschiebewegung", Mitteilung Preussischen Versuchsanstalt Wasser, ERD, Schiffbau, Berlin, No. 26 (in German).
36. Simons, D. B e Senturk, F. (1976, 1977) "Sediment Transport Technology" Water Resources Publications, Forte Collins, Colorado, 807 p.
37. Simons, D. B., e Richardson, E. V. e Hanshield, H. (1962), "Depth Discharge Relations in Alluvial Channels", Journal of Hidraulic Division, ASCE, vol. 88, No. Hy5, pp. 57-72.
38. Simons, D. B., e Richardson, E. V. (1960), "Resistence of Flow in Alluvial Channels", Journal of Hidraulics Division, ASCE, vol. 86, No. Hy3, pp. 73-79.
39. Simons, D. B., e Richardson, E. V. (1961), "Forms of Bed Roughness in Alluvial Channels", Journal of the Hidraulics Division, ASCE, vol. 87, No. Hy3, pp. 87-103.
40. Srinivasan, V. S. (1969) Mechanics of Flat Bed Flow and Occurrence of Bed Forms in Alluvial Channels, Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canadá.
41. Srinivasan, V. S. e Hill, M. H. (1986), "A Previsão das Formas do Leito e Análise da Resistência em Canais Aluviais", Anais do XII Congresso Latino Americano de Hidráulica, São Paulo-SP.
42. Swamee, P. K. e Ojha, C. S. P., "Bed-Load and Suspended-Load Transport of Nonuniform Sediments". Journal of Hydraulic Engineering, vol 117, No. 6, June 1991, pp. 774-787.

43. Van Rijn, L. C., (1982) "Equivalent Roughness of Alluvial Bed", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, vol. 108, No. Hy10, pp. 1215-1218.
44. Vanoni, V. A. – Editor (1975), Sedimentation Engineering, Publication No. 54, ASCE, New York, NY.
45. Vanoni, V. A. (1984), "Fifty Years of Sedimentation", Journal of Hydraulics Engineering, vol. 110, No. 8, pp. 1021-1057.
46. Vogel, K. R., Niekerk, A. V., Slingerland, R. L. e Bridge, J. S. (1992-a) "Routiny of Heterogeneous Sediments over Movable Bed: Model Development". Journal of Hydraulic Engineering, vol. 118, No. 2, pp. 246-262.
47. Vogel, K. R., Niekerk, A. V., Slingerland, R. L. e Bridge, J. S. (1992-b) "Routiny of Heterogeneous Sediments over Movable Bed: Model Verification". Journal of Hydraulic Engineering, vol. 118, No. 2, pp. 263-279.
48. Wadell, H., 1932, "Volunde, Shape, and Reundness of Rock Particles", Journal Geo. , vol. 40, pp. 443-451.
49. Wilberg, P. L. e Smith, J. D. (1987). "Calculations os the Critical Shean Strees for Motion of Uniform and Heterogeneeous Sdiments", Water Resceunces Reseach, vol. 23, No. 8, pp. 1471-1480.
50. Wilcock, P. R. (1993) "Critical Shear Stress of Natural Sediments", Journal of Hydraulics Engineering, vol. 119, No. 4, pp 491-505.
51. Wilcock, P. R. e Southard, J. B. (1988) "Experimental Study of Incipient Motion in Mixed-Size Sediment", Water Resources Research, vol. 24, No. 7, pp 1137-1151.

52. Yalin, M. S. e Karahan E. (1979) "Steepness of Sedimentary Dunes", Journal of the Hydraulics Division", ASCE, vol. 105, No. HY4, pp 381-392.
53. Yang, C. T. (1973) "Incipient Motion and Sediment Transport", Journal of Hydraulics Engineering, vol.99, No. HY10, MAI, pp 1679-1701.
54. Yang, C. T. (1991) "Comparisons of Selected Bed Materials Load Formulas", Journal of Hidraulics Engineering, vol. 117, No. 8, pp 973-989.

ANEXOS

ANEXO 1

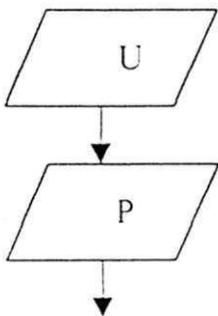
MÉTODO DE VANONI – BROOKS

Procedimento para a Correção do Efeito das Paredes Laterais do Canal

Geralmente o leito de areia de canais de laboratório é mais rugoso que as paredes, que normalmente são de vidro. Em canais naturais o leito pode ser mais ou menos rugoso que as laterais. O método de Vanoni e Brooks é um procedimento de cálculo que permite a determinação de uma força cisalhante exercida sobre o leito como se o canal fosse largo, sem a influência das paredes laterais. Assim procedendo, os dados de laboratório podem ser aplicados e verificados no campo. Para o desenvolvimento do método foram feitas as seguintes hipóteses:

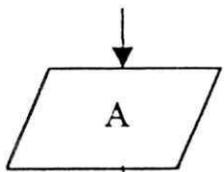
- 1) A seção transversal pode ser dividida em duas seções, uma produzindo cisalhamento no leito e a outra nas paredes.
- 2) A velocidade média em cada seção é igual a velocidade média de fluxo no canal.
- 3) O raio hidráulico (R), a velocidade de cisalhamento (U_*), o coeficiente de atrito (f) e o número de Reynolds (R_e), podem ser calculados para cada seção, como se cada uma fosse de um canal.
- 4) As rugosidades das superfícies são homogêneas, embora diferentes.

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

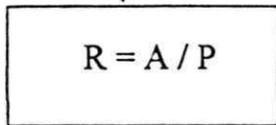


Velocidade média do fluxo (m/s)

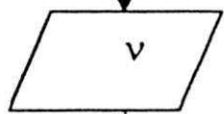
Perímetro molhado (m)



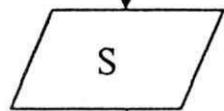
Área da seção transversal de fluxo (m^2)



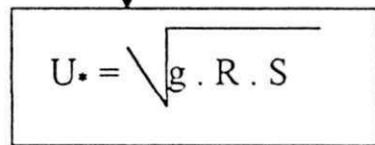
Raio hidráulico do fluxo (m)



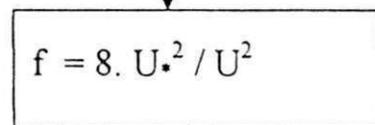
Viscosidade cinemática (m^2/s)



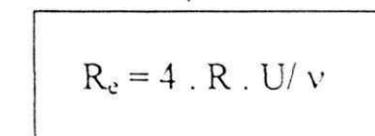
Declividade da linha de energia (m/m)



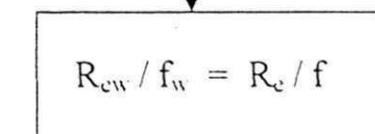
Velocidade de cisalhamento (m/s)



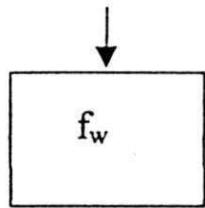
Coefficiente de atrito do canal



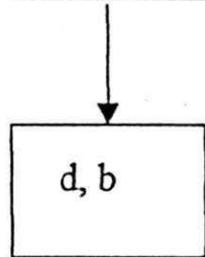
Número de Reynolds do fluxo



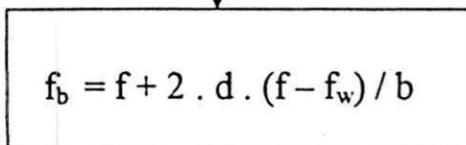
A relação entre o número de Reynolds e o coeficiente de atrito são iguais para as paredes, para o leito e para o canal como um todo



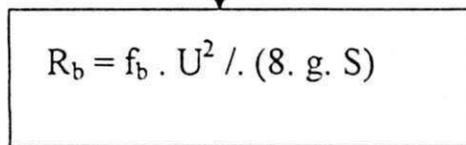
Coefficiente de atrito da parede obtido a partir do gráfico da fig. 2.24



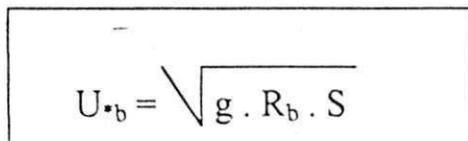
Profundidade e largura do canal, respectivamente (m)



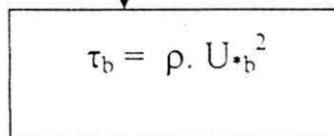
Coefficiente de atrito relativo ao leito



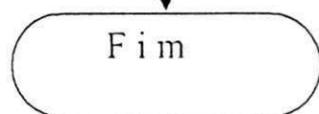
Raio hidráulico relativo ao leito (m)



Velocidade de cisalhamento relativa ao leito (m/s)



Tensão de cisalhamento relativa ao leito (N/m²)



F i m

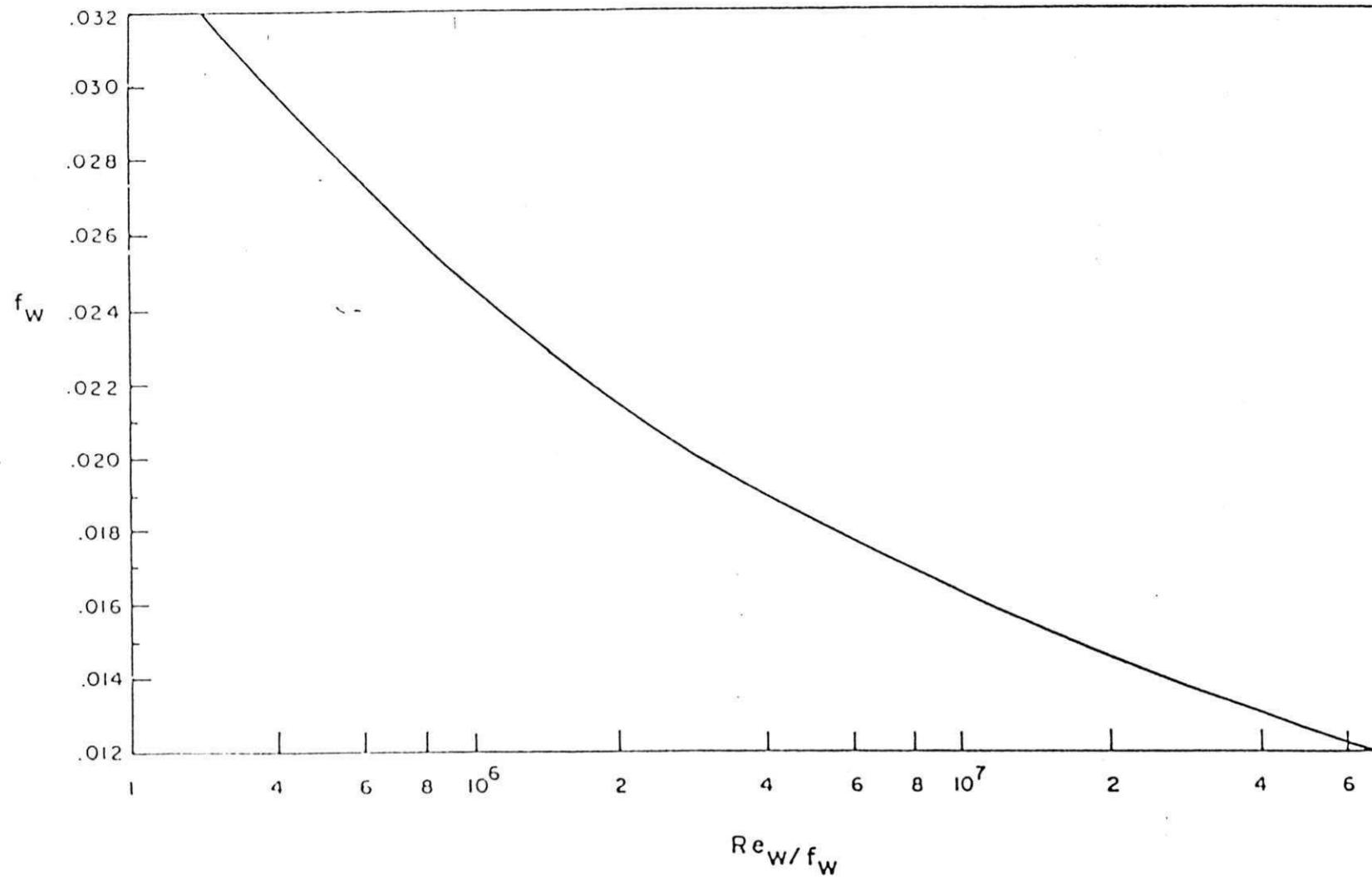


Fig. A1 – Relação entre f_w e Re_w/f_w para Paredes Lisas, Segundo Vanoni e Brooks.

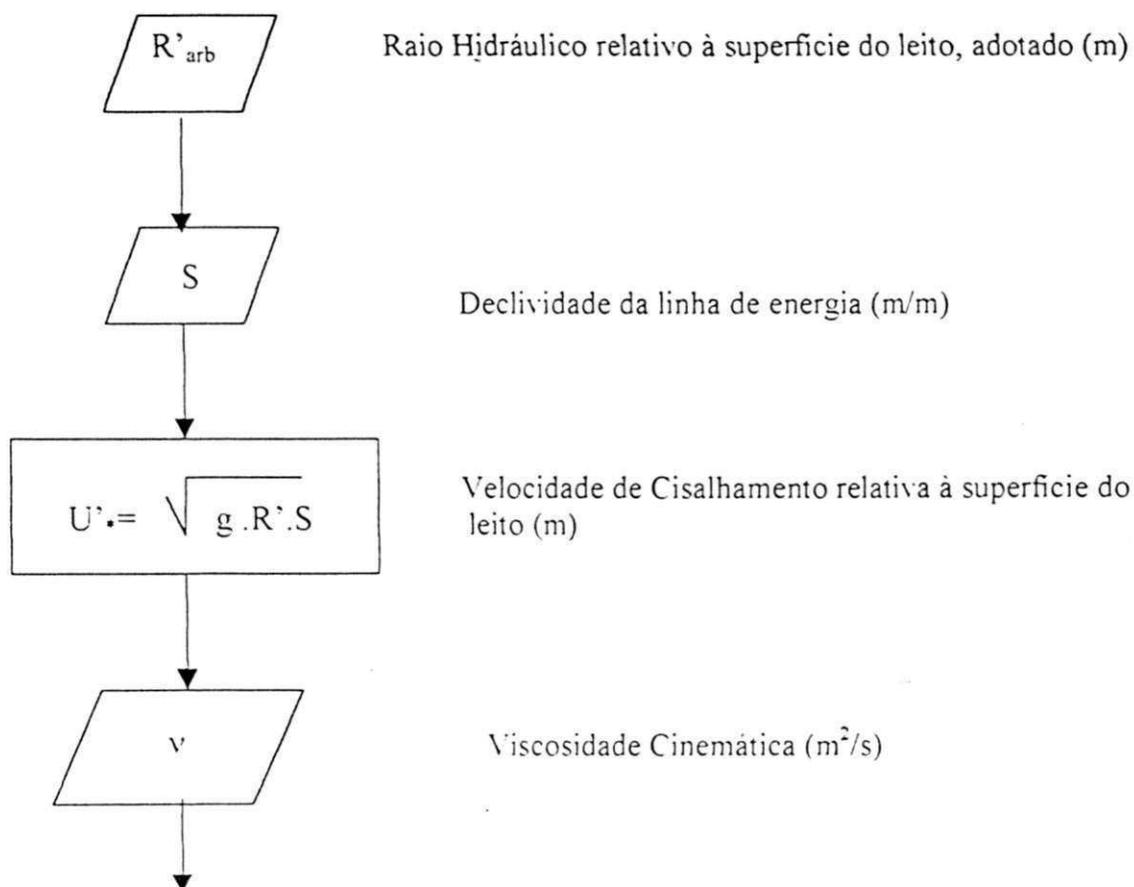
ANEXO 2

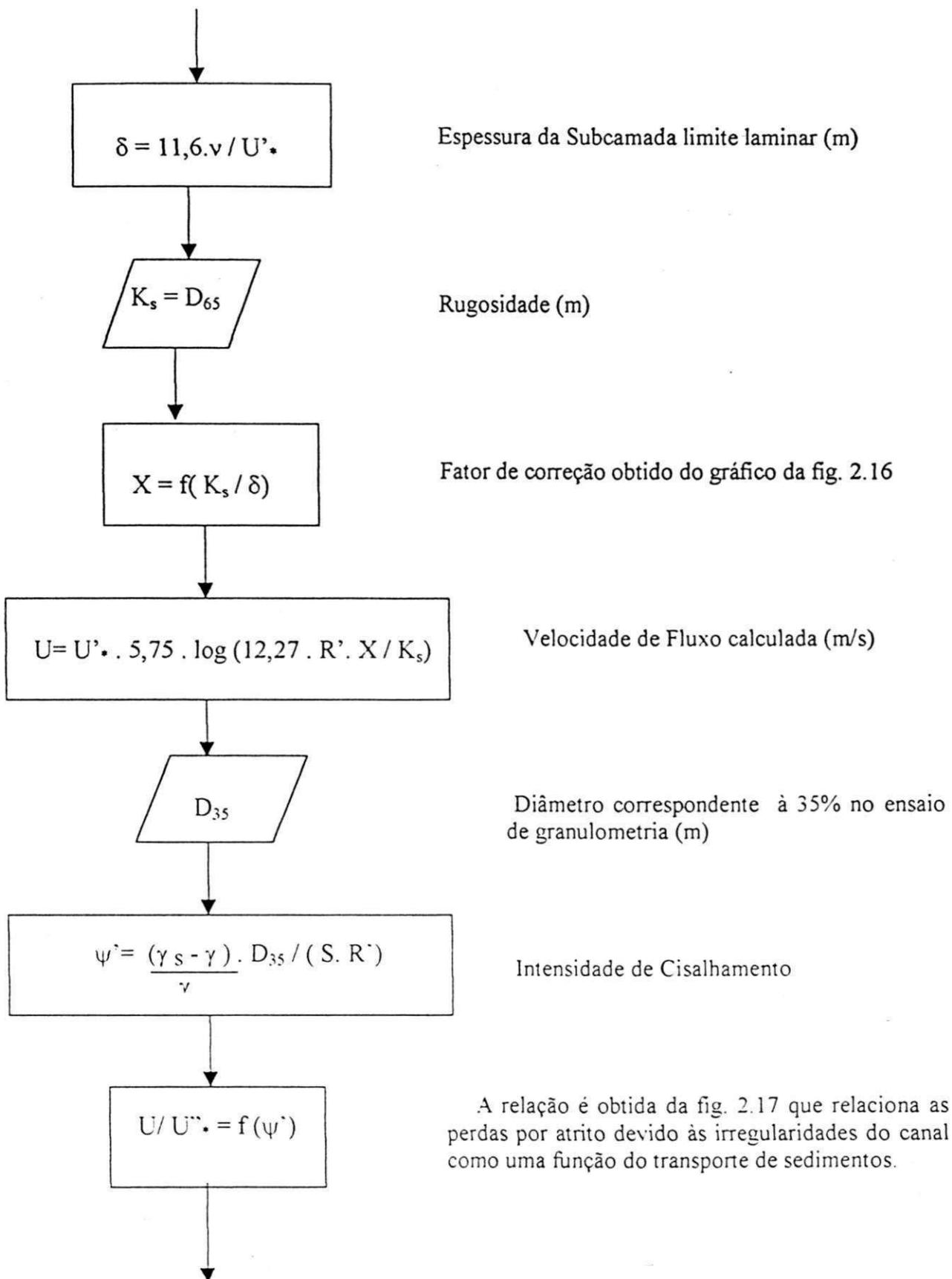
MÉTODO DE EINSTEIN E BARROSSA (1952)

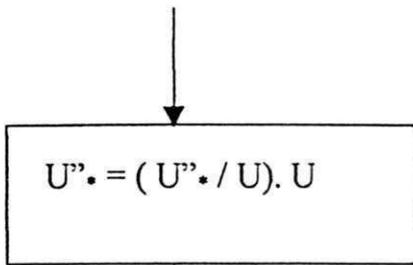
Procedimento para Consideração da Influência das Formas do Leito

Geralmente há a necessidade de se eliminar a resistência ao fluxo provocada pelas formas do leito. Um método para se determinar esta resistência foi desenvolvido por Einstein e Barbarosa, através da velocidade de cisalhamento (U_*') necessária para gerar as formas do leito. Observando o comportamento de vários rios, os autores do método definiram um parâmetro de transporte e o correlacionaram com a relação U/U_*' , como mostra a fig. HH. Adotando este gráfico como adequado para todos os casos pode-se, a partir da velocidade de cisalhamento referente às formas do leito e por tentativa, chegar ao raio hidráulico da superfície do leito.

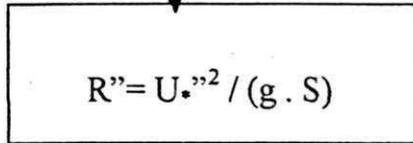
PROCEDIMENTO DE CÁLCULO



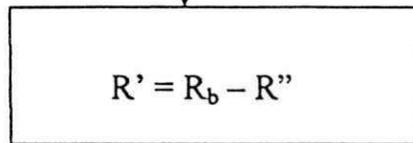




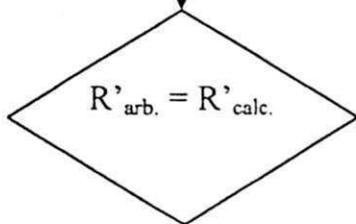
Velocidade de Cisalhamento calculada devido às formas do leito (m/s)



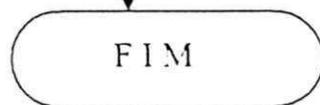
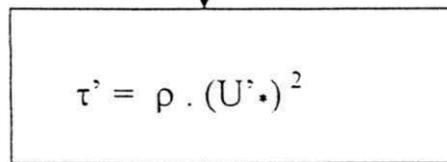
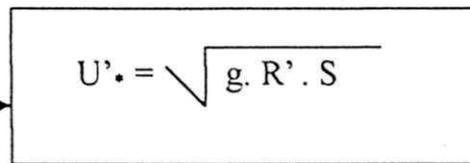
Raio Hidráulico calculado para as formas do leito (considerando as formas de leito) (m)



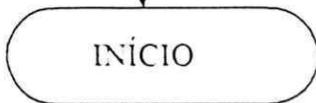
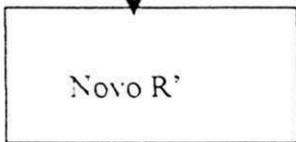
Raio Hidráulico correspondente à eliminação dos efeitos da forma do leito cuja resistência não contribui para o transporte de sedimentos. R_b é o raio hidráulico calculado referente ao leito, por Vanoni - Brooks.



SIM



NÃO



ANEXO 3

```

C
C
C
C
C   MÉTODO DE VANONI E BROOKS PARA CORREÇÃO DO EFEITO DAS PAREDES LATERAI
S DO CANAL
C
C   LOGICAL ACHOU
C   INTEGER I, K, N, POS
C   PARAMETER (N=27)
C   REAL TEMPER(27), VISCOS(27), PROF, AREA, PERIM, RAOIO, T, S, Ucis, VISCX,
$   f, VELOC, Re, Ref, COEFATR(43), REYNOL(43), Fw, Fb, Rb, MASSESP, Ub, PAR,
$   TOTAL, LEITO, PRIM, SEGUN, VAZAO
C   WRITE(*,*) 'ENTRE COM A PROFUNDIDADE EM cm'
C   READ(*,10) PROF
10  FORMAT(F6.3)
C   AREA=(PROF*50)/(10000.)
C   PERIM=(2*PROF+50)/(100.)
C   RAOIO=AREA/PERIM
C   WRITE(*,20) PROF, AREA, PERIM, RAOIO
20  FORMAT(T10, 'PROFUNDIDADE =', T30, F7.3, ' cm', '/', T10
$ 'AREA MOLHADA =', T30, F7.4, ' m2', '/', T10,
$ 'PERIMETRO MOLHADO =', T30, F7.4, ' m', '/', T10
$ 'RAIO HIDRAULICO =', T30, F7.4, ' m', '/')
C
C   DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE DA ÁGUA A PARTIR DA TEMPERATURA COMO DADO
DE ENTRADA
C
C   ABERTURA DO ARQUIVO 'C:VISCOS' QUE CONTÉM OS DADOS DE
C   VISCOSIDADE PARA AS RESPECTIVAS TEMPERATURAS
C   LEITURA DOS VETORES (TEMPER e VISCOS)
C
C   OPEN(20, FILE='d:/Viscos', STATUS='OLD')
C   DO 40, I=1, 27
C       READ(20, 30) TEMPER(I), VISCOS(I)
30   FORMAT(T10, F4.1, T30, F7.5)
40   CONTINUE
C   CLOSE(20)
C
C   LEITURA DA TEMPERATURA
C
C   WRITE(*,*) 'ENTRE COM A TEMPERATURA EM GRAUS CELSIUS'
C   READ(*,50) T
50   FORMAT(F4.1)
C
C   PROCURA DE T NO VETOR TEMPER
C
C   ACHOU=.FALSE.
C   POS=0
C   K=1
60   IF (.NOT.ACHOU.AND.K.LE.N) THEN
C       INÍCIO ENQUANTO
C           IF (TEMPER(K).EQ.T) THEN
C               POS=K
C               ACHOU=.TRUE.
C           END IF
C           K=K+1
C           GOTO 60
C       FIM ENQUANTO
C   END IF
C
C

```

```

C      IMPRESSÃO DO RESULTADO DA PROCURA
C
      IF (POS.NE.0) THEN
        WRITE(*,70) POS, TEMPER(POS), VISCOS(POS)
70      FORMAT(10X, 'TEMPERATURA NA POSICAO ', I2, '/', 10X, 'TEMPERATURA = ',
$       F4.1, '/', 10X, 'VISCOSIDADE CINEMATICA = ', F7.5, ' cm2/s', /)
      ELSE
        IF (T.LT.(21.7).OR.T.GT.(31.7)) THEN
          WRITE(*,55)
95          FORMAT(T10, 'TEMPERATURA FORA DOS LIMITES TABELADOS', /)
        ELSE
          WRITE(*,80)
80          FORMAT(8X, 'VALOR EXATO DA TEMPERATURA NAO TABELADO', /, 8X,
$           'SERA NECESSARIO FAZER INTERPOLACAO LINEAR PARA OBTER A ',
$           'VISCOSIDADE', /)
          I=1
92          IF (T.GT.TEMPER(I)) THEN
            I=I+1
            GOTO 82
          END IF
          WRITE(*,85) I
95          FORMAT(2X, 'TEMPERATURA E VISCOSIDADE ESTAO LOGO ANTES DA ',
$           'POSICAO ', I2)
          VISCX=(T-TEMPER(I))*(VISCOS(I-1)-VISCOS(I))/(TEMPER(I-1)-
$           TEMPER(I))+VISCOS(I)
          WRITE(*,88) T, VISCX
88          FORMAT(T10, 'TEMPERATURA = ', F4.1, '/', T10, 'VISCOSIDADE = ',
$           F7.5, /)
        END IF
        END IF
        WRITE(*,*) 'ENTRE COM A DECLIVIDADE DA LINHA DE ENERGIA:'
        READ(*,90) S
90        FORMAT(F8.6)
C
C      CÁLCULO DA VELOCIDADE DE CISALHAMENTO U* (m/s)
C
        Ucis=SQRT(9.806*RAIO*S)
        WRITE(*,100) Ucis
100       FORMAT(10X, 'VELOCIDADE DE CISALHAMENTO = ', F8.5, ' m/s', /)
C
C      CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ATRITO DO CANAL (f)
C
        WRITE(*,*) 'ENTRE COM A VAZAO em l/s :'
        READ(*,110) VAZAO
110       FORMAT(F5.2)
        VELOC=(VAZAO/1000.)/AREA
        WRITE(*,120) VELOC
120       FORMAT(T10, 'VELOCIDADE MEDIA = ', F10.7, ' m/s', /)
        f=8*(Ucis**2)/(VELOC**2)
        WRITE(*,130) f
130       FORMAT(T10, 'COEF. DE ATRITO DO CANAL = ', F6.4, /)
C
C      CÁLCULO DO NÚMERO DE REYNOLDS DO CANAL (Re)
C
        IF (POS.EQ.0) THEN
          VISC=VISCX
        ELSE
          VISC=VISCOS(POS)
        END IF
        Re=4*10000*RAIO*VELOC/VISC
        WRITE(*,140) Re
140       FORMAT(T10, 'NUMERO DE REYNOLDS DO CANAL = ', F10.1, /)

```

```

C
C   CÁLCULO DA RELAÇÃO Re/f e DETERMINAÇÃO DE Fw A PARTIR DA ABERTURA DO
ARQUIVO
C   C:COEFATR QUE FORNECE OS VALORES DE Fw PARA AS RESPECTIVAS RELAÇÕES R
e/f
C
  Ref=Re/f
  WRITE(*,150)Ref
150  FORMAT(T10,'VALOR DA RELACAO Re/f = ',F10.1,/)
  OPEN(30,FILE='d:/COEFATR',STATUS='OLD')
  DO 160,I=1,43
    READ(30,155)COEFATR(I),REYNOL(I)
155  FORMAT(T10,F6.4,T30,F10.1)
160  CONTINUE
    CLOSE(30)

C
C   PROCURA DE Ref NO VETOR REYNOL
C
  ACHOU=.FALSE.
  POS=0
  K=1
  2  IF (.NOT.ACHOU.AND.K.LE.43) THEN
C    INÍCIO ENQUANTO
      IF(Ref.EQ.REYNOL(K)) THEN
        POS=K
        ACHOU=.TRUE.
      END IF
      K=K+1
      GOTO 2
C    FIM ENQUANTO
  END IF

C
C   IMPRESSÃO DO RESULTADO DA PROCURA DE Ref E O RESPECTIVO COEF. DE ATRI
TO DO CANAL
C
  IF (POS.NE.0) THEN
    Fw=COEFATR(POS)
    WRITE(*,170)POS,REYNOL(POS),COEFATR(POS)
170  FORMAT(10X,'Re/f NA POSICAO ',I2,/,10X,'Re/f = ',
  $ F10.1,/,10X,'COEF. DE ATRITO DAS PAREDES DO CANAL = ',F6.4,/)
    ELSE
      IF(Ref.LT.(300000).OR.Ref.GT.(60000000)) THEN
        WRITE(*,175)
175  FORMAT(T10,'Re/f ESTA FORA DOS LIMITES TABELADOS',/,
  $ T10,'ENTRE COM O VALOR DE Fw :',/)
        READ(*,178)Fw
178  FORMAT(F7.5)
      ELSE
        WRITE(*,180)
180  FORMAT(8X,'VALOR EXATO DA RELACAO Re/f NAO TABELADO',/,8X,
  $ 'SERÁ NECESSARIO FAZER INTERPOLACAO LINEAR',/)
        I=1
182  IF (Ref.GT.REYNOL(I)) THEN
          I=I+1
          GOTO 182
        END IF
        WRITE(*,185)I
185  FORMAT(2X,'Re/f e f estao logo antes da posicao ',I2,/)
        Fw=(COEFATR(I-1)-COEFATR(I))*(Ref-REYNOL(I))/(REYNOL(I-1)-
  $ REYNOL(I))+COEFATR(I)
        WRITE(*,188)Ref,Fw
188  FORMAT(T10,'RELACAO Re/f = ',F10.1,/,T10,'COEF. ATRITO DAS',

```



```

PAUSE 3

IF(KsDEL.LT.(0.19)) THEN
  WRITE(*,255)
255   FORMAT(T10,'RELACAO Ks/DELTA FORA DOS LIMITES TABELADOS',/)
  PAUSE
ELSE
  IF(KsDEL.GE.10.) THEN
    Xint=1.0
  ELSE
    WRITE(*,260)
260   FORMAT(8X,'VALOR EXATO DA RELACAO Ks/DELTA NAO TABELADO',
$   /,8X,'SERÁ NECESSARIO FAZER INTERPOLACAO LINEAR PARA OBTER O ',
$   'FATOR DE CORR.',/,/)
    J=1
82    IF (KsDEL.GT.KsDELTA(J)) THEN
      J=J+1
      GOTO 82
    END IF
    WRITE(*,85)J
85    FORMAT(2X,'KsDELTA e FATCOR ESTAO LOGO ANTES DA ',
$   'POSICAO ',I3,/,/)
    IF (KsDEL.LE.1.) THEN
$   Xint=(FATCOR(J)-FATCOR(J-1))*(KsDEL-KsDELTA(J-1))/
$   (KsDELTA(J)-KsDELTA(J-1))+FATCOR(J-1)
    ELSE
$   Xint=(FATCOR(J-1)-FATCOR(J))*(KsDELTA(J)-KsDEL)/
$   (KsDELTA(J)-KsDELTA(J-1))+FATCOR(J)
    END IF
  END IF
270  WRITE(*,270)KsDEL,Xint
$   FORMAT(10X,'VALOR DA RELACAO Ks/DELTA = ',F8.5,/,/,
$   10X,'COEFICIENTE DE CORRECAO (X) = ',F9.6,/,/)
  END IF
  PAUSE 4

C   CÁLCULO DA VELOCIDADE DE FLUXO (U')
C
  Ulinha=Uleito*5.75*LOG10(12.27*Rleito*Xint/Ks)
  WRITE(*,280)Ulinha
280  FORMAT(10X,'VELOCIDADE DE FLUXO CALCULADA (Ulinha) = ',F8.5,
$   ' m/s',/,/)
  PAUSE 5

C   CÁLCULO DA INTENSIDADE DE CISALHAMENTO (INTCIS)
C
  INTCISAL=(1.65*D35)/(S*Rleito)
  WRITE(*,300)INTCISAL
300  FORMAT(T10,'INTENSIDADE DE CISALHAMENTO = ',F8.5,/,/)
  PAUSE 6
  IF(INTCISAL.LE.(0.50)) THEN
    U2int=93.00
    WRITE(*,555)
555  FORMAT(T10,'INTENS. DE CISALH. MENOR QUE 0.50',/,/,T10,
$   'U2int = 93.00',/)
    PAUSE
  END IF
  IF(INTCISAL.GE.(40.00)) THEN
    U2int=4.80
    WRITE(*,560)
560  FORMAT(T10,'INTENS. DE CISALH. MAIOR QUE 40.00',/,/,T10,
$   'U2int = 4.80',/)
  ELSE

```

```

W=1
562 IF (INTCISAL.GT.INTCIS(W)) THEN
      W=W+1
      GOTO 562
    END IF
    WRITE(*,565)W
565  FORMAT(2X,'INTENS DE CISALH e U"/U ESTAO LOGO ANTES DA ',
$      'POSICAO ',I3,/,/)
    U2int=(Uform(W-1)-Uform(W))*(INTCIS(W)-INTCISAL)/
$      (INTCIS(W)-INTCIS(W-1))+Uform(W)
    WRITE(*,570)INTCISAL,U2int
570  FORMAT(10X,'VALOR DA INTENS. DE CISALH. = ',F8.5,/,/,
$      10X,'VALOR DA RELACAO U/U" = ',F10.7,/,/)
    PAUSE 7
  END IF

C
C  CÁLCULO DA VELOCIDADE DE CISALHAMENTO DEVIDO ÀS FORMAS DO LEITO (Ufor
mas)
C
    Uformas=Ulinha/U2int
    WRITE(*,580)Uformas
580  FORMAT(T10,'VELOC. DE CISALH. DEVIDO AS FORMAS DO LEITO = ',F8.6,
$      ' m/s',/,/)
    PAUSE 8

C
C  CÁLCULO DO RAO HIDRÁULICO REFERENTE ÀS FORMAS DO LEITO (Rformas)
C
    Rformas=((Uformas)**2)/(9.806*S)
    WRITE(*,590)Rformas
590  FORMAT(T10,'RAIO HIDRAULICO REFERENTE AS FORMAS DO LEITO = ',F8.6,
$      ' m',/,/)
    PAUSE 9

C
C  CÁLCULO DO RAO HIDRÁULICO (Rsuperf) REFERENTE AO ATRITO SUPERFICIAL
COM O LEITO,
C  ATRAVÉS DA ELIMINAÇÃO DO EFEITO DAS FORMAS DO LEITO (R" = Rformas)
C
    Rsuperf=Rb-Rformas
    WRITE(*,600)Rsuperf,Rleito,Rformas
600  FORMAT(T10,'RAIO HIDRAULICO DA SUPERFICIE DO LEITO = ',F9.7,' m',
$      /,/,T10,'RAIO HIDR. DA SUP. LEITO ARBIT. INICIALM. = ',F9.7,' m',
$      7,/,T10,'RAIO HIDRAULICO DAS FORMAS DO LEITO = ',F9.7,' m',/,/,)
    PAUSE 10
    IF (ABS(Rsuperf-Rleito).GT.ZERO.AND.CONT.LT.20000) THEN
      Rleito=Rleito+0.00001
      CONT=CONT+1
      WRITE(*,605)CONT
605  FORMAT(T10,'NUMERO DE ITERACCES = ',I4,/,/)
      GOTO 19
    END IF
    WRITE(*,610)Rsuperf,Rleito,CONT,INTCISAL,U2int
610  FORMAT(10X,'Rsuper = ',F9.7,/,10X,'Rleito = ',F9.7,/,
$      10X,'NUMERO DE ITERACCES = ',I4,/,10X,
$      'INTENSIDADE DE CISALHAMENTO = ',F10.6,/,/,
$      10X,'VALOR DA RELACÃO U/U" = ',F10.7,/,/)
    STOP

```

```

$      ' PAREDES DO CANAL = ',F6.4,/)
      END IF
      END IF
C
C      CÁLCULO DO COEFICIENTE DE ATRITO RELATIVO AO LEITO - Fb
C
      Fb=f+4*PROF*(f-Fw)/100.
      WRITE(*,190)Fb
190   FORMAT(T10,'COEF. DE ATRITO RELATIVO AO LEITO = ',F9.6,/)
C
C      CÁLCULO DO RAI0 HIDRÁULICO RELATIVO AO LEITO - Rb (m)
C
      Rb=Fb*(VELOC**2)/(8*9.806*S)
      WRITE(*,200)Rb
200   FORMAT(T10,'RAIO HIDRAULICO RELATIVO AO LEITO = ',F6.4,' m',/)
C
C      CÁLCULO DA VELOCIDADE DE CISALHAMENTO RELATIVA AO LEITO - Ub (m/s)
C
      Ub=SQRT(9.806*Rb*S)
      WRITE(*,210)Ub
210   FORMAT(T10,'VELOCIDADE DE CISALHAMENTO RELATIVA AO LEITO = ',
$      F6.4,' m/s',/)
C
C      CÁLCULO DA TENSÃO DE CISALHAMENTO RELATIVA AO LEITO - Tb (N/m2)
C
      WRITE(*,*)'ENTRE COM O VALOR DA MASSA ESPECIFICA (Kg/m3):'
      READ(*,220)MASSESP
220   FORMAT(F6.4)
      Tb=MASSESP*(Ub**2)
      WRITE(*,230)Tb
230   FORMAT(T10,'TENSÃO DE CISALHAMENTO RELATIVA AO LEITO = ',
$      F6.4,' N/m.2',/)
      STOP

```