

CELSO BANDEIRA DE MELO RIBEIRO

**SISTEMA DE ALERTA AMBIENTAL FUNDAMENTADO EM ESTUDO
TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE TRANSPORTE E DISPERSÃO DE
POLUENTES SOLÚVEIS EM CURSOS D'ÁGUA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2007**

CELSO BANDEIRA DE MELO RIBEIRO

**SISTEMA DE ALERTA AMBIENTAL FUNDAMENTADO EM ESTUDO
TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE TRANSPORTE E DISPERSÃO DE
POLUENTES SOLÚVEIS EM CURSOS D'ÁGUA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 20 de dezembro de 2007.

Pesq. Lineu Neiva Rodrigues

Prof. Mauro Aparecido Martinez

Prof. Márcio Mota Ramos

Prof. José Homero Pinheiro Soares
(Co-orientador)

Prof. Demetrius David da Silva
(Orientador)

“A Terra provê o suficiente para a necessidade de todos,
mas não para a voracidade de todos.”

Mahatma Gandhi

Especialmente a minha esposa Aline,

pela distância sentida em muitos períodos e pela força, apoio e incentivo em todos os momentos.

A minha amada filha Beatriz,

por ter deixado de dedicar muitos dias de convívio e pela alegria e carinho que me renovava a cada fim de semana.

A meus pais queridos, Celso e Lícia,

pelo apoio e conselhos importantes.

Aos meus irmãos Tiago e Patrícia e demais entes queridos,

pelo carinho e apoio transmitidos.

Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Demetrius David da Silva, José Homero Pinheiro Soares e Antônio Teixeira de Matos pela amizade, confiança, incentivo, preciosos conselhos, pela orientação clara e objetiva e pelo auxílio nos momentos necessários.

Ao aluno de iniciação científica Joás Weslei Baía pela amizade, apoio e dedicação no desenvolvimento do sistema computacional.

Aos colegas do Doutorado do DEA/UFV que partilharam comigo a amizade e muitas horas de estudo.

A toda equipe do Departamento de Engenharia Agrícola – DEA/UFV, pelo companheirismo e contribuição para a realização desse trabalho.

A toda equipe do Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ, pela amizade, ajuda na análise das amostras coletadas e pelo empréstimo de materiais e equipamentos utilizados na realização das campanhas de campo.

A todos que ajudaram nos experimentos de campo e trabalhos de laboratório.

Aos funcionários da Companhia Força e Luz Cataguazes-Leopoldina (CFLCL) pelo fornecimento de informações.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao CNPq e a CAPES pelo auxílio financeiro concedido através de bolsa de estudo.

A Deus, por iluminar o meu caminho e colocar sempre em minha vida pessoas especiais.

BIOGRAFIA

CELSO BANDEIRA DE MELO RIBEIRO, filho de Celso da Silva Ribeiro e Lícia Maria Bandeira de Melo Ribeiro, nascido em 29 de maio de 1972 no Rio de Janeiro.

Em junho de 1996, concluiu o curso de graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF.

De julho de 1996 a fevereiro de 1999 trabalhou em construção civil, na cidade de Juiz de Fora (MG).

Em março de 1999 iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos, concluindo em agosto 2001, na COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ.

No período de setembro de 1999 a setembro de 2001 ministrou, aulas de Mecânica dos Fluidos e Ecologia, como Professor Substituto do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia, na Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF.

Em novembro de 2001 recebeu o prêmio de melhor trabalho: “Jovem Pesquisador”, pela UNESCO, Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) e Associação Portuguesa de Recursos Hídricos (APRH), em Aracajú (SE), durante o XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica dos Países de Língua Oficial Portuguesa.

De setembro de 2001 a abril de 2004 trabalhou como Especialista em Recursos Hídricos na Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Espírito Santo - SEAMA/IEMA.

No período de março de 2002 a abril de 2004 ministrou, aulas de Fenômenos de Transporte, Ecologia e Ciências do Ambiente, para o curso de Engenharia Elétrica da Faculdade UNIEST, em Vitória (ES).

Em agosto de 2004 iniciou o curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, na área de Recursos Hídricos, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa DEA/UFV.

De julho de 2005 a agosto de 2006 trabalhou como Analista Ambiental do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

No período de setembro de 2006 a outubro de 2007 ministrou aulas de Cálculo I, Cálculo II e Álgebra Linear, para o curso de Ciência da Computação na Faculdade FAGOC, em Ubá (MG).

Em dezembro de 2007 iniciou os trabalhos como Professor Efetivo da Universidade Federal de Viçosa, Campus Florestal - CEDAF.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xvii
RESUMO.....	xx
ABSTRACT.....	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Sistemas de suporte para o gerenciamento da qualidade da água.....	4
2.2. Equação do transporte advectivo-difusivo.....	6
2.2.1. Equação do transporte unidimensional.....	10
2.3. Traçador.....	13
2.3.1. Traçadores fluorescentes.....	14

2.3.2. Aplicações de traçadores em Hidrologia.....	18
2.4. Métodos de determinação do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L).....	21
2.4.1. Equações empíricas para determinação de D_L	22
2.4.2. Métodos com uso de traçadores para determinação de D_L	22
2.5. Trabalhos desenvolvidos com traçadores para determinação do D_L	26
2.6. Análise dimensional.....	27
2.7. Análise de regressão.....	27
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1. Região de estudo.....	29
3.2. Planejamento logístico e seleção dos traçadores.....	31
3.3. Experimentos de campo.....	35
3.4. Trabalhos de laboratório.....	39
3.5. Determinação do D_L pelo método do ajuste.....	42
3.6. Desenvolvimento de uma nova equação para predição de D_L	42
3.6.1. Análise dimensional.....	44
3.6.2. Análise de regressão.....	45
3.7. Comparação entre o desempenho de diversas fórmulas empíricas.....	46
3.8. Desenvolvimento de um sistema de alerta para rios.....	50
3.8.1. Determinação das características hidrodinâmicas do rio utilizando traçador.....	51
3.8.2. Simulação dos efeitos de despejos de efluentes com sistema de alerta	53

4. RESULTADOS.....	55
4.1. Experimentos de campo.....	55
4.2. Determinação do D_L pelo método do ajuste.....	58
4.3. Desenvolvimento da equação para predição do D_L	60
4.3.1. Teste da equação desenvolvida.....	62
4.4. Sistema de alerta.....	69
4.4.1. Determinação do D_L	70
4.4.2. Simulação dos efeitos de despejos de efluentes.....	80
5. CONCLUSÕES	90
6. RECOMENDAÇÕES.....	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
APÊNDICES.....	97
APÊNDICE A.....	98
APÊNDICE B.....	104
APÊNDICE C.....	106
APÊNDICE D.....	108
APÊNDICE E.....	110
APÊNDICE F.....	143

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Características das seções de monitoramento.....	32
Tabela 2	Equações obtidas das retas de calibração, utilizadas para determinar os valores de concentração (C), em ppb, a partir dos valores lidos por fluorímetros transformados para escala L100, em milivolts.....	41
Tabela 3	Fórmulas empíricas para predição do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L) em rios e canais abertos. Fonte: BOWIE (1988), SEO e CHEONG (1998), RIECHERMANN (2004), TAYFUR e SINGH (2005) e DEVENS (2006).....	47
Tabela 4	Critérios para análise do desempenho (c) de um modelo.....	50
Tabela 5	Tempo de início, pico e término das curvas de passagem dos traçadores Amidorodamina G e Uranina, a partir da injeção, nas seções de monitoramento, nos dois experimentos realizados no Rio Pomba.....	57
Tabela 6	Valores médios de velocidade (U) e coeficiente de dispersão longitudinal (D_L), obtidos pelo método do ajuste do modelo <i>fickiano</i> , para cada trecho de estudo, no Rio Pomba e para cada traçador Uranina (URA) e Amidorodamina (AMI).....	60
Tabela 7	Quadro da análise da variância.....	61
Tabela 8	Resultados obtidos pelo método comparativo da razão de discrepância (R_d) entre os valores de D_L observados por PEREIRA (1999) e estimados pelas diversas fórmulas empíricas.....	64

Tabela 9	Resultados obtidos pelo método comparativo da raiz do erro quadrático médio (REMQ), entre os valores de D_L observados por PEREIRA (1999) e estimados pelas diversas fórmulas empíricas.....	65
Tabela 10	Resultados do coeficiente de correlação (r), índice de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para as diversas equações de predição de D_L .	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Balço de massa em um volume de controle.....	6
Figura 2	Ilustração do fluxo advectivo e difusivo para uma substância solúvel injetada instantaneamente em um escoamento uniforme e laminar.....	10
Figura 3	Ilustração dos efeitos de perda da advecção diferenciada causada pela pro-mediação da velocidade na dimensão vertical (z).....	11
Figura 4	Classificação dos traçadores utilizados em hidrologia. Os retângulos destacados correspondem aos tipos mais utilizados em hidrologia. Fonte: ROLDÃO (1999).....	15
Figura 5	Fórmulas estruturais dos principais corantes fluorescentes utilizados como traçadores em aplicações hidrológicas.....	16
Figura 6	Esquema simplificado de funcionamento de um fluorímetro utilizado para medição de traçadores fluorescentes. Fonte: ROLDÃO (1999).....	17
Figura 7	Localização da bacia hidrográfica do Rio Pomba.....	30
Figura 8	Bacia hidrográfica do Rio Pomba mostrando seus principais afluentes...	30
Figura 9	Seções de monitoramento de traçadores com suas respectivas distâncias em relação à seção de injeção.....	32
Figura 10	Injeção instantânea dos traçadores Amidorodamina G e Uranina no Rio Pomba (dia 27/05/2006 as 08:00 h).....	35

Figura 11	Injeção instantânea dos traçadores Amidorodamina G e Uranina no Rio Pomba (dia 14/04/2007 as 00:30 h).....	36
Figura 12	Coleta e armazenamento das amostras na seção 3 (Sinimbu), vertical 2 a 22,0 km do ponto de lançamento do traçador.....	37
Figura 13	Detecção do traçador “in loco” através do Fluorímetro.....	38
Figura 14	Detalhes da identificação e armazenamento dos frascos de amostras de água.....	38
Figura 15	Determinação das concentrações dos traçadores no Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ.....	39
Figura 16	Determinação, no laboratório de qualidade da água do DEA/UFV, das concentrações-padrão para elaborar a reta de calibração.....	40
Figura 17	Localização das bacias dos Rios Pomba e Paraibuna.....	43
Figura 18	Fluxograma de funcionamento do sistema.....	54
Figura 19	Curvas de passagem do traçador Amidorodamina Extra obtidas nas quatro seções e verticais (Vi) de monitoramento do Rio Pomba (experimento realizado nos dias 27 e 28/05/2006).....	56
Figura 20	Curvas de passagem do traçador Uranina obtidas nas quatro seções e verticais (vi) de monitoramento do Rio Pomba (experimento realizado nos dias 27 e 28/05/2006).....	56
Figura 21	Curvas de passagem das verticais 1, 2 e 3 do traçador Amidorodamina G Extra na seção 1 (6,0 km), em Astolfo Dutra, para o primeiro experimento (27 e 28/05/2006).....	58
Figura 22	Ajuste do modelo <i>fickiano</i> aos dados experimentais na seção 2, vertical 2, para o primeiro experimento (27 e 28/05/2006). Traçador: Amidorodamina G.....	59
Figura 23	Correlação entre os valores observados por PEREIRA (1999), em ensaios de campo com traçador fluorescente e estimados pelas diversas fórmulas empíricas.....	67
Figura 24	Ilustração do menu principal com as duas opções “Cálculo do DL”, na letra (a) e “Sistema de Alerta”, na letra (b).....	70
Figura 25	Ilustração do menu principal “Cálculo do DL” e o sub-menu “Experimental”, opção “Entrada de Dados”.....	71
Figura 26	Ilustração do cadastro da vertical 1, na seção de Astolfo Dutra, para o Rio Pomba.....	71

Figura 27	Ilustração do cadastro dos dados relativos a campanha (hora e data do despejo e massa injetada), para o traçador e rio previamente especificados.....	72
Figura 28	Ilustração do cadastro dos dados relativos à seção de Astolfo Dutra (vazão, velocidade média do rio, distância ao local de injeção).....	72
Figura 29	Ilustração do cadastro dos dados relativos à curva de passagem da vertical 1 de Astolfo Dutra para o traçador Amidorodamina G, na opção “Coleta”.....	73
Figura 30	Ilustração do cadastro dos dados de concentrações-padrão para determinação da reta de calibração, na opção “Reta de Calibração”.....	74
Figura 31	Ilustração do gráfico e equação da reta de calibração gerados pelo sistema.....	75
Figura 32	Ilustração da determinação dos parâmetros de dispersão longitudinal (D_L) e velocidade média (U), pelo ajuste automático do modelo <i>fickiano</i> de Taylor aos dados experimentais da seção de Astolfo Dutra, vertical 1, traçador Amidorodamina G.....	75
Figura 33	Ilustração do resultado do ajuste manual em que foram fornecidos valores do coeficiente de dispersão longitudinal: a) menor ($10\text{m}^2/\text{s}$), e b) maior ($25\text{m}^2/\text{s}$), que o obtido automaticamente ($18\text{m}^2/\text{s}$).....	76
Figura 34	Ilustração do resultado do ajuste manual em que foram fornecidos valores de velocidade média do escoamento: a) maior ($0,50\text{m/s}$), e b) menor ($0,40\text{m/s}$), que o obtido automaticamente ($0,45\text{m/s}$).....	77
Figura 35	Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos de dispersão longitudinal (D_L) e velocidade média (U) entre as seções de monitoramento de Astolfo Dutra e Sinimbu, distantes 16 km entre si.....	78
Figura 36	Cálculo do valor do coeficiente de dispersão longitudinal por meio de fórmula empírica.....	79
Figura 37	Exemplo de dados de entrada para um despejo instantâneo.....	81
Figura 38	Efeito do lançamento instantâneo de 1,565 kg de uma substância solúvel no rio, em uma seção distante 6,0 km do local de despejo e para as seguintes condições do rio: vazão de $38,8\text{m}^3/\text{s}$, velocidade $0,45\text{m/s}$ e D_L de $18\text{m}^2/\text{s}$	81
Figura 39	Opções para simular os efeitos de um despejo contínuo de efluentes em uma seção de jusante.....	82

Figura 40	Dados de entrada para simular o efeito de um despejo contínuo do efluente em uma seção situada a 7,0 km a jusante. São fornecidos do lado esquerdo os dados do rio e do lado direito os do despejo de efluente.....	83
Figura 41	Efeito a 7,0 km do ponto de lançamento de um despejo contínuo de efluente.....	84
Figura 42	“Zoom” das curvas verde e azul, mostrando o efeito do lançamento contínuo de um efluente numa seção localizada a 7,0 km do ponto de lançamento.....	85
Figura 43	Exemplo de um despejo contínuo onde foram mantidos constantes a vazão e concentração da substância poluente no efluente.....	86
Figura 44	Efeito após 30,0 km de um despejo contínuo, onde foram mantidos constantes a vazão e concentração da substância no efluente.....	87
Figura 45	Alimentação do sistema para simular o efeito de um despejo contínuo em uma seção distante 7,0 km do local do despejo.....	88
Figura 46	Resultado do efeito de um lançamento contínuo em uma seção distante 7,0 km do local de despejo.....	89

LISTA DE SÍMBOLOS

A	área da seção transversal do curso d'água (L^2)
B	largura da seção transversal do curso d'água (L)
c	índice de desempenho
C	concentração do constituinte ou soluto, podendo ser traçador ou contaminante solúvel (ML^{-3})
C'	variações da concentração do constituinte na seção transversal (ML^{-3})
\bar{C}	concentração média do constituinte na seção transversal (ML^{-3})
C_E	concentração do constituinte no efluente (ML^{-3})
C_M	concentração da mistura do rio com o efluente (ML^{-3})
C_R	concentração natural do constituinte no rio ou background, no local do despejo do efluente (ML^{-3})
C(t)	concentrações do constituinte medidas em uma seção em função do tempo (ML^{-3})
C(x, t)	concentração do constituinte em um local afastado de uma distância x do ponto de lançamento para um instante de tempo t após o lançamento (ML^{-3})
$C(x_1, \tau)$	concentração do constituinte medida na seção a montante, no tempo τ (ML^{-3})
$C(x_1, \tau+1)$	concentração do constituinte medida na seção a montante, no tempo $\tau+1$ (ML^{-3})
$C(x_2, t)$	concentração do constituinte medida na seção a jusante, no tempo t (ML^{-3})

$C(0, t_0)$	concentração do constituinte no local e instante do lançamento no corpo d'água (ML^{-3})
$C(x \neq 0, t_0)$	concentração do constituinte em locais afastados do ponto de injeção no exato instante do lançamento do soluto no corpo d'água (ML^{-3})
$C(\pm\infty, t)$	concentração do constituinte em pontos infinitamente afastados do local de lançamento para qualquer instante de tempo (ML^{-3})
d	índice de concordância
D	coeficiente de difusão mecânica ou turbulenta do contaminante no meio (L^2T^{-1})
D_c	coeficiente de difusão molecular do contaminante no meio (L^2T^{-1})
D_L	coeficiente de dispersão longitudinal (L^2T^{-1})
E_i	valores de D_L estimados por fórmulas empíricas
EMQ	erro quadrático médio
g	aceleração da gravidade (LT^{-2})
H	profundidade média da seção transversal do curso d'água (L)
K	taxa de decaimento do constituinte (T^{-1})
L100	transformação das leituras (milivolts) em diferentes escalas realizadas no fluorímetro para uma única escala chamada L100
M	massa do constituinte injetado no escoamento (M)
O_i	valores de D_L observados em experimentos com traçador
Q	vazão de escoamento (L^3T^{-1})
Q_E	vazão do efluente lançado no curso d'água (L^3T^{-1})
r	coeficiente de correlação
r^2	coeficiente de determinação
R_d	razão de discrepância
Re	número de Reynolds
REMQ	raiz do erro quadrático médio
R_h	raio hidráulico (L)
R_{PeC}	taxa de reação de produção e consumo de massa no interior do volume de controle (T^{-1})
S_0	declividade do leito
S_f	forma do leito do curso d'água
S_n	sinuosidade do curso d'água
t	tempo decorrido a partir da injeção do traçador (T)
t_0	instante da injeção (T)
$\overline{t_1, t_2}$	tempo médio de passagem da nuvem do constituinte pelas seções de montante e jusante (T)

u_c	velocidade com que o constituinte se move (LT^{-1})
u	velocidade do escoamento (LT^{-1})
u_*	velocidade de cisalhamento (LT^{-1})
U	velocidade média na seção transversal (LT^{-1})
\bar{U}	promediação da velocidade na seção (LT^{-1})
U'	desvio da velocidade média na seção transversal (LT^{-1})
v_c	velocidade com que o constituinte se move na direção vertical (LT^{-1})
w_c	velocidade com que o constituinte se move na direção transversal (LT^{-1})
x	distância entre as seções de lançamento e monitoramento do traçador (L)
δ_{ij}	delta de Kroenecker, vale 1 quando $i = j$, caso contrário vale zero
$\delta_x \delta_y \delta_z$	dimensões do volume de controle
$\delta(x)$	função delta de Dirac
Δx	distância entre as seções de montante e jusante do curso d'água
ϵ_{t0}	coeficiente de difusão transversal (L^2T^{-1})
π_i	grupos adimensionais do teorema de Buckingham
ρ	massa específica do fluido (ML^{-3})
$\sigma_{t1}^2, \sigma_{t2}^2$	variância das curvas de passagem para as seções de montante e jusante, respectivamente (T^2)
τ	variável temporal de integração (T)
ν	viscosidade cinemática do fluido

RESUMO

RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Dezembro de 2007. **Sistema de alerta ambiental fundamentado em estudo teórico-experimental de transporte e dispersão de poluentes solúveis em cursos d'água.** Orientador: Demetrius David da Silva. Co-orientadores: José Homero Pinheiro Soares e Antônio Teixeira de Matos.

Informações sobre a capacidade de transporte e dispersão de poluentes solúveis em cursos d'água naturais são importantes no gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente no planejamento preventivo de medidas que visem minimizar problemas ocasionados por despejos acidentais ou intencionais à saúde pública e às atividades econômicas que dependem do uso da água. Um dos parâmetros mais importantes em modelos unidimensionais de qualidade de água é o coeficiente de dispersão longitudinal. A complexidade e diversidade dos escoamentos naturais, impedem uma aproximação meramente teórica, tornando-se necessário determinar “in situ” os parâmetros que traduzam as características inerentes de cada corpo d'água. Ensaio com traçadores são formas adequadas de determinação do coeficiente de dispersão longitudinal. Eles possibilitam simular de modo fidedigno e preciso, o movimento e a dispersão do soluto, levando implicitamente em consideração todas as particularidades e características locais de transporte e dispersão do escoamento. Considerando tal importância, este estudo teve como objetivos: a) determinar o coeficiente de dispersão longitudinal no Rio Pomba utilizando técnicas de traçadores e um modelo *fickiano*; b) desenvolver uma equação para

estimar o coeficiente de dispersão longitudinal com base em resultados experimentais de campo utilizando técnicas de traçadores fluorescentes e comparar seus resultados com os obtidos por outros modelos já existentes; e c) desenvolver um sistema de alerta para contaminação de rios, visando prever os efeitos de um lançamento de efluente, em seções situadas a jusante do local de despejo. Neste sentido, foram realizados dois ensaios de campo com uso dos traçadores fluorescentes Uranina ou Fluoresceína Sódica (Acid Yellow 73, “Color Index” 45350) e Amidorodamina G Extra (Acid Red 52, “color index” 45220) para avaliar a capacidade de transporte e dispersão de poluentes solúveis no Rio Pomba, em um trecho de 36 km entre as cidades de Astolfo Dutra e Cataguases. O modelo *fickiano* de Taylor, também conhecido como método do ajuste, foi utilizado para determinar o coeficiente de transporte longitudinal (D_L), a partir dos resultados obtidos por técnicas de traçadores. A equação para predição do D_L foi deduzida utilizando análise dimensional (Teorema de Buckingham) e ajustada aos dados de campo por meio de regressão linear múltipla. No desenvolvimento do sistema foram implementados o método do ajuste (modelo de Taylor), da convolução e fórmulas empíricas de predição do D_L , com objetivo de avaliar o tempo de chegada e passagem da nuvem de um poluente conservativo, injetado de modo instantâneo ou contínuo, em uma seção a jusante do despejo. Os resultados obtidos nos dois experimentos de campo realizados no Rio Pomba, com uso de traçadores fluorescentes, mostraram-se bastante próximos, com valores de D_L e velocidade (U), calculados pelo modelo de Taylor, variando de 18,3 a 33,0 m^2/s e 0,37 a 0,46 m/s , respectivamente. No desenvolvimento da equação de predição do D_L , a qualidade do ajuste dos parâmetros adimensionais obtidos pela análise dimensional aos resultados experimentais de campo foi medida pelo coeficiente de determinação ($r^2 = 0,85$) e pela aplicação do teste F, ao nível de 5% de significância. A equação desenvolvida neste estudo apresentou-se mais precisa na predição do D_L , quando comparado a outras 12 equações propostas na literatura, utilizando o índice de desempenho como método comparativo, onde a melhor precisão é aquela que mais se aproxima de 1. A equação proposta apresentou precisão igual a 0,60, enquanto que nas demais fórmulas este valor ficou abaixo de 0,27. O sistema desenvolvido mostrou-se adequado para avaliar o transporte e dispersão de poluentes em cursos d’água naturais, a partir de um despejo instantâneo ou contínuo de poluentes solúveis e conservativos.

ABSTRACT

RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo. D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December 2007. **Environmental alert system based on theoretical-experimental study of transport and dispersion of soluble pollutants in water flow.** Adviser: Demetrius David da Silva. Co-advisers: José Homero Pinheiro Soares and Antônio Teixeira de Matos.

Information about capacity of transport and dispersion of soluble pollutants in natural streams are important in the management of water resources, especially in the planning of preventive measures to minimize the problems caused by accidental or intentional waste, in public health and economic activities that depend on the use of water. One of the most important parameters in one-dimensional water quality models is the longitudinal dispersion coefficient. The complexity and diversity of natural streams, prevent an purely theoretical approximation, so is necessary to determine "in situ" parameters that reflect the intrinsic characteristics of water bodies. Assessment with tracers are recognized as a proper mean to determining the longitudinal dispersion coefficient. They are considered reliable and precise to simulate the transport and dispersion of a solute, once they taking implicitly into consideration all features and hydrodynamic local characteristics of transport and dispersion. Thus, this study had the following objectives: a) determine the longitudinal dispersion coefficient in Pomba River using tracers techniques and fickian model; b) develop an equation for predicting the longitudinal dispersion

coefficient bases on experimental results using fluorescent tracers techniques and compare the results with others obtained for existent models; c) develop alert system for contamination of river, to aim for to predict the effects of wastewaters throwing, on sections localized after wastewater throwing . Therefore, two tests were performed using two fluorescent dye tracers: Uranina (Acid Yellow 73, "Color Index" 45,350) and Amidorodamina G (Acid Red 52, "color index" 45220) to assess the transport and dispersion characteristics of soluble conservative pollutants in Pomba River, the reach evaluated stretched along 36 km from Astolfo Dutra and Cataguases Cities. The fickian Taylor's model, also known as the adjustment method was used to determine the longitudinal dispersion coefficient (D_L), from the results obtained by tracers techniques. The equation for predicting the D_L was deduced using dimensional analysis (Buckingham's theorem), and adjusted the data to the technical field of multiple linear regression. The system was carried out take into consideration the adjustment method (Taylor's model), the convolution and empirical formulas for foreseeing D_L , time travel curve resulted from instantaneous or continuous injection downstream from the injection point. Results of two field experiments performed in Pomba River, showed fairly close, with values of D_L and U , calculated by the Taylor model, ranging from 18,3 to 33,0 m^2/s and 0,37 to 0.46 m/s, respectively. In developing the equation for predicting the D_L , the adjustment of parameters obtained by the dimensional analysis and the results from experimental field data was measured by the determination coefficient ($r^2 = 0.85$) and the 5% of significance. The equation developed in this study demonstrate more accurate in prediction of the D_L , when compared to 12 other equations proposed in the literature, using the index of performance as a comparative method, where the best accuracy is the one that most closely approximates to 1. The proposal equation submitted accuracy equal to 0,60, while in other formulas considered in this study that value was below 0,27. The system has developed to be appropriate to evaluate the transport and dispersion of pollutants in natural streams from a instantaneous or continuous soluble pollutants injection.

1. INTRODUÇÃO

A visão do homem, ao longo da História, tem passado por profundas mudanças nos conceitos e idéias sobre o mundo em que vivemos. Já se procura descrever o mundo sob uma abordagem holística, entendendo-o como um conjunto interligado onde os fenômenos biológicos, físicos, sociais, econômicos e ambientais são interdependentes (LEAL, 1998).

Essa visão integrada, em que todas as partes interagem intimamente, levou ao entendimento de que os fenômenos físicos, onde a água está presente, são vivenciados dentro de uma bacia hidrográfica como uma célula ecológica viva. Nesse sentido, o destino final da trajetória da água na bacia é o rio. Esse reflete, então, qualquer ação que ocorra e que altere de forma expressiva o equilíbrio natural do território, podendo ser considerado um indicador do estado de equilíbrio da área drenada.

Neste contexto, a importância do tema qualidade de água vem crescendo, como resultado da evolução do conhecimento científico e da opinião pública com relação aos riscos ambientais e de saúde associados aos contaminantes presentes na água, reflexo das ações desenvolvidas na área de uma bacia hidrográfica.

De acordo com CAMPOS e STUDART (2001), até o fim do século passado a importância da água era reconhecida apenas do ponto de vista da quantidade, enquanto o reconhecimento da importância da qualidade foi lento e gradativo. Segundo a Agência Nacional de Águas, “a gestão da qualidade da água no país não tem historicamente merecido o mesmo destaque dado à gestão da quantidade de água, quer no aspecto legal,

quer nos arranjos institucionais em funcionamento no setor, quer no planejamento e na operacionalização dos sistemas de gestão” (ANA, 2005).

Com o advento da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997), o conceito de planejamento sustentado dos recursos hídricos passa a preconizar a indissociabilidade dos aspectos quantitativos e qualitativos, reconhecendo o gerenciamento integrado como uma das diretrizes gerais de ação.

Na prática tal integração é raramente realizada nos processos de gerenciamento, sobretudo em relação à outorga de direito de uso dos recursos hídricos, onde se tem efetuado somente a outorga quantitativa.

Em nível nacional, o principal problema de qualidade de água é o lançamento de esgotos domésticos, pois apenas 47% dos municípios possuem rede coletora de esgoto e somente 18% dos esgotos recebem algum tratamento (ANA, 2005).

Adicionalmente ao lançamento de esgotos domésticos, a poluição causada por efluentes industriais e agrícolas, a disposição inadequada de resíduos sólidos e o manejo inadequado do solo também contribuem significativamente para degradar o estado da qualidade da água em bacias hidrográficas.

Diante desse quadro, os modelos de qualidade das águas apresentam-se como ferramentas alternativas que vêm mostrando grande potencial no auxílio ao gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que possibilitam a realização de estudos do comportamento dos corpos d’água, considerando conjuntamente os aspectos de quantidade e qualidade.

Segundo CHAPRA (1994), pode-se entender esses modelos como uma formulação conceitual, matemática, numérica ou computacional, representando um sistema físico (corpo hídrico) capaz de fornecer uma resposta a um estímulo externo (fonte de poluição concentrada ou difusa, captação de água, etc.). Essas ferramentas possibilitam obter uma visão dinâmica e integrada dos complexos sistemas físico-ambientais, onde os aspectos quali-quantitativos da água são relevantes.

Para uma utilização confiável da maioria dos modelos é necessária a determinação “in situ” de parâmetros que traduzam as características inerentes de cada corpo d’água, pois a complexidade e diversidade dos escoamentos naturais impedem uma aproximação meramente teórica (RIGO, 1992).

Nos cursos d’água naturais, os mecanismos de transporte e dispersão de poluentes são mais relevantes ao longo da direção principal do fluxo. Assim, a equação da advecção-dispersão unidimensional é amplamente utilizada na previsão da qualidade de água em

rios, sendo o coeficiente de dispersão longitudinal (D_L) um dos parâmetros mais importantes em modelos unidimensionais.

Ensaio com traçadores são reconhecidos como forma adequada de determinação do coeficiente de dispersão longitudinal, pois simulam de modo fidedigno e preciso o movimento e a dispersão do soluto, levando implicitamente em consideração todas as particularidades e características locais de transporte e dispersão do escoamento em estudo.

Com base no exposto, este trabalho teve como objetivo geral contribuir, no âmbito da gestão de recursos hídricos, para o conhecimento, tanto teórico quanto prático, de metodologias relacionadas à capacidade de transporte e dispersão de poluentes em rios, como subsídios ao planejamento e gerenciamento da qualidade da água. Os objetivos específicos foram: a) determinar o coeficiente de dispersão longitudinal no Rio Pomba utilizando técnicas de traçadores e um modelo *fickiano*; b) desenvolver uma equação para estimar o coeficiente de dispersão longitudinal com base em resultados experimentais de campo utilizando técnicas de traçadores fluorescentes e comparar seus resultados com os obtidos por outros modelos já existentes; e c) desenvolver um sistema de alerta para contaminação de rios, visando prever os efeitos de um lançamento de efluente, em seções situadas a jusante do local de despejo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistemas de suporte para o gerenciamento da qualidade da água

O objetivo principal do gerenciamento dos recursos hídricos tem sido garantir o suprimento de água em quantidade suficiente e qualidade satisfatória para atender aos múltiplos usuários.

É crescente a necessidade de ferramentas e técnicas que ajudem no planejamento e administração dos problemas relacionados aos recursos hídricos. Dentre essas ferramentas, os sistemas de suporte a decisão (SSD) estão emergindo como uma das alternativas mais promissoras.

O desenvolvimento da informática e das linguagens de programação, permitiu armazenar e manipular grande quantidade de informações facilitando o trabalho de realizar cálculos através de modelos matemáticos e conseqüentemente o entendimento da dinâmica dos processos ambientais.

Cabe ressaltar que o tipo de modelo de qualidade de água a ser empregado é função da escala dos fenômenos de interesse. Em ambientes lóticos (rios e canais), o transporte longitudinal de constituintes é predominante em relação àqueles que ocorrem nas direções vertical e transversal. Já em ambientes lênticos (reservatórios, lagos e estuários) as dimensões transversais e verticais passam a ser importantes no estudo do transporte de constituintes, sendo valiosa a utilização de modelos de duas ou três dimensões (TUCCI, 1998).

Os modelos de qualidade de água podem ser classificados, de acordo com a estrutura do método de cálculo adotado em: modelos analíticos e modelos numéricos. Os modelos analíticos, de aplicação simples, apresentam uma fórmula bem definida e são desenvolvidos para algumas condições específicas de escoamento. Os modelos numéricos, geralmente mais sofisticados quando comparados aos anteriores, são estruturados em técnicas de cálculo numérico e permitem uma maior flexibilidade de aplicação em condições de contorno variadas para o escoamento.

Os modelos de qualidade de água têm sido bastante empregados para simular o transporte de substâncias relacionadas aos parâmetros de qualidade de água, tais como oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio, fósforo, algas, dentre outros. Alguns consideram somente o transporte advectivo e outros levam em consideração também o transporte de poluentes pelo fenômeno da dispersão.

De acordo com VON SPERLING (1996), um dos primeiros modelos para simulação da qualidade da água em rios foi apresentado por Streeter e Phelps em 1925. O modelo considera o escoamento permanente uniforme e representa os processos relacionados aos parâmetros DBO e OD. Os autores consideraram somente o efeito advectivo do transporte de massa e a fase carbonácea do consumo de oxigênio na água. Esse modelo de qualidade de água representa o rio como um sistema de escoamento do tipo pistão (sem dispersão).

Dentre os modelos numéricos unidimensionais que levam em consideração o efeito da dispersão no transporte de poluentes pode-se destacar o QUAL2E (BROWN e BARNWELL JR., 1987), o SWAT (NEITSCH, et al., 2002) e o QUAL2K (CHAPRA et al., 2007).

O emprego de modelos matemáticos, simplificados ou sofisticados, depende do conhecimento dos parâmetros, cujos valores permitem calibrá-los, ou seja, adaptá-los às particularidades locais de transporte e dispersão necessitando, quase sempre, de resultados de campo obtidos experimentalmente.

O método mais adequado para determinar o transporte e dispersão de poluentes em escoamentos naturais é por meio de ensaios de campo com uso de traçadores artificiais. Esses, após serem injetados no escoamento, devem se comportar como o próprio meio, propiciando a obtenção de informações e detalhes a respeito do transporte das nuvens ou de plumas de poluentes.

2.2. Equação do transporte advectivo-difusivo

De modo geral, os modelos de qualidade de água têm por base o princípio chamado conservação de massa, traduzido matematicamente por meio da equação do balanço de massa. Desta forma, a equação do balanço de massa aplicada a um volume de água finito, volume de controle (Figura 1), em um corpo d'água pode ser expressa de forma simplista e conceitual pela Eq. (1).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \text{Afluxos} - \text{Efluxos} + \Sigma R_{\text{PeC}} \quad (1)$$

em que

- $\frac{\partial M}{\partial t}$ = variação da massa do constituinte no interior do volume de controle, ao longo do tempo;
- Afluxos = fluxo de massa que entra no volume de controle;
- Efluxos = fluxo de massa que sai do volume de controle; e
- ΣR_{PeC} = taxa de reações de produção e consumo de massa no interior do volume de controle.

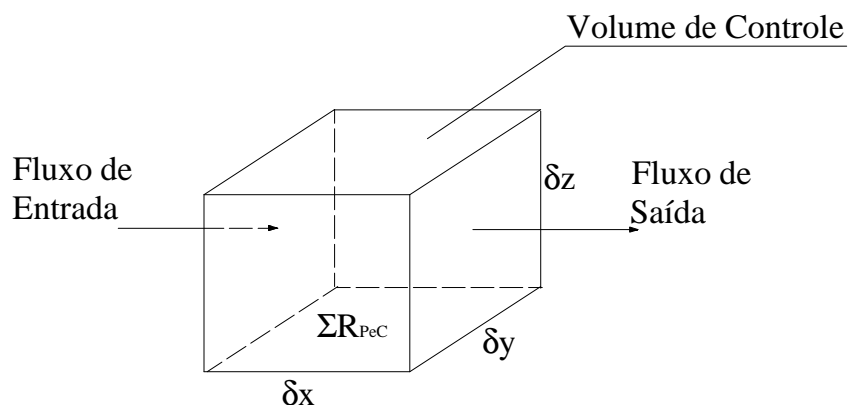


Figura 1 – Balanço de massa em um volume de controle.

O fluxo de entrada do constituinte, na direção \mathbf{x} , pode ser representado matematicamente por:

$$u_c \cdot C \cdot \delta_y \cdot \delta_z \quad (2)$$

em que

u_c = velocidade com que o constituinte se move (LT^{-1});

C = concentração do constituinte (ML^{-3}); e

$\delta_y \delta_z$ = área perpendicular ao fluxo (L^2).

O fluxo de saída pode ser representado por uma expansão em Série de Taylor.

$$u_c \cdot C \cdot \delta_y \cdot \delta_z + \frac{\partial(u_c \cdot C)}{\partial x} \cdot \delta_y \cdot \delta_z \cdot \delta_x + \frac{\partial^2(u_c \cdot C)}{\partial x^2} \cdot \delta_y \cdot \delta_z \cdot \frac{\delta_x^2}{2!} + \dots \quad (3)$$

Considerando δ_x suficientemente pequeno, o termo δ_x^2 será ainda menor, de modo que a terceira parcela da Eq.(3) pode ser desprezada.

Aplicando o mesmo raciocínio desenvolvido para direção x igualmente para as direções y e z e fazendo o balanço de massa, demonstrado na Eq.(1), fica:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \cdot \delta_x \delta_y \delta_z = -\frac{\partial u_c \cdot C}{\partial x} \cdot \delta_x \delta_y \delta_z - \frac{\partial v_c \cdot C}{\partial y} \cdot \delta_x \delta_y \delta_z - \frac{\partial w_c \cdot C}{\partial z} \cdot \delta_x \delta_y \delta_z + \Sigma R_{PeC} \delta_x \delta_y \delta_z \quad (4)$$

em que

$C \cdot \delta_x \delta_y \delta_z$ = massa do constituinte (M);

$-\frac{\partial u_c \cdot C}{\partial x} \cdot \delta_x \delta_y \delta_z$ = balanço de massa na direção x (MT^{-1});

$-\frac{\partial v_c \cdot C}{\partial y} \cdot \delta_x \delta_y \delta_z$ = balanço de massa na direção y (MT^{-1}); e

$-\frac{\partial w_c \cdot C}{\partial z} \cdot \delta_x \delta_y \delta_z$ = balanço de massa na direção z (MT^{-1}).

Simplificando o volume ($\delta_x \delta_y \delta_z$) e rearranjando a Eq.(4),

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial u_c \cdot C}{\partial x} - \frac{\partial v_c \cdot C}{\partial y} - \frac{\partial w_c \cdot C}{\partial z} + \Sigma R_{PeC} \quad (5)$$

ou

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial u_{ci} C}{\partial x_i} + \Sigma R_{PeC} \quad (6)$$

em que

$$-\frac{\partial u_{ci} C}{\partial x_i} = \text{balanço de massa nas direções } x, y \text{ e } z \text{ (} i = 1, 2, 3 \text{)}.$$

Segundo ROSMAN (1997), a velocidade de transporte do contaminante, com componentes u_c , v_c e w_c , não é resolvível. De fato, não se consegue medir a exata velocidade com que um contaminante é transportado no meio do fluido. O que é resolvível e mensurável, é a velocidade do escoamento ou a velocidade hidrodinâmica, com componentes u , v e w . Para resolver tal impasse um artifício é utilizado, de modo a separar o fluxo de contaminante em uma parte resolvível e outra não resolvível:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x_i} (u_{ci} C + u_i C - u_i C) + \Sigma R_{PeC} \\ \frac{\partial C}{\partial t} &= -\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i C) - \frac{\partial}{\partial x_i} ([u_{ci} - u_i] C) + \Sigma R_{PeC} \end{aligned} \quad (7)$$

em que

$u_i C$ = fluxo resolvível; e

$u_{ci} - u_i$ = fluxo não resolvível.

Ainda de acordo com ROSMAN (1997), a parcela resolvível é denominada fluxo advectivo, e a não resolvível fluxo difusivo. Até o momento, a escala considerada é a das partículas, e a escala inferior não resolvível é a molecular, assim, tem-se um fluxo difusivo molecular ou transporte por difusão molecular. Tal fluxo é adequadamente modelado através da lei de Fick da difusão molecular, cujo modelo conceitual pode ser expresso como: “*O fluxo difusivo de um contaminante é proporcional ao gradiente das concentrações e ocorre no sentido contrário ao do gradiente*”.

Em termos matemáticos, este modelo conceitual se traduz em

$$[u_{ci} - u_i]C\delta_{ij} = -D_c \delta_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_i} \quad (8)$$

em que

D_c = coeficiente de difusão molecular do contaminante no meio;

δ_{ij} = delta de Kroenecker, vale 1 quando $i = j$, caso contrário vale zero.

Introduzindo a lei de Fick (Eq. 8) na Eq.(7), pode-se escrever a equação de conservação de massa por unidade de volume como

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial(u_i C)}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_c \delta_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + \Sigma R_{PeC} \quad (9)$$

rearranjando os termos:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u_i C)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_c \delta_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + \Sigma R_{PeC} \quad (10)$$

em que

$\frac{\partial(u_i C)}{\partial x_i}$ = balanço do fluxo advectivo ($MT^{-1}L^{-3}$); e

$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_c \delta_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right)$ = balanço do fluxo difusivo ($MT^{-1}L^{-3}$).

A Eq.(10) é também conhecida como equação de transporte advectivo difusivo com reações cinéticas na sua forma mais geral, para transporte de escalares num sistema tridimensional, considerando a escala molecular.

A Figura 2 ilustra os efeitos dos processos físicos da difusão e advecção, onde o fluxo advectivo é responsável pelo deslocamento Δx e o fluxo difusivo provoca o espalhamento da substância solúvel no escoamento.

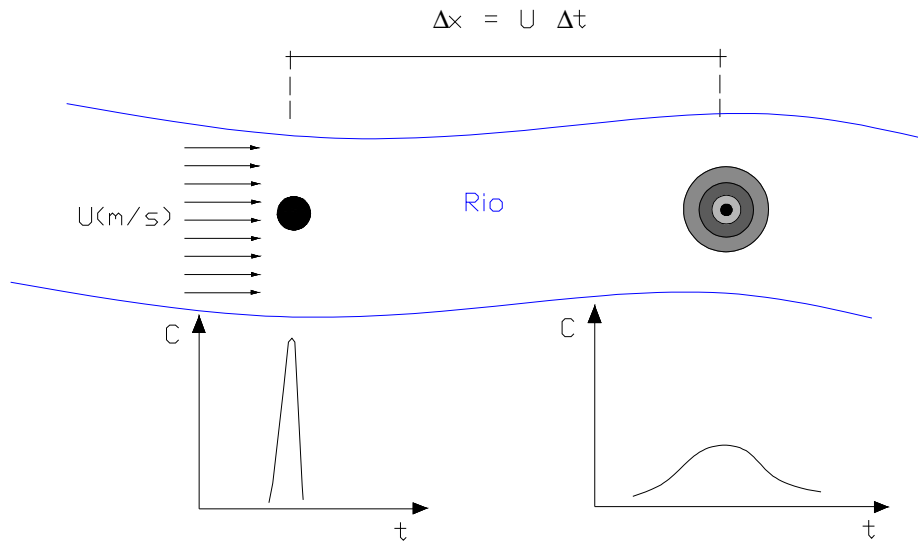


Figura 2 – Ilustração do fluxo advectivo e difusivo para uma substância solúvel injetada instantaneamente em um escoamento uniforme e laminar.

Pode-se dizer que as equações utilizadas por modelos de qualidade de águas são casos particulares da Eq.(10), onde são efetuadas considerações para as situações de estudo.

Para transporte de substâncias em grandes escalas, considera-se o fluxo turbulento com grandes turbilhões, da ordem da dimensão geométrica do escoamento, aparecendo uma nova variável, o coeficiente de difusividade turbulenta, que é modelado da mesma forma que o coeficiente de difusão molecular (Eq. 8). Desta forma, a equação geral para transporte de substâncias em grandes escalas possui a mesma forma da Eq.(10), porém o coeficiente de difusividade passa a ser o turbulento, pois esse influencia mais intensamente o transporte da substância quando comparado ao coeficiente de difusividade molecular.

2.2.1. Equação do transporte unidimensional

Para representar um fluxo bidimensional ou unidimensional, faz-se uma média na dimensão vertical (Figura 3) ou horizontal, ou ambas, de um escoamento tridimensional, perdendo assim a advecção diferenciada, que passa a ser compensada pela introdução de um termo corretivo.

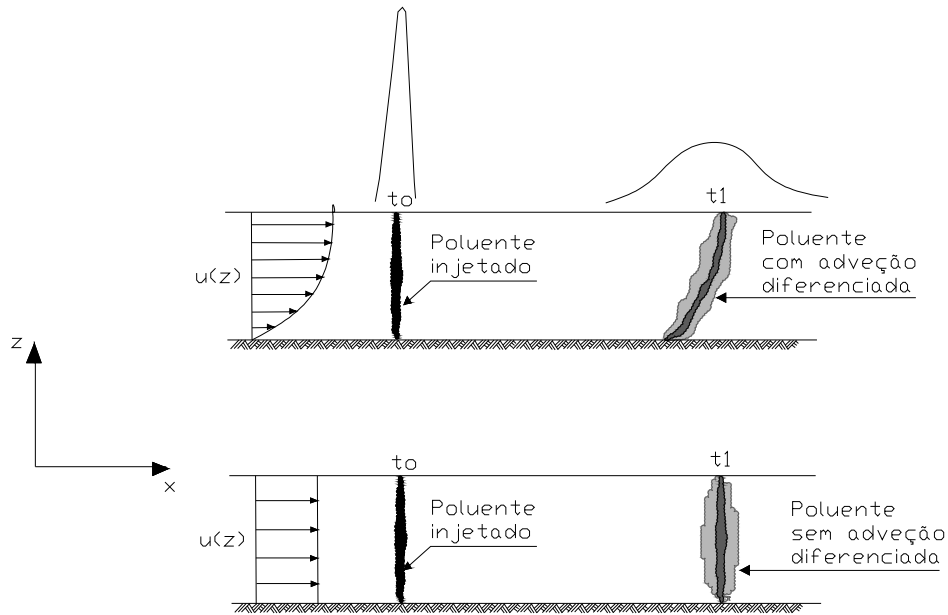


Figura 3 – Ilustração dos efeitos de perda da advecção diferenciada causada pela promediação da velocidade na dimensão vertical (z).

De acordo com TUCCI (1998), as variáveis da equação tridimensional de transporte de uma substância (Eq.10) podem ser expressas por um valor médio, somado a sua flutuação. Para um fluxo unidimensional em x , considera-se que:

$$U = \bar{U} + U' \quad (11)$$

$$C = \bar{C} + C' \quad (12)$$

em que

$$\bar{U} = \frac{1}{A} \int_A U dA \quad \text{= promediação da velocidade na seção (LT}^{-1}\text{); e}$$

$$\bar{C} = \frac{1}{A} \int_A C dA \quad \text{= promediação da concentração do constituinte na seção (ML}^{-3}\text{).}$$

Em outras palavras, considera-se que as variações no espaço, referentes à área da seção transversal, podem ser representadas pelo valor médio.

Considerando-se desprezíveis as variabilidades transversais e verticais, substituindo as Eq.(11) e Eq.(12) na Eq.(10) e desenvolvendo, resulta na expressão

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \int_A UC' dA = \frac{\partial}{\partial x} (AD_c \frac{\partial C}{\partial x}) + A\Sigma_{Pe}C \quad (13)$$

em que

A = área da seção transversal do curso d'água (L^2);

Q = vazão de escoamento (L^3T^{-1});

$\int_A U' C' dA$ = fluxo de transporte resultante da não-uniformidade da variação das variáveis na seção (MT^{-1}). Este termo representa a dispersão do fluxo longitudinal e pode ser expresso por:

$$\int_A U' C' dA = -AD \frac{\partial C}{\partial x} \quad (14)$$

TUCCI (1998) define o coeficiente D como difusão mecânica, que provoca a dispersão longitudinal. Segundo este autor, este termo é resultado das turbulências do escoamento. Substituindo na Eq.(13), resulta no seguinte

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) + A \Sigma R_{PeC} \quad (15)$$

em que

$D_L = D + D_c$ = coeficiente de dispersão longitudinal (L^2T^{-1}).

O nome coeficiente de dispersão longitudinal prevalece, porque em rios o valor de D_L é muito superior ao coeficiente de difusão molecular (D_c).

Dividindo a Eq. (15) por A , considerando Q e D_L constantes e rearranjando os termos, chega-se a

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \Sigma R_{PeC} \quad (16)$$

A Eq.(16) é conhecida como equação de transporte de massa unidimensional. Considerando que o constituinte sofra decaimento ao longo do tempo, pode-se substituir a parcela referente a produção ou consumo representada por ΣR_{PeC} pela taxa de decaimento do constituinte (KC).

Logo, obtém-se a equação de transporte de massa unidimensional em sua forma mais conhecida.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - KC \quad (17)$$

em que

C = concentração média da substância poluente ($M L^{-3}$);

$u \frac{\partial C}{\partial x}$ = transporte advectivo ($MT^{-1}L^{-3}$);

D_L = coeficiente de dispersão longitudinal na direção do escoamento (L^2T^{-1});

$D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ = transporte dispersivo do poluente ($MT^{-1}L^{-3}$);

K = taxa de decaimento da substância poluente (T^{-1}).

2.3. Traçador

De acordo com BEDMAR (1972), traçador é qualquer produto passivo que, incorporado na massa de uma substância, permite investigar o comportamento desta em um determinado processo físico e químico.

O uso de traçadores em hidrologia é muito antigo. O traçador pode ser do tipo artificial, quando é adicionado intencionalmente na água pelo homem ou natural, quando a substância é incorporada na água em consequência de processos naturais ou de derrames acidentais.

Segundo ROLDÃO (1999), os traçadores artificiais e naturais possuem as seguintes propriedades:

Traçadores artificiais:

- a) São normalmente empregados em estudos de pequenas regiões (aproximadamente 50 a 100 km) ou em ensaios de curta ou média duração;
- b) A injeção do traçador é feita de forma intencional e controlada;
- c) A medição do traçador é normalmente fácil de ser realizada no campo e no laboratório;
- d) O custo do traçador pode ser expressivo; e
- e) O tempo de preparação/medição de uma amostra é curto e o custo do equipamento é relativamente baixo, resultando em custos relativamente baixos de medição.

Traçadores naturais (ambientais):

- a) São normalmente empregados no estudo de grandes regiões ou em ensaios de média ou longa duração;
- b) A injeção do traçador é realizada sem a intervenção do experimentador e normalmente é complexa ou desconhecida;
- c) A medição do traçador “in situ” é normalmente impossível, necessitando de laboratórios;
- d) O custo do traçador é normalmente inexistente; e
- e) O longo tempo de preparação de uma amostra e o alto preço do equipamento de laboratório geram um custo bastante alto na medição de uma amostra.

Em estudos de hidrologia, diversos tipos de traçadores podem ser utilizados conforme é mostrado na Figura 4. Entretanto, dois tipos de traçadores, artificiais, são os mais freqüentemente empregados em estudos hidrológicos, a saber: fluorescentes e radioativos. WILSON JR. et. al (1986) relatam que a utilização extensiva de traçador fluorescente teve início na década de 1960 devido às limitações severas ao uso de traçadores radioativos.

2.3.1. Traçadores fluorescentes

Os traçadores fluorescentes são substâncias orgânicas (Figura 5) empregadas como corantes, sobretudo na indústria têxtil, comercializadas na forma de pó. Estas substâncias apresentam a propriedade de emitirem luz (fluorescem) numa certa faixa de comprimentos de onda quando sobre elas se incide luz (excitação) em outra faixa de menores comprimentos de onda, às quais são sensíveis.

BENISCHKE (1989) e WILSON JR. (1986) definem a fluorescência como a absorção de energia dos diferentes comprimentos de onda incidentes (luz) que excitam a molécula de traçador, levando um elétron desta molécula para um estado de energia mais alta. Este elétron com alto nível de energia tende a retornar ao seu estado de energia mais baixo, quase instantaneamente, da ordem de nanossegundos. O retorno ao estado inicial é acompanhado pela emissão de energia (luz) caracterizando a fluorescência da molécula.

A forma de detecção dos traçadores fluorescentes é realizada por meio de equipamentos específicos denominados fluorímetros de campo e espectrofluorímetros de laboratório. Este último é um tipo de equipamento mais sensível que o primeiro, possuindo maior precisão de resultados de análise do traçador na amostra de água.

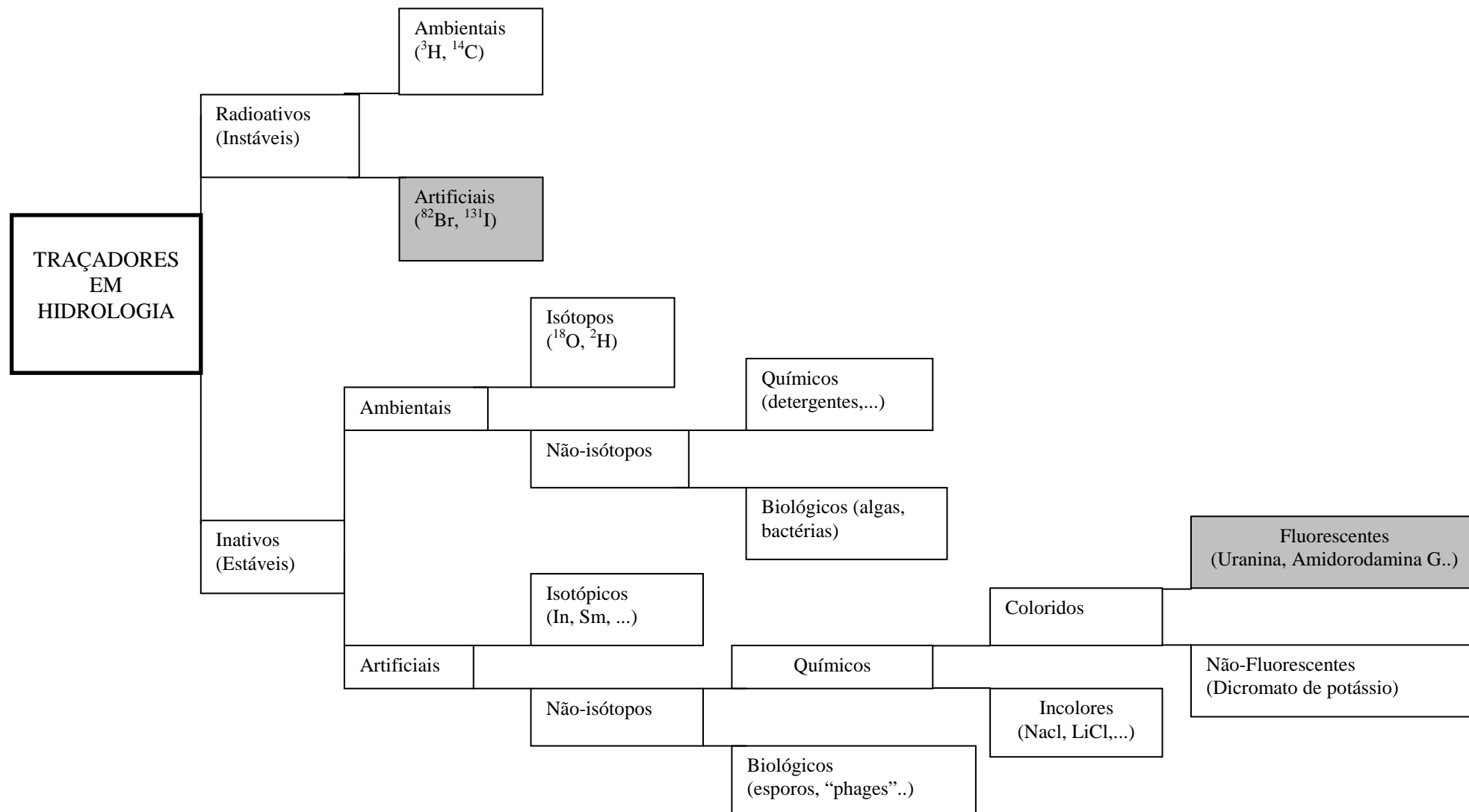


Figura 4 - Classificação dos traçadores utilizados em hidrologia. Os retângulos destacados correspondem aos tipos mais utilizados em hidrologia. Fonte: ROLDÃO (1999).

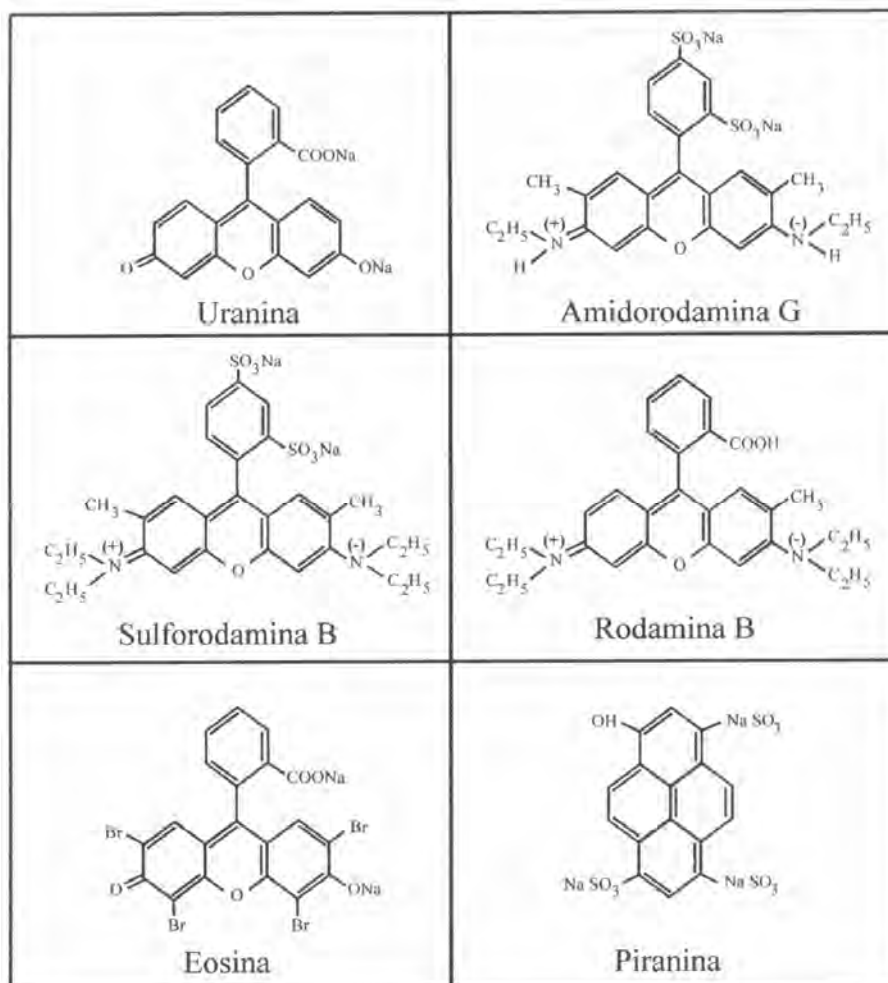


Figura 5 – Fórmulas estruturais dos principais corantes fluorescentes utilizados como traçadores em aplicações hidrológicas.

Os fluorímetros são equipamentos mais simples capazes de executar medições de fluorescência. São equipamentos portáteis, robustos e fáceis de operar, apropriados para uso durante campanhas de medição “in situ”. Seu sistema de medição é constituído por uma lâmpada com espectro de emissão limitado, filtros (primário e secundário) seletores de bandas do espectro, uma válvula fotomultiplicadora que transforma a energia luminosa em energia elétrica e um dispositivo que apresenta os resultados de forma analógica ou digital (Figura 6).

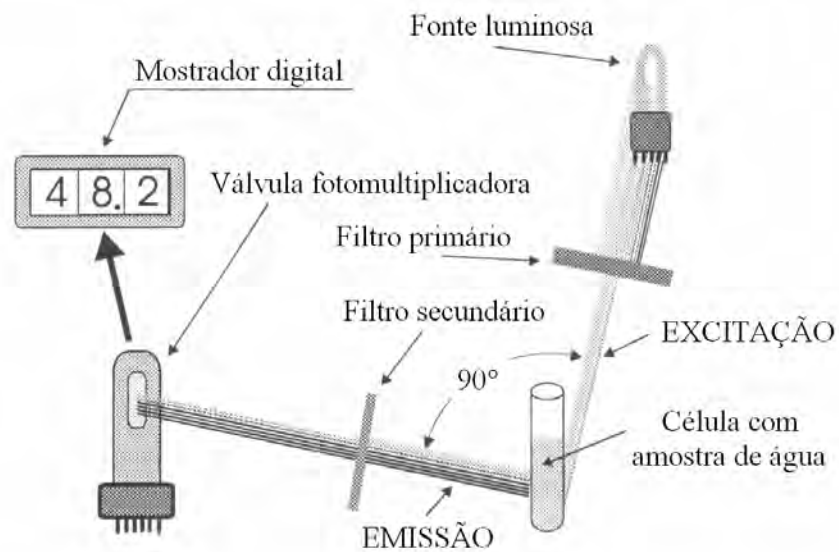


Figura 6 – Esquema simplificado de funcionamento de um fluorímetro utilizado para medição de traçadores fluorescentes. Fonte: ROLDÃO (1999).

O comprimento de onda de emissão é sempre maior que o comprimento de onda de excitação, processo explicado pela física quântica (BENISCHKE, 1989).

Sob o ponto de vista prático, a intensidade de luz fluorescente emitida por uma amostra, sob intensidade de luz constante, é diretamente proporcional à concentração do composto fluorescente.

Em resumo, pode-se dizer que a intensidade da luz emitida:

- é proporcional à intensidade da luz de excitação;
- é proporcional à concentração do material fluorescente; e
- tem um espectro de excitação característico.

Os comprimentos de onda que alcançam a amostra são oriundos da fonte de luz e são selecionados pelo filtro de excitação ou primário. Estes comprimentos de onda são escolhidos de modo a promover:

- grande excitação do material em estudo; e
- mínima excitação de qualquer interferência (“background”) presente que fluoresça.

A escolha do filtro de emissão ou secundário é feita de maneira que:

- selecione comprimentos de onda efetivamente emitidos pelo material durante a fluorescência;
- minimize a luz emitida por materiais interferentes que possam estar presentes (“background”); e
- minimize a luz espalhada por turbidez ou reflexão nas paredes da cubeta.

Devido a sua baixa seletividade, normalmente não são feitas análises qualitativas (identificação da amostra) em fluorímetros. As medições são feitas com prévio conhecimento da substância (traçador artificial único) e das condições do ensaio. Uma vez que se conhece o traçador utilizado selecionam-se os filtros.

Os espectrofluorímetros são equipamentos sofisticados e frágeis destinados ao uso em laboratório. Estes equipamentos permitem análises qualitativas e quantitativas precisas e detalhadas.

Seu sistema de medição é constituído por uma lâmpada com espectro de emissão amplo, monocromadores, uma válvula multiplicadora que transforma a energia luminosa em energia elétrica e um dispositivo que apresenta os resultados de forma analógica ou digital.

Dentro do largo espectro de emissão da lâmpada cada um dos comprimentos de onda é selecionado através de um sofisticado sistema ótico (monocromadores). O comprimento de onda selecionado é mostrado numericamente no painel do equipamento.

O sistema ótico constituído por monocromadores de excitação decompõe a luz emitida pela lâmpada (em geral Xenônio) selecionando uma banda estreita de comprimentos de onda (comprimentos de onda de excitação), com precisão de nanômetros, que incide sobre a amostra.

Um segundo conjunto de monocromadores, de emissão ou fluorescência, seleciona uma banda estreita de comprimentos de onda da luz emitida pela amostra.

Cada substância fluorescente possui um par de espectros característicos que podem ser substituídos, de forma sintética, por um par de comprimentos de onda relativos à excitação máxima e fluorescência máxima. Com base nesse fato, a análise qualitativa de uma substância é feita através do levantamento dos espectros de excitação e de fluorescência da substância. De posse de seus espectros ou de seus comprimentos de onda característicos associados à máxima excitação e à máxima fluorescência é possível a identificação da amostra através de comparação com dados da literatura.

2.3.2 – Aplicações de traçadores em Hidrologia

Diversas aplicações hidrológicas podem ser realizadas com traçadores. Podemos classificá-las em duas correntes distintas em função de suas características hidrodinâmicas específicas em: aplicações hidrológicas para águas superficiais e subterrâneas.

a) Exemplos de aplicações com traçadores em águas superficiais

a.1) Determinação de parâmetros de transporte e dispersão para alimentar modelos matemáticos

O emprego de modelos matemáticos, simplificados ou sofisticados, dependem do conhecimento dos valores de parâmetros, cujos valores permitem calibrá-los, ou seja adaptá-los às particularidades locais de transporte e dispersão.

O método mais adequado é através de ensaios de campo com uso de traçadores artificiais. O uso de traçadores propiciam a obtenção de informações, tais como detalhes a respeito das nuvens ou de plumas de traçador.

O uso de traçadores permite determinar, “in situ”, de modo fidedigno e preciso, os valores dos parâmetros que sintetizam as características locais de transporte e dispersão, sem a necessidade do uso de simplificações ou fórmulas empíricas ou semi-empíricas que podem conduzir a avaliações imprecisas. Entretanto, os resultados obtidos devem ser considerados válidos para as condições hidrológicas e meteorológicas reinantes na ocasião do experimento de campo. De modo a otimizar e reduzir os custos, normalmente planeja-se um conjunto mínimo de ensaios, para condições hidrológicas representativas que possam se extrapoladas, de modo seguro, através de modelos matemáticos para cobrir outras situações hidrológicas de interesse.

a.2) Medição de vazão em cursos d'água

Essa técnica é conhecida como método da integração, bastante útil em medições de vazão para águas superficiais, e também, para águas subterrâneas (regiões cársticas), onde é difícil se ter acesso para medir vazão. São hipóteses para aplicação dessa técnica:

- distância de bom misturamento atingida antes da seção de medição mais próxima do local de lançamento da substância (seção mais a montante);
- traçador conservativo; e
- escoamento turbulento e permanente.

A fórmula de cálculo da vazão líquida é:

$$Q = \frac{M}{\int_{t_1}^{t_2} C(t).dt} \quad (18)$$

em que

Q = vazão líquida do escoamento;

M = massa de traçador injetada;

C(t) = concentração de traçador medida após atingida a distância de bom misturamento;

t = tempo contado a partir do instante da injeção; e

$\int_{t_1}^{t_2} C(t).dt$ = área sob a curva de passagem.

a.3) Determinação do coeficiente de reaeração em cursos d'água (K_2)

Alguns gases como o propano (C_3H_8) ou etileno podem ser empregados como gás traçador para a quantificação do coeficiente de reaeração (K_2) em cursos d'água. Este parâmetro é de grande importância em estudos de autodepuração efetuados por meio de modelos de qualidade de água.

a.4) Estudos sedimentológicos

Os traçadores radioativos podem ser utilizados para problemas relacionados com o comportamento dinâmico dos sedimentos, tais como:

- concentração de sedimentos transportados em suspensão nos cursos d'água;
- arraste de sedimentos pelas águas no leito de rios e litoral marinho;
- erosão de terrenos; e
- velocidade de sedimentação.

a.5) Planejamento prévio visando minimizar problemas ocasionados por despejos acidentais de poluentes.

Um planejamento preventivo pode ser efetuado com a utilização de traçadores para:

- determinação da estimativa das taxas de diluição e períodos para os quais as captações e usos da água deverão ser suspensas nos locais à jusante de um despejo de um efluente potencialmente tóxico;
- determinação do tempo de viagem da nuvem de poluente em um trecho de um curso d'água de interesse;
- local a jusante do despejo no qual é provável que o poluente possa representar algum risco.

b) Estudo do movimento de águas subterrâneas

De acordo com BEDMAR (1972), as técnicas nucleares utilizadas em hidrologia subterrânea diferem, sensivelmente, das empregadas em hidrologia superficial. Isto é devido, principalmente ao fato de que as leis que regem o comportamento das águas subterrâneas são, basicamente, distintas das correspondentes para as águas superficiais. Nestas leis são considerados novos parâmetros, cujo conhecimento é imprescindível para definir a natureza do aquífero e estabelecer o modelo hidrológico, tais como: composição mineralógica; estrutura interna; densidade; porosidade; permeabilidade; transmissividade; etc.

Cabe destacar, que o contato íntimo e portanto, a possibilidade de interação entre a água e os materiais sólidos do meio é muito maior que nas águas superficiais. Este íntimo contato acarreta o fato de que numerosas substâncias que se comportam como excelentes traçadores para águas superficiais, não fornecem bons resultados com águas subterrâneas.

As técnicas de aplicação de traçadores em hidrologia subterrâneas podem ser divididas nos seguintes grupos:

- a) técnicas utilizadas na zona não saturada, que se referem, exclusivamente, ao estudo da migração da umidade na zona de umedecimento;
- b) técnicas utilizadas na zona saturada, que fornecem informações sobre os parâmetros do aquífero (porosidade, permeabilidade, transmissividade e dispersividade), e sobre o comportamento dinâmico da água nesta zona.

ROLDÃO, et al. (1987) estudaram o processo de infiltração de água sob a barragem do Reservatório Samuel, na cidade de Porto Velho, região amazônica. Foram utilizados diversos tipos de traçador: artificial (^3H), fluorescentes (Uranina e Eosina) e ambientais (^2H e ^{18}O). Os resultados obtidos demonstraram um bom desempenho, para o trítio artificial e os traçadores ambientais. Já os traçadores fluorescentes não forneceram um resultado positivo, segundo os autores devido provavelmente a sua alta adsorção.

2.4. Métodos de determinação do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L)

De acordo com PAIVA e PAIVA (2001), a obtenção de D_L pode ser feita através experimentos de campo com uso de traçador ou através de equações empíricas. PEREIRA (1999) descreve que a obtenção de D_L por experimentos de campo com traçador são reconhecidamente as mais representativas.

2.4.1. Equações empíricas para determinação de D_L

Nas equações empíricas, de uma forma geral, o coeficiente de dispersão longitudinal é estimado em função das características do rio, com o produto de um coeficiente adimensional por parâmetros do escoamento. Os parâmetros mais utilizados nessas equações são: largura (B), Profundidade (H), velocidade média do escoamento (U), velocidade de cisalhamento (u^*) e densidade do fluido (ρ). Este coeficiente adimensional é normalmente obtido por análises estatísticas e considerações teóricas que têm por base dados experimentais obtidos em ensaios de laboratório ou de campo (DEVENS *et al.*, 2006; RIGO, 1992).

Diversas fórmulas empíricas de predição do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L) são citadas na literatura (BOWIE, 1988; SEO e CHEONG, 1998; RIECHERMANN, 2004 e TAYFUR e SINGH, 2005; DEVENS *et al.*, 2006).

2.4.2. Métodos com uso de traçadores para determinação de D_L

Os métodos com uso de traçadores são aqueles que utilizam as distribuições de concentrações obtidas em ensaios de dispersão longitudinal realizados com substância traçadora para calcular o coeficiente de dispersão longitudinal. Nesses métodos o traçador é injetado no escoamento e amostras de água são coletadas ao longo do tempo em uma ou mais seções à jusante da injeção. Estes métodos têm como base a equação de transporte unidimensional (Eq. 17).

Para condição de fluxo uniforme e traçador conservativo, a equação unidimensional (Eq. 17), que define a dispersão na direção longitudinal do traçador em regime de escoamento permanente de um curso d'água é

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (19)$$

A solução da equação de dispersão unidimensional (Eq. 19) pode ser obtida considerando algumas condições iniciais e de contorno. Considerando a condição inicial equivalente a uma injeção instantânea uniformemente distribuída ao longo da seção

transversal (ou seja, uma quantidade de massa M concentrada num espaço de tempo infinitamente pequeno) no tempo $t = 0$ e na origem do eixo- x .

$$\begin{aligned} C(0, t_0) &= M \delta(x) \\ C(x \neq 0, t_0) &= 0 \end{aligned} \tag{20}$$

em que

$\delta(x)$ é igual a função delta de Dirac

E, considerando as seguintes condições de contorno

$$\begin{aligned} C(-\infty, t) &= 0 \\ C(+\infty, t) &= 0 \end{aligned} \tag{21}$$

A solução é um modelo *fickiano*, também conhecido por modelo de Taylor, dado por:

$$C(x, t) = \frac{M}{A\sqrt{4\pi D_L t}} \exp\left[-\frac{(x - ut)^2}{4D_L t}\right] \tag{22}$$

em que

- C = concentração do constituinte, ou poluente ($M L^{-3}$);
- M = massa de constituinte injetada (M)
- A = área da seção transversal (L^2);
- D_L = coeficiente de dispersão longitudinal ($L^2 T^{-1}$);
- u = velocidade do escoamento ($L T^{-1}$); e
- x e t = variável espacial (x) e temporal (t).

a) Método do ajuste (Modelo de Taylor)

Neste método, o coeficiente de dispersão longitudinal obtido com traçadores é determinado pelo ajuste entre a curva da distribuição experimental de concentrações versus tempo, obtida “in loco” para uma dada seção de monitoramento, com a curva gerada pelo modelo de Taylor (Eq. 22). Por tentativa e erro chega-se ao coeficiente de dispersão longitudinal que atinja a precisão desejada.

Segundo TAYLOR (1954), para validade desta equação supõe-se que o coeficiente de dispersão se mantém constante, fato que só ocorre caso o traçador tenha percorrido uma distância considerável desde o ponto de injeção, denominada distância de bom misturamento (DBM).

b) Método dos momentos

O método dos momentos considera o aumento linear da variância de uma distribuição de concentrações obtida pela Eq. (22), que possui distribuição sob a forma da curva de Gauss.

Da semelhança entre a Eq. (22) com a distribuição gaussiana de frequência, com variância σ^2 , permite concluir que $4\pi D_L t = 2\pi\sigma^2$, de onde se obtêm a relação básica do método dos momentos.

$$D_L = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2}{dt} \quad (23)$$

De acordo com BARBOSA JR et al. (2005a) a aplicação deste método esbarra na necessidade de transformação da variância espacial em variância temporal. Para isto, é imposta uma aproximação pela “hipótese da nuvem congelada”, ou seja, supõe-se que a distribuição que está se dispersando praticamente não muda seu formato durante seu tempo de passagem na seção de monitoramento.

Neste método utiliza-se a seguinte equação

$$D_L = \frac{u^2}{2} \left(\frac{\sigma_{t2}^2 - \sigma_{t1}^2}{t_2 - t_1} \right) \quad (24)$$

em que

D_L = coeficiente de dispersão longitudinal (L^2T^{-1});

u = velocidade média do escoamento (LT^{-1});

$\sigma_{t_2}^2, \sigma_{t_1}^2$ = variância das curvas de passagem de constituinte para as seções de montante e jusante, respectivamente (T^2);

\bar{t}_1, \bar{t}_2 = tempo médio de passagem do constituinte pelas seções de montante e jusante, respectivamente (T).

Segundo PAIVA e PAIVA (2001) diversas limitações práticas estão presentes no escoamento em cursos d'água naturais, que podem alterar significativamente a forma das distribuições de concentração e, conseqüentemente, a precisão do valor de D_L , obtido por este método.

c) Métodos de convolução

Os métodos de convolução são aqueles que geram uma distribuição de concentrações versus tempo para a seção de jusante usando uma equação de transferência, tendo a distribuição experimental da seção de montante como distribuição inicial. O coeficiente de dispersão longitudinal é determinado pelo melhor ajuste entre a curva gerada e a curva experimental da seção de jusante.

Resultados obtidos por RIGO (1992) demonstram que os métodos do ajuste (modelo de Taylor) e o da solução analítica da convolução levam essencialmente aos mesmos valores do coeficiente de dispersão longitudinal.

DEVENS et al. (2006) descrevem que o método da convolução de Fisher ("Routing Procedure") possui boa precisão e tem a vantagem, em relação aos demais, de independer da forma de injeção do traçador.

Outros métodos de determinação do D_L a partir de dados de campo, como o método do pico de concentração deduzido por RUTHERFORD (1994) apud BARBOSA JR, et al.(2005a) e o método gráfico de Chatwin são apresentados e discutidos nos estudos realizados por BARBOSA JR, et al. (2005a e 2005b).

2.5. Trabalhos desenvolvidos com traçadores para determinação do D_L

ROSSO (1986) apud PEREIRA (1999), utilizou técnicas de traçador radioativo (Bromo-82) e fluorescentes (Uranina e Amidorodamina G Extra), para determinar o D_L no Rio Piabanha (RJ), afluente do Rio Paraíba do Sul. Segundo o autor, os traçadores fluorescentes mostraram-se mais adequados para emprego neste tipo de experiência devido às menores dificuldades logísticas, organizacionais, de segurança e de custo.

RIGO (1992) realizou experimentos no Rio Paraíba do Sul utilizando os traçadores Uranina, Amidorodamina G e Sulforodamina B, para calcular o coeficiente de dispersão longitudinal (D_L). O autor comparou valores de D_L obtidos experimentalmente com valores previstos por métodos empíricos e analíticos. Os resultados demonstraram que os métodos empíricos utilizados para determinação de D_L apresentaram uma grande variação de resultados, todos superdimensionando os coeficientes para o Rio Paraíba do Sul. Os valores medidos experimentalmente estiveram em torno de $35 \text{ m}^2/\text{s}$.

SOARES et al. (1996) e SOARES e RIBEIRO (2000) realizaram experimentos de campo com traçadores fluorescentes Uranina e Amidorodamina G Extra, para avaliar a capacidade de transporte e dispersão de poluentes solúveis no Rio Paraíba do Sul, afluente da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul, em um trecho de 27,0 km na área urbana da cidade de Juiz de Fora (MG). Foram realizadas três campanhas de campo com vazões entre $16,0$ a $42,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Os resultados encontrados pelos autores, utilizando o modelo *fickiano* de Taylor revelaram que os valores dos coeficientes de dispersão variaram pouco quando avaliados para baixas vazões ($\sim 18,0 \text{ m}^3/\text{s}$), tendo como valor médio $8,3 \text{ m}^2/\text{s}$ no trecho total. Para a vazão de $42,6 \text{ m}^3/\text{s}$, o valor médio deste coeficiente foi de $29,0 \text{ m}^2/\text{s}$.

PEREIRA (1999) realizou experimentos com traçador Uranina no Rio Muqui do Sul, no Estado do Espírito Santo, para analisar a influência dos métodos de determinação do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L) na simulação de qualidade de água em rios, considerando injeções instantâneas e contínuas de constituintes conservativos e não conservativos. Foram realizadas oito campanhas de campo para determinar o valor do coeficiente de dispersão longitudinal, com vazões variando entre $0,67 \text{ m}^3/\text{s}$ a $12,95 \text{ m}^3/\text{s}$. Os valores de D_L calculados pelo método da convolução (“Routing Procedure”), vararam de $0,89 \text{ m}^2/\text{s}$ a $20,65 \text{ m}^2/\text{s}$. Os resultados mostraram que para o caso de injeção instantânea de um constituinte o valor de D_L é muito sensível ao método empregado para sua determinação. No caso de injeção contínua, há outros parâmetros que influenciam na qualidade de água mais significativamente do que o método de determinação de D_L .

2.6. Análise dimensional

Dentre as diversas aplicações da análise dimensional, uma que se destaca é o auxílio na dedução de equações por meio do teorema de Vaschy-Buckingham ou teorema dos π (BUCKINGHAM, 1915, apud STREETER e WYLIE, 1982). Este teorema descreve que em um dado problema onde aparecem “n” grandezas com “m” dimensões envolvidas, podem ser agrupados em “n-m” grupos adimensionais independentes, chamados termos π (CIRILO et al., 2001; VIANNA, 1997; STREETER e WYLIE, 1982; LENCASTRE, 1972).

Se $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ forem as grandezas envolvidas, e se todas as grandezas são essenciais à solução do problema, deve então existir alguma relação funcional entre elas, tal que

$$f_1(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) = 0 \quad (25)$$

Considerando que $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-m}$, representem grupos adimensionais das grandezas $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ com “m” dimensões envolvidas, então existe uma equação do tipo

$$f_2(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-m}) = 0 \quad (26)$$

SEO e CHEONG (1998) e DEVENS, et al. (2006) desenvolveram trabalhos envolvendo análise dimensional na dedução de equação de dispersão em cursos d’água.

2.7. Análise de regressão

Conforme descreve BUSSAB (1999), uma das preocupações estatísticas ao analisar dados, é a de criar modelos que explicitem estruturas do fenômeno em observação, as quais freqüentemente estão misturadas com variações acidentais ou aleatórias. A identificação destas estruturas permite conhecer melhor o fenômeno, bem como fazer afirmações sobre possíveis comportamentos do mesmo.

Os modelos de regressão são frequentemente utilizados em estudos ambientais para interpretar a relação funcional existente entre as variáveis envolvidas em um fenômeno de interesse.

Pode-se entender a análise de regressão como um conjunto de métodos e técnicas para o estabelecimento de fórmulas empíricas que interpretem a relação funcional entre variáveis com boa aproximação (FONSECA et al., 1985).

Quando existe uma relação funcional entre duas variáveis, trata-se de regressão simples, e quando a relação compreende uma variável (chamada dependente) e duas ou mais variáveis independentes, trata-se de regressão múltipla.

Supondo que Y seja a variável a qual se interessa estudar e prever seu comportamento, é de se esperar que os valores da variável Y (dependente) sofram influência dos outros valores de um número finito de variáveis: X_1, X_2, \dots, X_n (independentes) e que exista uma função “ g ” que expresse tal dependência.

$$Y = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (27)$$

Uma representação mais completa do modelo de regressão para a Eq. (27) inclui o fator aleatório que representa a parte que não pode ser controlada durante um experimento, ou seja, o que não pode ser explicado pelo modelo. Neste sentido, incluindo a variável aleatória “ ϵ ” obtém-se o seguinte modelo de regressão

$$Y = g(X_1, X_2, \dots, X_n) + \epsilon \quad (28)$$

Este fator aleatório, que não pode ser controlado, é também chamado de erro ou efeito residual.

Para realizar a regressão deve-se utilizar um modelo para representar a relação entre as variáveis envolvidas, podendo ser linear, polinomial, exponencial, logarítmica etc.

Definido o modelo de regressão a ser utilizado, o trabalho consiste em estimar os seus parâmetros. Determinados os seus parâmetros a equação obtida como resultado da regressão pode ser utilizada para fins de predição.

Após determinada a relação existente entre as variáveis e construído o modelo deve-se avaliar a confiabilidade deste na predição de valores da variável dependente Y em função das variáveis independentes (X_1, X_2, \dots, X_n).

A avaliação da qualidade do modelo é geralmente obtida com a construção de uma tabela de análise da variância.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Região de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Pomba, afluente da margem esquerda do Rio Paraíba do Sul, apresenta área de drenagem aproximada de 8.700 km² distribuída pelos estados de Minas Gerais (em sua maior parte) e Rio de Janeiro (Figura 7).

O Rio Pomba nasce próximo a Barbacena – MG, na serra da Mantiqueira, num trecho denominado Serra da Conceição, a 1.100 m de altitude, percorrendo cerca de 276 km no sentido sudeste até sua confluência com o Paraíba do Sul. Ao longo deste percurso recebe vários tributários, sendo os mais importantes da margem esquerda o Rio Paraopeba e o Rio Xopotó e da margem direita o Rio Formoso, Rio Novo, Rio Pardo e Ribeirão dos Monos, conforme mostra a Figura 8.

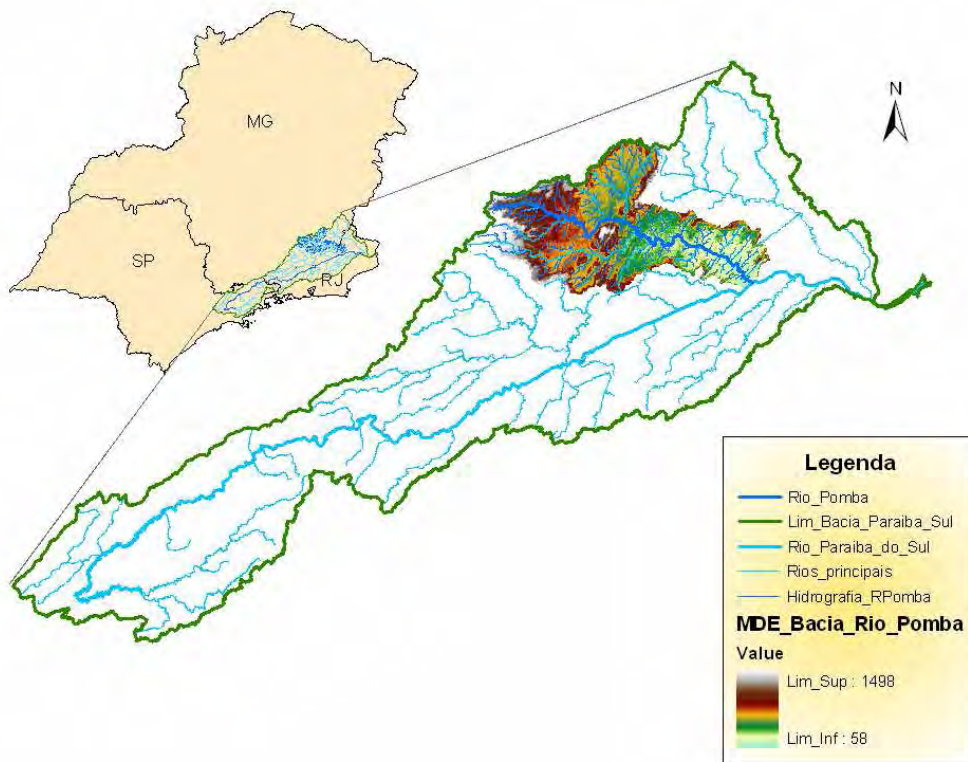


Figura 7 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Pomba.

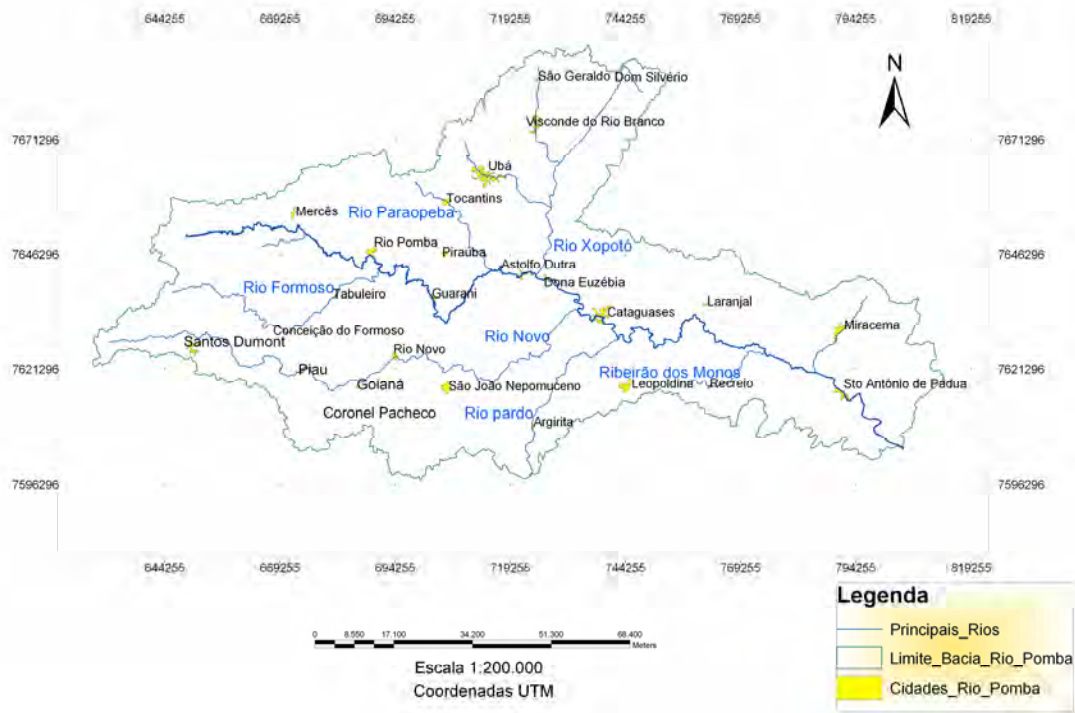


Figura 8 – Bacia hidrográfica do Rio Pomba mostrando seus principais afluentes.

O trecho estudado compreende 36 km do Rio Pomba, localizado entre as cidades de Astolfo Dutra e Cataguases, tendo sido escolhido por apresentar representatividade em termos de usos múltiplos de recursos hídricos, diversidade na ocupação e uso do solo (área urbana e rural) e também por conter os dois principais afluentes da bacia do Rio Pomba (Rio Xopotó e Rio Novo).

3.2. Planejamento logístico e seleção dos traçadores

Para definir as seções de injeção e monitoramento para os experimentos de campo foram realizadas duas visitas de reconhecimento no trecho previamente definido do Rio Pomba, nos dias 28/03/2006 e 03/04/2006, com o objetivo de obter informações acerca das características locais, tais como identificação de locais de fácil acesso para injeção do traçador e locais para coleta de amostras, bem como para a determinação de suas coordenadas com auxílio de GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Outras informações relevantes como localização de estações fluviométricas foram obtidas na Agência Nacional de Águas (ANA) e Companhia Força e Luz Cataguazes-Leopoldina (CFLCL).

A existência de estruturas locais de apoio logístico para alimentação das equipes e estadia também foram levadas em consideração na escolha das seções de monitoramento.

A Figura 9 mostra o local de lançamento dos traçadores e as quatro seções de monitoramento. De posse das coordenadas geográficas destes pontos, obtiveram-se as distâncias das seções de monitoramento ao ponto de injeção de traçador, utilizando para isto o módulo Spatial Analyst do software ArcGIS®, da ESRI.



Figura 9 – Seções de monitoramento de traçadores com suas respectivas distâncias em relação à seção de injeção.

A Tabela 1 apresenta as características das seções de monitoramento ou pontos de controle.

Tabela 1 – Características das seções de monitoramento

Seção	Distância* (km)	Nº de Verticais**	Coordenadas (UTM)	Descrição
1	6,0	3	E 0721781 N 7642066	Ponte sobre o Rio Pomba Cidade de Astolfo Dutra
2	13,0	2	E 0726954 N 7641013	Ponte sobre o Rio Pomba Cidade de Dona Euzébia
3	22,0	2	E 0733527 N 7637587	Ponte sobre o Rio Pomba Vilarejo de Sinimbu
4	36,0	1	E 0738270 N 7632949	Ponte sobre o Rio Pomba Cidade de Cataguases

* Distância em relação à seção de injeção.

** Foram utilizadas três verticais na primeira seção de monitoramento para verificar se a distância de bom misturamento já havia sido atingida. Nas seções 2 e 3 foram utilizadas duas verticais e na seção 4 apenas uma.

Após estabelecer as seções de injeção e monitoramento do traçador foram realizadas algumas simulações utilizando o modelo *fickiano* de Taylor (Eq. 22), arbitrando-se o valor de D_L e u para diferentes regimes hidrológicos, com objetivo de desenvolver um planejamento logístico para realização segura dos experimentos de campo.

As simulações possibilitaram, então, estimar a menor quantidade de traçador necessária para a marcação de todo trecho a ser estudado obtendo-se para a seção de Cataguases, a mais jusante dentre as demais, uma concentração máxima de traçador da ordem de 1,0 ppb. Foi também possível estabelecer um planejamento logístico de movimentação de equipes de coleta de amostras, com objetivo de conseguir obter o monitoramento completo das curvas de passagem, sem perdas de suas partes, e determinar o número mínimo de equipes e o número de seus componentes, bem como os horários de sua movimentação para seções de jusante.

Cabe ressaltar que houve dificuldade em estimar um valor confiável de D_L para as simulações. Inicialmente foram realizadas estimativas do valor de D_L por fórmulas citadas na literatura (BOWIE, 1988; SEO e CHEONG, 1998; RIECHERMANN, 2004 e TAYFUR e SINGH, 2005). Entretanto, em função da grande discrepância entre os valores obtidos, o valor do coeficiente de dispersão longitudinal foi estimado a partir de dados de literatura (SOARES e RIBEIRO, 2000; SOARES et al., 1996).

Foi realizado um treinamento prévio das equipes de campo visando demonstrar os procedimentos utilizados em campanhas de traçador. Durante o treinamento, as equipes foram informadas sobre o objetivo global do estudo e sobre as tarefas específicas de cada um, para o sucesso do experimento, tais como: condições e o correto manuseio dos equipamentos necessários para a realização da coleta, identificação, proteção e acondicionamento de amostras e os horários de início e término da coleta de amostras em cada seção de monitoramento.

Nas vésperas dos experimentos de campo foram verificadas se as condições de vazão do rio estavam de acordo com o planejamento, de modo a evitar perdas de informações com a possível passagem indesejada da nuvem, sob uma seção de monitoramento, sem que a mesma fosse detectada.

Nos dois ensaios de campo foram utilizados os traçadores fluorescentes Uranina ou Fluoresceína Sódica (Acid Yellow 73, “color index” 45350) e Amidorodamina G Extra (Acid Red 52, “Color index” 45220). Essas substâncias orgânicas são empregadas como corantes, sobretudo na indústria têxtil e comercializadas na forma de pó. Tais traçadores apresentam a propriedade de emitirem luz (fluorescem) numa certa faixa de comprimentos de onda quando sobre elas se incide luz (excitação) em outra faixa de menores comprimentos de onda, às quais são sensíveis.

O interesse na utilização do traçador Uranina reside no fato deste ser encontrado com facilidade no mercado nacional a um baixo custo. A utilização do traçador Amidorodamina G Extra foi devida ao fato de ser menos sensível a perdas por foto decomposição ou ação de bactérias. Entretanto, esse corante não se encontra disponível no mercado nacional, tendo um alto custo em relação à Uranina (aproximadamente três vezes maior). Ambos corantes são inócuos à saúde humana, fauna e flora.

Outros fatores foram considerados na escolha destes traçadores por satisfazerem as seguintes condições:

- a) São facilmente solúveis em água, permitindo simular o comportamento do transporte e dispersão do Rio Pomba frente a despejos de efluentes solúveis;
- b) Possuem comportamento idêntico ao da água depois de misturados no meio, representando fidedignamente as características hidrodinâmicas da água;
- c) Pequenas quantidades de Amidorodamina G e de Uranina utilizadas não modificam de forma expressiva a densidade, viscosidade e temperatura da água, não produzindo alterações no fluxo natural do Rio. Estes traçadores permitem traçar grandes volumes de água com quantidades relativamente pequenas;
- d) Os traçadores utilizados possuem característica adicional (fluorescência) que permite diferenciá-los da água do rio. Essa propriedade não existe no trecho de estudo do Rio Pomba, não havendo, assim, interferência no resultado (baixo “background”);
- e) O método de detecção e de medição dos traçadores, “in situ”, é relativamente fácil e de alta eficiência, passível de ser realizado através de equipamentos como fluorímetros;
- f) Não contaminam o meio por grandes períodos de tempo, não interferindo em ensaios futuros. A permanência do traçador no meio é a mesma do ensaio;
- g) São substâncias de fácil manipulação e inócuas para os seres vivos;

- h) Permitem que amostras coletadas no campo sejam de volume reduzido e suficientemente estáveis de modo a possibilitar posteriores análises em laboratório.

3.3. Experimentos de campo

Foram realizados dois experimentos para determinação “in situ” das características de transporte e dispersão do Rio Pomba com o uso dos traçadores fluorescentes Uranina e Amidorodamina G. O primeiro, nos dias 27 e 28 de maio de 2006 e o segundo nos dias 14 e 15 de abril de 2007. Estes experimentos seguiram as instruções conforme os planejamentos logísticos previamente definidos.

No primeiro experimento de campo foram injetados instantaneamente na margem esquerda do rio os traçadores fluorescentes Uranina (1.017 g) e Amidorodamina G (1.565 g), no Rio Pomba (Figura 10), a jusante da barragem Ivan Botelho. A injeção foi realizada no dia 27/05/2006 às 08h00min.

A solução de corante injetada foi preparada diluindo-se os 2.582 g, correspondente à mistura dos dois traçadores em aproximadamente 30,0 litros de água do rio, permitindo uma diluição de 8,6 %, em peso. Vale a pena destacar que, por serem altamente solúveis em água, o limite aproximado de solubilidade de Uranina e Amidorodamina G Extra é de até 15%, em peso. A vazão defluente da usina de Ivan Botelho, que se encontra imediatamente a montante do ponto de lançamento era de 38,8 m³/s no momento do lançamento.



Figura 10 – Injeção instantânea dos traçadores Amidorodamina G e Uranina no Rio Pomba (dia 27/05/2006 as 08:00 h).

No segundo experimento realizado foram injetados instantaneamente 1.520 g de Uranina e 1.460 g Amidorodamina G, as 00h30min do dia 14/04/07 (Figura 11), no mesmo local de injeção do primeiro experimento. A solução de corante injetada foi preparada diluindo-se os 2.980 g de traçadores em aproximadamente 30,0 litros de água do rio, permitindo uma diluição de 9,93 %, em peso. A vazão defluente da usina de Ivan Botelho, que se encontra imediatamente a montante do ponto de lançamento correspondeu a 36,0 m³/s no momento do lançamento.

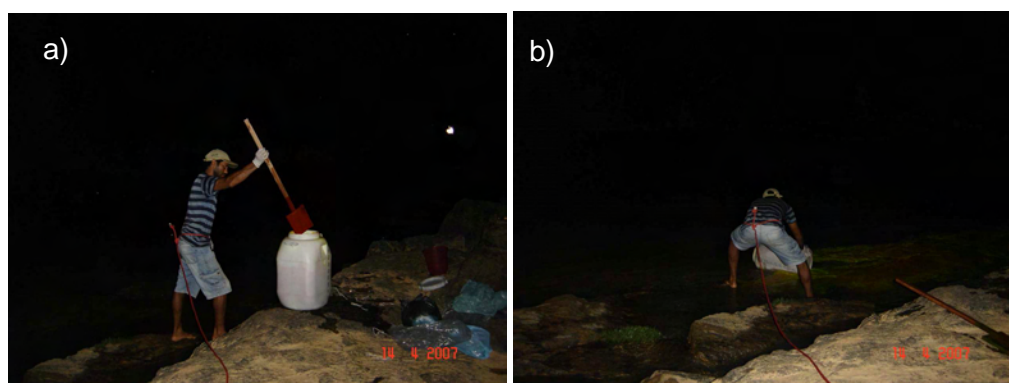


Figura 11 – Injeção instantânea dos traçadores Amidorodamina G e Uranina no Rio Pomba (dia 14/04/2007 as 00:30 h).

O monitoramento do deslocamento da nuvem de traçador foi realizado a partir de coordenadas fixas (seções de monitoramento), caracterizando um monitoramento do tipo euleriano. A Figura 12.a ilustra o momento da coleta de água e a Figura 12.b a transferência da amostra coletada para o recipiente.

Todos os frascos de amostras estavam devidamente identificados com etiqueta contendo o seu número seqüencial, vertical a qual pertence, nome da seção de monitoramento e local para o preenchimento do horário da coleta da amostra. Cabe ressaltar ainda que as amostras coletadas foram preservadas no momento da coleta com adição de clorofórmio (efeito bactericida) e inócua aos traçadores.



Figura 12 – Coleta e armazenamento das amostras na seção 3 (Sinimbu), vertical 2 a 22,0 km do ponto de lançamento do traçador.

A coleta de amostras nas verticais de cada seção de monitoramento foi realizada da seguinte forma:

- Três verticais na primeira seção de monitoramento em Astolfo Dutra, visando a verificação da distância de bom misturamento (DBM), ou seja, se não haveria discrepâncias significativas das concentrações de traçadores entre amostras coletadas em verticais diferentes;
- Duas verticais nas seções de Dona Euzébia e Sinimbu; e
- Uma vertical em Cataguases, uma vez que a distância era suficientemente grande ao ponto de injeção de traçador (36,0 km) para que ocorresse o bom misturamento.

Vale ressaltar que, neste trabalho, quando a coleta foi realizada com três verticais em uma seção de monitoramento do rio, a vertical 1 (V1) foi posicionada próximo a margem esquerda do rio, a vertical 2 (V2) no centro e a vertical 3 (V3) próximo a margem direita. Quando a coleta na seção foi realizada em duas verticais uma posicionou-se próximo à margem esquerda (V1) e a outra próximo à margem direita (V2). E, quando a coleta na seção foi realizada em apenas uma vertical, esta foi posicionada no centro do rio.

Durante as campanhas foi utilizado um fluorímetro Turner Modelo 10 (Figura 13), cedido pelo Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ, equipado com célula de medição discreta e filtros adequados para detecção de Amidorodamina G Extra, previamente calibrado para detectar concentração na faixa de 0,5 a 10,0 ppb. Dessa forma foi possível detectar o início efetivo da passagem da nuvem de traçador em cada seção de monitoramento, bem como tomar decisões acerca da movimentação de equipes de componentes em função do desenvolvimento da nuvem de corantes.



Figura 13 – Detecção do traçador “in loco” através do Fluorímetro.

Foram coletadas aproximadamente 400 amostras de água (volume aproximado de 100 ml) em cada experimento, em intervalos de tempo regular, variando entre 1 a 30 minutos conforme o desenvolvimento hidrodinâmico para jusante da nuvem de traçador. Os horários de coletas foram anotados em etiqueta própria anexada ao recipiente. As amostras foram acondicionadas em recipientes de polietileno âmbar, protegidas da ação da luz solar em engradados de arame recobertos de lona (Figura 14), com objetivo de evitar a fotodecomposição e preservadas com adição de aproximadamente 1,0 mL de clorofórmio, para prevenir a biodegradação.

As amostras foram coletadas em cada seção de monitoramento até a passagem completa da nuvem de traçador sob a mesma. A partir deste momento, a equipe era deslocada para outra seção à jusante, para iniciar novamente as coletas.



Figura 14 – Detalhes da identificação e armazenamento dos frascos de amostras de água.

3.4. Trabalhos de laboratório

Para o primeiro experimento, as amostras coletadas no campo foram levadas ao Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ e analisadas simultaneamente em dois fluorímetros Turner Modelo 10 (Figura 15), um equipado com filtro para Uranina e outro para Amidorodamina G, permitindo determinar as concentrações individuais de cada traçador.

No segundo experimento, as amostras foram analisadas no Laboratório de Qualidade de Água do DEA/UFV, utilizando apenas um fluorímetro Turner Modelo 10, cedido pelo Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ. Dessa forma, foram analisadas, individualmente, as concentrações de cada traçador, no fluorímetro, equipado inicialmente com filtros para Amidorodamina G e posteriormente com filtros para Uranina.



Figura 15 – Determinação das concentrações dos traçadores no Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ.

Neste trabalho foram preparadas concentrações-padrão das retas de calibração de 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 e 10 $\mu\text{g/L}$ (como o diluente é a água, tem-se que 1 $\mu\text{g/L}$ é igual a 1 ppb) no Laboratório de Qualidade de Água do DEA/UFV (Figura 16), utilizando como diluente 20 litros de água coletada no Rio Pomba. Medições fluorimétricas das diluições-padrão permitiram estabelecer retas de calibração de forma a relacionar linearmente as fluorescências concentrações-padrão com as respectivas concentrações. A partir dessas retas, o valor de concentração de cada amostra coletada no campo pôde ser obtido. Como as amostras continham dois traçadores, as concentrações-padrão foram obtidas colocando-se 1 g de cada traçador no primeiro balão volumétrico de um litro de capacidade na série de diluições.



Figura 16 – Determinação, no laboratório de qualidade da água do DEA/UFV, das concentrações-padrão para elaborar a reta de calibração.

No item 1.a do Apêndice A são apresentadas as condições de calibração dos fluorímetros e o processo de obtenção das retas de calibração para os traçadores Uranina e Amidorodamina. Os resultados gráficos das retas de calibração elaboradas para transformação das leituras fluorimétricas em milivolts para concentrações (ppb), para dois experimentos realizados com traçadores, são apresentados nos Itens 2.a, 3.a, 4.a e 5.a do Apêndice A.

Os valores obtidos nas análises das amostras foram transformados para uma mesma escala fluorimétrica, chamada “L100”, visando uniformizar os resultados. Isto ocorreu pelo fato do fluorímetro Turner Modelo 10, utilizado neste estudo, apresentar diferentes escalas de leitura (diferentes ampliações eletrônicas).

Para avaliar a possível influência da variação das condições locais, eletrônicas e de funcionamento do fluorímetro sobre os resultados, foram determinadas diversas retas de calibração ao longo da realização das leituras das amostras de traçador. As concentrações-padrão foram lidas, à medida que se iniciava a leitura de um novo engradado com aproximadamente 50 amostras de uma determinada vertical.

A Tabela 2 apresenta as equações de calibração obtidas para a estimativa das concentrações (ppb) das amostras dos dois experimentos.

Tabela 2 – Equações obtidas das retas de calibração, utilizadas para determinar os valores de concentração (C), em ppb, a partir dos valores lidos por fluorímetros transformados para escala L100, em milivolts

Data de Leitura	Traçador	Hora	Equação*	r²
06/Jun./2006	Amidorodamina	10:00	$C = 0,0112.L100 - 0,0646$	0,99
		15:00	$C = 0,0114.L100 + 0,0063$	0,99
	Uranina	10:00	$C = 0,0111.L100 - 0,1752$	0,99
		15:00	$C = 0,0109.L100 - 0,1299$	0,99
07/Jun./2006	Amidorodamina	08:30	$C = 0,0112.L100 - 0,0476$	0,99
	Uranina	08:30	$C = 0,0112.L100 - 0,1695$	0,99
30/Abr./2007	Uranina	12:30	$C = 0,0116.L100 - 0,4326$	0,99
		13:35	$C = 0,0115.L100 - 0,421$	0,99
		16:15	$C = 0,0119.L100 - 0,3763$	0,99
		17:10	$C = 0,0115.L100 - 0,3407$	1,0
		19:50	$C = 0,0123.L100 - 0,3414$	0,99
		20:45	$C = 0,0126.L100 - 0,3359$	0,99
01/Mai./2007	Uranina	09:55	$C = 0,0124.L100 - 0,4089$	0,99
		11:05	$C = 0,0127.L100 - 0,3759$	0,99
		12:15	$C = 0,0124.L100 - 0,3666$	0,99
		13:00	$C = 0,0125.L100 - 0,3646$	1,0
		13:45	$C = 0,0125.L100 - 0,3646$	1,0
		17:26	$C = 0,0372.L100 - 1,3217$	0,99
01/Mai./2007	Amidorodamina	18:10	$C = 0,036.L100 - 1,2742$	0,99
		18:56	$C = 0,0358.L100 - 1,2345$	0,99
		19:44	$C = 0,0359.L100 - 1,245$	0,99
		20:30	$C = 0,037.L100 - 1,3071$	0,99
		21:15	$C = 0,0357.L100 - 1,1934$	0,99
		21:55	$C = 0,0367.L100 - 1,2405$	0,99
		22:35	$C = 0,0367.L100 - 1,2196$	0,99
		23:10	$C = 0,037.L100 - 1,2521$	0,99

Foram comparadas as diversas equações apresentadas na Tabela 2, tomando como referência valores de leituras em milivolts, para Uranina e Amidorodamina G, correspondentes ao pico da passagem da nuvem de traçador pela seção de Astolfo Dutra (Vertical 1). Os resultados indicaram que a maior flutuação dos valores, após a calibração do fluorímetro, correspondeu a 3,29 %. Desta forma pode-se dizer que a variação local eletrônica e do aparelho ao longo das medições pouco influenciou os resultados das análises.

O aparelho foi re-calibrado entre os horários de 17:10 e 19:50 h durante as medições de Uranina nos dias 30/04/2007 a 01/05/2007.

3.5. Determinação do D_L pelo método do ajuste

O valor de D_L foi estimado aplicando-se o método do ajuste ou modelo *fickiano* de Taylor (Eq. 22), obtido a partir da solução da equação de transporte advectivo-dispersivo unidimensional (Eq. 19).

A solução analítica definida pela Eq.(22), embora seja derivada originalmente para tubulações, tem sua aplicação bastante difundida para o caso de escoamentos naturais devido principalmente à sua simplicidade e aos resultados bastante aceitáveis, sob o ponto de vista de engenharia, que ela fornece (HUNT, 2006; SWAMEE, et al.; 2000; CLARK et al., 1996; ROLDÃO & SOARES, 1989).

Como a hipótese de conservação da massa é a base para a dedução da equação de dispersão unidimensional, o ajuste do modelo às curvas de passagem só deve ser feito entre curvas que tenham a mesma área. Sendo assim, foi utilizado um fator de correção de massa (FC), obtido dividindo a massa recuperada da curva de jusante com a massa de montante.

3.6. Desenvolvimento de equação para predição do D_L

Neste trabalho foi desenvolvida uma equação para determinar o coeficiente de dispersão longitudinal a partir de resultados experimentais obtidos em ensaios de traçadores fluorescentes realizados na região da Zona da Mata Mineira, nas bacias dos rios Pomba e Paraibuna, adjacentes e pertencentes à bacia do Rio Paraíba do Sul, em sua parte mineira (Figura 17). Os dados utilizados do Rio Paraibuna foram obtidos de estudos anteriores que realizaram experimentos com traçadores (SOARES e RIBEIRO, 2000; SOARES et al, 1996).

A importância do desenvolvimento de uma equação justifica-se pela simplicidade de obtenção de D_L , quando comparados aos métodos de campo, que utilizam traçadores que exigem equipamento e técnicos especializados, além de demandarem um custo relativamente alto para realização de trabalhos de campo.

No desenvolvimento da equação proposta neste trabalho foram aplicadas as metodologias utilizadas por SEO e CHEONG (1998) e BRODKEY (1967) apud DEVENS et al. (2006). De acordo com os estudos desenvolvidos por esses autores, os fatores que mais influenciam a dispersão de poluentes em escoamentos naturais podem ser classificados em três grupos: a) propriedades dos fluidos representadas pela densidade do fluido e a sua viscosidade; b) características hidráulicas de escoamento, representadas pela velocidade média na seção, velocidade de cisalhamento, largura e profundidade do canal; e c) configuração geométrica do curso d'água representada pela sinuosidade e a forma do leito do canal.

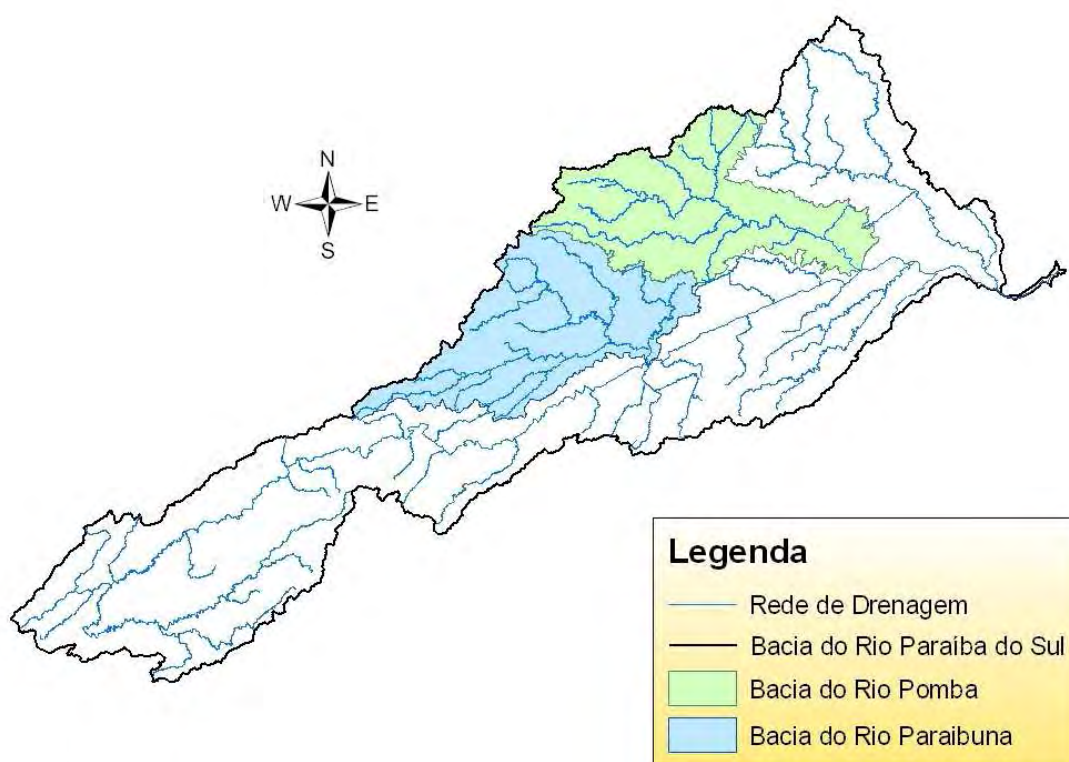


Figura 17 – Localização das bacias dos Rios Pomba e Paraibuna.

Tomando o valor de D_L como variável dependente, pode-se expressar a relação

$$D_L = f_1 (\rho, \nu, U, u_*, H, B, S_n, S_f) \quad (29)$$

em que

ρ = massa específica do fluido (ML^{-3});

ν = viscosidade cinemática do fluido (L^2T^{-1});

U = velocidade média na seção (LT^{-1});

u_* = velocidade de cisalhamento ($u_* = \sqrt{g.R_H.S_0} \sim \sqrt{g.H.S_0}$) (LT^{-1});

H = profundidade média do canal (L);

B = largura do canal (L);

S_n = sinuosidade do curso d'água;

S_f = forma do leito do curso d'água.

Os fatores de sinuosidade do canal (S_n) e forma do leito e (S_f), não foram considerados neste estudo.

Assim, a determinação de D_L passou a ser obtida em função dos parâmetros relacionados a seguir.

$$D_L = f_2 (\rho, \nu, U, u_*, H, B) \quad (30)$$

3.6.1. Análise dimensional

Aplicando o teorema de Vaschy-Buckingham ou teorema dos π , foram escolhidas as dimensões M, L e T como fundamentais na especificação dos sete parâmetros envolvidos: $[D_L] = L^2T^{-1}$; $[\rho] = ML^{-3}$; $[\nu] = L^2T^{-1}$; $[U] = LT^{-1}$; $[u_*] = LT^{-1}$; $[H] = L$; $[B] = L$. Seguindo a metodologia adotada por DEVENS et al. (2006) foram definidos os parâmetros ρ , u_* e H como grandezas básicas ou parâmetros repetitivos. Com sete parâmetros dimensionais e três parâmetros repetitivos restaram quatro grupos adimensionais a determinar, conforme mostra a Eq.(31).

$$\pi_1 = f_3 (\pi_2, \pi_3, \pi_4) \quad (31)$$

Escrevendo os parâmetros π na forma de expoentes a determinar, resolvendo o sistema de equações e substituindo os resultados na expressão dos π (Eq.31), chega-se aos seguintes grupos adimensionais:

$$\frac{D_L}{u_* H} = f_4 \left(\frac{B}{H}, \frac{u_*}{U}, Re_* \right) \quad (32)$$

em que

$$Re_* = \frac{u_* \cdot H}{\nu}, \text{ número de Reynolds.}$$

3.6.2. Análise de regressão

Após definir os grupos adimensionais entre os principais parâmetros que influenciam na determinação do D_L , conforme análise dimensional (Eq. 32), foi adotado o modelo potencial para descrever a relação de dependência entre as variáveis conforme apresentado a seguir.

$$\frac{D_L}{u_* H} = k \left(\frac{B}{H} \right)^{\beta_1} \left(\frac{u_*}{U} \right)^{\beta_2} (Re_*)^{\beta_3} \quad (33)$$

Para possibilitar a aplicação da técnica de regressão linear múltipla, foi utilizado o método da linearização (MILONE, 2004), reescrevendo a Eq. (33) na fórmula logarítmica

$$\log \left(\frac{D_L}{u_* H} \right) = \log k + \beta_1 \cdot \log \left(\frac{B}{H} \right) + \beta_2 \cdot \log \left(\frac{u_*}{U} \right) + \beta_3 \cdot \log (Re_*) \quad (34)$$

Apresentando, assim, a seguinte forma linear:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} \quad (35)$$

em que “i” é igual ao número de observações. Neste caso $i = 1, 2, \dots, 8$ e $\beta_0 = \log k$.

A estimativa dos parâmetros β foi realizada, então, com base nos dados obtidos nos experimentos de campo para as duas bacias (Pomba e Paraibuna), conforme mostra a Tabela 1.b (Apêndice B). Os dados foram analisados utilizando o pacote estatístico SAEG (Sistema para Análises Estatísticas), versão 9.1 de 2007.

Na Tabela 1.b (Apêndice B) estão relacionadas as informações das oito observações realizadas com utilização de traçadores fluorescentes nos Rios Pomba e Paraibuna. Os

valores de D_L foram obtidos pelo método do ajuste, por RIBEIRO et al. (2007); SOARES e RIBEIRO (2000); SOARES et al. (1996).

As características hidrogeométricas dos cursos d'água, para os locais de monitoramento, utilizados na dedução da equação, foram obtidas a partir das curvas de descarga das estações fluviométricas, a saber: estação 58735000 (Astolfo Dutra); estação 58770000 (Cataguases), ambas no Rio Pomba e estação 58480500 (Juiz de Fora Jusante), no Rio Paraibuna, todas pertencentes à rede da Agência Nacional de Águas (ANA). Foram escolhidos dados de medições cujas vazões eram iguais às dos dias de realização dos ensaios com traçadores. Vale ressaltar que estas estações fluviométricas coincidem exatamente com os locais correspondentes as seções de monitoramento utilizadas na determinação do D_L , o que permitiu estimar as características hidrogeométricas do curso d'água em função da vazão correspondente a cada experimento, para estas seções.

Os valores de declividade foram obtidos a partir do modelo digital de elevação do terreno para as bacias do Rio Pomba e Rio Paraibuna, utilizando o módulo Spatial Analyst do software ArcGIS®, da ESRI.

3.7. Comparação entre o desempenho de diversas fórmulas empíricas

Foi realizada uma comparação do desempenho de diversas equações empíricas propostas na literatura inclusive a desenvolvida neste estudo, para predição do coeficiente de dispersão longitudinal, com valores de coeficiente de dispersão obtidos experimentalmente por técnicas de traçador. A Tabela 3 apresenta as equações empíricas utilizadas para fins de comparação (BOWIE, 1988; SEO e CHEONG, 1998; RIECKERMANN, 2004; TAYFUR e SINGH, 2005 e DEVENS et al., 2006).

Trabalhos envolvendo a comparação entre valores observados e os estimados por fórmulas empíricas na predição do coeficiente de dispersão longitudinal, como RIECKERMANN et al. (2004), TAYFUR e SINGH (2005), SEO e CHEONG (1998), utilizaram o método da razão de discrepância (R_d) e o da raiz do erro médio quadrático (REMQ) para avaliar o desempenho das equações.

Neste estudo, além de utilizar estes dois métodos, foi utilizado também um terceiro método definido como índice de desempenho (c), proposto por CAMARGO e SENTELHAS (1997), originalmente utilizado na comparação de modelos de evapotranspiração, mas que apresenta grande potencial na comparação de outros tipos de modelos.

Tabela 3 – Fórmulas empíricas para predição do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L) em rios e canais abertos. Fonte: BOWIE (1988), SEO e CHEONG (1998), RIECHERMANN (2004), TAYFUR e SINGH (2005) e DEVENS (2006)

Autor	Equação
Elder (1959)	$D_L = 5,93 H.u^*$ (36)
Parker (1961)	$D_L = 14,28.Rh^{3/2}.\sqrt{2.g.S_0}$ (37)
Glover (1964)	$D_L = 500.Rh.u^*$ (38)
McQuivey (1974)	$D_L = 0,058.\frac{H.U}{S_0}$ (39)
Fischer (1975)	$D_L = 0,011.\frac{U^2.B^2}{u^*.H}$ (40)
Liu (1977)	$D_L = 0,18.\left(\frac{U}{u^*}\right)^{1/2}\left(\frac{B}{H}\right)^2.H.u^*$ (41)
Iwasa (1991)	$D_L = 2,0.\left(\frac{B}{H}\right)^{3/2}H.u^*$ (42)
Seo & Cheong (1998)	$D_L = 5,915.(H.u^*)\left(\frac{B}{H}\right)^{0,62}\left(\frac{U}{u^*}\right)^{1,428}$ (43)
Huisman (2000)	$D_L = 0,003.\frac{U^2.B^2}{H.u^*}$ (44)
Deng et. al (2001)	$D_L = 0,15.\left(\frac{H.u^*}{8.\epsilon_{t0}}\right)\left(\frac{B}{H}\right)^{5/3}\left(\frac{U}{u^*}\right)^2$ (45)
	$\epsilon_{t0} = 0,145 + \left(\frac{1}{3520}\right)\left(\frac{U}{u^*}\right)\left(\frac{B}{H}\right)^{1,38}$
Falconer (2002)	$D_L = 10,612.(H.U)\left(\frac{U}{u^*}\right)$ (46)
DEVENS et al. (2006)	$D_L = 3,55 \times 10^{-4} \frac{U^{-0,793}.B^{0,739}}{H^{1,610}.S_0^{0,026}}$ (47)

Parâmetros: H = profundidade média da seção;

$u^* = \sqrt{g.R_h.S_0}$ = velocidade de cisalhamento;

R_h = raio hidráulico;

g = aceleração da gravidade;

S_0 = declividade do leito;

B = largura da seção transversal do curso d'água;

ϵ_{t0} = coeficiente de difusão transversal.

Nos três métodos de comparação, adotou-se como valores observados (O_i) ou medidos, aqueles obtidos por PEREIRA (1999) através de técnicas de traçadores (Tabela 1.c, Apêndice C), em que foi utilizado a convolução de Fischer ou “Routing Procedure” para determinação de D_L ; e como valores estimados (E_i) de D_L , aqueles obtidos por cada uma das fórmulas empíricas apresentadas na Tabela 3.

O primeiro método comparativo utilizado foi o da razão de discrepância (R_d) definido por WHITE et al. (1973) apud SEO e CHEONG (1998), dado por

$$R_d = \log \frac{E_i}{O_i} \quad (48)$$

Nesse método, se a razão de discrepância (R_d) for zero, a predição do valor do coeficiente de dispersão longitudinal é idêntica ao coeficiente de dispersão medido. Se a razão de discrepância é maior que zero, a predição do coeficiente de dispersão é superestimada, e se a razão de discrepância é menor do que zero, é subestimado. Quanto maior o valor da razão de discrepância (R_d), mais distante está o conjunto dos dados estimados (E_i) dos valores observados (O_i).

O segundo método utilizado foi a raiz do erro quadrático médio (REMQ), onde

$$REMQ = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [E_i - O_i]^2} \quad (49)$$

O terceiro método comparativo utilizado foi o índice de desempenho (c), proposto por CAMARGO e SENTELHAS (1997). Nesse método, ao correlacionar os valores estimados (E_i) com os medidos (O_i), utilizando regressão linear, são considerados os seguintes indicadores estatísticos: “precisão” – coeficiente de correlação (r); “exatidão” – índice de Willmott (d); e de confiança ou desempenho (c).

A precisão é dada pelo coeficiente de correlação, em que os valores absolutos do coeficiente indicam o grau de dispersão dos dados obtidos em torno da função de ajustamento (MILONE, 2004). Vale ressaltar que o coeficiente de correlação (r) varia entre -1 e 1. Uma correlação próxima de zero indica que as duas variáveis não estão relacionadas. Uma correlação positiva indica que as duas variáveis movem-se juntas e a relação é forte quanto mais o valor se aproxima de 1. Uma correlação negativa indica que

as duas variáveis movem-se em direções opostas e que a relação fica mais forte quanto mais próxima de -1 a relação ficar. Se as variáveis estão perfeitamente correlacionadas positivamente ($r = 1$) movem-se essencialmente em perfeita proporção na mesma direção, enquanto que dois conjuntos que estão perfeitamente correlacionados negativamente movem-se em perfeita proporção em direções opostas (FONSECA, 1985).

A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente essa aproximação é dada por um índice designado de concordância, representado pela letra “d” (WILLMOTT et al., 1985). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para a concordância perfeita. Conforme ROBINSON e HUBBARD (1990) apud PEREIRA (2004), valores de “d” acima de 0,75 são considerados satisfatórios. O índice é dado pela seguinte expressão:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (50)$$

em que

- d = índice de concordância;
- E_i = Valor estimado para o i-ésimo evento;
- O_i = valor observado para o i-ésimo evento;
- \bar{O} = média dos valores observados.

Isto posto, o índice (c) proposto por CAMARGO e SENTELHAS (1997) é dado pelo produto do índice de precisão, correspondente ao coeficiente de correlação (r), com o índice de concordância (d) proposto por WILLMOTT (1981)

$$c = r \cdot d \quad (51)$$

CAMARGO e SENTELHAS (1997) apresentam os valores para interpretação do desempenho (c) dos modelos quanto à sua exatidão (Tabela 4)

Tabela 4 – Critérios para análise do desempenho (c) de um modelo

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	péssimo

Fonte: CAMARGO e SENTELHAS (1997).

3.8. Desenvolvimento de um sistema de alerta para rios

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema computacional de alerta com objetivo de prever o transporte e dispersão de poluentes solúveis em rios, visando subsidiar a tomada de decisão nos processos de gerenciamento dos recursos hídricos. Este sistema foi desenvolvido tomando como estudo de caso a bacia hidrográfica do Rio Pomba - MG.

Para a construção da interface gráfica com o usuário foi escolhida a linguagem de programação Java e o banco de dados MySQL para armazenar as informações sobre as amostras de traçadores coletadas no Rio Pomba, bem como os dados gerados pelos referidos modelos.

O sistema está dividido em duas partes principais:

- a primeira possibilita calcular o valor de parâmetros hidrodinâmicos do rio, tais como o coeficiente de dispersão longitudinal (D_L) e a velocidade média de escoamento (u), a partir de resultados experimentais com utilização de traçadores, ou por fórmulas empíricas propostas na literatura. Estas informações serão necessárias para a simulação do sistema de alerta, uma vez que os parâmetros hidrodinâmicos devem ser conhecidos para efetuar a simulação.
- a segunda parte trata do “sistema de alerta” propriamente dito, onde é possível simular o efeito de um despejo instantâneo ou contínuo de efluente em uma determinada seção de interesse à jusante, à partir do conhecimento dos parâmetros hidrodinâmicos do rio (D_L e u) previamente definidos.

3.8.1. Determinação das características hidrodinâmicas do rio utilizando traçador

Para determinar a capacidade de transporte e dispersão em rios através de resultados obtidos por experimentos de campo, com uso de traçador, é necessário manipular um grande volume de informações, provenientes das condições do despejo e das condições hidrogeométricas (vazão, velocidade, área da seção transversal) do rio.

Neste sentido, o sistema desenvolvido permite armazenar, em banco de dados próprio e manipular grande quantidade de informações, possibilitando determinar as características hidrodinâmicas do rio a partir de resultados experimentais com técnicas de traçador.

Sendo assim é necessário fornecer inicialmente ao sistema informações a respeito da campanha realizada, de forma alimentar o banco de dados, com os seguintes dados: nome do rio; nome da seção de monitoramento; vertical de coleta; traçador utilizado; características da campanha como data, hora da injeção do traçador e massa injetada; características da seção de monitoramento, tais como: vazão e velocidade na seção e distância ao ponto de injeção; e os valores dos resultados das coletas de amostras, tais como: hora da coleta, leitura no fluorímetro (em milivolts) e a respectiva escala da leitura.

Uma vez que as informações da campanha tenham sido cadastradas, o sistema possibilita determinar os parâmetros hidrodinâmicos utilizando a solução de Taylor (Eq.21), para um lançamento instantâneo do soluto, ou utilizando o método da convolução para o caso de um lançamento contínuo.

Adicionalmente, foram implementadas fórmulas empíricas de predição do D_L , permitindo determiná-lo para quaisquer condições hidrogeométricas do rio.

O método de convolução utiliza o princípio da superposição para gerar, por meio de uma integral de convolução da distribuição de montante, a distribuição da concentração numa seção de jusante, conforme mostrado a seguir.

$$C(x_2, t) = \int_{\tau_i}^{\tau_f} \frac{m(x_1, \tau) u}{2 Q_2 \sqrt{\pi D_L (t - \tau)}} \exp\left\{-\frac{[\Delta x - u(t - \tau)]^2}{4 D_L (t - \tau)}\right\} d\tau \quad (52)$$

em que

$C(x_2, t)$ = concentração de traçador (ou contaminante) na seção de jusante no tempo t , composta pela superposição das respostas das unidades instantâneas de discretização de massas, provenientes da curva de distribuição de concentrações de montante;

- $m(x_1, \tau)$ = unidade de massa de traçador (ou contaminante) medida na seção a montante, pelo fatiamento da área sob a curva, em um instante τ ;
- τ = instantes de tempo correspondente à passagem da curva de distribuição de concentrações pela seção de montante;
- τ_i = instante de tempo correspondente ao início da curva distribuição de concentrações pela seção de montante;
- τ_f = instante de tempo correspondente ao fim da passagem da curva de distribuição de concentrações pela seção de montante;
- t = instantes de tempo correspondente à passagem da curva de distribuição de concentrações pela seção de jusante;
- Q_i = vazão do rio na seção considerada, onde i pode valer 1 ou 2. Quando for 1, representa a seção de montante e 2, a seção de jusante.
- Δx = distância entre as seções de montante e jusante do curso d'água.

O cálculo de cada massa instantânea obtida pelo fatiamento da curva de distribuição de concentrações de montante é dada por

$$m(x_1, \tau) = \left[\frac{[C(x_1, \tau + 1) + C(x_1, \tau)] [(\tau + 1) - \tau]}{2} \right] \cdot Q_1 \quad (53)$$

O sistema permite determinar automaticamente a velocidade média e a capacidade de dispersão do rio (D_L) no trecho de estudo, ou interativamente, a partir do ajuste do modelo *fickiano* de Taylor ou da convolução aos valores de concentrações da curva de passagem determinados por experimento de campo com uso de traçador.

Na opção de ajuste automático, é utilizado o erro quadrático médio (EMQ) para determinar automaticamente a melhor combinação de valores de velocidade u e D_L , de modo que o erro quadrático médio entre os valores medidos por experimentos e os valores ajustados pelos modelos sejam os menores possíveis.

$$EMQ = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [E_i - O_i]^2 \quad (54)$$

Na opção de ajuste manual, os valores do coeficiente de dispersão e de velocidade média do trecho em estudo são fornecidos interativamente pelo usuário até que visualmente o ajuste do modelo aos valores medidos seja o melhor possível.

3.8.2. Simulações dos efeitos de despejos de efluentes com o sistema de alerta

O sistema de alerta possibilita prever o tempo de percurso da nuvem de poluentes a partir de um despejo instantâneo ou contínuo de um efluente e apresentar graficamente a distribuição temporal de concentrações da passagem da nuvem de poluentes, em um determinado local, a jusante do ponto do seu lançamento.

Dessa forma, é possível simular o transporte de um poluente solúvel e conservativo sob determinadas condições hidrogeométricas, em caso de despejos acidentais ou intencionais, visando alertar os diversos usuários de água do rio.

Foram implementados o método do ajuste (Eq. 22) e o da convolução (Eq. 52) para prever o transporte e dispersão de poluentes a partir de uma fonte instantânea ou contínua de poluente, respectivamente, sendo que essas equações são utilizadas, neste caso para, prever o transporte e a distribuição de concentrações de um poluente solúvel para qualquer local a jusante de um lançamento, funcionando como um sistema de alerta para os diversos usuários de água do rio. Neste caso, o D_L deixa de ser a incógnita e passa a ser um importante parâmetro na alimentação dos modelos.

Cabe ressaltar que no caso de um lançamento contínuo, por exemplo de uma indústria, é necessário fornecer os valores da vazão lançada por essa, ao longo do tempo e a concentração da substância no lançamento, para o cálculo da concentração de primeira instância ou da mistura, calculada através da seguinte fórmula.

$$C_M = \frac{C_R \cdot Q + C_E \cdot Q_E}{Q + Q_E} \quad (55)$$

em que

- C_R = concentração da substância no rio;
- Q = vazão do escoamento do rio;
- C_E = concentração da substância no efluente;
- Q_E = vazão do efluente;
- C_M = concentração de primeira instância ou da mistura.

A Figura 18 ilustra o fluxograma de funcionamento do sistema.

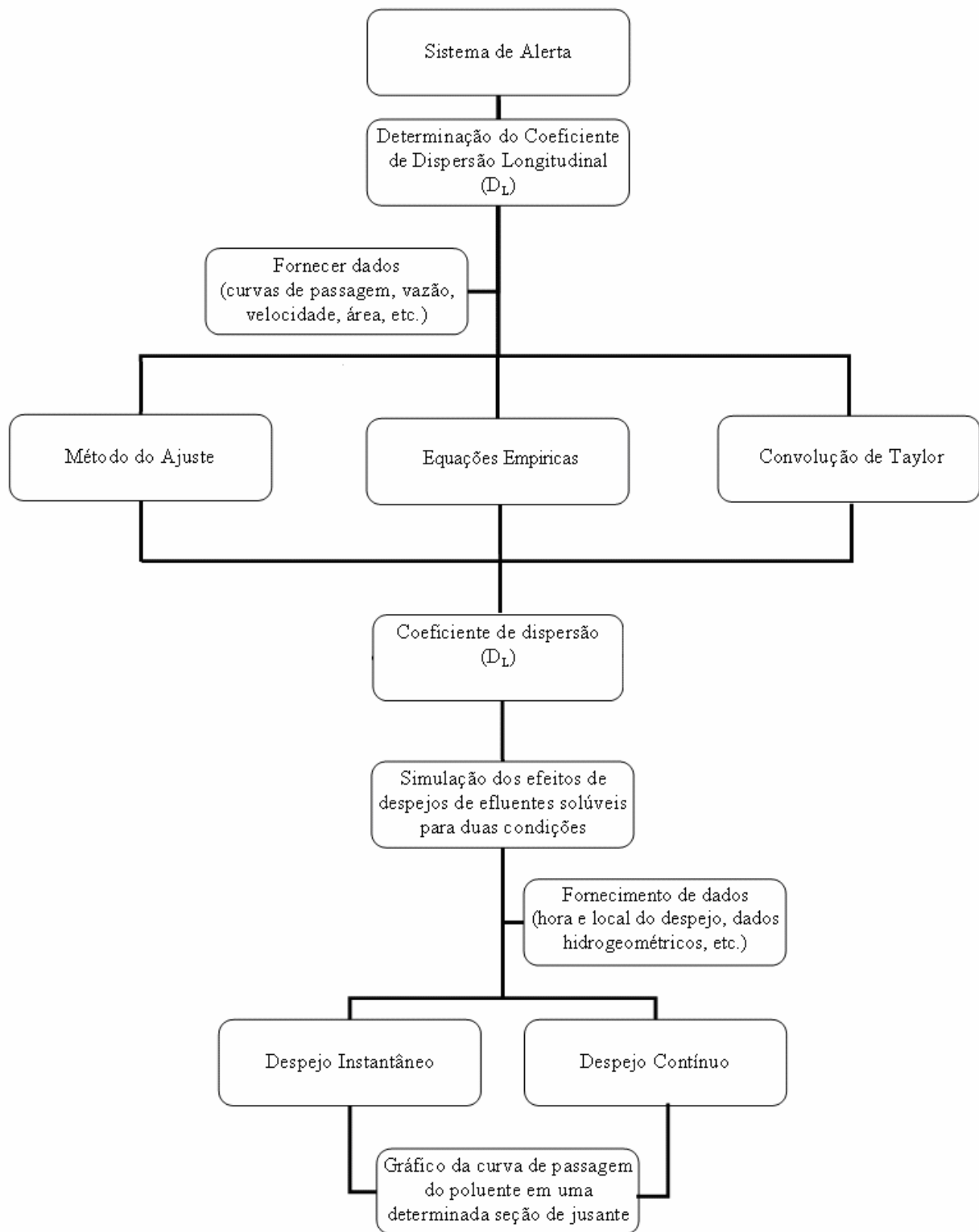


Figura 18 – Fluxograma de funcionamento do sistema.

4. RESULTADOS

4.1. Experimentos de campo

A análise das amostras coletadas nas diversas seções e verticais ao longo do trecho de estudo do Rio Pomba possibilitou determinar as curvas de variação de concentração versus tempo (curvas de passagem) conforme mostram as Figuras 19 e 20, resultados do primeiro experimento com traçador, realizados nos dias 14 e 15/04/2006. Da mesma forma foram construídas as curvas de passagem para o segundo experimento de campo realizado nos dias 27 e 28/05/07, conforme apresentado no Apêndice D.

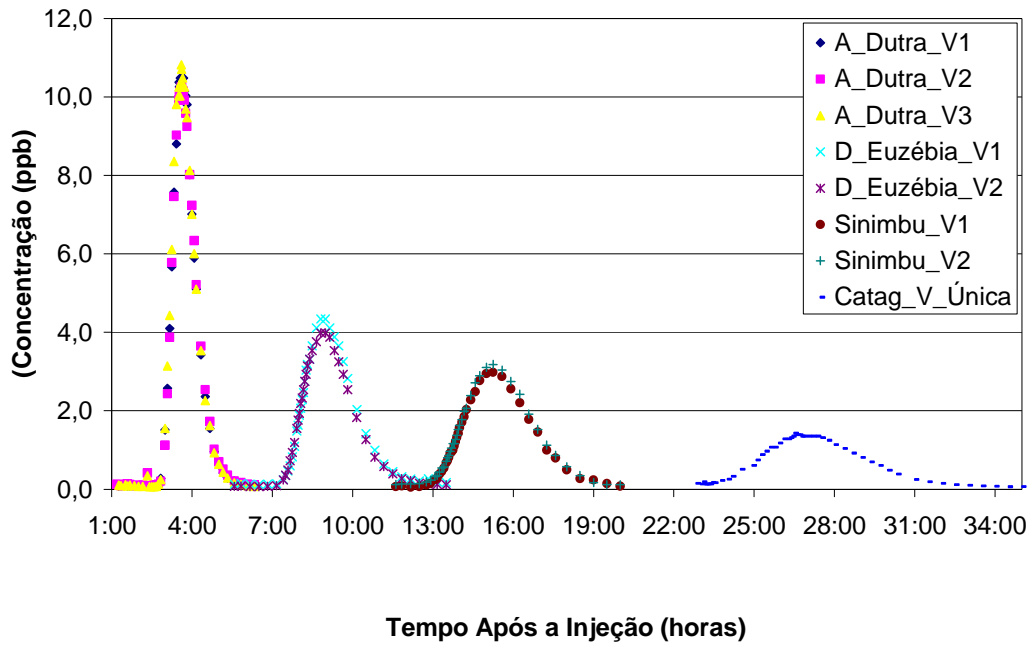


Figura 19 – Curvas de passagem do traçador Amidorodamina Extra obtidas nas quatro seções e verticais (Vi) de monitoramento do Rio Pomba (experimento realizado nos dias 27 e 28/05/2006).

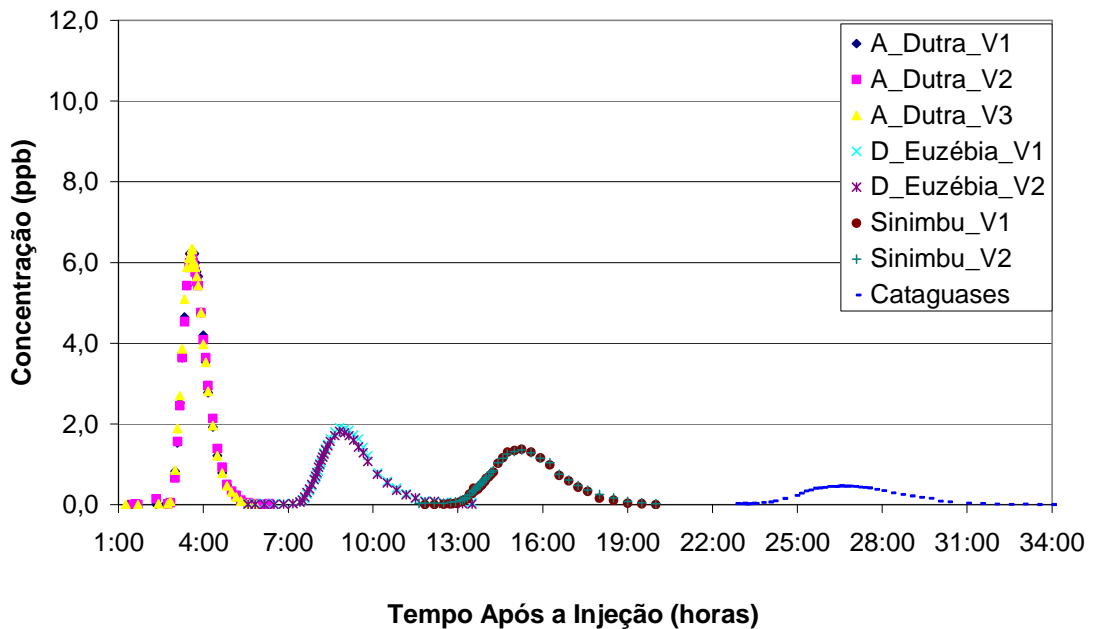


Figura 20 – Curvas de passagem do traçador Uranina obtidas nas quatro seções e verticais (Vi) de monitoramento do Rio Pomba (experimento realizado nos dias 27 e 28/05/2006).

Analisando as Figuras 19 e 20, pode-se perceber que, à medida que os traçadores são transportados para jusante, ocorre um abatimento no valor da concentração de pico do soluto e, simultaneamente, um achatamento no formato da curva, evidenciando o efeito da dispersão da substância solúvel, ou poluente, no curso d'água.

O tempo de transporte, o início da passagem, o pico de concentração e o término da passagem dos traçadores pelas seções de monitoramento, para as condições hidrodinâmicas presentes nas datas das realizações dos dois experimentos, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempo de início, pico e término das curvas de passagem dos traçadores Amidorodamina G e Uranina, a partir da injeção, nas seções de monitoramento, nos dois experimentos realizados no Rio Pomba

Experimento	Local	Início (hora*)	Pico (hora*)	Término (hora*)
Primeiro 27 e 28/05/06	Astolfo Dutra	02:50	03:37	05:50
	Dona Euzébia	07:25	09:00	11:50
	Sinimbu	13:05	15:15	19:00
	Cataguases	23:25	26:45	32:00
Segundo 14 e 15/04/07	Astolfo Dutra	03:00	03:52	06:00
	Dona Euzébia	07:35	09:10	11:50
	Sinimbu	12:55	14:30	16:45
	Cataguases	21:12	22:50	26:00

* Hora após a injeção dos traçadores.

Conforme apresenta a Tabela 5, ensaios com traçadores permitem quantificar o tempo de transporte de poluentes solúveis injetados em curso d'água natural, facilitando assim a compreensão da hidrodinâmica local.

A Figura 21 apresenta as curvas de passagem do traçador Amidorodamina G Extra, das três verticais (margem esquerda, margem direita e centro do rio) da seção 1 (Astolfo Dutra), situada a 6,0 km do local de injeção. Essas curvas plotadas juntas (Figura 21), possibilitaram avaliar que a nuvem de traçador já havia alcançado, nesta seção, um bom grau de misturamento em toda a seção transversal, possibilitando, dessa forma, aplicar o modelo *fickiano* (Eq.22) a partir deste ponto.

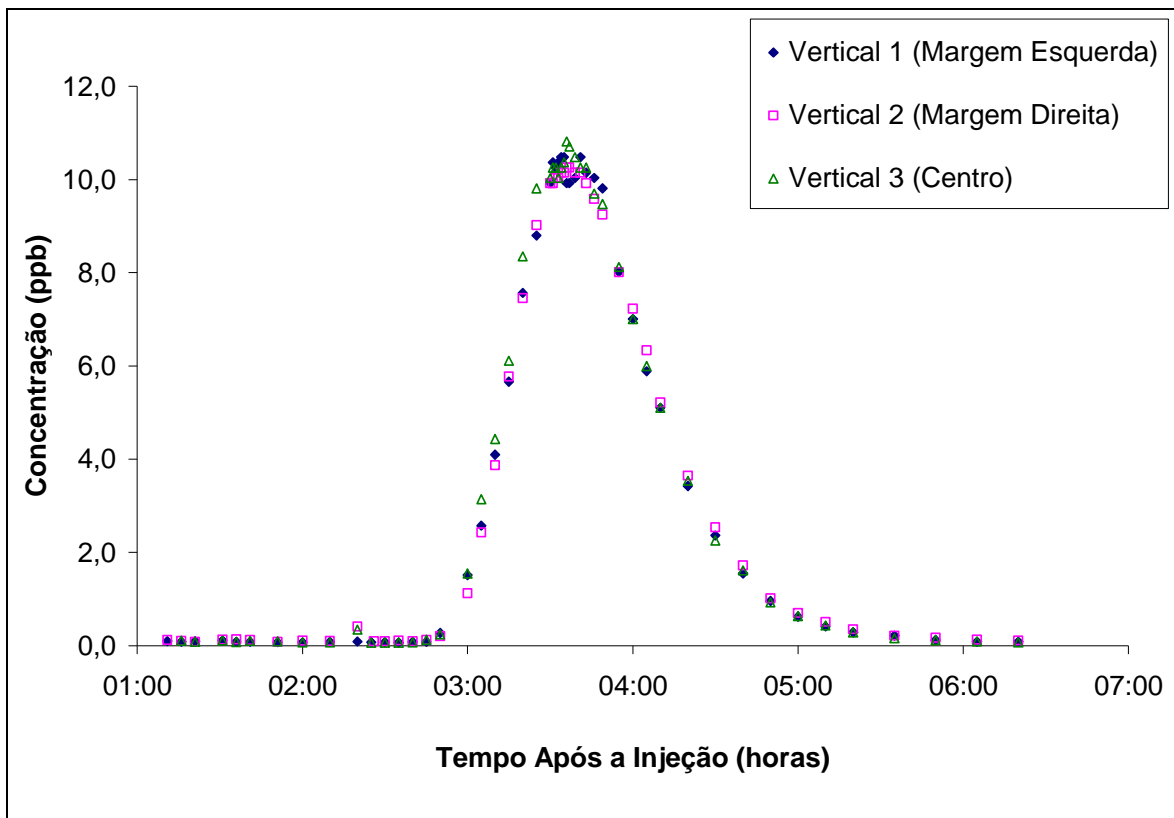


Figura 21 – Curvas de passagem das verticais 1, 2 e 3 do traçador Amidorodamina G Extra na seção 1 (6,0 km), em Astolfo Dutra, para o primeiro experimento (27 e 28/05/2006).

4.2. Determinação do D_L pelo método do ajuste

Os parâmetros médios do coeficiente de dispersão longitudinal e da velocidade para cada trecho, correspondente a distância entre o local de lançamento do traçador até as seções de monitoramento, foram obtidos pelo ajuste do modelo *fickiano* (Eq. 22) aos dados obtidos experimentalmente das curvas de passagem para as diversas seções de monitoramento, conforme ilustra a Figura 22.

Vale ressaltar que apesar do trecho de estudo do Rio Pomba, compreendido entre as cidades de Astolfo Dutra e Cataguases, não possuir regime permanente, em função da contribuição de dois importantes tributários (Rio Xopotó e Rio Novo), a utilização do fator de correção (FC) de massa possibilitou efetuar um bom ajuste do modelo *fickiano* aos valores medidos “in loco”, com uma boa precisão na determinação do D_L .

Os valores calculados para o fator de correção, para ajustar o modelo às curvas de passagem são apresentados no Apêndice E.

O ajuste do modelo *fickiano* aos dados experimentais das curvas de passagem é exemplificado na Figura 22, para a seção 2, vertical 2, do experimento realizado em 27 e 28/05/2008. Os resultados para as demais seções e experimentos estão apresentados no Apêndice E.

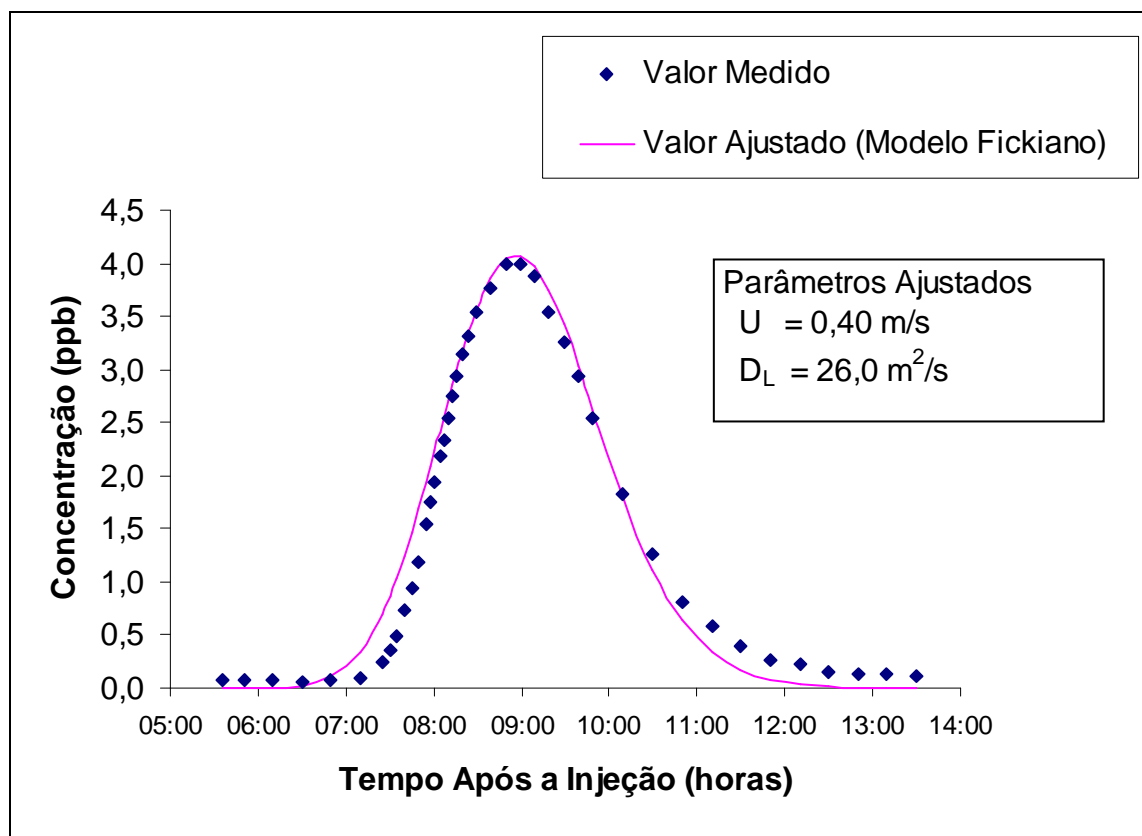


Figura 22 – Ajuste do modelo *fickiano* aos dados experimentais na seção 2, vertical 2, para o primeiro experimento (27 e 28/05/2006). Traçador: Amidorodamina G.

Analisando a Figura 22 percebe-se que o modelo *fickiano* simulou bem os valores medidos, permitindo boa precisão na estimativa do coeficiente de dispersão longitudinal.

A Tabela 6 resume os resultados médios obtidos pelo ajuste do modelo *fickiano* (Eq. 22) às curvas de passagem de traçador nos dois experimentos realizados no Rio Pomba. Vale ressaltar que os valores obtidos foram muito próximos devido a grande semelhança dos valores de vazões do rio e das condições sazonais das duas campanhas.

Tabela 6 – Valores médios de velocidade (u) e coeficiente de dispersão longitudinal (D_L), obtidos pelo método do ajuste do modelo *fickiano*, para cada trecho de estudo, no Rio Pomba e para cada traçador Uranina (URA) e Amidorodamina (AMI)

Seção	1° Experimento				2° Experimento			
	AMI		URA		AMI		URA	
	u (m/s)	D_L (m ² /s)	u (m/s)	D_L (m ² /s)	u (m/s)	D_L (m ² /s)	u (m/s)	D_L (m ² /s)
Ast. Dutra	0,46	19,3	0,46	18,3	0,43	19,0	0,43	18,7
D. Euzébia	0,40	26,5	0,40	24,5	0,39	27,0	0,39	28,5
Sinimbu	0,40	28,5	0,40	26,0	0,42	22,0*	0,42	23,0*
Cataguases	0,37	33,0	0,37	26,0	0,44	30,0*	0,44	27,0*

* Valores inconsistentes que podem ter como causas: interferência na massa do traçador durante o escoamento (ondas de cheia provocadas por tributários isolados), ou contaminações na manipulação dos equipamentos de diluição em laboratório, interferindo na reta de calibração. Sendo assim, não foram utilizados na dedução da nova equação.

Os valores de D_L obtidos para as seções de Sinimbu e Cataguases, no segundo experimento, não foram considerados na determinação da nova fórmula proposta neste estudo, devido à inconsistência apresentada.

A Tabela 6 apresenta grande proximidade nos valores do coeficiente de dispersão, medidos tanto com o traçador Uranina, quanto Amidorodamina G, evidenciando que possuem equivalência na eficiência de medição do D_L e que são adequados para medir dispersão “in situ”.

Verifica-se também, pela análise da Tabela 6 que os valores de dispersão aumentam, devido a dispersão do soluto no meio com a distância percorrida, com exceção dos valores, inconsistentes, encontrados em Sinimbu, no segundo experimento.

4.3. Desenvolvimento da equação para predição do D_L

Os parâmetros estimados no processo da análise de regressão múltipla foram: $\beta_0 = 1,99 \times 10^{-4}$, $\beta_1 = 0,445$, $\beta_2 = -1,458$ e $\beta_3 = 0,761$, que substituídos na Eq. (33), resulta na seguinte equação

$$\frac{D_L}{u_* H} = 1,99 \cdot 10^{-4} \left(\frac{B}{H}\right)^{0,445} \left(\frac{u_*}{U}\right)^{-1,458} (Re_*)^{0,761} \quad (56)$$

Considerando o valor da viscosidade cinemática da água (ν) para temperaturas próximas de 20°C, igual a $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, e substituindo $Re_* = \frac{u_* H}{\nu}$ a Eq. (56) pode ser reescrita em função de D_L

$$D_L = 7,326 (u_*)^{0,303} (H)^{1,316} (B)^{0,445} (U)^{1,458} \quad (57)$$

Para verificar a qualidade do modelo (Eq. 57) ajustado à base de dados experimentais (Tabela 1.b, Apêndice B), foi realizada uma avaliação do coeficiente de determinação (r^2) e aplicado o teste estatístico F ao resultado da regressão.

A Tabela 7 apresenta o quadro de análise da variância da regressão. São relacionadas as seguintes informações: fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL), soma de quadrados (SQ), quadrado médio (QM), estatística F (F).

Tabela 7 – Quadro da análise da variância

FV	GL	SQ	QM	F	r^2
Regressão	3	0,1335	0,0445	7,27	0,85
Independente	4	0,0245	0,0061		
Total	7	0,158			

Conforme mostra a Tabela 7, o coeficiente de determinação encontrado $r^2 = 0,85$, demonstra que 85,0% da variação de Y está sendo explicada pela equação de regressão, o que sugere que a equação linear Eq.(57), é adequada.

Ao nível de significância $\alpha = 5\%$, o valor de “F” tabelado ($F = 6,59$) pela distribuição teórica de Fisher, para F(3,4) graus de liberdade, mostrou-se inferior quando comparado ao valor calculado ($F = 7,27$), rejeitando assim a hipótese de nulidade dos parâmetros, indicando que a regressão pode ser aceita com 95,0 % de confiança.

4.3.1. Teste da equação desenvolvida

A fim de avaliar a aplicabilidade da equação desenvolvida neste trabalho à outras condições de campo, esta foi testada com base em 11 resultados experimentais obtidos por PEREIRA (1999), no Rio Muqui do Sul, afluente do Rio Itabapoana, na região de divisa entre os estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro. PEREIRA (1999) utilizou o método da Propagação de Fischer (*Routing Procedure*) para calcular o coeficiente de dispersão longitudinal a partir de oito campanhas de campo e utilizou como substância traçadora a Uranina. A Tabela 1.c (Apêndice C) apresenta os valores de D_L obtidos por PEREIRA(1999) nos ensaios de traçador, bem como um resumo das características hidrogeométricas levantadas em seu estudo. Estes dados foram utilizados para testar o modelo proposto (Eq.57) para outras condições.

Adicionalmente, foi também avaliado o desempenho relativo das diversas equações propostas na literatura (Tabela 3) para estimar o coeficiente de dispersão longitudinal, utilizando como comparação os valores obtidos por PEREIRA (1999), resumidos na Tabela 1.c (Apêndice C).

A Tabela 1.f (Apêndice F) apresenta resumidamente os valores de D_L observados (O_i) por PEREIRA (1999) e os resultados estimados (E_i) pelas diversas fórmulas empíricas, utilizando os valores hidrogeométricos levantados por este, em seu estudo no Rio Muqui. A partir destes valores, observados (O_i) e estimados (E_i), foi possível aplicar os métodos comparativos para avaliar a precisão na determinação do D_L pelas diversas fórmulas empíricas.

A Tabela 8 apresenta os resultados das comparações entre os valores de D_L observados (O_i) e estimados (E_i), utilizando o método comparativo da razão de discrepância (R_d). Os resultados apresentados nesta tabela evidenciam que a equação proposta por Fisher (1975) foi a que apresentou menor valor médio da razão de discrepância médio ($\overline{R_d} = 0,10$). As equações propostas por Iwasa (1991), Liu (1977) e a proposta neste estudo (Eq.55), também apresentaram baixos valores médios de razão de discrepância: -0,17, -0,18 e -0,18, respectivamente, muito próximos entre si. A equação proposta por DEVENS et al. (2006) foi a que apresentou maior valor médio de razão de discrepância ($\overline{R_d} = -3,32$), sugerindo uma subestimativa dos valores de D_L , pelo fato de estar precedida de um sinal negativo. A equação proposta por Falconer (2002) foi a que

apresentou maior superestimativa dos valores de D_L , quando comparada às demais, pois resultou no maior valor positivo da razão de discrepância médio ($\overline{R_d} = 0,94$).

Os resultados do segundo método comparativo utilizado, raiz do erro médio quadrático (REM \overline{Q}), são apresentados na Tabela 9. Por este método comparativo observa-se que a Eq. (57) desenvolvida neste estudo apresentou melhor resultado ($\overline{REM\overline{Q}} = 5,54$), quando comparado às demais. As fórmulas propostas por Iwasa (1991), Huisman (2000), Parker (1961), Liu (1977) e Elder (1959) foram as que apresentaram, nesta ordem, valores um pouco superiores à Eq. (57): $\overline{REM\overline{Q}} = 8,80$; 9,03; 10,90; 11,33 e 11,92, respectivamente. A equação proposta por McQuivey (1974) foi a que apresentou maior erro médio ($\overline{REM\overline{Q}} = 122,99$), seguida da fórmula proposta por Falconer (2002), onde o $\overline{REM\overline{Q}} = 85,59$.

Pode-se justificar as diferenças dos resultados apresentados pelas diversas fórmulas empíricas, uma vez que essas, foram deduzidas para condições específicas de escoamento, podendo causar distorções nos resultados, quando aplicadas às condições hidrológicas diferentes daquelas consideradas em sua concepção.

Tabela 8 – Resultados obtidos pelo método comparativo da razão de discrepância (Rd) entre os valores de D_L observados por PEREIRA (1999) e estimados pelas diversas fórmulas empíricas

(i)*	Elder (1959)	Parker (1961)	Glover (1964)	McQuivey (1974)	Fisher (1975)	Liu (1977)	Iwasa (1991)	Seo & Cheong (1998)	Huisman (2000)	Deng et al. (2001)	Falconer (2002)	Devens et al. (2006)	Eq.(57)
1	-0,70	-0,13	1,23	0,50	0,32	0,32	0,43	1,11	-0,25	0,89	1,17	-1,94	-0,12
2	-1,00	-0,42	0,93	-0,16	-0,34	-0,33	-0,13	0,70	-0,90	0,35	0,86	-2,89	-0,28
3	-0,97	-0,88	0,96	1,88	-0,52	-0,59	-0,34	0,71	-1,08	0,25	1,00	-3,38	-0,08
4	-1,60	-1,05	0,32	0,94	0,17	-0,16	-0,24	0,62	-0,40	0,52	0,70	-3,24	-0,49
5	-1,17	-0,63	0,75	0,09	1,08	0,84	0,64	1,15	0,51	1,12	1,01	-2,74	0,07
6	-1,47	-0,82	0,45	0,63	-0,20	-0,65	-0,60	0,67	-0,76	0,42	1,00	-3,98	-0,16
7	-1,28	-0,64	0,65	0,78	0,03	-0,36	-0,33	0,84	-0,54	0,61	1,12	-3,66	-0,02
8	-1,32	-0,65	0,61	0,75	0,15	-0,25	-0,26	0,86	-0,41	0,68	1,09	-3,43	-0,10
9	-1,49	-0,98	0,44	0,57	0,16	-0,23	-0,28	0,73	-0,40	0,60	0,91	-3,79	-0,13
10	-1,66	-1,13	0,26	0,42	0,12	-0,31	-0,39	0,62	-0,45	0,51	0,78	-3,80	-0,31
11	-1,66	-1,06	0,26	0,09	0,08	-0,30	-0,37	0,58	-0,48	0,47	0,71	-3,70	-0,38
R_d Média	-1,30	-0,76	0,62	0,59	0,10	-0,18	-0,17	0,78	-0,47	0,58	0,94	-3,32	-0,18

* Campanhas de campo obtidos por PEREIRA (1999) onde foram determinados os parâmetros hidrogeométricos utilizados para predição de D_L em cada uma das fórmulas empíricas. Cada observação (i) corresponde a uma condição hidrológica diferente.

Tabela 9 – Resultados obtidos pelo método comparativo da raiz do erro quadrático médio (REMQ), entre os valores de D_L observados por PEREIRA (1999) e estimados pelas diversas fórmulas empíricas

(i)*	Elder (1959)	Parker (1961)	Glover (1964)	McQuivey (1974)	Fisher (1975)	Liu (1977)	Iwasa (1991)	Seo & Cheong (1998)	Huisman (2000)	Deng et al. (2001)	Falconer (2002)	Devens et al. (2006)	Eq.(57)
1	0,51	0,05	199,09	3,59	0,90	0,94	2,25	113,20	0,15	36,72	147,62	0,77	0,04
2	9,35	4,43	645,16	1,07	3,39	3,30	0,81	188,24	8,85	17,87	459,74	11,53	2,61
3	21,02	19,97	1735,56	149722,56	12,84	14,65	7,85	454,90	22,23	15,88	2178,10	26,40	0,75
4	113,15	98,87	146,17	6948,78	26,04	11,00	21,02	1198,29	42,81	651,61	1930,61	118,89	54,20
5	23,54	15,86	585,64	1,29	3222,45	938,54	303,88	4694,34	136,89	4021,74	2362,24	26,94	0,84
6	238,99	184,02	876,16	2714,79	34,39	154,00	144,51	3379,40	175,18	676,07	20860,13	255,95	23,20
7	83,04	54,85	1100,91	2373,29	0,39	29,77	25,92	3193,63	46,58	899,56	13408,30	92,50	0,12
8	58,43	38,89	601,23	1389,77	11,70	12,41	12,79	2460,93	24,08	911,67	8363,31	64,43	2,76
9	260,51	223,31	830,59	2079,40	57,11	47,55	63,44	5433,47	101,40	2486,08	13872,82	278,13	18,42
10	408,11	365,20	294,12	1150,32	42,46	110,75	150,82	4273,03	175,33	2069,62	10731,40	426,29	111,68
11	346,89	302,18	254,72	18,53	14,99	88,85	118,96	2868,12	163,61	1375,56	6272,73	362,38	122,75
REMQ	11,92	10,90	25,71	122,99	17,65	11,33	8,80	50,68	9,03	34,59	85,59	12,30	5,54

* Campanhas de campo obtidos por PEREIRA (1999) onde foram determinados os parâmetros hidrogeométricos utilizados para predição de D_L em cada uma das fórmulas empíricas. Cada observação (i) corresponde a uma condição hidrológica diferente.

Para aplicar o terceiro método comparativo, índice de desempenho (c), proposto por CAMARGO e SENTELHAS (1997), foi necessário determinar o coeficiente de correlação (r) e o índice de Willmott (d), entre os valores estimados (Ei) e observados (Oi). Os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados do coeficiente de correlação (r), índice de Willmott (d) e índice de desempenho (c) para as diversas equações de predição de D_L

Equação	r	d	c
Elder (1959)	0,51	0,44	0,22
Parker (1961)	0,57	0,47	0,27
Glover (1964)	0,51	0,33	0,17
McQuivey (1974)	-0,11	0,03	0,003
Fischer (1975)	0,24	0,39	0,09
Liu (1977)	0,04	0,38	0,02
Iwasa (1991)	0,11	0,48	0,05
Seo & Cheong (1998)	0,82	0,23	0,19
Huisman (2000)	0,24	0,52	0,13
Deng et. al (2001)	0,72	0,32	0,23
Falconer (2002)	0,80	0,15	0,12
DEVENS et al. (2006)	-0,54	0,44	0,24
Eq. (57)	0,81	0,74	0,60

Observando os resultados da Tabela 10 pode-se perceber que a Eq. (57), proposta neste trabalho, apresentou maior exatidão dos valores estimados do coeficiente de dispersão longitudinal quando comparado às demais fórmulas empíricas. O maior índice de desempenho ($c = 0,60$) foi apresentado pela equação desenvolvida, mostrando-se bastante superior ao segundo maior índice de desempenho ($c = 0,27$) obtido para o modelo de Parker (1961). A equação de McQuivey (1974) foi a que apresentou o menor índice de desempenho ($c = 0,003$), seguida das fórmulas propostas por Liu (1977) e Ficher (1975), em que os índices encontrados foram 0,02 e 0,09, respectivamente.

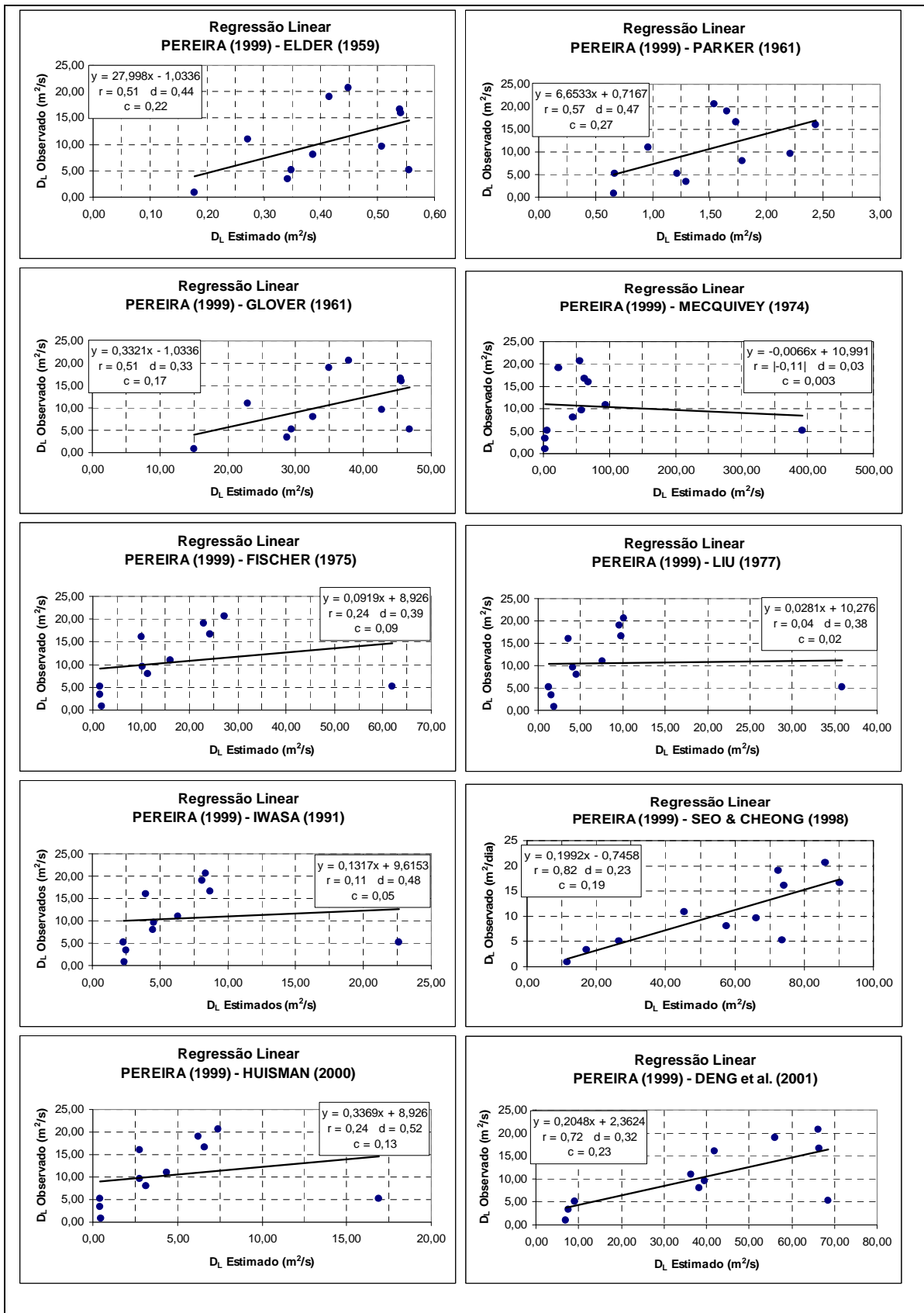


Figura 23 – Correlação entre os valores observados por PEREIRA (1999), em ensaios de campo com traçador fluorescente e estimados pelas diversas fórmulas empíricas.

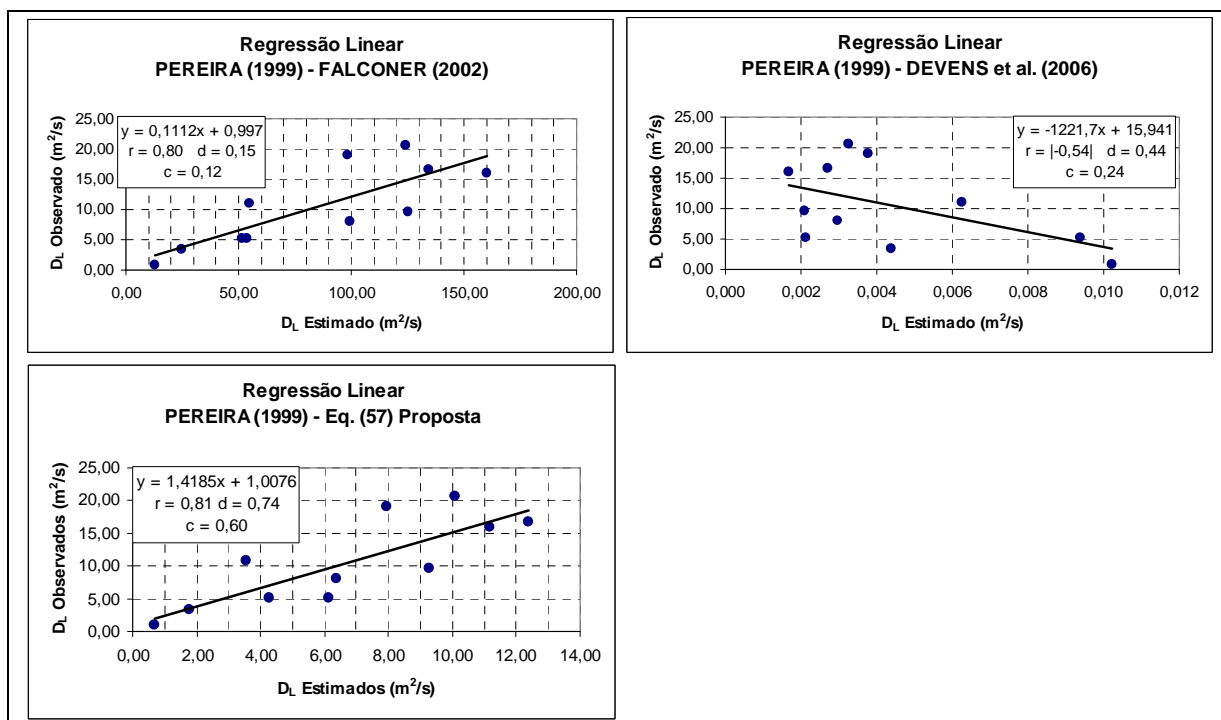


Figura 23 – Continuação.

Conforme sugerem CAMARGO e SENTELHAS (1997) com relação a interpretação do desempenho dos modelos quanto a sua exatidão, a Eq. (57) foi a mais precisa, apresentando melhor desempenho ($c = 0,60$), enquadrando-se no limite entre o sofrível e mediano. Seguindo a mesma classificação proposta por esses autores, as demais fórmulas apresentaram desempenho classificado como péssimo, uma vez que valores obtidos para o índice de desempenho foram inferiores a 0,40 (Tabela 10).

Avaliando isoladamente o índice de Willmott (d), na Tabela 10, pode-se observar que a Eq. (57) foi a única que apresentou um valor considerado ligeiramente satisfatório ($d = 0,74$), segundo ROBINSON e HUBBARD (1990) apud PEREIRA (2004).

Da mesma forma, avaliando-se isoladamente o coeficiente de correlação (r), da Tabela 10, verifica-se que as equações propostas por SEO e CHEONG (1998), a Eq. (57) proposta neste trabalho e a proposta por Falconer (2002) foram as que apresentaram os maiores coeficientes de correlação, 0,82; 0,81 e 0,80, respectivamente. Já as equações propostas por McQuivey (1974) e DEVENS et al. (2006), apresentaram coeficientes de correlação negativos, $r = -0,11$ e $r = -0,54$, respectivamente, quando correlacionados com os valores experimentais observados por PEREIRA (1999).

Os valores obtidos por DEVENS et al. (2006) apresentaram uma forte correlação negativamente. Este resultado remete a uma explicação voltada para a gênese do modelo, uma vez que os autores deduziram a Eq. (47) para uma situação muito particular, com

vazões variando de 0,00706 a 0,1763 (m³/s), diferindo bastante da faixa de valores de vazão utilizados neste trabalho para fins de validação. DEVENS et al. (2006) sugerem que a equação seja utilizada para pequenos córregos e neste trabalho foram avaliadas vazões de rios de médio porte com vazões variando na faixa de 10,0 a 100,0 m³/s.

Cabe ressaltar, que as equações empíricas utilizadas como comparação neste trabalho, foram obtidas para condições específicas de escoamento, diferentes das condições experimentais deste trabalho. Sendo assim, é fundamental testar essas equações em diferentes condições hidrodinâmicas, para outros estudos, para avaliar com mais propriedade os seus desempenhos.

4.4. Sistema de alerta

O sistema desenvolvido para subsidiar o gerenciamento dos recursos hídricos, quanto ao transporte e dispersão de poluentes solúveis, possibilita avaliar os efeitos de um despejo de efluentes, tais como: tempo de trânsito, o espalhamento e a passagem da nuvem de contaminantes em um determinado local a jusante de uma fonte poluente. Pode ser utilizado para duas situações distintas: despejo de efluente instantâneo e despejo contínuo.

O sistema permite, também, determinar o coeficiente de dispersão longitudinal com base em resultados obtidos experimentalmente por traçador, utilizando o método do ajuste ou da convolução de Taylor, ou ainda por meio de fórmulas empíricas.

Em síntese, pode-se dizer que o sistema possibilita trabalhar com dois módulos distintos. O primeiro refere-se ao cálculo do coeficiente de dispersão longitudinal a partir de resultados experimentais de campo, ou a partir de fórmulas empíricas, sendo este particularmente importante para calibrar modelos de qualidade de água que utilizam este parâmetro em sua estrutura. O segundo tipo de resultado compreende a simulação do efeito de um despejo acidental ou intencional, instantâneo ou contínuo, em uma seção de interesse de jusante, importante principalmente como um mecanismo de alerta em situações de despejo de substância tóxicas.

A Figura 24 ilustra o menu com as duas principais opções do sistema: “Cálculo do D_L” e “Sistema de Alerta”. Na Figura 24.a pode-se observar que o cálculo do D_L pode ser realizado por meio de experimentos com traçador ou por fórmula empírica. A Figura 24.b mostra as opções de simular um despejo instantâneo ou contínuo de efluentes.



Figura 24 – Ilustração do menu principal com as duas opções “Cálculo do DL”, na letra (a) e “Sistema de Alerta”, na letra (b).

4.4.1. Determinação do D_L

No sistema de alerta o coeficiente de dispersão longitudinal do rio é um importante parâmetro de entrada do modelo, para a simulação dos efeitos de despejo de efluentes.

Neste sentido, o sistema permite estimar o valor do D_L , a partir de resultados experimentais com uso de traçadores, ou por fórmulas empíricas, conforme é apresentado a seguir.

a) Determinação do D_L a partir de resultados experimentais com uso traçador

Para a determinação das características hidrodinâmicas do rio, dispersão longitudinal e velocidade média de escoamento, em um trecho de estudo é necessário fornecer ao sistema resultados obtidos por amostras coletadas em locais predefinidos a partir de experimentos realizados “in loco” com traçadores fluorescentes injetados num ponto do rio. Estes dados representam as curvas de passagem do traçador pelos locais de coleta, e são exibidos em um gráfico cartesiano, sendo que o eixo Y representa a concentração do traçador e o eixo X representa a hora da coleta, após a injeção do traçador. A partir de uma curva de calibração, obtida em laboratório por diluições-padrão de traçador, é possível determinar as concentrações do traçador em função do tempo (curvas de passagem), e após ajustar o modelo de Taylor Eq.(22) ou da convolução (Eq.52 e 53) à estas curvas experimentais, determinar o coeficiente de dispersão longitudinal.

Sendo assim, é necessário inicialmente cadastrar, na opção do menu “Cálculo do D_L ”, sub-menu “Experimental”, as informações sobre as características do experimento, tais como: nome do rio, seção de monitoramento, vertical, tipo de traçador, identificação da campanha, informações sobre a seção de monitoramento, vertical e resultados das coletas e análises de laboratório, conforme mostra a Figura 25.

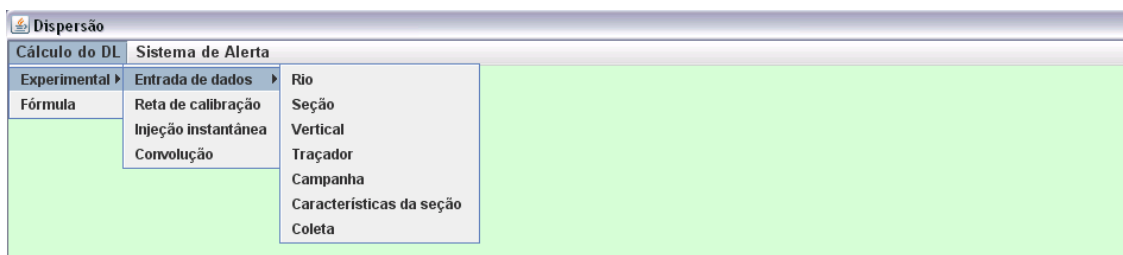


Figura 25 – Ilustração do menu principal “Cálculo do DL” e o sub-menu “Experimental”, opção “Entrada de Dados”.

A fim de ilustrar as etapas do fornecimento das informações de uma campanha experimental com traçador ao sistema, são apresentadas, sequencialmente, as Figuras 26 a 29. Nesse trabalho foram utilizados os dados experimentais das campanhas realizadas no Rio Pomba.

A Figura 26 ilustra a opção de cadastrar o número da seção de monitoramento, onde já foram previamente cadastrados o nome do rio (Rio Pomba), a seção de monitoramento (Astolfo Dutra).

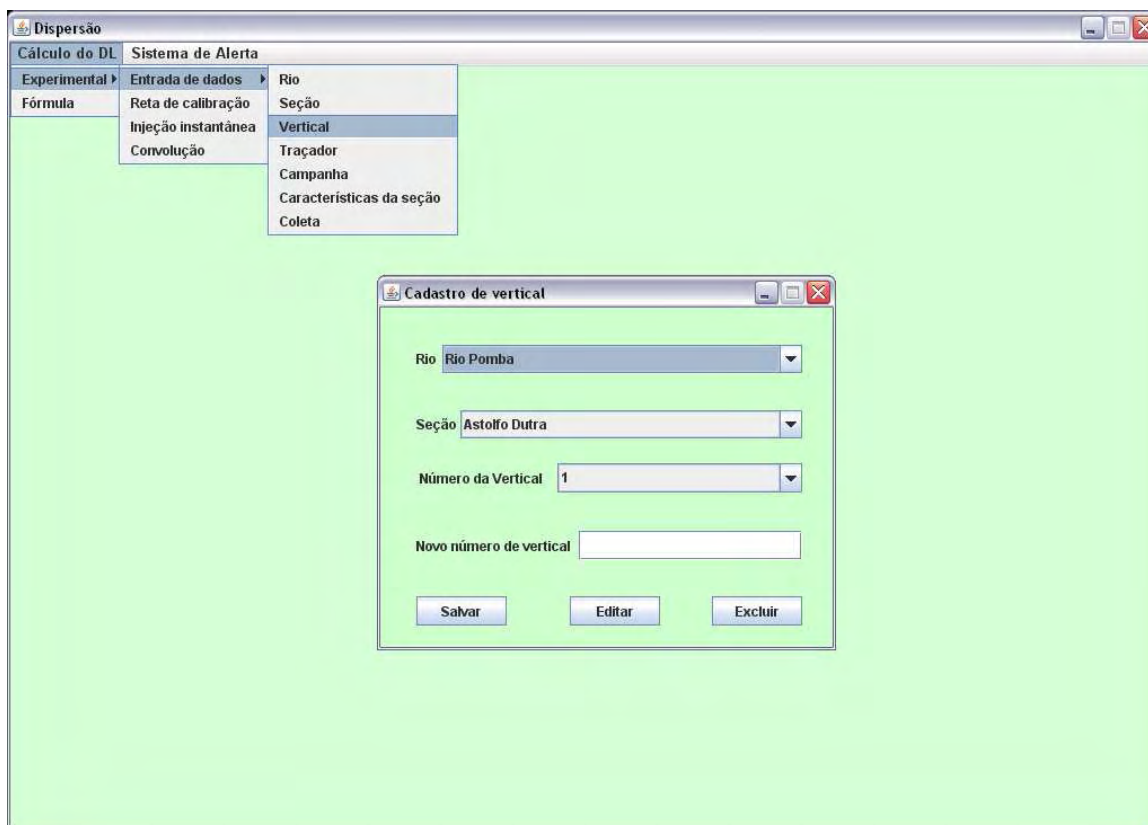


Figura 26 – Ilustração do cadastro da vertical 1, na seção de Astolfo Dutra, para o Rio Pomba.

Nas Figuras 27 e 28 a seguir são apresentadas as telas do programa onde são cadastrados dados da campanha e características da seção de monitoramento.

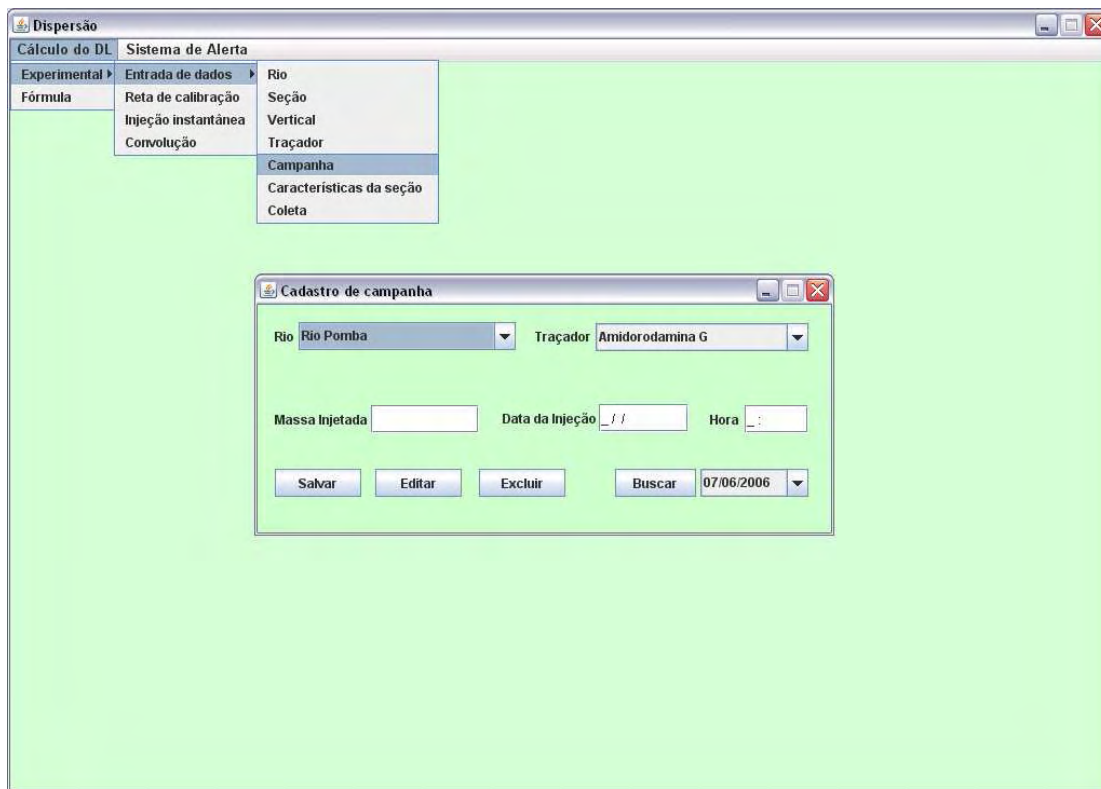


Figura 27 – Ilustração do cadastro dos dados relativos a campanha (hora e data do despejo e massa injetada), para o traçador e rio previamente especificados.

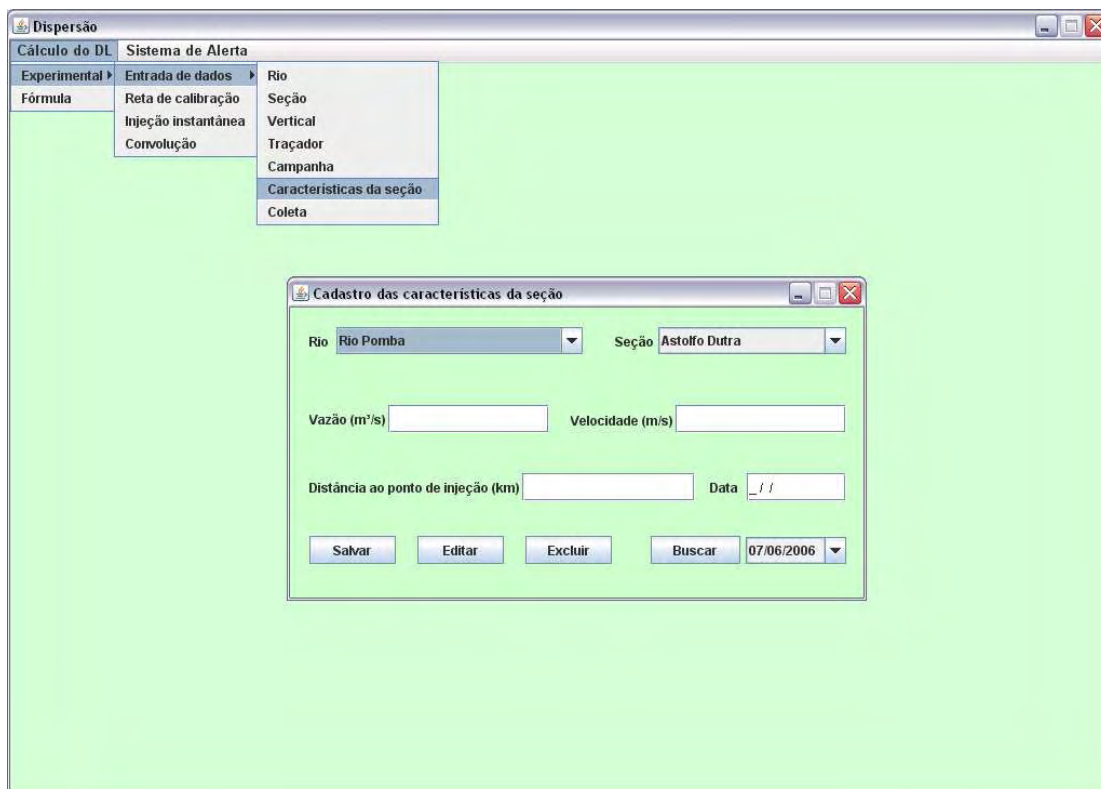


Figura 28 – Ilustração do cadastro dos dados relativos à seção de Astolfo Dutra (vazão, velocidade média do rio, distância ao local de injeção).

A Figura 29 mostra, como exemplo, o cadastro da curva de passagem do traçador Amidorodamina G, pela seção de Astolfo Dutra, para uma injeção de traçador realizada no dia 27/05/2006 às 08:00 h.

Cada linha de registro apresentada na Figura 29 corresponde ao resultado da análise de uma amostra de traçador coletada no rio. É necessário fornecer a data, a hora, a leitura do fluorímetro e a respectiva escala de leitura, para cada resultado de amostra de traçador coletada no rio. É preciso também fornecer a função que irá converter os valores lidos (milivolts) no fluorímetro em concentração.

Vale ressaltar que é necessário fornecer apenas os valores, nos campos em branco, de alguns dados (colunas), a saber: primeira (Data da coleta), segunda (Hora da coleta), quinta (Leitura) e sexta (Escala). O sistema se encarrega de calcular as demais colunas e fornece o valor da massa de traçador recuperada na vertical em questão.

Data da coleta	Hora da coleta	Hora após injeção	Hora em segundos	Leitura	Escala	Leitura Escala 100	concentração	Massa Recuperada
07/06/2006	09:11:00	01:11	4260	4.1	31.6	12.975	0.1	0.0
07/06/2006	09:16:00	01:16	4560	3.7	31.6	11.709	0.1	27.19
07/06/2006	09:21:00	01:21	4860	4.0	31.6	12.658	0.1	26.66
07/06/2006	09:31:00	01:31	5460	4.5	31.6	14.241	0.1	61.82
07/06/2006	09:36:00	01:36	5760	3.7	31.6	11.709	0.1	29.31
07/06/2006	09:41:00	01:41	6060	3.7	31.6	11.709	0.1	25.06
07/06/2006	09:51:00	01:51	6660	3.5	31.6	11.076	0.1	48.0
07/06/2006	10:00:00	02:00	7200	3.4	31.6	10.759	0.1	40.33
07/06/2006	10:10:00	02:10	7800	3.6	31.6	11.392	0.1	45.87
07/06/2006	10:20:00	02:20	8400	3.9	31.6	12.342	0.1	51.19
07/06/2006	10:25:00	02:25	8700	3.5	31.6	11.076	0.1	25.06
07/06/2006	10:30:00	02:30	9000	3.5	31.6	11.076	0.1	22.94
07/06/2006	10:35:00	02:35	9300	3.3	31.6	10.443	0.1	21.87
07/06/2006	10:40:00	02:40	9600	3.8	31.6	11.392	0.1	22.4
07/06/2006	10:45:00	02:45	9900	3.7	31.6	11.709	0.1	24.53
07/06/2006	10:50:00	02:50	10200	9.1	31.6	28.797	0.3	53.77
07/06/2006	11:00:00	03:00	10800	4.4	31.6	139.241	1.5	536.05
07/06/2006	11:05:00	03:05	11100	7.4	31.6	234.177	2.6	613.06
07/06/2006	11:10:00	03:10	11400	3.7	1.0	370.000	4.1	1000.74
07/06/2006	11:15:00	03:15	11700	5.1	1.0	510.000	5.7	1464.12
07/06/2006	11:20:00	03:20	12000	6.8	1.0	680.000	7.6	1984.92
07/06/2006	11:25:00	03:25	12300	7.9	1.0	790.000	6.9	2456.22

Massa total recuperada na vertical (g) 1543,173

Figura 29 – Ilustração do cadastro dos dados relativos à curva de passagem da vertical 1 de Astolfo Dutra para o traçador Amidorodamina G, na opção “Coleta”.

Em todos os passos do cadastro mostrados nas Figuras 26 a 29, é possível inserir, excluir, ou buscar no banco de dados as informações de campanhas que já tenham sido cadastradas.

O sistema permite determinar as equações das retas de calibração e o respectivo coeficiente de determinação. Uma vez determinada, é possível salvar essa equação para que fique armazenada no banco de dados e esteja disponível para utilização no campo “Função”, conforme mostrado na Figura 29.

A Figura 30 ilustra a tela do sistema onde são fornecidas as informações das concentrações-padrão para determinar a reta de calibração.

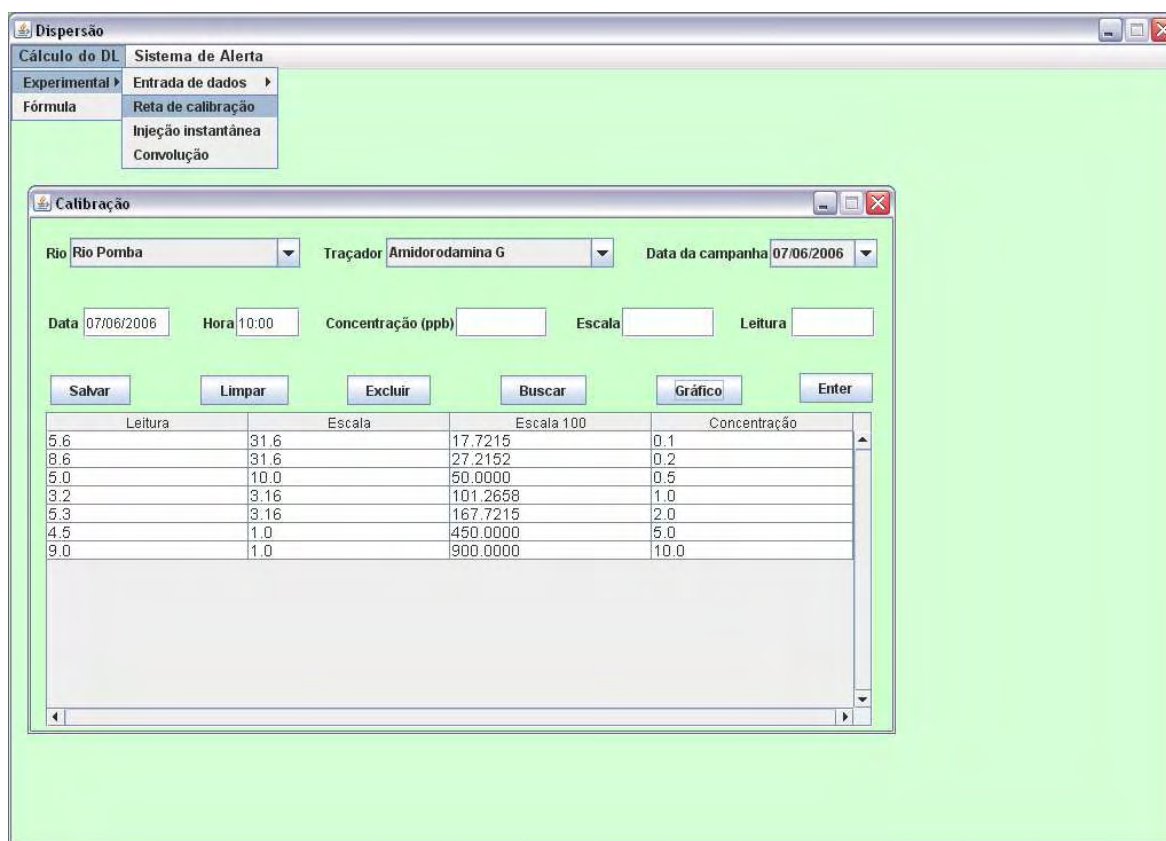


Figura 30 – Ilustração do cadastro dos dados de concentrações-padrão para determinação da reta de calibração, na opção “Reta de Calibração”.

Após preencher os dados de concentrações-padrão, a escala da leitura no fluorímetro e o valor da leitura (milivolts), nos campos em branco, o sistema calcula o valor da leitura L100 e clicando no botão “Gráfico”, é gerado o gráfico da reta de calibração com a equação e o respectivo coeficiente de determinação r^2 , conforme mostra a Figura 31 a seguir.

Vale ressaltar que a equação gerada fica armazenada na memória do sistema e disponível no submenu “Coleta”, para ser utilizada na determinação das concentrações das amostras lidas em laboratório.

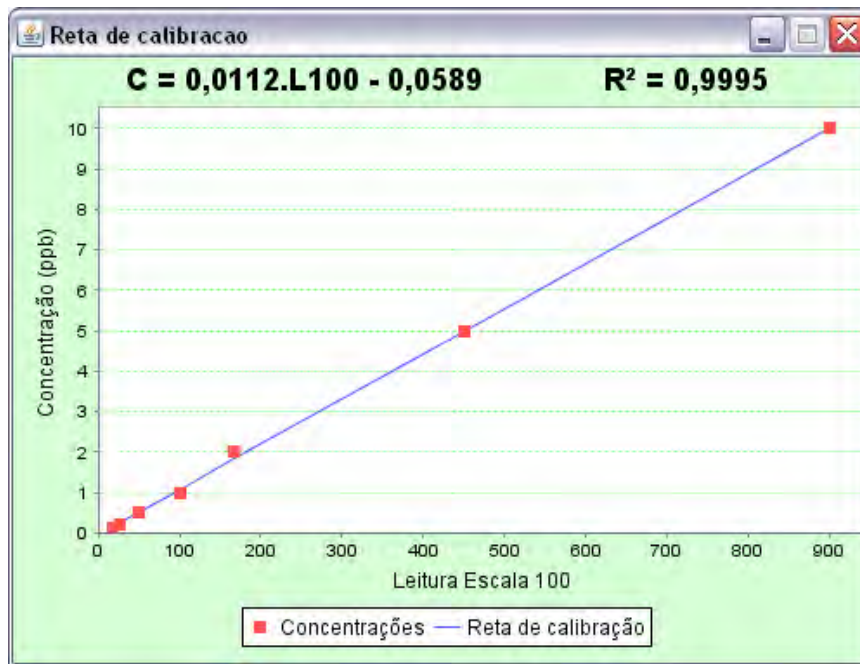


Figura 31 – Ilustração do gráfico e equação da reta de calibração gerados pelo sistema.

Após preencher as informações dos resultados dos experimentos de campo, conforme mostrado nas Figuras 26 a 30, o sistema possibilita determinar os parâmetros de dispersão longitudinal e velocidade média do trecho, para cada seção de monitoramento de forma automática ou interativamente.

A Figura 32 ilustra a determinação automática do D_L para uma injeção instantânea.

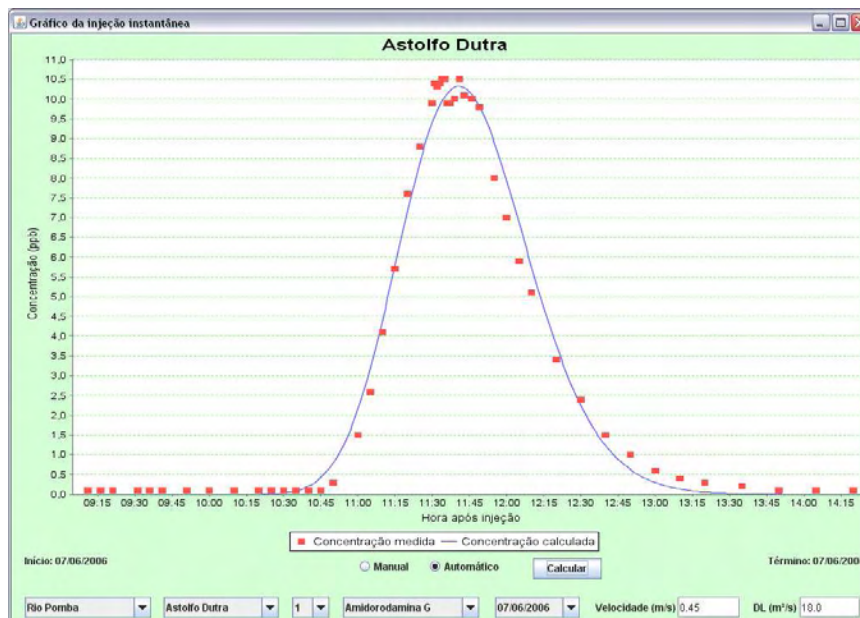


Figura 32 – Ilustração da determinação dos parâmetros de dispersão longitudinal (D_L) e velocidade média (U), pelo ajuste automático do modelo *fickiano* de Taylor aos dados experimentais da seção de Astolfo Dutra, vertical 1, traçador Amidorodamina G.

Nota-se que na opção de ajuste automático (Figura 32) ocorre uma boa aderência entre os dados experimentais e o modelo ajustado. A aderência é testada pelo método do erro médio quadrático.

Na opção do ajuste manual, os parâmetros D_L e U são fornecidos interativamente pelo usuário, até que se obtenha visualmente a melhor aderência entre os dados experimentais e o modelo.

A Figura 33 apresenta duas situações em que foram fornecidos interativamente, na opção de inserir dados de forma manual, dois valores de D_L , um maior ($25 \text{ m}^2/\text{s}$) e outro menor ($10 \text{ m}^2/\text{s}$) do que o valor obtido automaticamente ($18 \text{ m}^2/\text{s}$), que forneceu o melhor ajuste.

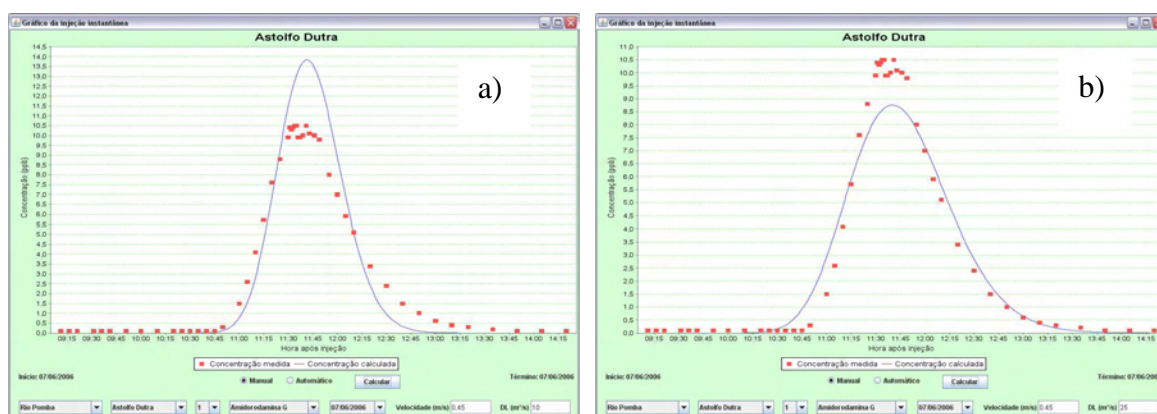


Figura 33 – Ilustração do resultado do ajuste manual em que foram fornecidos valores do coeficiente de dispersão longitudinal: a) menor ($10 \text{ m}^2/\text{s}$), e b) maior ($25 \text{ m}^2/\text{s}$), que o obtido automaticamente ($18 \text{ m}^2/\text{s}$).

Observando a Figura 33 pode-se concluir que se o valor do coeficiente de dispersão longitudinal fornecido interativamente ao sistema for menor ($10 \text{ m}^2/\text{s}$) do que aquele que fornece um melhor ajuste ($18 \text{ m}^2/\text{s}$), a curva do modelo (em azul) não fornecerá um bom ajuste aos dados obtidos experimentalmente (em vermelho) e apresentará uma concentração de pico superior a encontrada no experimento. Da mesma forma, se o valor fornecido ($25 \text{ m}^2/\text{s}$), for maior do que aquele que forneceu melhor ajuste ($18 \text{ m}^2/\text{s}$), mais achatada (espreiada) fica a curva do ajuste do modelo (Figura 33.b) e conseqüentemente, há uma subestimativa da concentração de pico.

Da mesma forma foi realizado um ajuste interativo dos valores da velocidade média do rio, para avaliar os efeitos no ajuste do modelo aos dados medidos experimentalmente.

A Figura 34 ilustra duas situações em que foram fornecidos dois valores de velocidade média, maior (0,50 m/s) e menor (0,40 m/s) que o resultado obtido automaticamente (0,45 m/s).

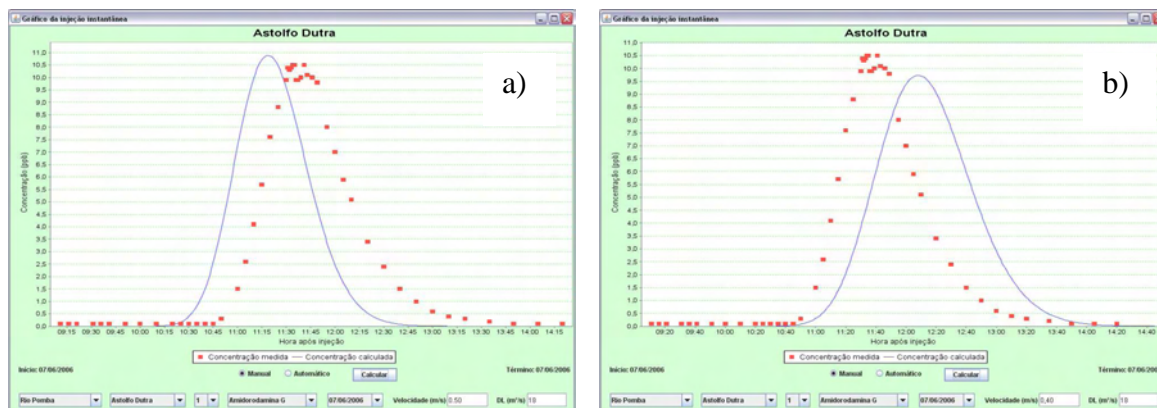


Figura 34 – Ilustração do resultado do ajuste manual em que foram fornecidos valores de velocidade média do escoamento: a) maior (0,50m/s), e b) menor (0,40 m/s), que o obtido automaticamente (0,45 m/s).

Observando a Figura 34 pode-se concluir que, se o valor da velocidade média do escoamento, fornecido interativamente ao sistema, for maior (0,50 m/s) do que aquele que fornece um melhor ajuste (0,45 m/s), a curva do modelo (em azul) não fornecerá um bom ajuste aos dados obtidos experimentalmente (em vermelho). Nesse caso, a curva do ajuste do modelo se desloca para a esquerda, conforme mostra a Figura 34.a e ocorre uma superestimativa da concentração de pico. Da mesma forma, se o valor fornecido (0,40 m/s), for menor do que aquele que forneceu melhor ajuste (0,45 m/s), a curva do modelo será deslocada para a direita e ficará mais achatada (espreiada) e conseqüentemente, haverá uma subestimativa da concentração de pico.

Sendo assim, pode-se concluir que quanto melhor for o ajuste do modelo aos dados medidos experimentalmente, mais precisa será a estimativa dos parâmetros hidrodinâmicos de escoamento do rio, a saber: coeficiente de dispersão longitudinal e velocidade média de escoamento.

A Figura 35 ilustra o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos do rio a partir de resultados experimentais com traçador, utilizando o método da convolução.

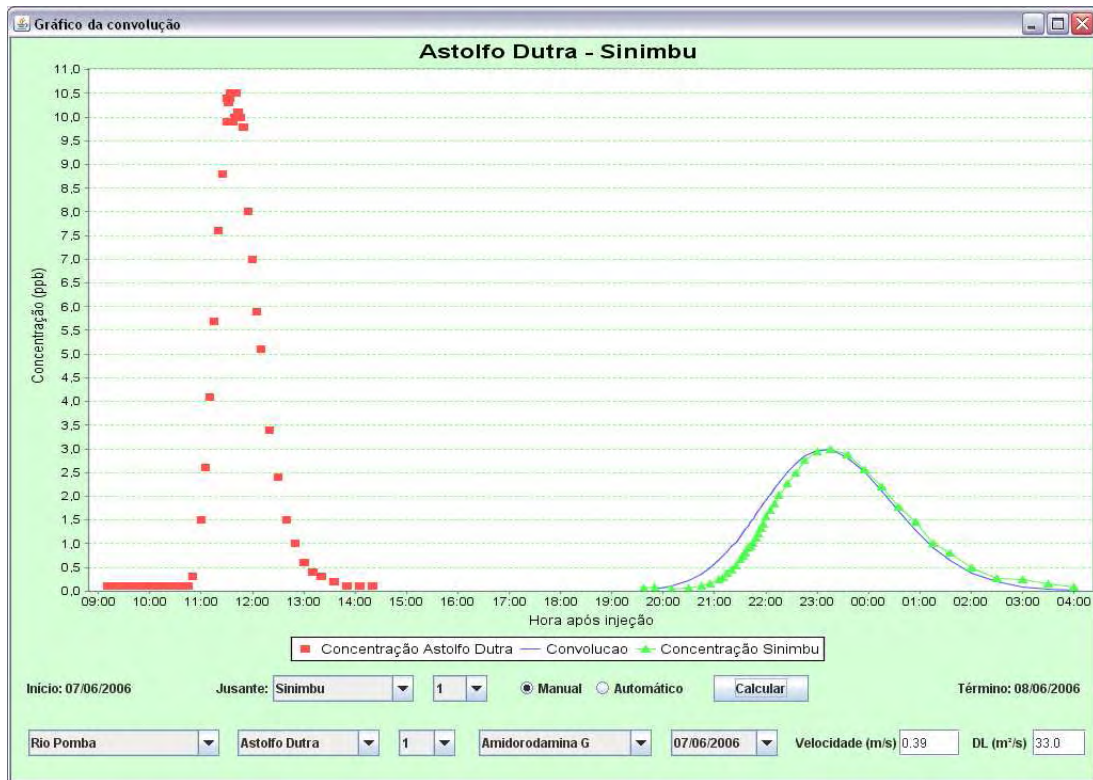


Figura 35 – Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos de dispersão longitudinal (D_L) e velocidade média (U) entre as seções de monitoramento de Astolfo Dutra e Sinimbu, distantes 16 km entre si.

Conforme mostra a Figura 35, na determinação do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L) pelo método da convolução, utilizam-se duas curvas de passagem obtidas experimentalmente por ensaio de traçador. O modelo da convolução utiliza uma equação de transferência para determinação do D_L , em que a injeção é representada pela distribuição de concentrações de montante, neste exemplo representada pela curva de passagem em Astolfo Dutra, e a seção de jusante, representada pela curva de passagem em Sinimbu, é utilizada para o ajuste do modelo.

Para este exemplo, a velocidade média e o coeficiente de dispersão longitudinal obtidos no trecho compreendido entre Astolfo Dutra e Sinimbu, de modo a fornecer o melhor ajuste entre o modelo da convolução e a curva de passagem de Sinimbu, foram $U = 0,39$ m/s e $D_L = 33,0$ m²/s, respectivamente. Nesse caso, a curva de passagem de montante causa o efeito de uma injeção contínua, que é fatiada em unidades instantâneas de discretização de massas. A curva do ajuste do modelo (Convolução), à jusante, é formada pela superposição das respostas das unidades de massa provenientes da curva de distribuição de concentrações de montante. Da mesma forma que no método do ajuste,

pode-se optar pelo ajuste automático ou manual, para determinar os parâmetros de transporte e dispersão de poluentes.

Vale ressaltar que os gráficos apresentados na Figura 35, são “plotados” juntos, numa mesma escala gráfica, favorecendo a visualização do abatimento da curva de passagem, a medida que o soluto se desloca para jusante.

Outra informação importante apresentada no gráfico é a data de início e término de deslocamento do soluto desde a sua injeção no curso d’água, representado pelo tempo inicial na seção de montante, até o término da passagem do mesmo pela seção de jusante. Esta é importante devido ao fato da “nuvem” da substância levar um certo tempo para se deslocar de uma seção até a outra, podendo levar desde algumas horas a alguns dias, dependendo das condições hidrodinâmicas locais e da distância entre as seções.

b) Determinação do D_L por fórmulas empíricas

Ainda na primeira opção do “menu” para cálculo do D_L é possível determinar o coeficiente de dispersão longitudinal por fórmulas empíricas conforme mostra a Figura 36.

The screenshot shows a software window titled "Dispersão" with a sub-window "Cálculo da dispersão por fórmula". The sub-window contains the following elements:

- Input fields for: H = Profundidade (m), Rh = Raio Hidráulico (m), g = Aceleração da gravidade (m/s²), So = Decividade do Leito (m/s), B = Largura do rio/canal (m), U = Velocidade (m/s), and u' = Velocidade de cisalhamento (m/s).
- A dropdown menu for "Fórmula proposta" set to "Ribeiro (2007)".
- An output field for "Dispersão Longitudinal (m²/s)".
- A "Calcular" button.
- A display area showing the formula: $D_L = 7,326 \cdot (u_*')^{0,303} \cdot (H)^{1,316} \cdot (B)^{0,445} \cdot (U)^{1,458}$.

Figura 36 – Cálculo do valor do coeficiente de dispersão longitudinal por meio de fórmula empírica.

Vale ressaltar que é possível escolher dentre várias fórmulas empíricas, abrindo a caixa ao lado do campo “Fórmula proposta” para o cálculo do valor do D_L . Uma vez escolhida a fórmula a sua imagem aparece do lado direito da tela (Figura 36).

4.4.2. Simulação dos efeitos de despejos de efluentes

A parte do sistema desenvolvida para funcionar como um sistema de alerta possibilita simular os efeitos de um despejo acidental ou intencional de uma substância solúvel, em uma seção de jusante (definida pela sua distância ao local do despejo). Neste módulo, o usuário deve escolher inicialmente entre dois tipos de despejo, instantâneo ou contínuo. Uma vez definido o tipo de despejo, deve informar ao sistema os dados hidrogeométricos do rio (vazão, velocidade média de escoamento, coeficiente de dispersão longitudinal) e as características do despejo, compreendendo a massa injetada instantaneamente, no caso de despejo instantâneo; ou distribuição de concentrações do efluente ao longo do tempo, no caso de despejo contínuo, além de informações locais, tais como: local do despejo, substância despejada, hora e data do despejo e distância da seção de interesse ao local do despejo.

a) Simulação dos efeitos de um despejo instantâneo

A Figura 37 apresenta o exemplo de dados de entrada para o caso de uma substância solúvel despejada instantaneamente no Rio Pomba, com uma massa de 1,565 kg, em que as condições do rio na hora do despejo correspondiam a uma vazão de 38,8 m^3/s , velocidade média do escoamento de 0,45 m/s e coeficiente de dispersão longitudinal de 18,0 m^2/s . Para essas condições, a curva de passagem da substância após 6,0 km do local de lançamento, gerada pelo sistema é apresentada na Figura 38.

Despejo instantâneo

Condições do despejo

Local do despejo: Rio Pomba

Substância despejada: Poluente

Data do despejo: 10/05/2007 Hora do despejo: 00:00

Efeito a jusante (Km): 6

Velocidade a jusante (m/s): 0,45

Dispersão (m²/s): 18

Vazão a jusante (m³/s): 38,8

Massa despejada (kg): 1565

Calcular

Figura 37 – Exemplo de dados de entrada para um despejo instantâneo.

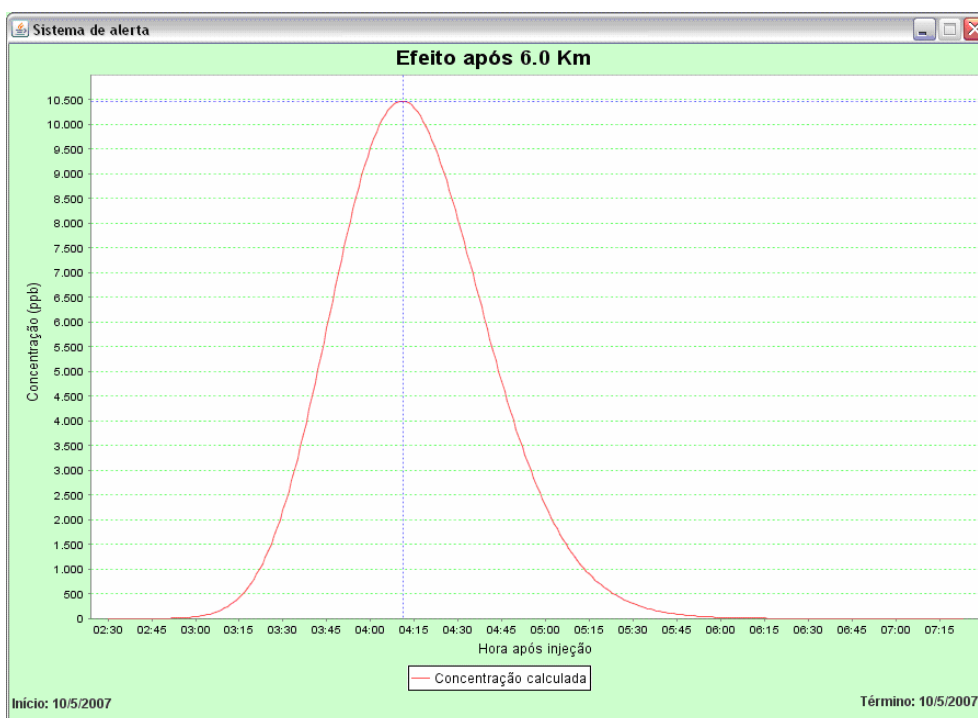


Figura 38 – Efeito do lançamento instantâneo de 1,565 kg de uma substância solúvel no rio, em uma seção distante 6,0 km do local de despejo e para as seguintes condições do rio: vazão de 38,8 m³/s, velocidade 0,45 m/s e D_L de 18 m²/s.

Analisando a Figura 38 pode-se perceber que para as condições hidrodinâmicas especificadas do rio e do efluente, a substância despejada começaria a passar na seção distante 6,0 km do lançamento aproximadamente 3:00 h após o despejo, a concentração máxima atingiria aproximadamente 10,5 ppb a 04:10 h, e a nuvem da substância já teria passado pela seção de interesse aproximadamente 05:50 h após o despejo.

Vale ressaltar também, que os resultados obtidos para as condições simuladas neste exemplo (Figuras 37 e 38) foram os mesmos obtidos no primeiro experimento com traçador fluorescente, em que foi injetada 1565 g de Amidorodamina G a jusante da usina de Ivam Botelho e na seção situada a 6,0 km do local de lançamento, correspondente a Astolfo Dutra, a curva de passagem apresentou as mesmas características. Isto sugere que o sistema está simulando bem as condições de um despejo instantâneo.

b) Simulação dos efeitos de um despejo contínuo

Na opção de despejo contínuo é necessário informar a distribuição temporal das concentrações no local do despejo, que é utilizada como entrada de massa no método da convolução, além das condições hidrogeométricas do rio.

Neste caso, o sistema possibilita realizar dois tipos de situações (Figura 39), chamadas: mistura desconhecida e mistura conhecida.

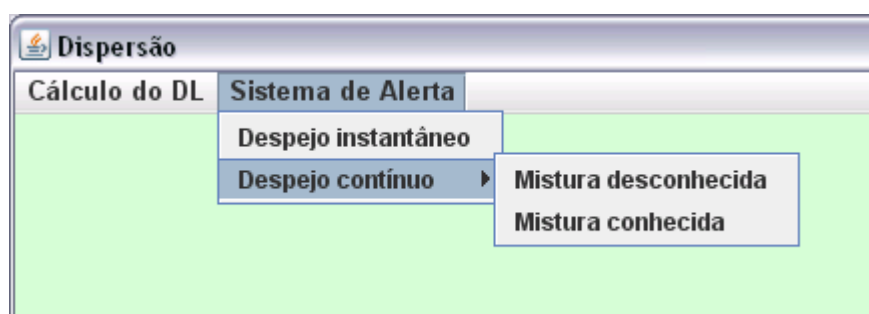


Figura 39 - Opções para simular os efeitos de um despejo contínuo de efluentes em uma seção de jusante.

b.1) Mistura desconhecida

Esta opção possibilita simular os efeitos de um despejo de efluentes contínuo ao longo de um período de tempo.

Nesse caso, são conhecidas independentemente as características do efluente despejado (distribuição de concentrações e vazão do despejo) e as características do rio (concentração da substância no rio ou “background” - BKG e vazão do rio). Após fornecer os dados de cada parte, despejo e rio, o sistema calcula a distribuição de concentrações da mistura utilizando uma média ponderada (Eq. 55), que será utilizada como a curva de entrada de concentrações para aplicar a metodologia da convolução. A partir desta curva será simulado o efeito do lançamento em uma determinada seção de jusante.

A Figura 40 ilustra a entrada de dados para simular o efeito de um despejo de efluente contínuo em uma seção localizada a jusante (7 km) do ponto de lançamento da substância.

Data	Hora	Concentração	Vazão
10/05/2007	10:45	0.0	1.0
10/05/2007	10:50	0.1	1.0
10/05/2007	11:00	0.8	1.0
10/05/2007	11:05	1.5	1.0
10/05/2007	11:10	2.5	1.0
10/05/2007	11:15	3.6	1.0
10/05/2007	11:20	4.6	1.0
10/05/2007	11:25	5.4	1.0
10/05/2007	11:30	6.0	1.0
10/05/2007	11:31	6.2	1.0
10/05/2007	11:32	6.2	1.0
10/05/2007	11:33	6.2	1.0
10/05/2007	11:34	6.2	1.0

Figura 40 – Dados de entrada para simular o efeito de um despejo contínuo do efluente em uma seção situada a 7,0 km a jusante. São fornecidos do lado esquerdo os dados do rio e do lado direito os do despejo de efluente.

Vale ressaltar que, cada linha da tabela da Figura 40 representa um registro, no qual são armazenados o valor da concentração da substância, associado a uma determinada vazão do efluente, para um determinado instante de tempo. Esses dados, são fornecidos por meio dos seguintes campos: Data do despejo, Hora da coleta, Concentração no efluente (ppb) e vazão no efluente (m^3/s). Após preencher esses dados, deve-se apertar o botão adicionar para armazenar o registro na tabela.

Na Figura 40 pode-se observar que a vazão do efluente despejado foi considerada constante e igual a $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ e a concentração do poluente variável com o tempo. Entretanto, o sistema permite variar também a vazão do efluente, ao longo do tempo.

A Figura 41 mostra o resultado da simulação de um despejo contínuo para os dados de entrada apresentados na Figura 40.

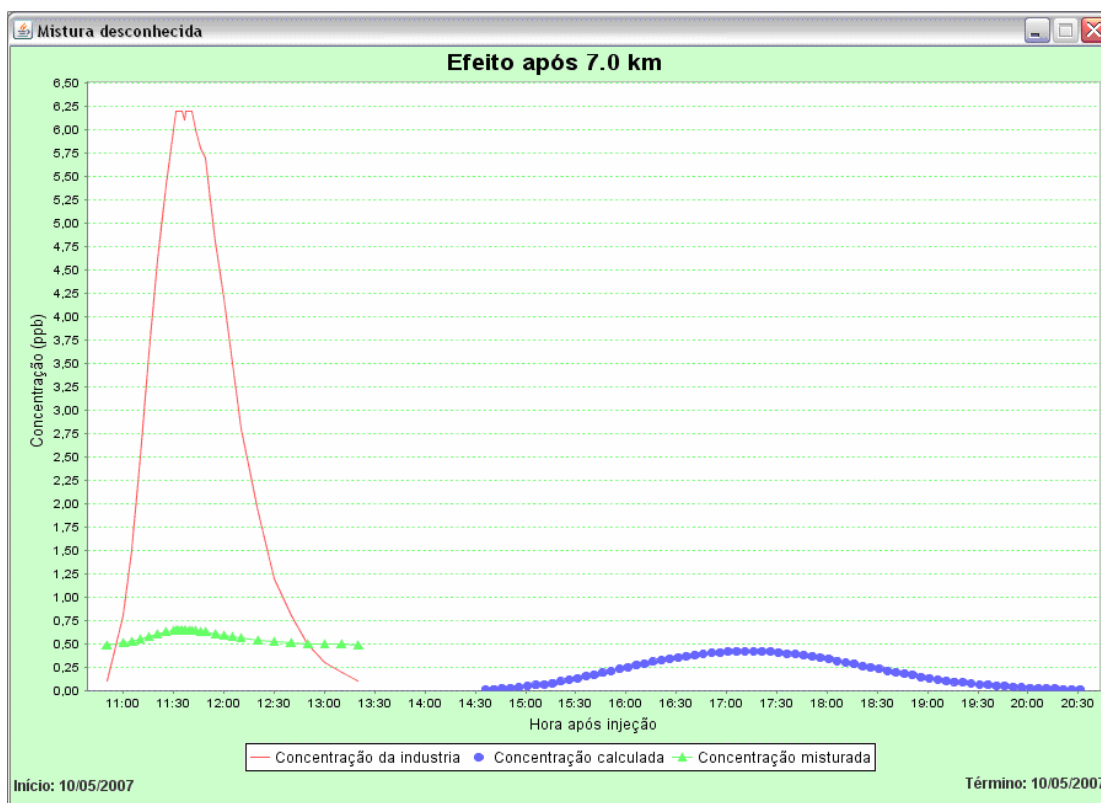


Figura 41 – Efeito a 7,0 km do ponto de lançamento de um despejo contínuo de efluente.

No gráfico da Figura 41, a curva em vermelho mostra a distribuição temporal de concentração da substância no efluente, conforme cadastrado na tabela da Figura 40. A curva em verde mostra a distribuição de concentrações resultante da mistura do efluente despejado com o do rio, no local do despejo, e a curva em azul mostra o resultado do efeito do lançamento contínuo do efluente despejado, para as condições especificadas, a 7,0 km a jusante do local do despejo. Essas curvas (verde e azul) são calculadas a partir da curva em vermelho (variação de concentrações no efluente) e dos dados do rio.

Para as condições do rio e do despejo consideradas nesta simulação, observa-se que a substância começaria a passar na seção de interesse situada a 7,0 km a jusante do local do lançamento às 14:30 h, o pico da concentração, passaria pela seção de interesse aproximadamente às 17:10 h e valeria aproximadamente 0,43 ppb e a substância passaria

completamente pela seção aproximadamente às 20:30 h. A Figura 42 mostra em detalhes o resultado da curva da mistura (em verde) e da curva do resultado a 7,0 km (em azul) da simulação apresentado na Figura 41, utilizando o recurso do “zoom” do gráfico.

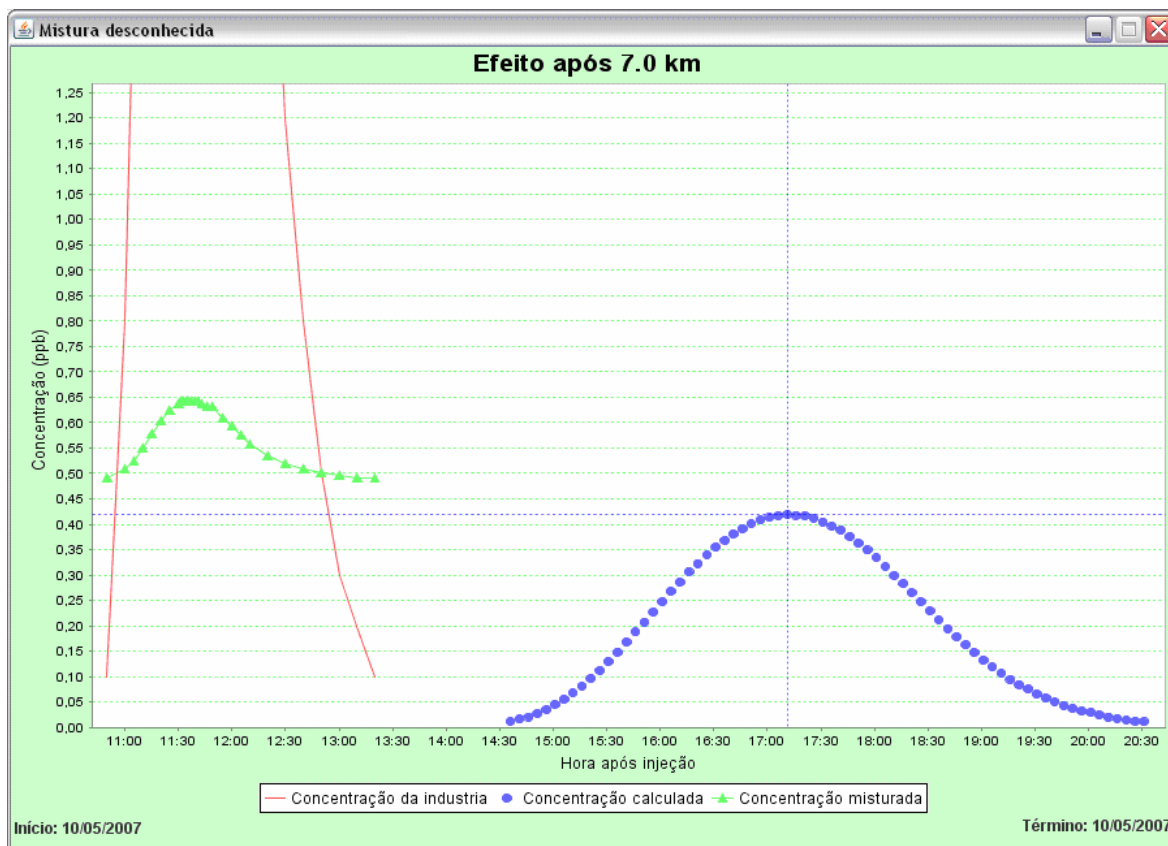


Figura 42 – “Zoom” das curvas verde e azul, mostrando o efeito do lançamento contínuo de um efluente numa seção localizada a 7,0 km do ponto de lançamento.

A Figura 43 mostrada a seguir apresenta um outro exemplo de entrada de dados para um despejo contínuo de efluente solúvel, no qual é simulada uma condição em que são mantidos constantes tanto a vazão quanto a concentração da substância no efluente ao longo do tempo.

Neste exemplo, foi considerado o valor da concentração da substância no rio igual 0,5 ppb e a concentração no efluente despejado igual a 1,0 ppb.

Observa-se neste exemplo que apenas dois registros de dados do efluente foram cadastrados, o primeiro à 1:00 h do dia 19/02/2008 e o segundo às 15:00 h do mesmo dia. Nesse caso, o sistema interliga estes pontos por uma reta e entende que os valores das concentrações intermediárias a estes dois pontos terão um valor constante.

Mistura desconhecida

Dados do rio

Local do despejo: Rio Pomba - Cidade de Astolfo Dutra

Substância despejada: Poluente solúvel

Distância - Efeito do despejo (km): 30

Velocidade média no rio (m/s): 0,45

Dispersão (m²/s): 32

Vazão a jusante (m³/s): 45

Vazão a montante (m³/s): 38

Concentração da substância no rio BKG (ppb): 0,5 ppb ▼

Dados do despejo

Data do despejo: 19/02/2008 Hora da coleta: 15:00

Concentração no efluente (ppb): 1

Vazão no efluente (m³/s): 2

Limpar
Adicionar

Data	Hora	Concentração	Vazão
19/02/2008	01:00	1.0	2.0
19/02/2008	15:00	1.0	2.0

Calcular

Figura 43 – Exemplo de um despejo contínuo onde foram mantidos constantes a vazão e concentração da substância poluente no efluente.

Vale ressaltar, também, neste exemplo, que o sistema possibilita variar a vazão do rio do local de despejo para a seção a jusante, onde se quer avaliar o efeito do lançamento do efluente. Essa flexibilidade é importante nos casos em que ocorra a contribuição de um afluente num ponto intermediário do trecho em estudo, fazendo alterar a vazão de jusante, onde se quer avaliar o efeito do despejo.

Neste caso, a vazão a jusante é a soma da vazão do rio, no local do lançamento do efluente, mais a vazão de um, ou mais afluentes que contribuem para o rio no trecho em estudo.

A Figura 44 mostra o efeito desse despejo contínuo, no qual foram mantidas constantes a vazão e a concentração da substância no despejo, conforme apresentado nos dados de entrada da Figura 43.

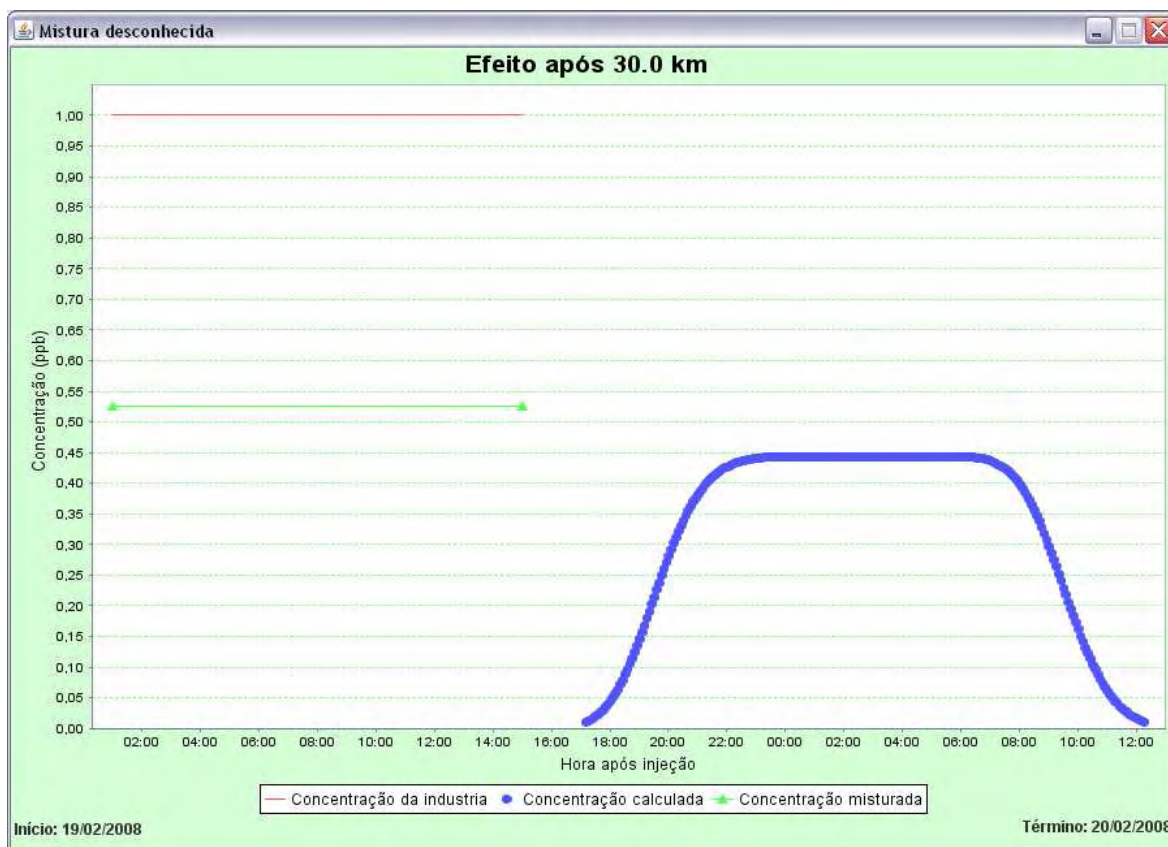


Figura 44 – Efeito após 30,0 km de um despejo contínuo, onde foram mantidos constantes a vazão e concentração da substância no efluente.

A Figura 44 mostra no gráfico o resultado do despejo de efluente em que foi mantido constante tanto a concentração quanto a vazão do efluente, em uma seção localizada a 30,0 km do local do lançamento. Observa-se nessa figura que a concentração da substância poluente vai aumentando até um certo valor (0,45 ppb), onde é formado um patamar de estabilização da concentração, que se mantém por um período de tempo até o instante em que passa a decrescer.

Sendo assim, pode-se perceber a grande variedade de combinações de vazão e concentração do poluente, de um despejo de efluente, em relação às condições ambientais do curso d'água que o sistema possibilita simular, contribuindo expressivamente para o gerenciamento dos recursos hídricos e funcionando como um sistema de alerta para usuários de água localizados a jusante de um local de despejo de um poluente solúvel no curso d'água.

b.2) Mistura conhecida

Nessa opção é possível simular os efeitos de um despejo de efluentes, por exemplo de uma indústria, em que a distribuição de concentrações resultante da mistura do efluente industrial com o rio é conhecida. Este caso é semelhante ao método convolução com uso de traçador, onde a distribuição de concentrações de montante é previamente conhecida.

Para esta simulação é necessário fornecer somente os dados da distribuição de concentrações da mistura, que será utilizada como a curva de entrada de concentrações para aplicar a metodologia da convolução. A partir desta curva será simulado o efeito em uma seção de jusante.

Com objetivo de verificar se o sistema está representando bem as condições de um despejo contínuo, os parâmetros e condições utilizadas nesta simulação foram os seguintes: para a curva de distribuição de concentrações de montante, representando o despejo contínuo, foram utilizados os valores medidos experimentalmente em Astolfo Dutra, para o traçador Amidorodamina G, na primeira campanha (28/05/2007); os parâmetros hidrodinâmicos utilizados foram os mesmos obtidos para a convolução entre as curvas de Astolfo Dutra e Dona Euzébia (vazão de Astolfo Dutra igual a $38,8 \text{ m}^3/\text{s}$, vazão em Dona Euzébia $44,3 \text{ m}^3/\text{s}$, $D_L = 37 \text{ m}^2/\text{s}$, $u = 0,38 \text{ m/s}$), conforme mostra a Figura 45.

The screenshot shows a software window titled "Mistura conhecida" with a sub-header "Condições do despejo". The interface includes several input fields for simulation parameters:

- Local do despejo: Rio Pomba
- Data do despejo: 10/05/2007
- Hora do despejo: 14:20
- Substância despejada: Poluente Solúvel
- Concentração (ppb): 0,1
- Distância a jusante (KM): 7
- Velocidade a jusante (m/s): 0,38
- Dispersão a jusante (m^2/s): 37
- Vazão a jusante (m^3/s): 44,3
- Vazão Montante (m^3/s): 38,8

There are "Limpar" and "Adicionar" buttons. Below them is a table with the following data:

Data	Hora	Concentração
10/05/2007	11:33	10,3
10/05/2007	11:34	10,3
10/05/2007	11:35	10,4
10/05/2007	11:36	10,8
10/05/2007	11:37	10,7
10/05/2007	11:39	10,5
10/05/2007	11:41	10,3
10/05/2007	11:43	10,3
10/05/2007	11:46	9,7
10/05/2007	11:49	9,5
10/05/2007	11:55	8,1
10/05/2007	12:00	7,0
10/05/2007	12:05	6,0

A "Calcular" button is located at the bottom center of the window.

Figura 45 – Alimentação do sistema para simular o efeito de um despejo contínuo em uma seção distante 7,0 km do local do despejo.

Para o exemplo apresentado na Figura 45, considerando as seguintes condições hidrodinâmicas: vazão de montante (despejo) igual a $38,8 \text{ m}^3/\text{s}$, vazão de jusante (seção de interesse) igual a $44,3 \text{ m}^3/\text{s}$, velocidade do rio $0,38 \text{ m/s}$ e coeficiente de dispersão longitudinal igual a $37,0 \text{ m}^2/\text{s}$, o resultado é apresentado na Figura 46, a seguir.

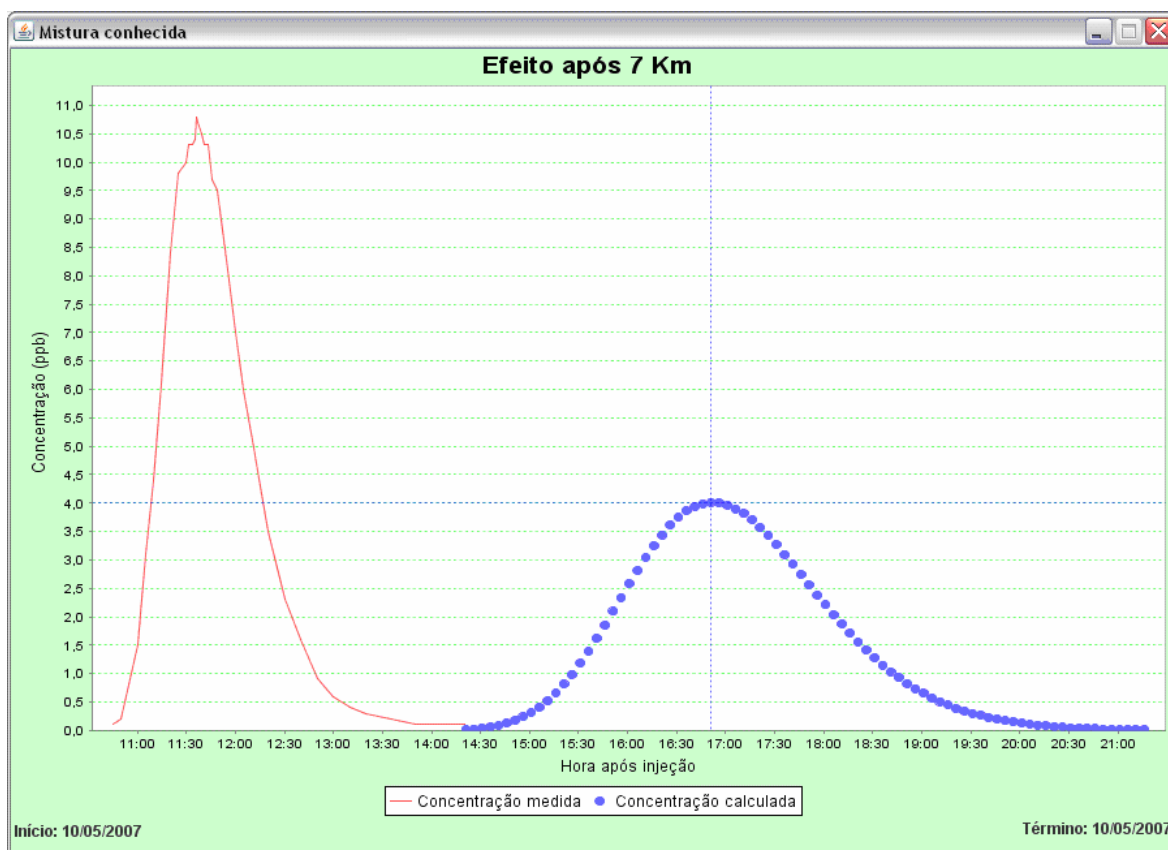


Figura 46 – Resultado do efeito de um lançamento contínuo em uma seção distante 7,0 km do local de despejo.

Analisando as Figura 46 pode-se perceber que para um despejo contínuo iniciando as 11:00 h e terminando as 14:00 h (curva em vermelho), sob as condições hidrodinâmicas do curso d'água apresentadas na Figura 45, o poluente solúvel começaria a passar na seção distante 7,0 km do lançamento as 14:00 horas (curva azul), atingindo a concentração máxima de 4,0 às 17:00 h e a nuvem da substância poluente já teria passado a aproximadamente 21:00 h do mesmo dia.

Destaca-se ainda que o resultado obtido pelo modelo, simulando o efeito de um despejo contínuo numa seção distante 7,0 km, para estas condições, assemelha-se bastante a curva de passagem do traçador Amidorodamina G obtida experimentalmente em ensaios de campo, mostrando, assim que o modelo está simulando bem para o caso de um despejo contínuo.

5. CONCLUSÕES

Com relação aos objetivos propostos neste trabalho e os resultados obtidos com base nas metodologias utilizadas, pode-se concluir que:

- Os ensaios de campo utilizando traçadores fluorescentes e a aplicação do modelo *fickiano* de Taylor aos resultados experimentais possibilitaram avaliar a capacidade de transporte e dispersão longitudinal de poluentes solúveis do Rio Pomba. O modelo apresentou bom ajuste às curvas de passagem obtidas experimentalmente, mostrando-se adequado para determinar o coeficiente de dispersão longitudinal;
- Foi desenvolvida uma equação empírica para predição do coeficiente de dispersão longitudinal, a partir de resultados experimentais de campo utilizando traçadores fluorescentes. Tal equação apresentou melhor precisão quando comparada a outras propostas na literatura, tendo como referência dados obtidos experimentalmente por técnicas de traçadores para um curso d'água natural;
- O sistema computacional desenvolvido possibilitou avaliar os efeitos de um lançamento instantâneo ou contínuo de efluentes solúveis em uma determinada seção de jusante, contribuindo expressivamente para alertar os usuários de água, principalmente em casos de despejos acidentais de substâncias potencialmente tóxicas.

6. RECOMENDAÇÕES

São apresentadas as seguintes recomendações:

- Utilizar a equação desenvolvida nesse estudo na faixa de vazões compreendida entre 10 a 100 m³/s. Considerando que esta foi a amplitude de vazões utilizada na sua concepção, entende-se que qualquer valor fora desta faixa seria considerada uma extrapolação;
- Implementar no sistema de alerta desenvolvido metodologias que incluam constituintes não conservativos e avaliar a sua influência nos resultados de concentrações nas seções a jusante de um despejo;
- Integrar as metodologias de transporte e dispersão de poluentes solúveis, utilizadas neste trabalho, a sistemas de suporte para a outorga da qualidade de água, visando subsidiar os órgãos competentes, a fim de atender a primeira diretriz da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal 9.433/97, onde se define que a gestão de recursos hídricos deve ser sistemática, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade da água;
- Realizar novas campanhas de traçador no Rio Pomba, no trecho de 36,0 km compreendido entre as cidades de Astolfo Dutra e Cataguases em épocas de cheia e seca para avaliar o valor de dispersão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**, ANA, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Brasília (DF), SPR, 2005, 176 p.
- BARBOSA JR, A. R, SILVA, G. Q., NEVES, B. V. B., DEVENS, J. A. **Métodos diretos de determinação do coeficiente de dispersão longitudinal em cursos d'água naturais, Parte 1 – fundamentos teóricos**. Revista Escola de Minas – REM, Ouro Preto, 58(1) jan.-mar., 2005a, 27-32 pp.
- BARBOSA JR, A. R, SILVA, G. Q., NEVES, B. V. B., DEVENS, J. A. **Métodos diretos de determinação do coeficiente de dispersão longitudinal em cursos d'água naturais, Parte 2 – aplicação e comparação dos métodos**. Revista Escola de Minas – REM, Ouro Preto, 58(2) abr.-jun., 2005b, 139-145 pp.
- BEDMAR, A. PLATA, **Isótopos en Hirologia**, Editorial Alhambra, S.A, Primera Edición, 1972, 328 p.
- BENISCHKE, R. **Fluorescent tracers in hydrology: principles, instrumentation, physico-chemical properties, analytcs**. Institute for Geothermics & Hydrology, Joanneum Research, Austria. 1989, 77 p.

- BOWIE, G.L., MILLS, W.B., PORCELLA, D.B., CAMPBELL, C.L., PAGENKOPF, J.R., RUPP, G.L., JOHNSON, K.M., CHAN, P.W.H., GHERINI, S.A., **Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling**, 2^a Edition, Environmental, Research Laboratory Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency Athens, Georgia, EPA/600/3-85/040, 445 p.
- BRASIL, **Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. MMA/SRH, 1997.
- BROWN, L. C. & BARNWELL JR., T. O. **The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual**. United States Environmental Protection Agency – USEPA, Environmental Research Laboratory, Athens – Georgia, 1987, 189 p.
- BRODKEY, R.S. **The phenomena of fluid motions**. Addison – Wesley Publishing Company, USA, 1967.
- BUCKINGHAM, E. **Model experiments and the form of empirical equations**, Trans. ASME, vol. 37, 1915, 263-269 pp.
- BUSSAB, W. O. **Métodos quantitativos - análise de variância e regressão: uma introdução**. 2. ed., São Paulo: Atual, 1999, 147 p.
- CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, 1997, p. 89-97.
- CAMPOS, N. e STUART, T., **Gestão de Águas – Princípios e práticas**, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre (RS), 2001, 197 p.
- CIRILO, J. A., COELHO, M. M. L. P., BAPTISTA, M. B. **Hidráulica Aplicada**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 8, Porto Alegre (RS). 2001, 619 p.
- CLARK, J. F.; SCHLOSSER, P.; STUTE, M; SIMPSON, H. J. **SF6 – 3He tracer release experiment: a new method of determining longitudinal dispersions coefficients in large rivers**. Environmental Science & Technology, v. 30, n. 5., 1996.
- CHAPRA, S.C. **Modelagem de qualidade da água em rios**. Apostila didática do curso. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, USP, São Paulo (SP), Jun.(13-17), 1994, 114 p.
- CHAPRA, S.C; PELLETIER, G.J.; TAO, H. **QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality**. Version 2.07: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA., June 2007, 103p.

- DEVENS, J. A.; BARBOSA JR., A. R.; SILVA, G. Q. **Modelo de Quantificação do Coeficiente de Dispersão Longitudinal de Pequenos Cursos de Água Naturais**. Revista de Eng. Sanitária e Ambiental – ABES, Vol. 11, N° 3, 2006, 269-276 pp.
- FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A.; TOLEDO, G. L. **Estatística aplicada**. 2 ed., São Paulo: Atlas, 1985, 267 p.
- HUNT, B. **Assymptotic solutions for one-dimensional dispersion in rivers**. Journal of Hydraulic engineering, January, 2006, 87-93 p.
- LEAL, M. S. **Gestão ambiental de recursos hídricos: princípios e aplicações**. Rio de Janeiro, CPRM, 1998, 176 p.
- LENCASTRE, A. **Manual de Hidráulica Geral**. Ed. Blucher, São Paulo, 1972, 411 p.
- MILONE, G. **Estatística Geral e Aplicada**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004, 483 p.
- NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R. e KING, K.W. **Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Theoretical Documentation – Version 2000**, Grassland, Soil & Water Research Laboratory, Temple, Texas GSWRL Report e Blackland Research and Extension, Temple, Texas BRC Report, 2002, 458 p.
- PAIVA, J. B. D. e PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia Aplicada a Pequenas Bacias Hidrográficas**. Avaliação da Qualidade da Água – Cap. 16. ABRH / REHIDRO / FINEPE, Porto Alegre (RS), 2001, 625 p.
- PEREIRA, C. B. **Influência do método de estimativa do coeficiente de dispersão longitudinal na simulação da qualidade da água em rios**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 1999, 129 p.
- PEREIRA, S. B. **Evaporação no Lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no Rio São Francisco**. Terse de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 2004, 105 p.
- RIBEIRO, C. B. M.; SILVA, D.D.; SOARES, J. H. P.; MATOS, A. T. **Comparação de metodologias para determinação do coeficiente de dispersão longitudinal em rios: estudo desenvolvido no Rio Pomba (MG)**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, São Paulo, nov. 2007.
- RICKERMANN, J.; NEUMANN, M.ORT, C. HUSMAN, J. L. e GUJER, W. **Dispersion coefficients of sewers tracer experiments**. Int. Conference on Urban Drainage Modelling, Dresden, 2004, pp. 417-426.
- RIGO, Daniel. **Dispersão longitudinal em rios: desempenho de métodos de previsão e de traçadores fluorescentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1992. 114 p.

- ROBINSON, J.M.; HUBBARD, K.G. **Soil water assessment model for several crops in high plains**. Agronomy Journal, v. 82, 1990, p. 1141-1148.
- ROLDÃO, J.S.F, **Traçadores em Hidrologia**, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil PEC/COPPE/UFRJ, Apostila e notas de aula do curso COC 717 – Laboratório de Traçadores – Caixa postal 68506, Rio de Janeiro, 1999.
- ROLDÃO, J. S. F., SOARES, J. H. P. **Determinação “in situ” da capacidade de transporte e dispersão do rio Paraíba do Sul no trecho Volta Redonda – Barra do Pirai**. IV Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, Portugal / Lisboa, 1989, 572-585 pp.
- ROLDÃO, J.; LOPES, N.; STICHLER, W.; ZUBER, A. **Artificial and environmental tracers in the study of leakage under a dike of the Samuel Reservoir, Porto Velho, Brazil**, IAEA Seminar in México, Toluca (Mexico), September, 1987, 103-105pp.
- ROSMAN, P. C. C., **Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 3**. Subsídios para modelagem de sistemas estuarinos – Cap. 3. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Fundação COPPETEC-UFRJ, 1997.
- ROSSO, T. C. A. **Determinação do coeficiente de dispersão em rios através de traçadores radioativos e fluorescentes**. 1986. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- RUTHERFORD, J.C. **River mixing**. John Wiley & Sons. 1994. 347p.
- SEO, W.; CHEONG, T. S. **Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams**. Journal of Hydraulic Engineering, January, 1998, 25-32 p.
- SOARES, J. H. P.; RIBEIRO, C. B. M. **Avaliação da Capacidade de Transporte e Dispersão do Rio Paraíba Utilizando Traçadores Fluorescentes**. IV Congresso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, v. 2, Ago. 2000, pp. 1131-1141.
- SOARES, J. H. P.; RIBEIRO, C. B. M, PAIVA, L. E. **Determinação “in situ” da Capacidade de Transporte e Dispersão do Rio Paraíba Utilizando Traçador Fluorescente**. II Congresso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, Mai./1996, pp. 174-182.
- STREETER, V.L.; WYLIE, E.B. **Mecânica dos Fluidos**. 7ª ed. Tradução de Celso da Silva Muniz. São Paulo, McGraw-Hill, 1982, 585 p.

- SWAMEE, P. K.; PATHAK, S. K.; & SOHRAB, M. **Empirical relations for longitudinal dispersion in streams.** Journal of Environmental Engineering, November, 2000, 1056 – 1062 p.
- TAYFUR, G. e SINGH, V. P. **Predicting longitudinal dispersion coefficient in natural streams by artificial neural network.** Journal of Hydraulic Engineering, November, 2005, 991-1000 pp.
- TAYLOR, G. I. **The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe.** Proceedings of the Royal Society, Londres, serie A223, p. 446-468, 1954.
- TUCCI, C.E.M., **Modelos Hidrológicos.** Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 1998, 669 p.
- VIANNA, M.R. **Mecânica dos Fluidos para Engenheiros.** 3ª ed., Belo Horizonte: Imprimatur, 1997, 582 p.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2ª Edição, Belo Horizonte (MG): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1996, 243 p.
- WHITE, W. R.; MILLI, H.; CRABBE, A. D. **Sediment transport: an appraisal methods.** Vol.2: Performance of theoretical methods when applied to flume and field data. Hydr. Res. Station Rep., N° IT119, Wallingford, U.K., 1973.
- WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. **Statistics for the evaluation and comparison of models.** Journal of Geophysical Research. Ottawa, v. 90, n. C5, 1985, p. 8995-9005.
- WILSON JR., J. F.; COBB, E. D.; KILPATRICK, F. A. **Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey. Fluorimetric Procedures for Dye Tracing. Book 3 – Applications of Hydraulics,** U. S. Geological Survey. 1986, 34 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A

RETAS DE CALIBRAÇÃO

1.a. – Exemplos do processo de obtenção das retas de calibração

a) Construção das retas de calibração para Amidorodamina G (Fabricante: ORCO). Data: 06/Jun/2006

As diluições-padrão obtidas em laboratório foram lidas no fluorímetro calibrado para as condições mostradas na Tabela 1.a, equipado com filtros próprios para leitura de Amidorodamina G. Os resultados das leituras em diferentes escalas foram transformados para a escala L100. Estes, foram correlacionados com os valores das concentrações-padrão para obter as retas de calibração conforme mostra a Tabela 2.a e as respectivas retas de calibração na Figura 1.a.

Tabela 1.a - Características do Fluorímetro 1

Filtro Primário	DAL 526
Filtro Secundário	OG 550-2
Referência	OG 550-3
Lâmpada Branca	F4T5 - D
Escala (calibração)	X 1
Concentração Máxima	10,0 ppb
Leitura (Conc. Máxima)	9,0 milivolts

Tabela 2.a – Valores utilizados para construir a reta de calibração de Amidorodamina G

Concentrações (ppb) PADRÃO	Manhã (10:00 h)			Tarde (15:00 h)		
	Leitura	Escala	Leit. L100	Leitura	Escala	Leit. L100
Água Destilada	3,0	31,6	9,49	2,9	31,6	9,18
BKG	3,2	31,6	10,13	3,2	31,6	10,13
0	0,0	31,6	0,00	0,0	31,6	0,00
0,1	5,8	31,6	18,35	5,8	31,6	18,35
0,2	8,6	31,6	27,22	8,7	31,6	27,53
0,5	5,0	10,0	50,00	4,3	10,0	43,00
1,0	3,2	3,16	101,27	3,0	3,16	94,94
2,0	5,5	3,16	174,05	5,2	3,16	164,56
5,0	4,6	1,0	460,00	4,0	1,0	400,00
10,0	9,0	1,0	900,00	8,9	1,0	890,00

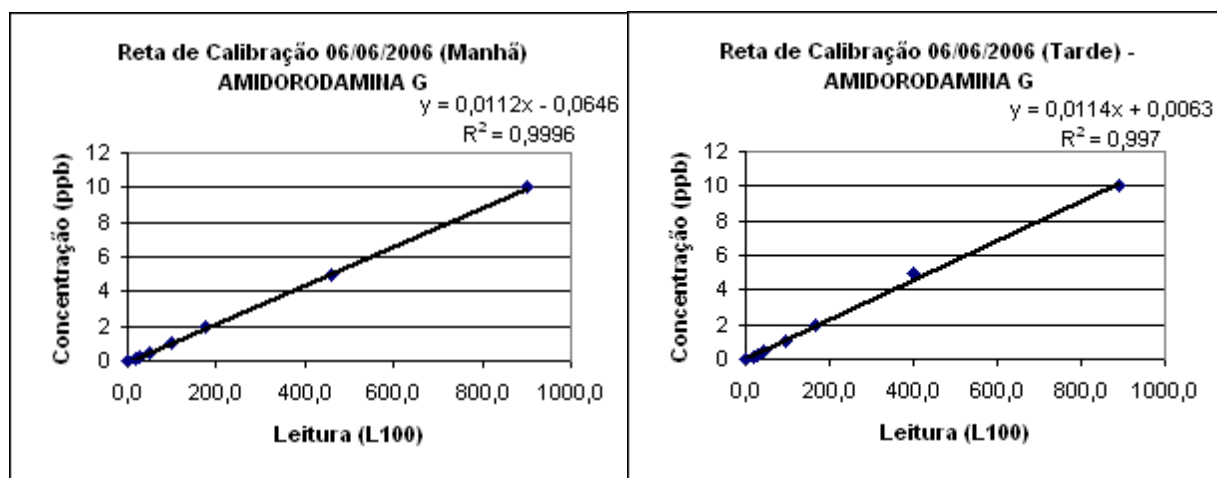


Figura 1.a – Retas de calibração para Amidorodamina G referentes aos dados da Tabela 2.a

b) Construção das retas de calibração para Uranina (Fabricante: CLAUPA). Data: 06/Jun./2006

As diluições-padrão obtidas em laboratório foram lidas no fluorímetro calibrado para as condições mostradas na Tabela 3.a, equipado com filtros próprios para leitura de Uranina. Os resultados das leituras em diferentes escalas foram transformados para a escala L100. Estes, foram correlacionados com os valores das concentrações padrão para obter as retas de calibração conforme mostra a Tabela 4.a e as respectivas retas de calibração na Figura 2.a.

Tabela 3.a – Características do Fluorímetro 2

Filtro Primário	DAL 487
Filtro Secundário	OG 515-2
Referência	OG 515-3
Lâmpada Branca	F4T5 - D
Escala (calibração)	X 1
Concentração Máxima	10,0 ppb
Leitura (Conc. Máxima)	9,0 milivolts

Tabela 4.a – Valores utilizados para construir a reta de calibração de Uranina

Conc. (ppb) PADRÃO	Manhã (10:00 h)			Tarde (15:00 h)		
	Leitura	Escala	Leit. L100	Leitura	Escala	Leit. L100
Água Destilada	2,6	31,6	8,23	2,3	31,6	7,28
BKG	5,2	31,6	16,46	4,8	31,6	15,19
0	0,0	31,6	0,00	0,0	31,6	0,00
0,1	7,2	31,6	22,78	7,0	31,6	22,15
0,2	3,6	10,0	36,00	3,4	10,0	34,00
0,5	6,2	10,0	62,00	6,0	10,0	60,00
1,0	3,5	3,16	110,76	3,3	3,16	104,43
2,0	6,1	3,16	193,04	6,0	3,16	189,87
5,0	4,9	1,0	490,00	4,9	1,0	490,00
10,0	9,0	1,0	900,00	9,2	1,0	920,00

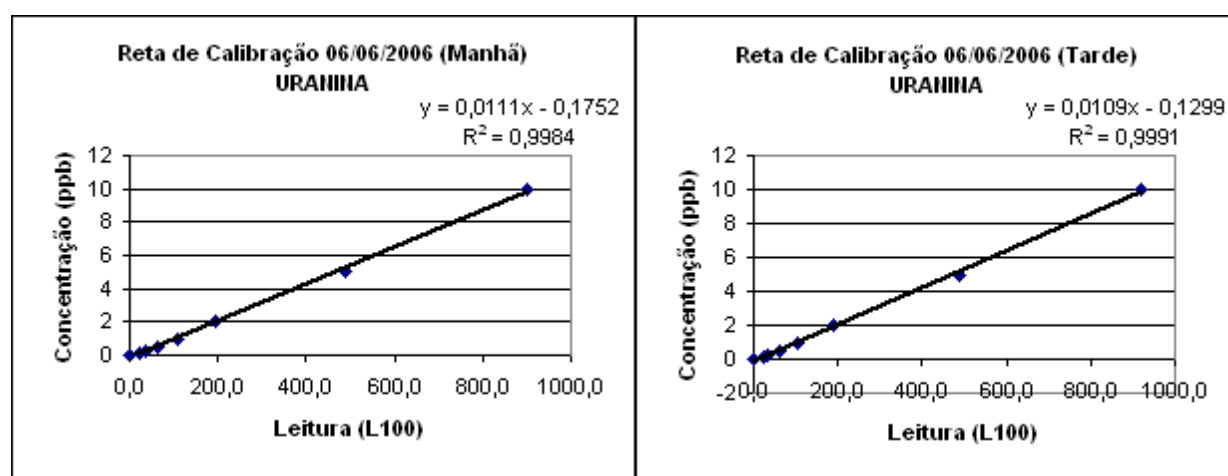


Figura 2.a – Retas de calibração referentes aos dados da Tabela 4.a

2.a – Resultados das retas de calibração para o primeiro experimento, dia 07/06/2006, a partir dos procedimentos apresentados no item A1 (Figura 3.a)

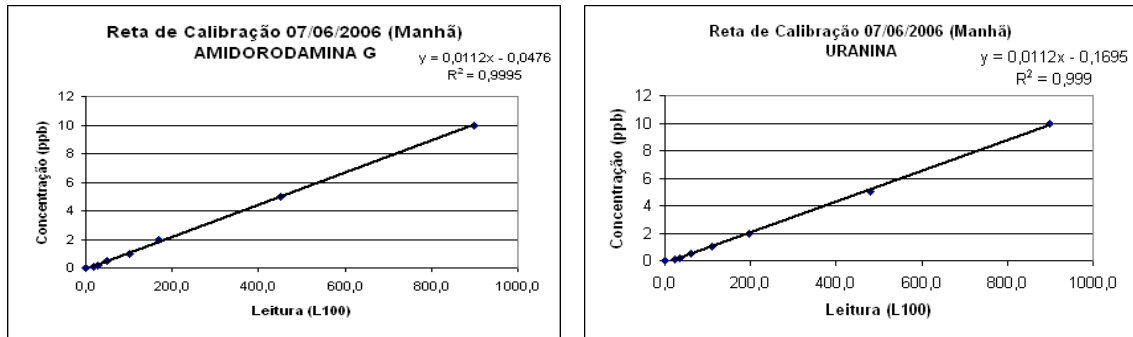


Figura 3.a – Resultados das retas de calibração para os traçadores Uranina e Amidorodamina G, para o dia 07/06/2006

3.a – Resultados das retas de calibração obtidas para o segundo experimento, traçador Uranina, no dia 30/04/2007, em diferentes horários (Figura 4.a)

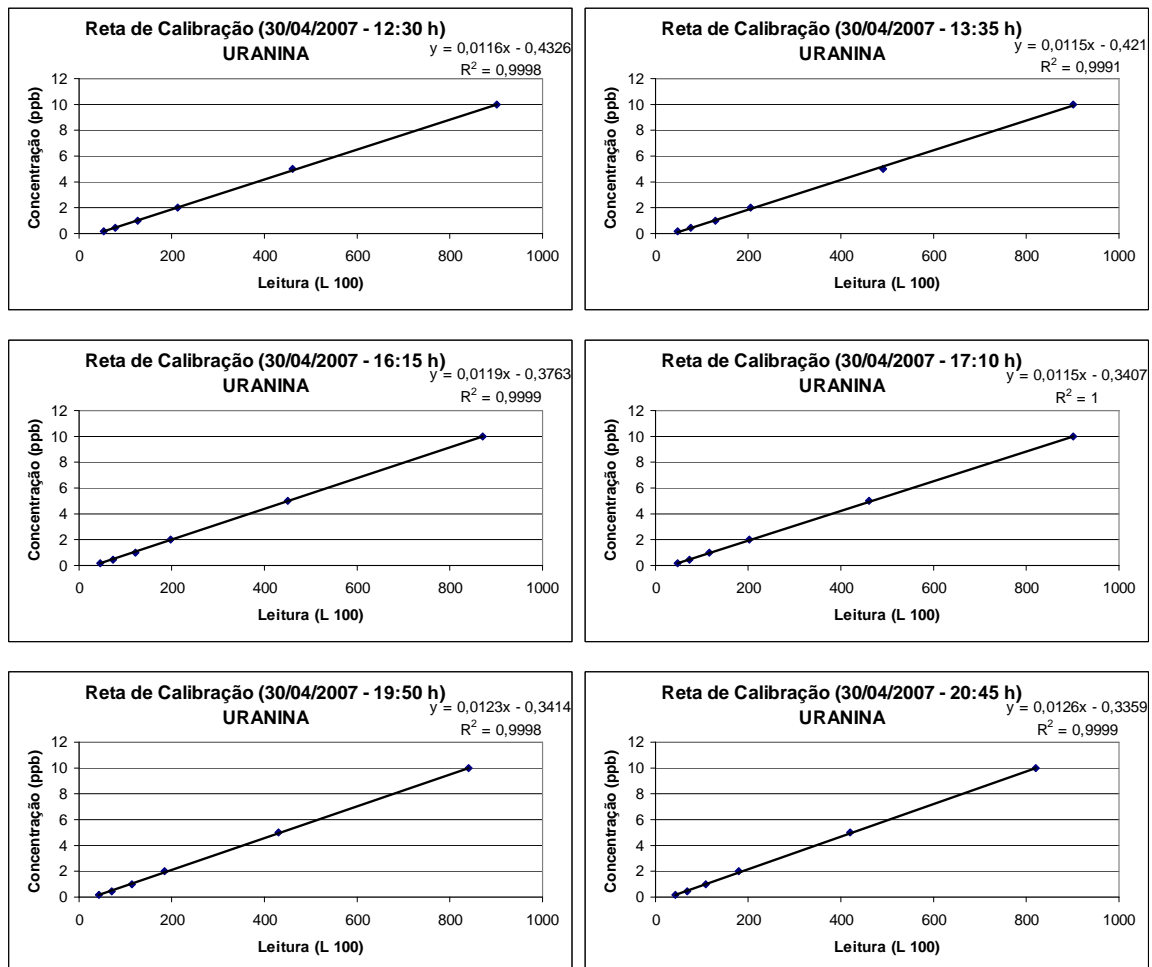


Figura 4.a – Resultados das retas de calibração para Uranina, dia 30/04/2007, segundo experimento, em diferentes horários

4.a - Resultados das retas de calibração obtidas para o segundo experimento, traçador Uranina, no dia 01/05/2007, em diferentes horários (Figura 5.a)

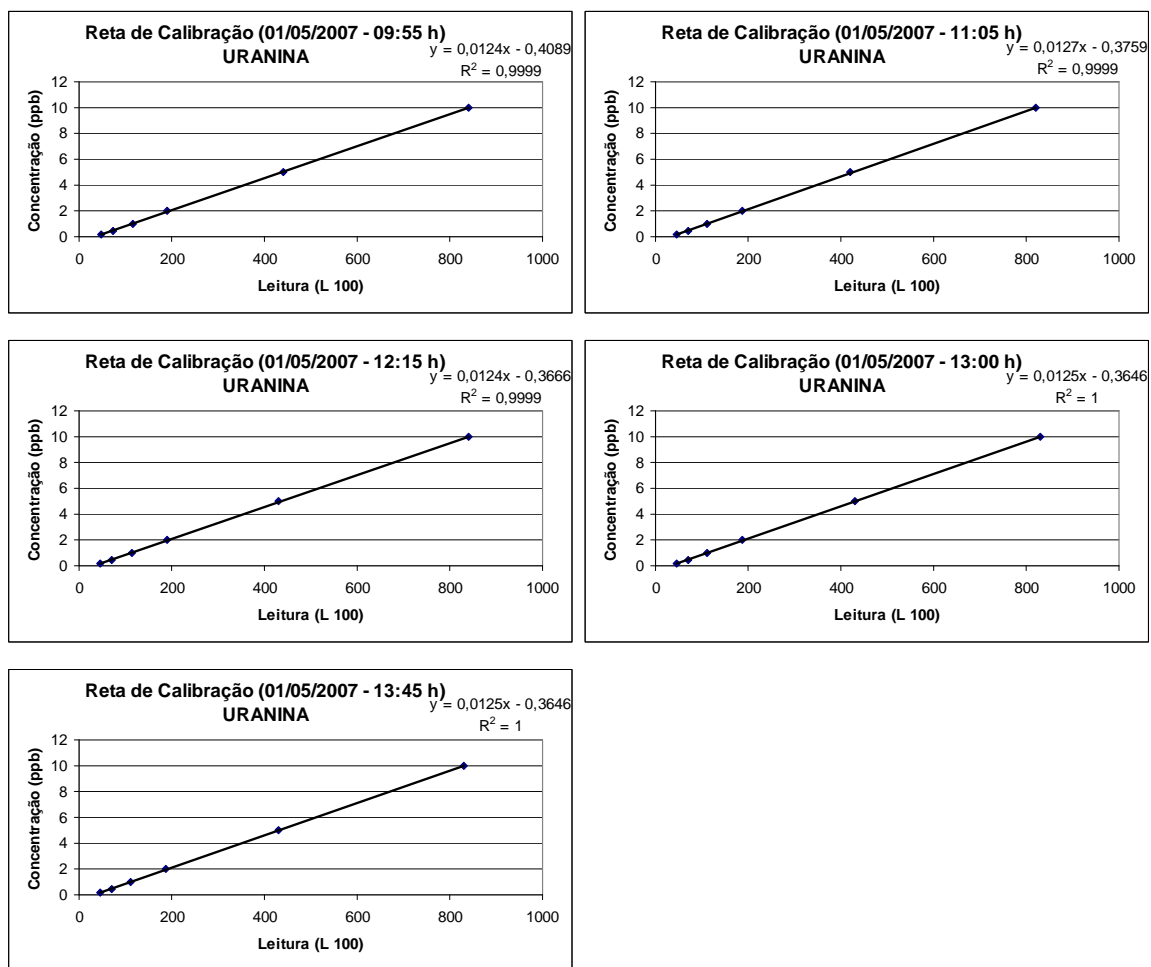


Figura 5.a – Resultados das retas de calibração para Uranina, dia 01/05/2007, segundo experimento, em diferentes horários

5.a – Resultados das retas de calibração obtidas para Amidorodamina G Extra no dia 01/05/2007, em diferentes horários (Figura 6.a)

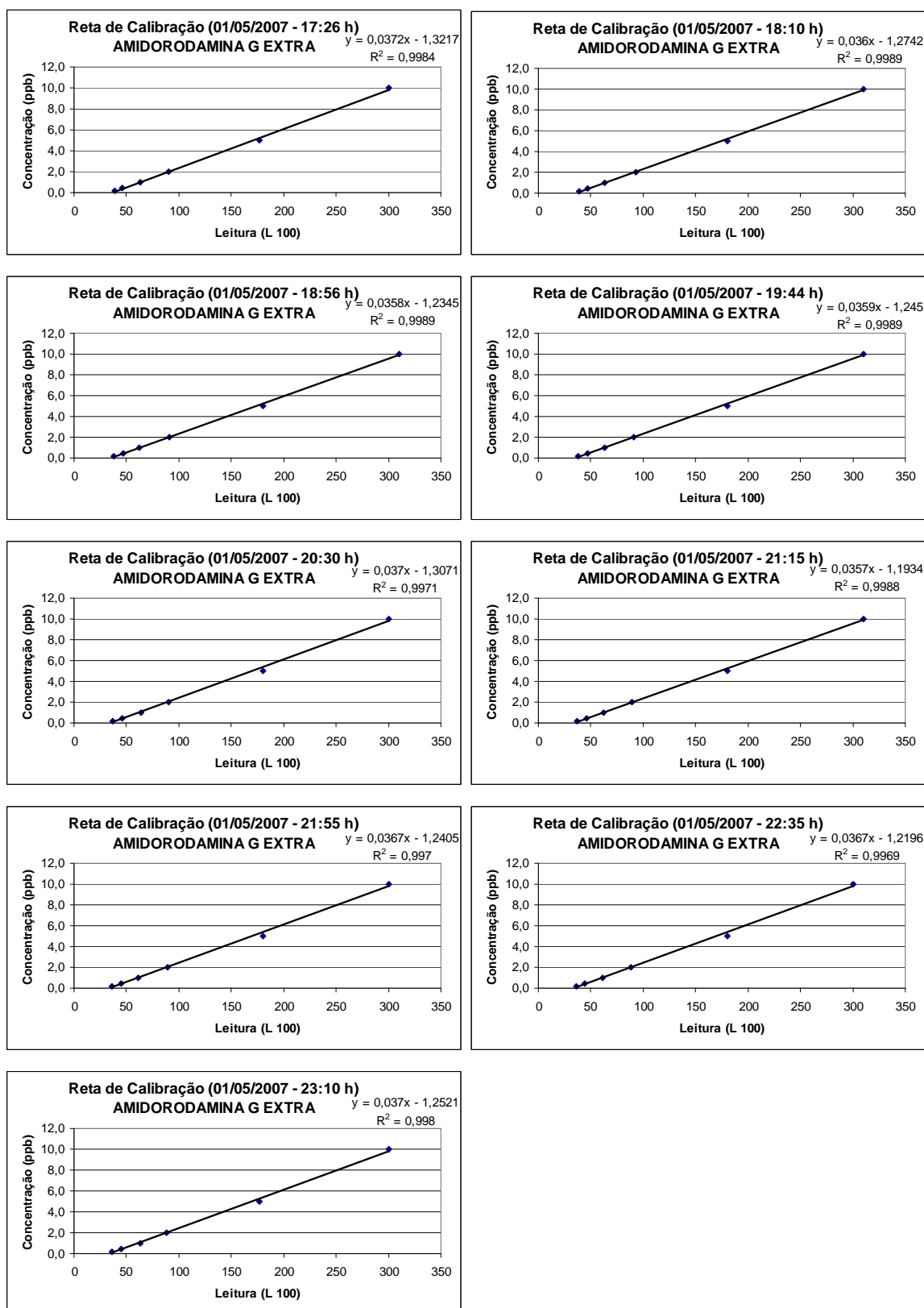


Figura 6.a – Resultados das retas de calibração para Amidorodamina G, dia 01/05/2007, segundo experimento, em diferentes horários

APÊNDICE B

**VALORES UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DA EQUAÇÃO PARA
CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DISPERSÃO LONGITUDINAL (D_L)**

Tabela 1.b – Valores de D_L calculados pelo método do ajuste nos trabalhos de RIBEIRO et al. (2007), SOARES e RIBEIRO (2000) e SOARES et al. (1996) e características hidrogeométrica utilizados na regressão linear múltipla para o desenvolvimento da nova equação

Rio/Estação Fluv.	Data	Injeção	DL (m ² /s)	Q (m ³ /s)	B (m)	U (m/s)	H (m)	S (m/m)	u* (m/s)	$D_L/(u \cdot H)$	B/H	u*/U	Re.
Paraibuna/JF Jus.	21/10/1995	Instantânea	35,00	42,60	26,00	0,92	1,79	0,00054	0,09	214,34	14,53	0,10	163295
Paraibuna/JF Jus.	23/1/1996	Instantânea	10,00	19,60	25,50	0,66	1,17	0,00054	0,08	113,50	21,79	0,11	88103
Paraibuna/JF Jus.	21/5/1996	Instantânea	8,50	16,20	21,00	0,57	1,36	0,00054	0,08	78,34	15,44	0,14	108501
Paraibuna/JF Jus.	7/10/2005	Instantânea	12,00	23,20	23,00	0,77	1,31	0,00054	0,08	116,06	17,56	0,10	103398
Paraibuna/JF Jus.	1/12/2005	Instantânea	15,00	33,03	28,00	0,83	1,43	0,00054	0,08	126,46	19,58	0,10	118613
Pomba/Ast. Dutra	28/5/2006	Instantânea	19,00	38,80	44,00	0,65	1,34	0,00166	0,14	98,52	32,84	0,22	192846
Pomba/Cataguases	28/5/2006	Instantânea	33,00	98,00	81,00	0,50	2,42	0,00177	0,20	68,47	33,47	0,40	481982
Pomba/Ast.Dutra	14/4/2007	Instantânea	19,00	36,00	40,00	0,65	1,37	0,00166	0,15	95,21	29,20	0,22	199563

APÊNDICE C

VALORES UTILIZADOS NA VALIDAÇÃO DA EQUAÇÃO (57) DESENVOLVIDA PARA O CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DISPERSÃO LONGITUDINAL (D_L)

Tabela 1.c – Valores de D_L e características hidrogeométricas calculadas no estudo de PEREIRA (1999), utilizadas para validação do modelo proposto (Eq.57). O método utilizado para determinar D_L foi convolução de Fischer ou “Routing Procedure”.

Observação (Oi)	Rio / Seção	Data	Injeção	D_L (m^2/s)	Q (m^3/s)	B (m)	U (m/s)	H (m)	S (m/m)	u_* (m/s)
1	Muqui do Sul / S2T1	24/1/1999	Instantânea	0,89	0,67	3,50	0,64	0,30	0,00	0,10
2	Muqui do Sul / S3T1	24/1/1999	Instantânea	3,40	1,04	2,80	1,02	0,36	0,01	0,16
3	Muqui do Sul / S2T2	23/1/1999	Instantânea	5,14	3,80	5,60	0,65	1,04	0,00	0,09
4	Muqui do Sul / S2T4	16/12/1998	Instantânea	10,91	6,77	15,44	0,53	0,92	0,00	0,05
5	Muqui do Sul / S2T4	21/1/1999	Instantânea	5,20	7,58	14,00	1,30	0,42	0,01	0,14
6	Muqui do Sul / S2T5	4/12/1998	Instantânea	16,00	10,43	8,90	1,03	1,14	0,00	0,08
7	Muqui do Sul / S2T5	5/12/1998	Instantânea	9,62	9,59	9,50	0,94	1,07	0,00	0,08
8	Muqui do Sul / S2T5	20/1/1999	Instantânea	8,03	7,61	9,80	0,84	0,93	0,00	0,07
9	Muqui do Sul / S3T5	4/12/1998	Instantânea	16,68	12,95	12,00	1,18	0,91	0,00	0,10
10	Muqui do Sul / S3T5	5/12/1998	Instantânea	20,65	11,48	12,20	1,12	0,84	0,00	0,09
11	Muqui do Sul / S3T5	20/1/1999	Instantânea	19,04	8,38	10,50	1,15	0,70	0,00	0,10

APÊNDICE D

**CURVAS DE PASSAGEM DO SEGUNDO EXPERIMENTO DE CAMPO COM
TRAÇADOR, DIAS 14 E 15/ABR/2007**

1.d) Curvas de passagem de Uranina (Figura 1.d) e Amidorodamina G (Figura 2.d), obtidas no segundo experimento, onde foram injetados instantaneamente 1.519,59 g de Uranina e 1.459,81 g Amidorodamina G, as 00h30min do dia 14/04/06, a jusante da barragem Ivan Botelho, no Rio Pomba.

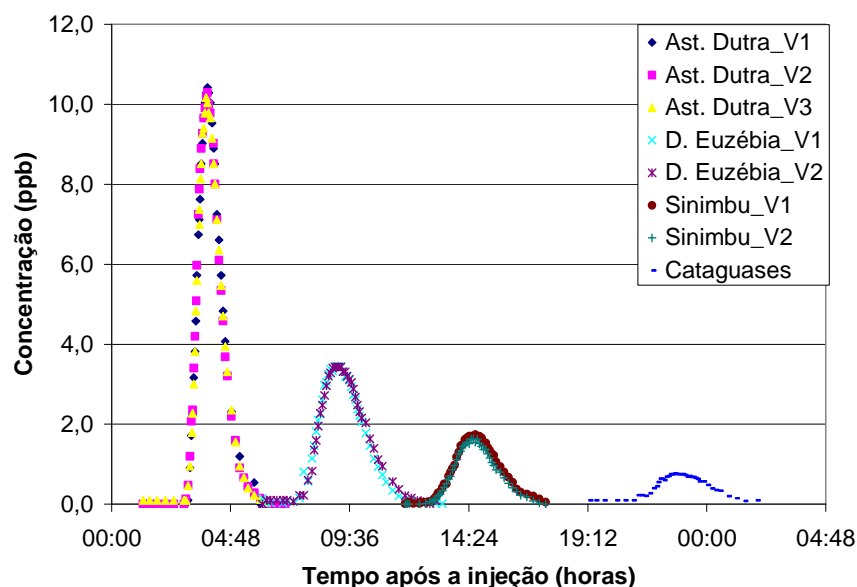


Figura 1.d – Curvas de passagem para Uranina (2º experimento, 14 e 15, de abril de 2007)

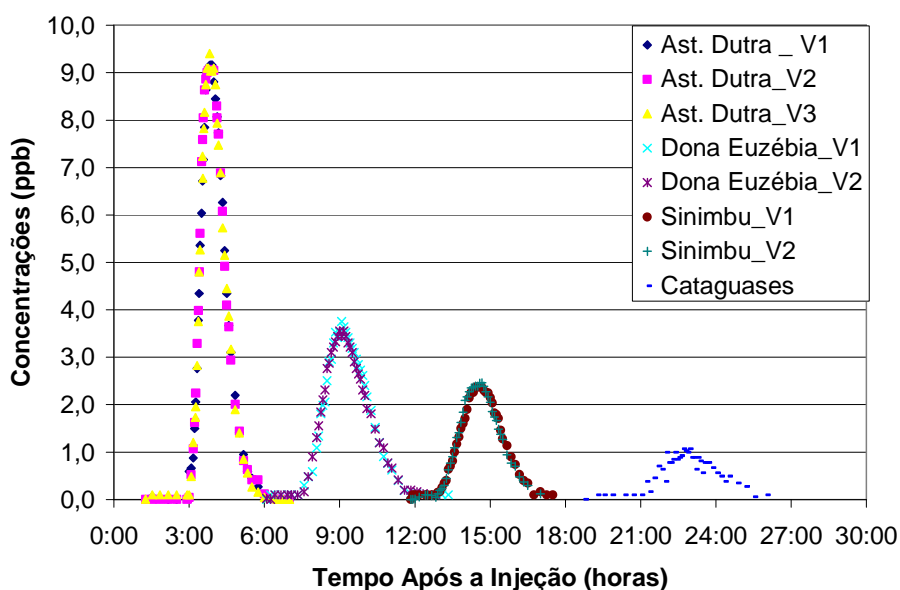


Figura 2.d – Curvas de passagem para Amidorodamina G (2º experimento, 14 e 15 de abril de 2007)

APÊNDICE E

**PLANILHAS DE CÁLCULO DAS CONCENTRAÇÕES A PARTIR DE
AMOSTRAS DE TRAÇADOR OBTIDAS NOS EXPERIMENTO DE CAMPO E
RESPECTIVOS GRÁFICOS DO CÁLCULO DO D_L PELO MÉTODO DO AJUSTE**

1.e – Resultados obtidos para o primeiro experimento, dias 28 e 29/05/2006, a partir das amostras coletadas em campo

Tabela 1.e - Resultado do 1º experimento, AMIDORODAMINA G, V1 Astolfo Dutra, leitura em 07/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo (s)	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
09:11	01:11	4260	4,1	31,6	13,0	0,1	
09:16	01:16	4560	3,7	31,6	11,7	0,1	27,19
09:21	01:21	4860	4,0	31,6	12,7	0,1	26,66
09:31	01:31	5460	4,5	31,6	14,2	0,1	61,82
09:36	01:36	5760	3,7	31,6	11,7	0,1	29,31
09:41	01:41	6060	3,7	31,6	11,7	0,1	25,06
09:51	01:51	6660	3,5	31,6	11,1	0,1	48,00
10:00	02:00	7200	3,4	31,6	10,8	0,1	40,33
10:10	02:10	7800	3,6	31,6	11,4	0,1	45,87
10:20	02:20	8400	3,9	31,6	12,3	0,1	51,19
10:25	02:25	8700	3,5	31,6	11,1	0,1	25,06
10:30	02:30	9000	3,5	31,6	11,1	0,1	22,94
10:35	02:35	9300	3,3	31,6	10,4	0,1	21,87
10:40	02:40	9600	3,6	31,6	11,4	0,1	22,40
10:45	02:45	9900	3,7	31,6	11,7	0,1	24,53
10:50	02:50	10200	9,1	31,6	28,8	0,3	53,77
11:00	03:00	10800	4,4	3,16	139,2	1,5	536,05
11:05	03:05	11100	7,4	3,16	234,2	2,6	613,06
11:10	03:10	11400	3,7	1,0	370,0	4,1	1000,74
11:15	03:15	11700	5,1	1,0	510,0	5,7	1464,12
11:20	03:20	12000	6,8	1,0	680,0	7,6	1984,92
11:25	03:25	12300	7,9	1,0	790,0	8,8	2455,32
11:30	03:30	12600	8,9	1,0	890,0	9,9	2808,12
11:31	03:31	12660	9,3	1,0	930,0	10,4	608,66
11:32	03:32	12720	9,2	1,0	920,0	10,3	618,74
11:33	03:33	12780	9,3	1,0	930,0	10,4	618,74
11:34	03:34	12840	9,4	1,0	940,0	10,5	625,46
11:35	03:35	12900	9,4	1,0	940,0	10,5	628,82
11:36	03:36	12960	8,9	1,0	890,0	9,9	612,02
11:37	03:37	13020	8,9	1,0	890,0	9,9	595,22
11:39	03:39	13140	9,0	1,0	900,0	10,0	1197,17
11:41	03:41	13260	9,4	1,0	940,0	10,5	1230,77
11:43	03:43	13380	9,1	1,0	910,0	10,1	1237,49
11:46	03:46	13560	9,0	1,0	900,0	10,0	1815,91
11:49	03:49	13740	8,8	1,0	880,0	9,8	1785,67
11:55	03:55	14100	7,2	1,0	720,0	8,0	3208,46
12:00	04:00	14400	6,3	1,0	630,0	7,0	2253,72
12:05	04:05	14700	5,3	1,0	530,0	5,9	1934,52
12:10	04:10	15000	4,6	1,0	460,0	5,1	1648,92
12:20	04:20	15600	3,1	1,0	310,0	3,4	2558,64
12:30	04:30	16200	6,8	3,16	215,2	2,4	1736,08
12:40	04:40	16800	4,5	3,16	142,4	1,5	1172,96
12:50	04:50	17400	9,0	10,0	90,0	1,0	752,32
13:00	05:00	18000	6,0	10,0	60,0	0,6	475,44
13:10	05:10	18600	4,1	10,0	41,0	0,4	310,80
13:20	05:20	19200	3,0	10,0	30,0	0,3	210,00
13:35	05:35	20100	7,4	31,6	23,4	0,2	226,39
13:50	05:50	21000	4,7	31,6	14,9	0,1	150,15
14:05	06:05	21900	3,8	31,6	12,0	0,1	92,73
14:20	06:20	22800	3,8	31,6	12,0	0,1	78,38
						Σ =	39772,52
Parâmetros		Ast. Dutra V1					
D _t (m ² /s) =		18,00					
X (m) =		6000,00					
U (m/s) =		0,45					
Q (m ³ /s) =		38,80					
M (g) =		1565000,00					
A (m ²) =		85,75					
			M. Recup. =		1.543.174		
			M. Injetada		1.565.000		
			FC =		99		
					0,99		

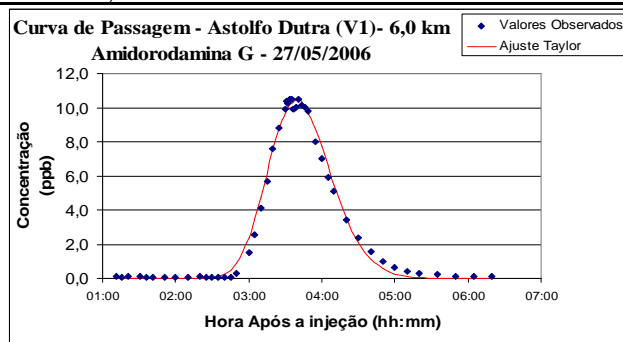


Figura 1.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Astolfo Dutra, V1, AMI

Tabela 2.e - Resultado do 1º experimento, URANINA, V1 Astolfo Dutra, leitura em 07/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seq	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
09:11	01:11	4260	4,6	31,6	14,6	0,0	
09:16	01:16	4560	4,5	31,6	14,2	0,0	0,03
09:21	01:21	4860	4,8	31,6	15,2	0,0	0,02
09:31	01:31	5460	5,5	31,6	17,4	0,0	0,01
09:36	01:36	5760	4,6	31,6	14,6	0,0	0,02
09:41	01:41	6060	4,5	31,6	14,2	0,0	0,17
09:51	01:51	6660	4,6	31,6	14,6	0,0	0,33
10:00	02:00	7200	4,6	31,6	14,6	0,0	0,30
10:10	02:10	7800	4,5	31,6	14,2	0,0	0,60
10:20	02:20	8400	4,9	31,6	15,5	0,0	0,33
10:25	02:25	8700	4,6	31,6	14,6	0,0	0,16
10:30	02:30	9000	4,5	31,6	14,2	0,0	0,30
10:35	02:35	9300	4,4	31,6	13,9	0,0	0,17
10:40	02:40	9600	5,0	31,6	15,8	0,0	0,16
10:45	02:45	9900	4,8	31,6	15,2	0,0	1,65
10:50	02:50	10200	6,7	31,6	21,2	0,1	11,70
11:00	03:00	10800	8,9	10,0	89,0	0,8	268,58
11:05	03:05	11100	4,8	3,16	151,9	1,5	353,86
11:10	03:10	11400	7,6	3,16	240,5	2,5	608,39
11:15	03:15	11700	3,4	1,0	340,0	3,6	924,40
11:20	03:20	12000	4,3	1,0	430,0	4,6	1242,75
11:25	03:25	12300	5,0	1,0	500,0	5,4	1511,55
11:30	03:30	12600	5,5	1,0	550,0	6,0	1713,15
11:31	03:31	12660	5,7	1,0	570,0	6,2	366,15
11:32	03:32	12720	5,7	1,0	570,0	6,2	372,87
11:33	03:33	12780	5,7	1,0	570,0	6,2	372,87
11:34	03:34	12840	5,7	1,0	570,0	6,2	372,87
11:35	03:35	12900	5,7	1,0	570,0	6,2	372,87
11:36	03:36	12960	5,6	1,0	560,0	6,1	369,51
11:37	03:37	13020	5,7	1,0	570,0	6,2	369,51
11:39	03:39	13140	5,7	1,0	570,0	6,2	745,74
11:41	03:41	13260	5,7	1,0	570,0	6,2	745,74
11:43	03:43	13380	5,5	1,0	550,0	6,0	732,30
11:46	03:46	13560	5,3	1,0	530,0	5,8	1058,13
11:49	03:49	13740	5,2	1,0	520,0	5,7	1027,89
11:55	03:55	14100	4,4	1,0	440,0	4,8	1874,34
12:00	04:00	14400	3,9	1,0	390,0	4,2	1343,55
12:05	04:05	14700	3,3	1,0	330,0	3,5	1158,75
12:10	04:10	15000	8,3	3,16	262,7	2,8	944,82
12:20	04:20	15600	5,9	3,16	186,7	1,9	1408,17
12:30	04:30	16200	3,9	3,16	123,4	1,2	940,33
12:40	04:40	16800	8,5	10,0	85,0	0,8	598,58
12:50	04:50	17400	5,9	10,0	59,0	0,5	382,14
13:00	05:00	18000	4,3	10,0	43,0	0,3	241,02
13:10	05:10	18600	3,2	10,0	32,0	0,2	150,30
13:20	05:20	19200	7,3	31,6	23,1	0,1	83,44
13:35	05:35	20100	5,0	31,6	15,8	0,0	43,63
13:50	05:50	21000	5,1	31,6	16,1	0,0	8,54
14:05	06:05	21900	4,5	31,6	14,2	0,0	5,52
14:20	06:20	22800	4,7	31,6	14,9	0,0	0,90
						Σ =	22729,08

Parâmetros	Ast. Dutra V1		
D_L (m ² /s) =	17,00		
X (m) =	6000,00	M. Recup. =	881,888
U (m/s) =	0,45	M. Injetada =	1.017,000
Q (m ³ /s) =	38,80		87
M (g) =	1017000,00	FC =	0,87
A (m ²) =	85,75		

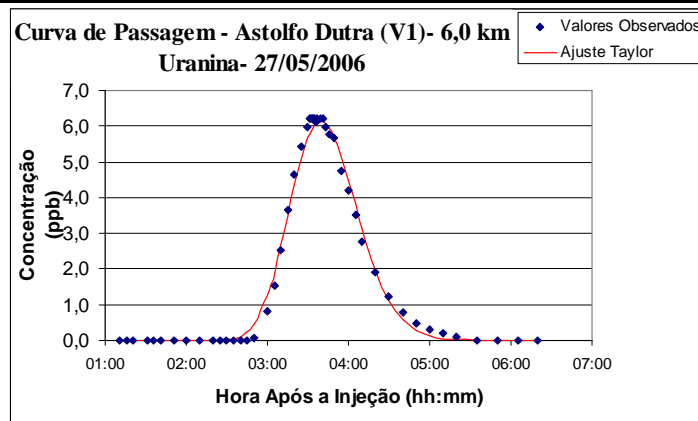


Figura 2.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Astolfo Dutra, V1, URA

Tabela 3.e - Resultado do 1º experimento, AMIDORODAMINA G, V2 Astolfo Dutra, leitura em 07/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
09:11	01:11	4260	4,9	31,6	15,5	0,1	
09:16	01:16	4560	4,2	31,6	13,3	0,1	34,10
09:21	01:21	4860	3,8	31,6	12,0	0,1	28,25
09:31	01:31	5460	5,0	31,6	15,8	0,1	65,01
09:36	01:36	5760	5,2	31,6	16,5	0,1	39,95
09:41	01:41	6060	4,8	31,6	15,2	0,1	38,88
09:51	01:51	6660	3,8	31,6	12,0	0,1	62,88
10:00	02:00	7200	4,4	31,6	13,9	0,1	52,77
10:10	02:10	7800	4,3	31,6	13,6	0,1	63,95
10:20	02:20	8400	4,1	10,0	41,0	0,4	154,92
10:26	02:26	8760	4,0	31,6	12,7	0,1	91,04
10:30	02:30	9000	4,0	31,6	12,7	0,1	22,60
10:35	02:35	9300	4,5	31,6	14,2	0,1	30,91
10:40	02:40	9600	4,0	31,6	12,7	0,1	30,91
10:45	02:45	9900	4,9	31,6	15,5	0,1	33,04
10:50	02:50	10200	7,1	31,6	22,5	0,2	49,52
11:00	03:00	10800	3,3	3,16	104,4	1,1	397,82
11:05	03:05	11100	7,0	3,16	221,5	2,4	533,31
11:10	03:10	11400	3,5	1,0	350,0	3,9	945,87
11:15	03:15	11700	5,2	1,0	520,0	5,8	1447,32
11:20	03:20	12000	6,7	1,0	670,0	7,5	1984,92
11:25	03:25	12300	8,1	1,0	810,0	9,0	2472,12
11:30	03:30	12600	8,9	1,0	890,0	9,9	2841,72
11:31	03:31	12660	8,9	1,0	890,0	9,9	595,22
11:32	03:32	12720	9,0	1,0	900,0	10,0	598,58
11:33	03:33	12780	9,0	1,0	900,0	10,0	601,94
11:34	03:34	12840	9,1	1,0	910,0	10,1	605,30
11:35	03:35	12900	9,1	1,0	910,0	10,1	608,66
11:36	03:36	12960	9,2	1,0	920,0	10,3	612,02
11:37	03:37	13020	9,2	1,0	920,0	10,3	615,38
11:39	03:39	13140	9,1	1,0	910,0	10,1	1224,05
11:41	03:41	13260	9,1	1,0	910,0	10,1	1217,33
11:43	03:43	13380	8,9	1,0	890,0	9,9	1203,89
11:46	03:46	13560	8,6	1,0	860,0	9,6	1755,43
11:49	03:49	13740	8,3	1,0	830,0	9,2	1694,95
11:55	03:55	14100	7,2	1,0	720,0	8,0	3107,66
12:00	04:00	14400	6,5	1,0	650,0	7,2	2287,32
12:05	04:05	14700	5,7	1,0	570,0	6,3	2035,32
12:10	04:10	15000	4,7	1,0	470,0	5,2	1732,92
12:20	04:20	15600	3,3	1,0	330,0	3,6	2659,44
12:30	04:30	16200	7,3	3,16	231,0	2,5	1856,44
12:40	04:40	16800	5,0	3,16	158,2	1,7	1279,29
12:50	04:50	17400	3,0	3,16	94,9	1,0	822,07
13:00	05:00	18000	6,7	10,0	67,0	0,7	515,55
13:10	05:10	18600	5,0	10,0	50,0	0,5	364,56
13:20	05:20	19200	3,6	10,0	36,0	0,4	260,40
13:35	05:35	20100	7,4	31,6	23,4	0,2	256,63
13:50	05:50	21000	6,1	31,6	19,3	0,2	172,48
14:05	06:05	21900	5,0	31,6	15,8	0,1	134,20
14:20	06:20	22800	4,5	31,6	14,2	0,1	108,68
						Σ =	40347,54

Parâmetros	Ast. Dutra V2		
D_L (m ² /s) =	20		
X (m) =	6000	M. Recup. =	1.565.485
U (m/s) =	0,46	M. Injetada =	1.565.000
Q (m ³ /s) =	38,80		100
M (g) =	1.565.485	FC =	1
A (m ²) =	84,35		

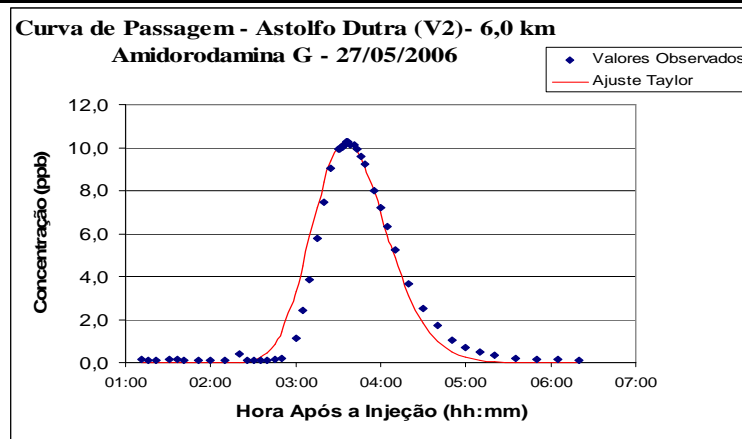


Figura 3.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Astolfo Dutra, V2, AMI

Tabela 4e - Resultado do 1º experimento, URANINA, V2 Astolfo Dutra, leitura em 07/06/2006

Hora	Hora Após Inj.	Tempo Seg	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
09:11	01:11	4260	4,7	31,6	14,9	0,0	
09:16	01:16	4560	4,4	31,6	13,9	0,0	0,17
09:21	01:21	4860	4,4	31,6	13,9	0,0	0,17
09:31	01:31	5460	4,8	31,6	15,2	0,0	0,03
09:36	01:36	5760	5,2	31,6	16,5	0,0	0,00
09:41	01:41	6060	4,8	31,6	15,2	0,0	0,02
09:51	01:51	6660	4,4	31,6	13,9	0,0	0,06
10:00	02:00	7200	4,5	31,6	14,2	0,0	0,03
10:10	02:10	7800	4,5	31,6	14,2	0,0	0,03
10:20	02:20	8400	8,7	31,6	27,5	0,0	0,33
10:26	02:26	8760	4,5	31,6	14,2	0,0	0,18
10:30	02:30	9000	4,4	31,6	13,9	0,0	0,01
10:35	02:35	9300	4,6	31,6	14,6	0,0	0,03
10:40	02:40	9600	4,5	31,6	14,2	0,0	0,03
10:45	02:45	9900	5,2	31,6	16,5	0,0	2,24
10:50	02:50	10200	6,2	31,6	19,6	0,1	9,76
11:00	03:00	10800	7,4	10,0	74,0	0,7	212,86
11:05	03:05	11100	4,9	3,16	155,1	1,6	333,98
11:10	03:10	11400	7,4	3,16	234,2	2,5	603,07
11:15	03:15	11700	3,4	1,0	340,0	3,6	913,77
11:20	03:20	12000	4,2	1,0	420,0	4,5	1225,95
11:25	03:25	12300	5,0	1,0	500,0	5,4	1494,75
11:30	03:30	12600	5,4	1,0	540,0	5,9	1696,35
11:31	03:31	12660	5,5	1,0	550,0	6,0	356,07
11:32	03:32	12720	5,5	1,0	550,0	6,0	359,43
11:33	03:33	12780	5,4	1,0	540,0	5,9	356,07
11:34	03:34	12840	5,5	1,0	550,0	6,0	356,07
11:35	03:35	12900	5,6	1,0	560,0	6,1	362,79
11:36	03:36	12960	5,6	1,0	560,0	6,1	366,15
11:37	03:37	13020	5,6	1,0	560,0	6,1	366,15
11:39	03:39	13140	5,5	1,0	550,0	6,0	725,58
11:41	03:41	13260	5,4	1,0	540,0	5,9	712,14
11:43	03:43	13380	5,3	1,0	530,0	5,8	698,70
11:46	03:46	13560	5,1	1,0	510,0	5,5	1017,81
11:49	03:49	13740	5,0	1,0	500,0	5,4	987,57
11:55	03:55	14100	4,4	1,0	440,0	4,8	1834,02
12:00	04:00	14400	3,8	1,0	380,0	4,1	1326,75
12:05	04:05	14700	3,4	1,0	340,0	3,6	1158,75
12:10	04:10	15000	8,8	3,16	278,5	2,9	988,20
12:20	04:20	15600	6,5	3,16	205,7	2,1	1525,14
12:30	04:30	16200	4,4	3,16	139,2	1,4	1057,29
12:40	04:40	16800	3,1	3,16	98,1	0,9	695,77
12:50	04:50	17400	6,0	10,0	60,0	0,5	429,52
13:00	05:00	18000	4,5	10,0	45,0	0,3	251,10
13:10	05:10	18600	3,6	10,0	36,0	0,2	170,46
13:20	05:20	19200	8,0	31,6	25,3	0,1	104,32
13:35	05:35	20100	6,0	31,6	19,0	0,0	70,74
13:50	05:50	21000	5,5	31,6	17,4	0,0	30,87
14:05	06:05	21900	5,0	31,6	15,8	0,0	14,92
14:20	06:20	22800	5,3	31,6	16,8	0,0	11,73
						Σ =	22827,91

Parâmetros	Ast. Dutra V2		
D_L (m ² /s) =	19		
X (m) =	6000	M. Recup. =	885,723
U (m/s) =	0,46	M. Injetada =	1.017.000
Q (m ³ /s) =	38,80		87
M (g) =	1.017.000	FC =	0,87
A (m ²) =	84,20		

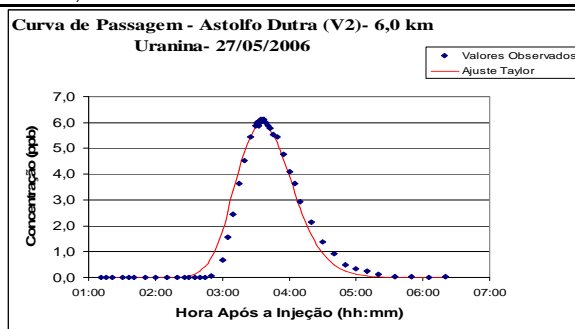


Figura 4.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Astolfo Dutra, V2, URA

Tabela 5.e - Resultado do 1º experimento, AMIDORODAMINA G, V3 Astolfo Dutra, leitura em 07/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V3	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V3	M Recup.
09:16	01:16	4560	4,4	31,6	13,9	0,0	
09:21	01:21	4860	3,8	31,6	12,0	0,0	0,00
09:31	01:31	5460	4,5	31,6	14,2	0,0	0,00
09:36	01:36	5760	3,6	31,6	11,4	0,0	0,00
09:41	01:41	6060	4,3	31,6	13,6	0,0	0,00
09:51	01:51	6660	4,0	31,6	12,7	0,0	0,00
10:00	02:00	7200	3,4	31,6	10,8	0,0	0,03
10:10	02:10	7800	3,4	31,6	10,8	0,0	0,33
10:20	02:20	8400	3,5	10,0	35,0	0,3	103,62
10:25	02:25	8700	3,2	31,6	10,1	0,1	61,53
10:30	02:30	9000	3,3	31,6	10,4	0,1	20,28
10:35	02:35	9300	3,3	31,6	10,4	0,1	20,81
10:40	02:40	9600	3,4	31,6	10,8	0,1	21,34
10:45	02:45	9900	5,0	31,6	15,8	0,1	30,38
10:50	02:50	10200	8,2	31,6	25,9	0,2	55,90
11:00	03:00	10800	4,5	3,16	142,4	1,5	537,11
11:05	03:05	11100	9,0	3,16	284,8	3,1	703,44
11:10	03:10	11400	4,0	1,0	400,0	4,4	1136,20
11:15	03:15	11700	5,5	1,0	550,0	6,1	1581,72
11:20	03:20	12000	7,5	1,0	750,0	8,4	2169,72
11:25	03:25	12300	8,8	1,0	880,0	9,8	2724,12
11:30	03:30	12600	9,0	1,0	900,0	10,0	2976,12
11:31	03:31	12660	9,2	1,0	920,0	10,3	608,66
11:32	03:32	12720	9,2	1,0	920,0	10,3	615,38
11:33	03:33	12780	9,0	1,0	900,0	10,0	608,66
11:34	03:34	12840	9,2	1,0	920,0	10,3	608,66
11:35	03:35	12900	9,3	1,0	930,0	10,4	618,74
11:36	03:36	12960	9,7	1,0	970,0	10,8	635,54
11:37	03:37	13020	9,6	1,0	960,0	10,7	645,62
11:39	03:39	13140	9,4	1,0	940,0	10,5	1271,09
11:41	03:41	13260	9,2	1,0	920,0	10,3	1244,21
11:43	03:43	13380	9,2	1,0	920,0	10,3	1230,77
11:46	03:46	13560	8,7	1,0	870,0	9,7	1795,75
11:49	03:49	13740	8,5	1,0	850,0	9,5	1725,19
11:55	03:55	14100	7,3	1,0	730,0	8,1	3168,14
12:00	04:00	14400	6,3	1,0	630,0	7,0	2270,52
12:05	04:05	14700	5,4	1,0	540,0	6,0	1951,32
12:10	04:10	15000	4,6	1,0	460,0	5,1	1665,72
12:20	04:20	15600	3,2	1,0	320,0	3,5	2592,24
12:30	04:30	16200	6,5	3,16	205,7	2,3	1737,78
12:40	04:40	16800	4,7	3,16	148,7	1,6	1162,33
12:50	04:50	17400	8,7	10,00	87,0	0,9	763,51
13:00	05:00	18000	6,1	10,0	61,0	0,6	468,72
13:10	05:10	18600	4,3	10,0	43,0	0,4	320,88
13:20	05:20	19200	3,0	10,0	30,0	0,3	216,72
13:35	05:35	20100	5,9	31,6	18,7	0,2	202,46
13:50	05:50	21000	4,8	31,6	15,2	0,1	127,82
14:05	06:05	21900	3,9	31,6	12,3	0,0	55,18
14:20	06:20	22800	3,4	31,6	10,8	0,0	0,09
						S =	40454,38
Parâmetros		Ast. Dutra V3					
D _t (m ² /s) =		20					
X (m) =		6000				M. Recup. =	1.569.630
U (m/s) =		0,46				M. Injetada =	1.565.000
Q (m ³ /s) =		38,80					100
M (g) =		1.586.295				FC =	1
A (m ²) =		83,81					

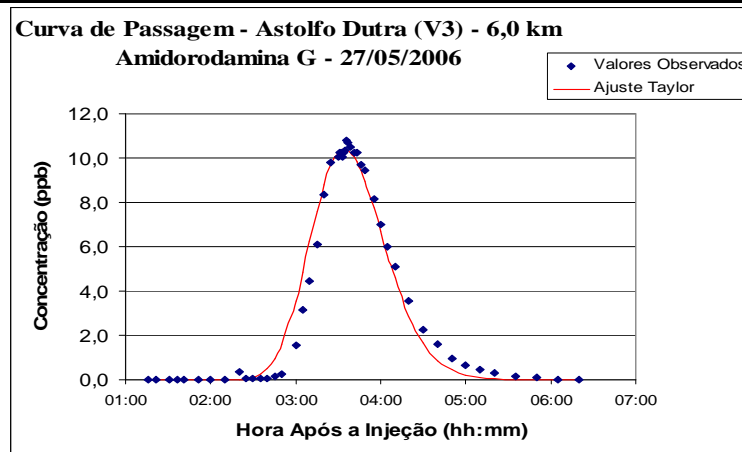


Figura 5.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Astolfo Dutra, V3, AMI

Tabela 6.e - Resultado do 1º experimento, URANINA, V3 Astolfo Dutra, leitura em 07/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V3	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V3	M Recup.
09:16	01:16	4560	5,0	31,6	15,8	0,0	
09:21	01:21	4860	4,5	31,6	14,2	0,0	0,02
09:31	01:31	5460	4,6	31,6	14,6	0,0	0,01
09:36	01:36	5760	4,6	31,6	14,6	0,0	0,02
09:41	01:41	6060	4,8	31,6	15,2	0,0	0,03
09:51	01:51	6660	4,6	31,6	14,6	0,0	0,06
10:00	02:00	7200	4,4	31,6	13,9	0,0	0,03
10:10	02:10	7800	4,4	31,6	13,9	0,0	0,03
10:20	02:20	8400	4,3	31,6	13,6	0,0	0,06
10:25	02:25	8700	5,4	31,6	17,1	0,0	0,03
10:30	02:30	9000	4,4	31,6	13,9	0,0	0,02
10:35	02:35	9300	4,6	31,6	14,6	0,0	0,02
10:40	02:40	9600	4,5	31,6	14,2	0,0	0,03
10:45	02:45	9900	5,5	31,6	17,4	0,0	0,17
10:50	02:50	10200	7,1	31,6	22,5	0,1	12,47
11:00	03:00	10800	9,1	10,0	91,0	0,8	279,55
11:05	03:05	11100	5,8	3,16	183,5	1,9	410,38
11:10	03:10	11400	8,1	3,16	256,3	2,7	688,14
11:15	03:15	11700	3,6	1,0	360,0	3,9	984,58
11:20	03:20	12000	4,7	1,0	470,0	5,1	1343,55
11:25	03:25	12300	5,4	1,0	540,0	5,9	1645,95
11:30	03:30	12600	5,6	1,0	560,0	6,1	1797,15
11:31	03:31	12660	5,6	1,0	560,0	6,1	366,15
11:32	03:32	12720	5,6	1,0	560,0	6,1	366,15
11:33	03:33	12780	5,4	1,0	540,0	5,9	359,43
11:34	03:34	12840	5,7	1,0	570,0	6,2	362,79
11:35	03:35	12900	5,8	1,0	580,0	6,3	376,23
11:36	03:36	12960	5,8	1,0	580,0	6,3	379,59
11:37	03:37	13020	5,8	1,0	580,0	6,3	379,59
11:39	03:39	13140	5,5	1,0	550,0	6,0	739,02
11:41	03:41	13260	5,5	1,0	550,0	6,0	718,86
11:43	03:43	13380	5,4	1,0	540,0	5,9	712,14
11:46	03:46	13560	5,2	1,0	520,0	5,7	1037,97
11:49	03:49	13740	5,0	1,0	500,0	5,4	997,65
11:55	03:55	14100	4,4	1,0	440,0	4,8	1834,02
12:00	04:00	14400	3,7	1,0	370,0	4,0	1309,95
12:05	04:05	14700	3,3	1,0	330,0	3,5	1125,15
12:10	04:10	15000	8,4	3,16	265,8	2,8	950,13
12:20	04:20	15600	6,0	3,16	189,9	2,0	1429,44
12:30	04:30	16200	3,9	3,16	123,4	1,2	950,96
12:40	04:40	16800	8,5	10,00	85,0	0,8	598,58
12:50	04:50	17400	5,7	10,0	57,0	0,5	375,42
13:00	05:00	18000	4,3	10,0	43,0	0,3	234,30
13:10	05:10	18600	3,2	10,0	32,0	0,2	150,30
13:20	05:20	19200	7,2	31,6	22,8	0,1	82,38
13:35	05:35	20100	5,6	31,6	17,7	0,0	51,60
13:50	05:50	21000	5,5	31,6	17,4	0,0	24,49
14:05	06:05	21900	4,6	31,6	14,6	0,0	11,90
14:20	06:20	22800	4,5	31,6	14,2	0,0	0,90
						Σ =	23087,38

Parâmetros	Ast. Dutra V3		
D _t (m ² /s) =	19		
X (m) =	6000	M. Recup. =	895.790
U (m/s) =	0,46	M. Injetada =	1.017.000
Q (m ³ /s) =	38,80		88
M (g) =	1.017.000	FC =	0,88
A (m ²) =	83,81		

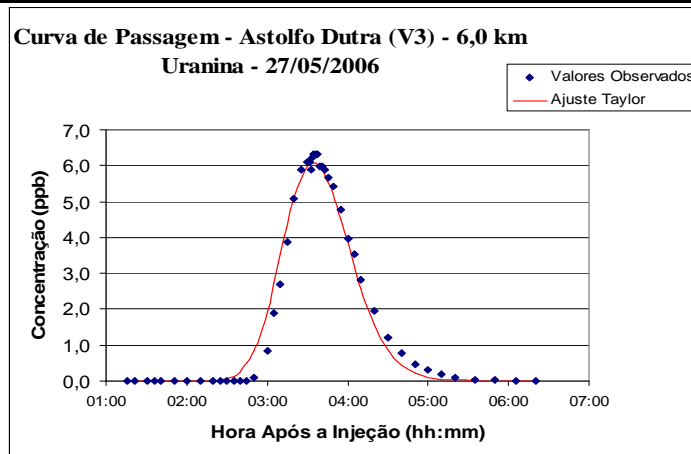


Figura 6.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Astolfo Dutra, V3, URA

Tabela 7e - Resultado do 1º experimento, AMIDORODAMINA G, V1 Dona Euzébia, leitura em 06/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
13:35	05:35	20100	3,2	31,6	10,1	0,0	
13:50	05:50	21000	4,0	31,6	12,7	0,0	0,05
14:10	06:10	22200	3,4	31,6	10,8	0,0	0,07
14:30	06:30	23400	3,2	31,6	10,1	0,0	0,07
14:50	06:50	24600	3,4	31,6	10,8	0,0	0,01
15:10	07:10	25800	3,7	31,6	11,7	0,0	0,01
15:25	07:25	26700	6,6	31,6	20,9	0,2	109,99
15:30	07:30	27000	3,0	10,0	30,0	0,3	88,91
15:35	07:35	27300	4,0	10,0	40,0	0,5	121,59
15:40	07:40	27600	5,2	10,0	52,0	0,6	159,21
15:45	07:45	27900	7,2	10,0	72,0	0,8	213,93
15:50	07:50	28200	3,0	3,16	94,9	1,1	287,35
15:55	07:55	28500	4,1	3,16	129,7	1,5	386,10
15:58	07:58	28680	4,5	3,16	142,4	1,6	280,36
16:01	08:01	28860	5,2	3,16	164,6	1,9	316,08
16:04	08:04	29040	5,7	3,16	180,4	2,1	355,04
16:07	08:07	29220	6,3	3,16	199,4	2,3	390,75
16:10	08:10	29400	6,8	3,16	215,2	2,5	426,47
16:13	08:13	29580	7,6	3,16	240,5	2,7	468,68
16:16	08:16	29760	8,4	3,16	265,8	3,0	520,63
16:19	08:19	29940	8,8	3,16	278,5	3,2	559,59
16:24	08:24	30240	2,9	1,0	290,0	3,3	973,99
16:29	08:29	30540	3,2	1,0	320,0	3,7	1044,99
16:39	08:39	31140	3,6	1,0	360,0	4,1	2329,38
16:49	08:49	31740	3,8	1,0	380,0	4,3	2534,58
16:59	08:59	32340	3,8	1,0	380,0	4,3	2602,98
17:09	09:09	32940	3,6	1,0	360,0	4,1	2534,58
17:19	09:19	33540	3,4	1,0	340,0	3,9	2397,78
17:29	09:29	34140	3,2	1,0	320,0	3,7	2260,98
17:39	09:39	34740	9,0	3,16	284,8	3,3	2072,23
17:49	09:49	35340	7,8	3,16	246,8	2,8	1822,01
18:10	10:10	36600	5,6	3,16	177,2	2,0	3053,47
18:30	10:30	37800	3,9	3,16	123,4	1,4	2063,89
18:50	10:50	39000	8,7	10,0	87,0	1,0	1446,82
19:10	11:10	40200	5,6	10,0	56,0	0,6	985,68
19:30	11:30	41400	3,9	10,0	39,0	0,5	657,36
19:50	11:50	42600	8,7	31,6	27,5	0,3	462,64
20:10	12:10	43800	7,1	31,6	22,5	0,3	349,56
20:30	12:30	45000	5,7	31,6	18,0	0,2	284,62
20:50	12:50	46200	7,3	31,6	23,1	0,3	288,95
21:10	13:10	47400	4,9	31,6	15,5	0,2	271,64
21:30	13:30	48600	4,5	31,6	14,2	0,2	211,03
						Σ =	35334,03
Parâmetros		D. Euzébia V1					
D_L (m ² /s) =		27				M. Recup. =	1565297
X (m) =		13000				M. Injetada =	1.565.000
U (m/s) =		0,40					100
Q (m ³ /s) =		44,30				FC =	1
M (g) =		1.601.405					
A (m ²) =		110,20					

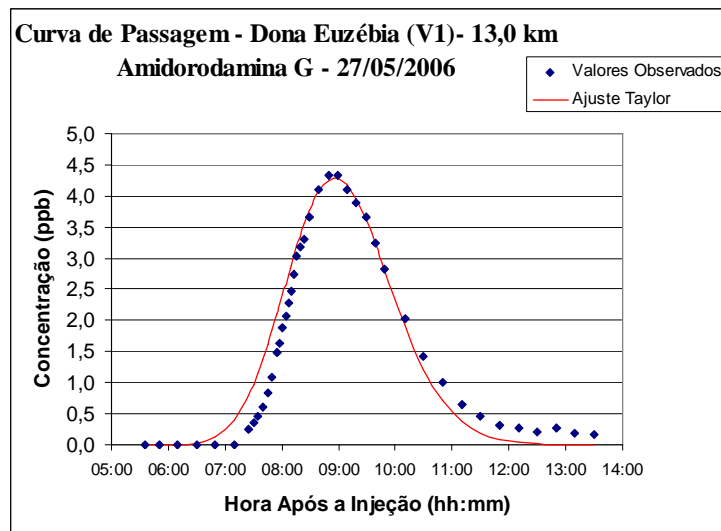


Figura 7.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Dona Euzébia, V1, AMI

Tabela 8.e - Resultado do 1º experimento, URANINA, V1 Dona Euzébia, leitura em 06/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
13:35	05:35	20100	4,5	31,6	14,2	0,0	
13:50	05:50	21000	4,6	31,6	14,6	0,0	24,34
14:10	06:10	22200	4,6	31,6	14,6	0,0	34,53
14:30	06:30	23400	4,4	31,6	13,9	0,0	30,39
14:50	06:50	24600	4,5	31,6	14,2	0,0	28,32
15:10	07:10	25800	4,8	31,6	15,2	0,0	36,59
15:25	07:25	26700	5,9	31,6	18,7	0,1	49,18
15:30	07:30	27000	7,0	31,6	22,2	0,1	27,78
15:35	07:35	27300	8,0	31,6	25,3	0,1	38,64
15:40	07:40	27600	3,6	10,0	36,0	0,3	61,28
15:45	07:45	27900	4,4	10,0	44,0	0,3	91,83
15:50	07:50	28200	5,4	10,0	54,0	0,5	121,26
15:55	07:55	28500	6,8	10,0	68,0	0,6	160,50
15:58	07:58	28680	7,3	10,0	73,0	0,7	114,94
16:01	08:01	28860	8,1	10,0	81,0	0,8	127,69
16:04	08:04	29040	8,8	10,0	88,0	0,8	142,41
16:07	08:07	29220	3,2	3,16	101,3	1,0	162,29
16:10	08:10	29400	3,4	3,16	107,6	1,0	181,51
16:13	08:13	29580	3,8	3,16	120,3	1,2	200,14
16:16	08:16	29760	4,1	3,16	129,7	1,3	221,87
16:19	08:19	29940	4,4	3,16	139,2	1,4	240,49
16:24	08:24	30240	4,7	3,16	148,7	1,5	431,87
16:29	08:29	30540	5,1	3,16	161,4	1,6	468,09
16:39	08:39	31140	5,6	3,16	177,2	1,8	1029,31
16:49	08:49	31740	5,9	3,16	186,7	1,9	1112,09
16:59	08:59	32340	5,8	3,16	183,5	1,9	1132,79
17:09	09:09	32940	5,7	3,16	180,4	1,8	1112,09
17:19	09:19	33540	5,4	3,16	170,9	1,7	1070,70
17:29	09:29	34140	5,1	3,16	161,4	1,6	1008,61
17:39	09:39	34740	4,5	3,16	142,4	1,4	915,48
17:49	09:49	35340	3,9	3,16	123,4	1,2	791,30
18:10	10:10	36600	8,4	10,0	84,0	0,8	1260,66
18:30	10:30	37800	6,5	10,0	65,0	0,6	818,58
18:50	10:50	39000	5,0	10,0	50,0	0,4	596,22
19:10	11:10	40200	3,7	10,0	37,0	0,3	413,10
19:30	11:30	41400	8,0	31,6	25,3	0,1	251,67
19:50	11:50	42600	6,6	31,6	20,9	0,1	146,28
20:10	12:10	43800	6,1	31,6	19,3	0,1	106,96
20:30	12:30	45000	5,5	31,6	17,4	0,1	84,20
20:50	12:50	46200	5,3	31,6	16,8	0,1	67,64
21:10	13:10	47400	5,5	31,6	17,4	0,1	67,64
21:30	13:30	48600	5,4	31,6	17,1	0,1	69,71
						Σ =	15050,95
parâmetros		D. Euzébia V1					
D_L (m ² /s) =		26				M. Recup. =	666757,00
X (m) =		13000				M. Injetada =	1017000,00
U (m/s) =		0,40				FC =	0,66
Q (m ³ /s) =		44,30					
M (g) =		1.017.000					
A (m ²) =		110,20					

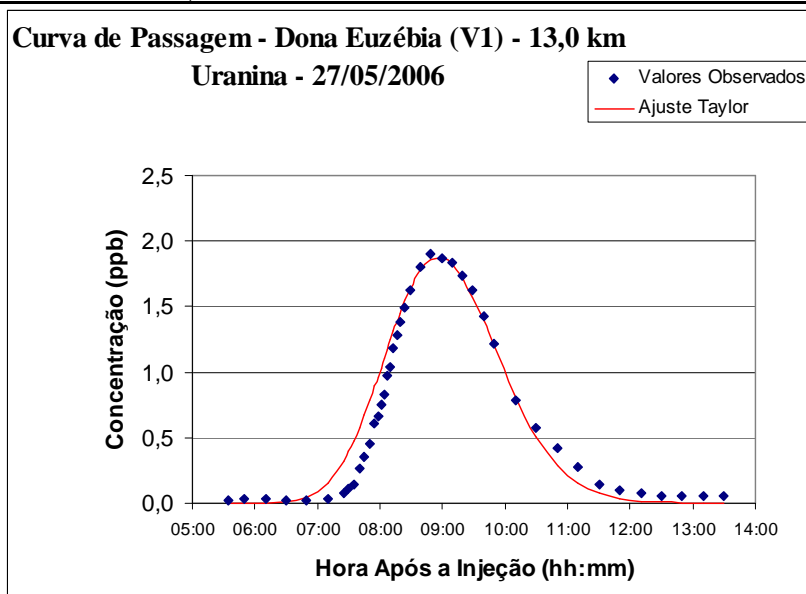


Figura 8.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Dona Euzébia, V1, URA

Tabela 9.e - Resultado do 1º experimento, AMIDORODAMINA G, V2, Dona Euzébia, leitura em 07/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
13:35	05:35	20100	3,4	31,6	10,8	0,1	
13:50	05:50	21000	3,5	31,6	11,1	0,1	67,21
14:10	06:10	22200	3,3	31,6	10,4	0,1	87,49
14:30	06:30	23400	3,2	31,6	10,1	0,1	81,11
14:50	06:50	24600	3,4	31,6	10,8	0,1	83,23
15:10	07:10	25800	4,0	31,6	12,7	0,1	100,25
15:25	07:25	26700	8,0	31,6	25,3	0,2	148,55
15:30	07:30	27000	3,6	10,0	36,0	0,4	88,73
15:35	07:35	27300	4,8	10,0	48,0	0,5	126,84
15:40	07:40	27600	6,9	10,0	69,0	0,7	182,28
15:45	07:45	27900	8,8	10,0	88,0	0,9	249,48
15:50	07:50	28200	3,5	3,16	110,8	1,2	319,64
15:55	07:55	28500	4,5	3,16	142,4	1,5	411,04
15:58	07:58	28680	5,1	3,16	161,4	1,8	297,66
16:01	08:01	28860	5,6	3,16	177,2	1,9	332,75
16:04	08:04	29040	6,3	3,16	199,4	2,2	371,03
16:07	08:07	29220	6,7	3,16	212,0	2,3	406,12
16:10	08:10	29400	7,3	3,16	231,0	2,5	438,01
16:13	08:13	29580	7,9	3,16	250,0	2,8	476,29
16:16	08:16	29760	8,4	3,16	265,8	2,9	511,38
16:19	08:19	29940	9,0	3,16	284,8	3,1	546,47
16:24	08:24	30240	3,0	1,0	300,0	3,3	968,20
16:29	08:29	30540	3,2	1,0	320,0	3,5	1027,32
16:39	08:39	31140	3,4	1,0	340,0	3,8	2189,04
16:49	08:49	31740	3,6	1,0	360,0	4,0	2323,44
16:59	08:59	32340	3,6	1,0	360,0	4,0	2390,64
17:09	09:09	32940	3,5	1,0	350,0	3,9	2357,04
17:19	09:19	33540	3,2	1,0	320,0	3,5	2222,64
17:29	09:29	34140	9,3	3,16	294,3	3,2	2035,50
17:39	09:39	34740	8,4	3,16	265,8	2,9	1853,47
17:49	09:49	35340	7,3	3,16	231,0	2,5	1640,81
18:09	10:09	36540	5,3	3,16	167,7	1,8	2622,37
18:30	10:30	37800	3,7	3,16	117,1	1,3	1949,64
18:50	10:50	39000	7,7	10,0	77,0	0,8	1247,16
19:10	11:10	40200	5,6	10,0	56,0	0,6	836,64
19:30	11:30	41400	3,9	10,0	39,0	0,4	581,28
19:50	11:50	42600	9,0	31,6	28,5	0,3	396,35
20:10	12:10	43800	7,5	31,6	23,7	0,2	293,77
20:30	12:30	45000	5,7	31,6	18,0	0,2	223,59
20:50	12:50	46200	5,0	31,6	15,8	0,1	170,42
21:10	13:10	47400	4,9	31,6	15,5	0,1	153,41
21:30	13:30	48600	4,5	31,6	14,2	0,1	142,78
						Σ =	32951,06

Parâmetros	D. Euzébia V2		
D_L (m ² /s) =	27		
X (m) =	13000	M. Recup. =	1.459.732
U (m/s) =	0,40	M. Injetada =	1.565.000
Q (m ³ /s) =	44,30	FC =	0,93
M (g) =	1.565.000		
A (m ²) =	110,20		

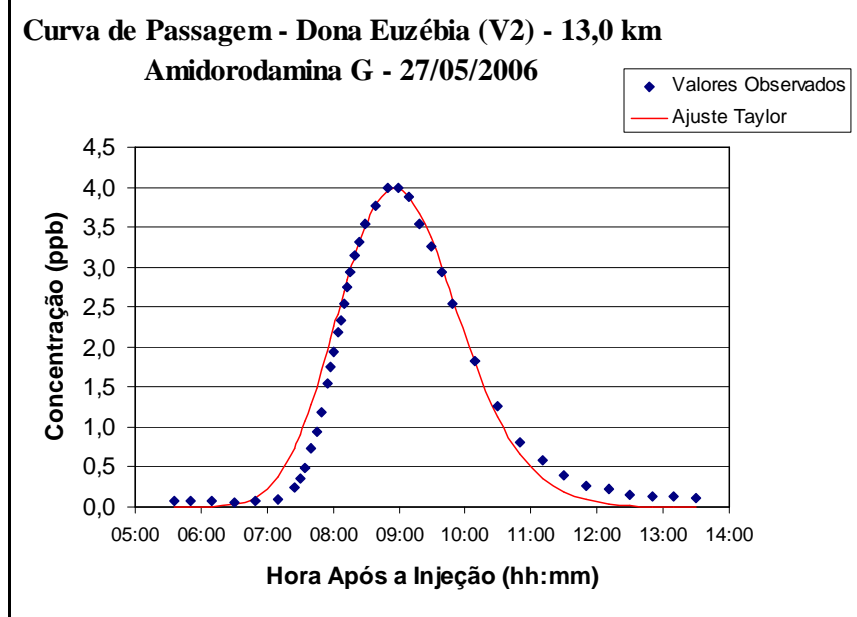


Figura 9.e– Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Dona Euzébia, V2, AMI

Tabela 10.e - Resultado do 1º experimento, URANINA, V2, Dona Euzébia, leitura em 07/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
13:35	05:35	20100	5,0	31,6	15,8	0,0	
13:50	05:50	21000	4,9	31,6	15,5	0,0	5,35
14:10	06:10	22200	4,9	31,6	15,5	0,0	5,01
14:30	06:30	23400	4,8	31,6	15,2	0,0	2,88
14:50	06:50	24600	5,0	31,6	15,8	0,0	5,01
15:10	07:10	25800	5,4	31,6	17,1	0,0	17,76
15:25	07:25	26700	6,6	31,6	20,9	0,1	38,84
15:30	07:30	27000	7,9	31,6	25,0	0,1	26,24
15:35	07:35	27300	3,2	10,0	32,0	0,2	44,91
15:40	07:40	27600	4,2	10,0	42,0	0,3	73,47
15:45	07:45	27900	5,0	10,0	50,0	0,4	103,71
15:50	07:50	28200	6,0	10,0	60,0	0,5	133,95
15:55	07:55	28500	7,1	10,0	71,0	0,6	169,23
15:58	07:58	28680	7,8	10,0	78,0	0,7	119,68
16:01	08:01	28860	8,6	10,0	86,0	0,8	134,80
16:04	08:04	29040	3,1	3,16	98,1	0,9	155,06
16:07	08:07	29220	3,3	3,16	104,4	1,0	173,64
16:10	08:10	29400	3,6	3,16	113,9	1,1	189,59
16:13	08:13	29580	3,8	3,16	120,3	1,2	205,54
16:16	08:16	29760	4,0	3,16	126,6	1,2	218,30
16:19	08:19	29940	4,3	3,16	136,1	1,4	234,25
16:24	08:24	30240	4,6	3,16	145,6	1,5	422,31
16:29	08:29	30540	4,9	3,16	155,1	1,6	454,21
16:39	08:39	31140	5,3	3,16	167,7	1,7	982,86
16:49	08:49	31740	5,6	3,16	177,2	1,8	1057,29
16:59	08:59	32340	5,5	3,16	174,1	1,8	1078,55
17:09	09:09	32940	5,3	3,16	167,7	1,7	1046,65
17:19	09:19	33540	5,0	3,16	158,2	1,6	993,49
17:29	09:29	34140	4,5	3,16	142,4	1,4	908,43
17:39	09:39	34740	4,1	3,16	129,7	1,3	812,73
17:49	09:49	35340	3,5	3,16	110,8	1,1	706,40
18:09	10:09	36540	8,2	10,0	82,0	0,7	1091,94
18:30	10:30	37800	6,3	10,0	63,0	0,5	809,55
18:50	10:50	39000	4,7	10,0	47,0	0,4	535,80
19:10	11:10	40200	3,7	10,0	37,0	0,2	361,08
19:30	11:30	41400	3,0	10,0	30,0	0,2	246,84
19:50	11:50	42600	6,9	31,6	21,8	0,1	144,93
20:10	12:10	43800	7,0	31,6	22,2	0,1	92,19
20:30	12:30	45000	5,6	31,6	17,7	0,0	64,55
20:50	12:50	46200	5,3	31,6	16,8	0,0	28,40
21:10	13:10	47400	5,5	31,6	17,4	0,0	26,27
21:30	13:30	48600	5,2	31,6	16,5	0,0	24,14
						Σ =	13945,86

Parâmetros	D. Euzébia V2		
D. (m ² /s) =	25		
X (m) =	13000	M. Recup. =	617,801
U (m/s) =	0,40	M. Injetada =	1.017,000
Q (m ³ /s) =	44,30	FC =	0,61
M (g) =	1.017,000		
A (m ²) =	110,20		

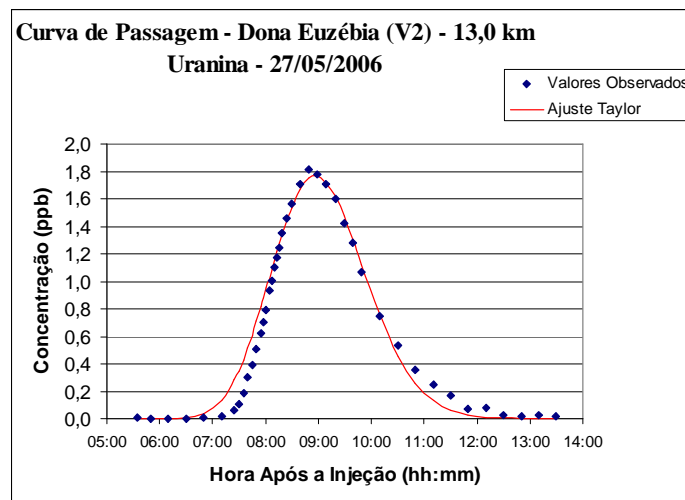


Figura 10.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Dona Euzébia, V2, URA

Tabela 11.e - Resultado do 1º experimento, AMIDORODAMINA G, V1, Sinimbu, leitura em 06/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
19:37	11:37	41820	3,7	31,6	11,7	0,1	
19:50	11:50	42600	4,1	31,6	13,0	0,1	57,43
20:10	12:10	43800	3,3	31,6	10,4	0,1	79,85
20:30	12:30	45000	3,7	31,6	11,7	0,1	71,34
20:45	12:45	45900	4,9	31,6	15,5	0,1	79,02
20:55	12:55	46500	6,1	31,6	19,3	0,2	78,20
21:05	13:05	47100	8,8	31,6	27,8	0,2	119,67
21:10	13:10	47400	3,2	10,0	32,0	0,3	81,16
21:15	13:15	47700	4,0	10,0	40,0	0,4	101,58
21:20	13:20	48000	4,6	10,0	46,0	0,5	125,10
21:25	13:25	48300	5,4	10,0	54,0	0,5	148,62
21:30	13:30	48600	6,6	10,0	66,0	0,7	182,22
21:33	13:33	48780	7,1	10,0	71,0	0,7	126,47
21:36	13:36	48960	7,8	10,0	78,0	0,8	138,56
21:39	13:39	49140	8,8	10,0	88,0	0,9	155,70
21:42	13:42	49320	9,1	10,0	91,0	1,0	168,80
21:45	13:45	49500	3,0	3,16	94,9	1,0	175,80
21:48	13:48	49680	3,3	3,16	104,4	1,1	189,33
21:51	13:51	49860	3,6	3,16	113,9	1,2	208,47
21:54	13:54	50040	3,9	3,16	123,4	1,3	227,61
21:57	13:57	50220	4,2	3,16	132,9	1,4	246,75
22:00	14:00	50400	4,6	3,16	145,6	1,6	269,08
22:05	14:05	50700	5,0	3,16	158,2	1,7	491,00
22:10	14:10	51000	5,4	3,16	170,9	1,8	533,53
22:15	14:15	51300	5,9	3,16	186,7	2,0	581,38
22:25	14:25	51900	6,6	3,16	208,9	2,3	1290,35
22:35	14:35	52500	7,2	3,16	227,8	2,5	1428,58
22:45	14:45	53100	8,0	3,16	253,2	2,8	1577,44
23:00	15:00	54000	8,5	3,16	269,0	2,9	2573,51
23:15	15:15	54900	8,6	3,16	272,2	3,0	2669,20
23:35	15:35	56100	8,3	3,16	262,7	2,9	3516,40
23:55	15:55	57300	7,4	3,16	234,2	2,6	3261,21
00:15	16:15	58500	6,4	3,16	202,5	2,2	2857,16
00:35	16:35	59700	5,2	3,16	164,6	1,8	2389,32
00:55	16:55	60900	4,3	3,16	136,1	1,5	1942,73
01:15	17:15	62100	3,0	3,16	94,9	1,0	1474,89
01:35	17:35	63300	7,7	10,0	77,0	0,8	1077,89
02:00	18:00	64800	5,0	10,0	50,0	0,5	969,90
02:30	18:30	66600	3,0	10,0	30,0	0,3	690,12
03:00	19:00	68400	8,5	31,6	26,9	0,2	457,26
03:30	19:30	70200	6,0	31,6	19,0	0,1	346,25
04:00	20:00	72000	4,0	31,2	12,8	0,1	204,51
						Σ =	33363,43

Parâmetros	Sinimbu V1	M. Recup. =	M. Injetada =
D. (m ² /s) =	29		
X (m) =	22000		1.478.000
U (m/s) =	0,40		1.565.000
Q (m ³ /s) =	44,30		FC = 0,94
M (g) =	1.565.000		
A (m ²) =	110,55		

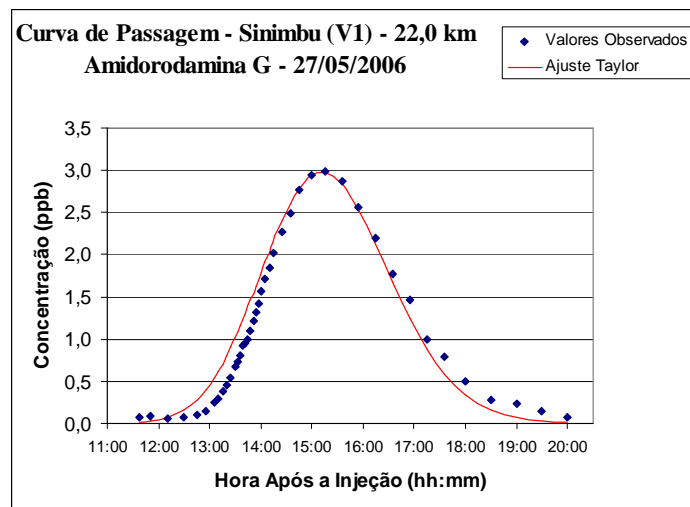


Figura 11.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Sinimbu, V1, AMI

Tabela 12.e - Resultado do 1º experimento, URANINA, V1, Sinimbu, leitura em 06/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
19:37	11:37	41820	4,9	31,6	15,5	0,0	
19:50	11:50	42600	5,0	31,6	15,8	0,0	1,03
20:10	12:10	43800	5,0	31,6	15,8	0,0	0,52
20:30	12:30	45000	5,1	31,6	16,1	0,0	2,63
20:45	12:45	45900	5,5	31,6	17,4	0,0	9,87
20:55	12:55	46500	5,9	31,6	18,7	0,0	15,01
21:05	13:05	47100	6,8	31,6	21,5	0,1	28,71
21:10	13:10	47400	7,6	31,6	24,1	0,1	23,31
21:15	13:15	47700	8,4	31,6	26,6	0,1	31,74
21:20	13:20	48000	9,0	31,6	28,5	0,1	39,12
21:25	13:25	48300	3,9	10,0	39,0	0,3	59,80
21:30	13:30	48600	4,0	10,0	40,0	0,3	78,97
21:33	13:33	48780	5,2	10,0	52,0	0,4	60,37
21:36	13:36	48960	4,6	10,0	46,0	0,3	66,37
21:39	13:39	49140	4,9	10,0	49,0	0,4	63,37
21:42	13:42	49320	5,0	10,0	50,0	0,4	67,37
21:45	13:45	49500	5,5	10,0	55,0	0,4	73,36
21:48	13:48	49680	5,7	10,0	57,0	0,5	80,35
21:51	13:51	49860	6,0	10,0	60,0	0,5	85,35
21:54	13:54	50040	6,5	10,0	65,0	0,5	93,34
21:57	13:57	50220	6,7	10,0	67,0	0,6	100,33
22:00	14:00	50400	7,4	10,0	74,0	0,6	109,32
22:05	14:05	50700	7,7	10,0	77,0	0,7	198,86
22:10	14:10	51000	8,3	10,0	83,0	0,7	213,84
22:15	14:15	51300	8,8	10,0	88,0	0,8	232,15
22:25	14:25	51900	3,4	3,16	107,6	1,0	546,21
22:35	14:35	52500	3,8	3,16	120,3	1,2	653,61
22:45	14:45	53100	4,2	3,16	132,9	1,3	737,92
23:00	15:00	54000	4,3	3,16	136,1	1,3	1185,91
23:15	15:15	54900	4,4	3,16	139,2	1,4	1217,53
23:35	15:35	56100	4,2	3,16	132,9	1,3	1602,29
23:55	15:55	57300	3,8	3,16	120,3	1,2	1475,84
00:15	16:15	58500	3,3	3,16	104,4	1,0	1286,15
00:35	16:35	59700	8,1	10,0	81,0	0,7	1024,73
00:55	16:55	60900	6,9	10,0	69,0	0,6	788,76
01:15	17:15	62100	5,5	10,0	55,0	0,4	615,60
01:35	17:35	63300	4,5	10,0	45,0	0,3	455,76
02:00	18:00	64800	3,0	10,0	30,0	0,2	361,58
02:30	18:30	66600	8,0	31,6	25,3	0,1	237,25
03:00	19:00	68400	6,0	31,6	19,0	0,0	127,23
03:30	19:30	70200	5,5	31,6	17,4	0,0	48,20
04:00	20:00	72000	5,0	31,6	15,8	0,0	16,59
						Σ =	14114,19

Parâmetros	Sinimbu V1		
D _t (m ² /s) =	24		
X (m) =	22000	M. Recup. =	625.259
U (m/s) =	0,40	M. Injetada =	1.017.000
Q (m ³ /s) =	44,30	FC =	0,61
M (g) =	1.017.000		
A (m ²) =	110,55		

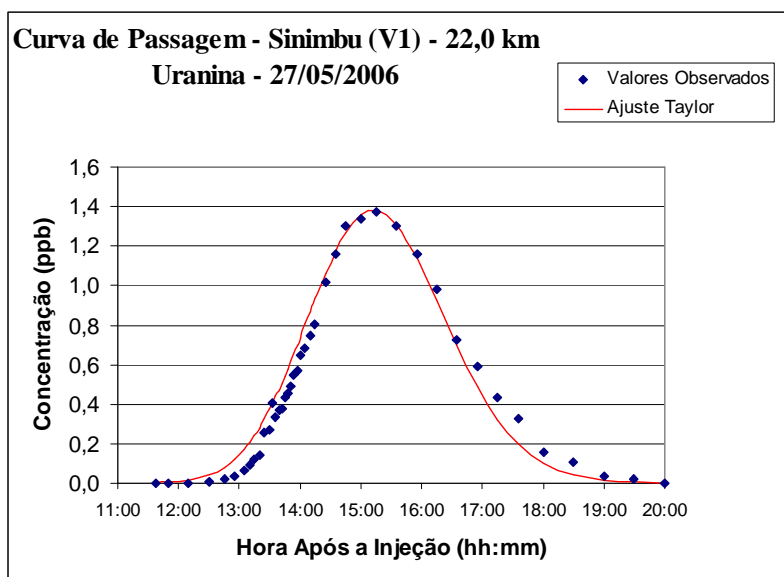


Figura 12.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Sinimbu, V1, URA

Tabela 13.e - Resultado do 1º experimento, AMIDORODAMINA G, V2, Sinimbu, leitura em 06/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
19:37	11:37	41820	3,2	31,6	10,1	0,0	
19:50	11:50	42600	3,5	31,6	11,1	0,0	0,08
20:10	12:10	43800	3,6	31,6	11,4	0,0	0,12
20:30	12:30	45000	3,7	31,6	11,7	0,0	0,12
20:45	12:45	45900	5,0	31,6	15,8	0,1	45,05
20:55	12:55	46500	6,1	31,6	19,3	0,2	97,91
21:05	13:05	47100	8,8	31,6	27,8	0,3	165,04
21:10	13:10	47400	3,0	10,0	30,0	0,3	100,81
21:15	13:15	47700	3,8	10,0	38,0	0,4	118,17
21:20	13:20	48000	4,7	10,0	47,0	0,5	147,24
21:25	13:25	48300	4,9	10,0	49,0	0,6	166,05
21:30	13:30	48600	6,2	10,0	62,0	0,7	191,70
21:33	13:33	48780	7,0	10,0	70,0	0,8	136,57
21:36	13:36	48960	7,5	10,0	75,0	0,9	149,90
21:39	13:39	49140	8,4	10,0	84,0	1,0	164,27
21:42	13:42	49320	2,9	3,16	91,8	1,1	181,48
21:45	13:45	49500	3,2	3,16	101,3	1,2	199,19
21:48	13:48	49680	3,2	3,16	101,3	1,2	208,93
21:51	13:51	49860	3,5	3,16	110,8	1,3	218,67
21:54	13:54	50040	3,8	3,16	120,3	1,4	238,15
21:57	13:57	50220	4,2	3,16	132,9	1,5	260,88
22:00	14:00	50400	4,5	3,16	142,4	1,6	283,61
22:05	14:05	50700	4,9	3,16	155,1	1,8	510,56
22:10	14:10	51000	5,5	3,16	174,1	2,0	564,67
22:15	14:15	51300	5,7	3,16	180,4	2,1	607,97
22:25	14:25	51900	6,6	3,16	208,9	2,4	1334,98
22:35	14:35	52500	7,5	3,16	237,3	2,7	1529,79
22:45	14:45	53100	8,0	3,16	253,2	2,9	1681,31
23:00	15:00	54000	8,6	3,16	272,2	3,1	2700,54
23:15	15:15	54900	8,8	3,16	278,5	3,2	2830,42
23:35	15:35	56100	8,4	3,16	265,8	3,0	3730,60
23:55	15:55	57300	7,6	3,16	240,5	2,7	3470,85
00:15	16:15	58500	6,7	3,16	212,0	2,4	3102,88
00:35	16:35	59700	5,3	3,16	167,7	1,9	2605,03
00:55	16:55	60900	4,2	3,16	132,9	1,5	2063,89
01:15	17:15	62100	3,1	3,16	98,1	1,1	1587,69
01:35	17:35	63300	7,5	10,0	75,0	0,9	1191,57
02:00	18:00	64800	5,0	10,0	50,0	0,6	1078,20
02:30	18:30	66600	3,0	10,0	30,0	0,3	832,14
03:00	19:00	68400	4,5	31,6	14,2	0,2	465,25
03:30	19:30	70200	3,0	31,6	9,5	0,0	151,87
04:00	20:00	72000	3,0	31,6	9,5	0,0	0,09
						Σ =	35114,23
Parâmetros		Sinimbu V2					
D _t (m ² /s) =		30					
X (m) =		22000				M. Recup. =	1.555.560
U (m/s) =		0,40				M. Injetada =	1.565.000
Q (m ³ /s) =		44,30				FC =	1
M (g) =		1.593.773					
A (m ²) =		110,55					

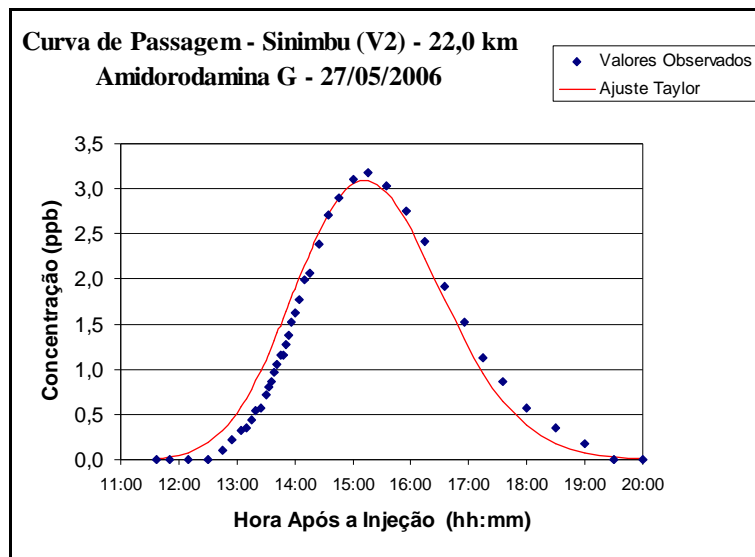


Figura 13.e- Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Sinimbu, V2, AMI

Tabela 14.e - Resultado do 1º experimento, URANINA, V2, Sinimbu, leitura em 06/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
19:37	11:37	41820	4,6	31,6	14,6	0,0	
19:50	11:50	42600	4,9	31,6	15,5	0,0	26,48
20:10	12:10	43800	4,9	31,6	15,5	0,0	46,94
20:30	12:30	45000	4,8	31,6	15,2	0,0	44,87
20:45	12:45	45900	5,4	31,6	17,1	0,1	41,42
20:55	12:55	46500	5,8	31,6	18,4	0,1	37,96
21:05	13:05	47100	6,7	31,6	21,2	0,1	51,41
21:10	13:10	47400	7,2	31,6	22,8	0,1	32,95
21:15	13:15	47700	8,0	31,6	25,3	0,1	39,68
21:20	13:20	48000	8,7	31,6	27,5	0,2	47,44
21:25	13:25	48300	3,4	10,0	34,0	0,2	61,63
21:30	13:30	48600	4,1	10,0	41,0	0,3	83,65
21:33	13:33	48780	4,4	10,0	44,0	0,3	60,00
21:36	13:36	48960	4,5	10,0	45,0	0,4	63,93
21:39	13:39	49140	4,9	10,0	49,0	0,4	68,83
21:42	13:42	49320	5,4	10,0	54,0	0,5	77,66
21:45	13:45	49500	5,6	10,0	56,0	0,5	84,53
21:48	13:48	49680	5,7	10,0	57,0	0,5	87,47
21:51	13:51	49860	6,1	10,0	61,0	0,5	92,38
21:54	13:54	50040	6,5	10,0	65,0	0,6	100,22
21:57	13:57	50220	6,9	10,0	69,0	0,6	108,07
22:00	14:00	50400	7,3	10,0	73,0	0,7	115,92
22:05	14:05	50700	7,8	10,0	78,0	0,7	207,92
22:10	14:10	51000	8,5	10,0	85,0	0,8	227,54
22:15	14:15	51300	8,9	10,0	89,0	0,8	245,52
22:25	14:25	51900	3,4	3,16	107,6	1,0	564,93
22:35	14:35	52500	3,7	3,16	117,1	1,1	656,78
22:45	14:45	53100	4,0	3,16	126,6	1,2	718,86
23:00	15:00	54000	4,2	3,16	132,9	1,3	1155,91
23:15	15:15	54900	4,3	3,16	136,1	1,4	1202,47
23:35	15:35	56100	4,1	3,16	129,7	1,3	1582,60
23:55	15:55	57300	3,7	3,16	117,1	1,1	1458,42
00:15	16:15	58500	3,4	3,16	107,6	1,0	1313,55
00:35	16:35	59700	8,1	10,0	81,0	0,8	1077,53
00:55	16:55	60900	6,8	10,0	68,0	0,6	818,58
01:15	17:15	62100	5,5	10,0	55,0	0,5	648,54
01:35	17:35	63300	4,5	10,0	45,0	0,4	498,12
02:00	18:00	64800	3,5	10,0	35,0	0,3	459,15
02:30	18:30	66600	8,5	31,6	26,9	0,2	373,41
03:00	19:00	68400	6,0	31,6	19,0	0,1	216,32
03:30	19:30	70200	5,0	31,6	15,8	0,0	107,67
04:00	20:00	72000	4,5	31,6	14,2	0,0	61,10
						Σ =	14968,35
Parâmetros		Sinimbu V2					
D _t (m ² /s) =		28					
X (m) =		22000				M. Recup. =	663,098
U (m/s) =		0,40				M. Injetada =	1.017,000
Q (m ³ /s) =		44,30				FC =	0,65
M (g) =		1.017,000					
A (m ²) =		110,55					

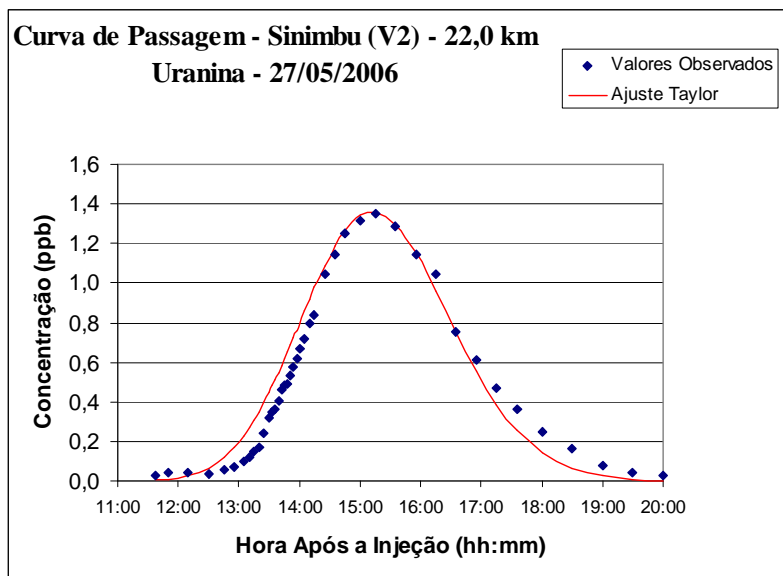


Figura 14.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, para Sinimbu, V2, URA

Tabela 15.e - Resultado do 1º experimento, AMIDORODAMINA G, Cataquases, leitura em 06/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit.	Escala	Leit. Esc.100	Conc.	M Recup.
06:50	22:50	82200	6,0	31,6	19,0	0,1	
07:00	23:00	82800	5,5	31,6	17,4	0,1	83,52
07:05	23:05	83100	7,2	31,6	22,8	0,2	48,14
07:10	23:10	83400	5,2	31,6	16,5	0,1	46,54
07:15	23:15	83700	5,6	31,6	17,7	0,1	38,04
07:20	23:20	84000	5,6	31,6	17,7	0,1	40,16
07:25	23:25	84300	6,8	31,6	21,5	0,2	46,54
07:30	23:30	84600	6,5	31,6	20,6	0,2	51,33
07:45	23:45	85500	8,0	31,6	25,3	0,2	173,13
08:00	24:00	86400	8,9	31,6	28,2	0,3	211,41
08:10	24:10	87000	3,5	10,0	35,0	0,3	173,46
08:30	24:30	88200	5,1	10,0	51,0	0,5	500,40
08:56	24:56	89760	6,0	10,0	60,0	0,6	868,92
09:05	25:05	90300	7,2	10,0	72,0	0,7	364,28
09:15	25:15	90900	8,5	10,0	85,0	0,9	488,76
09:25	25:25	91500	9,2	10,0	92,0	1,0	555,96
09:35	25:35	92100	3,2	3,16	101,3	1,1	610,61
09:45	25:45	92700	3,2	3,16	101,3	1,1	641,75
09:55	25:55	93300	3,5	3,16	110,8	1,2	673,65
10:05	26:05	93900	3,8	3,16	120,3	1,3	737,44
10:15	26:15	94500	3,8	3,16	120,3	1,3	769,34
10:20	26:20	94800	3,9	3,16	123,4	1,3	389,99
10:25	26:25	95100	4,0	3,16	126,6	1,4	400,62
10:30	26:30	95400	4,2	3,16	132,9	1,4	416,56
10:35	26:35	95700	4,1	3,16	129,7	1,4	421,88
10:40	26:40	96000	4,1	3,16	129,7	1,4	416,56
10:45	26:45	96300	4,0	3,16	126,6	1,4	411,25
10:50	26:50	96600	4,0	3,16	126,6	1,4	405,93
11:00	27:00	97200	4,0	3,16	126,6	1,4	811,91
11:10	27:10	97800	4,0	3,16	126,6	1,4	811,87
11:20	27:20	98400	4,0	3,16	126,6	1,4	811,87
11:30	27:30	99000	3,9	3,16	123,4	1,3	801,24
11:45	27:45	99900	3,7	3,16	117,1	1,2	1154,02
12:00	28:00	100800	3,4	3,16	107,6	1,1	1074,27
12:20	28:20	102000	3,1	3,16	98,1	1,0	1304,76
12:40	28:40	103200	8,8	10,0	88,0	0,9	1173,08
13:00	29:00	104400	7,8	10,0	78,0	0,8	1038,00
13:20	29:20	105600	6,8	10,0	68,0	0,7	903,60
13:40	29:40	106800	6,0	10,0	60,0	0,6	782,64
14:00	30:00	108000	4,9	10,0	49,0	0,5	654,96
14:20	30:20	109200	4,0	10,0	40,0	0,4	520,56
15:00	31:00	111600	8,7	31,6	27,5	0,2	752,59
15:30	31:30	113400	7,2	31,6	22,8	0,2	390,91
16:00	32:00	115200	6,0	31,6	19,0	0,1	304,78
16:30	32:30	117000	5,1	31,6	16,1	0,1	237,80
17:00	33:00	118800	4,6	31,6	14,6	0,1	193,14
17:30	33:30	120600	4,2	31,6	13,3	0,1	164,43
18:00	34:00	122400	4,0	31,6	12,7	0,1	145,29
18:30	34:30	124200	3,6	31,6	11,4	0,1	126,15
19:00	35:00	126000	3,7	31,6	11,7	0,1	116,58
						Σ =	24260,61
Parâmetros		Cataquases					
D _i (m ² /s) =		35				M. Recup. =	1.455.636
X (m) =		36000				M. Injetada =	1.565.000
U (m/s) =		0,37				FC =	0,93
Q (m ³ /s) =		60,00					
M (g) =		1.565.000					
A (m ²) =		160,50					

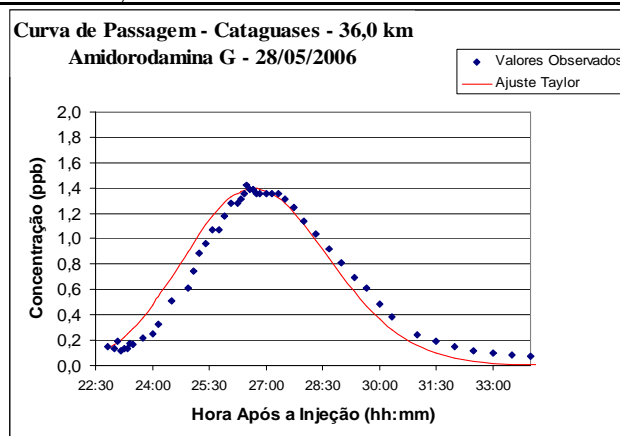


Figura 15.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Cataquases, AMI

Tabela 16.e - Resultado do 1º experimento, URANINA, Cataquases, leitura em 06/06/2006

Hora	Hora Após Ini.	Tempo Seg	Leit.	Escala	Leit. Esc.100	Conc.	M Recup.
06:50	22:50	82200	5,7	31,6	18,0	0,0	
07:00	23:00	82800	5,5	31,6	17,4	0,0	12,91
07:05	23:05	83100	5,9	31,6	18,7	0,0	7,51
07:10	23:10	83400	5,3	31,6	16,8	0,0	6,45
07:15	23:15	83700	5,6	31,6	17,7	0,0	4,87
07:20	23:20	84000	5,6	31,6	17,7	0,0	6,45
07:25	23:25	84300	6,0	31,6	19,0	0,0	8,56
07:30	23:30	84600	5,8	31,6	18,4	0,0	9,61
07:45	23:45	85500	6,5	31,6	20,6	0,1	36,75
08:00	24:00	86400	6,8	31,6	21,5	0,1	52,55
08:10	24:10	87000	7,6	31,6	24,1	0,1	46,62
08:30	24:30	88200	9,3	31,6	29,4	0,2	145,94
08:56	24:56	89760	3,6	10,0	36,0	0,2	293,18
09:05	25:05	90300	4,1	10,0	41,0	0,3	136,16
09:15	25:15	90900	4,6	10,0	46,0	0,3	184,59
09:25	25:25	91500	4,8	10,0	48,0	0,4	207,90
09:35	25:35	92100	5,2	10,0	52,0	0,4	227,88
09:45	25:45	92700	5,3	10,0	53,0	0,4	244,53
09:55	25:55	93300	5,4	10,0	54,0	0,4	251,19
10:05	26:05	93900	5,6	10,0	56,0	0,4	261,18
10:15	26:15	94500	5,6	10,0	56,0	0,4	267,84
10:20	26:20	94800	5,6	10,0	56,0	0,4	133,92
10:25	26:25	95100	5,7	10,0	57,0	0,5	135,58
10:30	26:30	95400	5,8	10,0	58,0	0,5	138,91
10:35	26:35	95700	5,7	10,0	57,0	0,5	138,91
10:40	26:40	96000	5,7	10,0	57,0	0,5	137,25
10:45	26:45	96300	5,7	10,0	57,0	0,5	137,25
10:50	26:50	96600	5,7	10,0	57,0	0,5	137,25
11:00	27:00	97200	5,6	10,0	56,0	0,4	271,18
11:10	27:10	97800	5,5	10,0	55,0	0,4	264,51
11:20	27:20	98400	5,4	10,0	54,0	0,4	257,85
11:30	27:30	99000	5,3	10,0	53,0	0,4	251,19
11:45	27:45	99900	5,0	10,0	50,0	0,4	356,81
12:00	28:00	100800	4,7	10,0	47,0	0,3	326,84
12:20	28:20	102000	4,2	10,0	42,0	0,3	382,50
12:40	28:40	103200	3,8	10,0	38,0	0,2	322,56
13:00	29:00	104400	3,5	10,0	35,0	0,2	275,94
13:20	29:20	105600	3,2	10,0	32,0	0,2	235,98
13:40	29:40	106800	3,0	10,0	30,0	0,2	202,68
14:00	30:00	108000	7,4	31,6	23,4	0,1	145,52
14:20	30:20	109200	6,9	31,6	21,8	0,1	91,15
15:00	31:00	111600	5,9	31,6	18,7	0,0	119,06
15:30	31:30	113400	5,7	31,6	18,0	0,0	51,36
16:00	32:00	115200	5,3	31,6	16,8	0,0	32,39
16:30	32:30	117000	5,1	31,6	16,1	0,0	13,42
17:00	33:00	118800	5,2	31,6	16,5	0,0	10,26
17:30	33:30	120600	5,0	31,6	15,8	0,0	7,10
18:00	34:00	122400	5,0	31,6	15,8	0,0	0,78
18:30	34:30	124200	4,9	31,6	15,5	0,0	-2,38
19:00	35:00	126000	5,0	31,6	15,8	0,0	-2,38
						Σ =	6986,08

Parâmetros	Cataquases	M. Recup. =	M. Injetada =	FC =
D _i (m ² /s) =	26	419,165	1.017,000	0,41
X (m) =	36000			
U (m/s) =	0,37			
Q (m ³ /s) =	60,00			
M (g) =	1.017,000			
A (m ²) =	160,50			

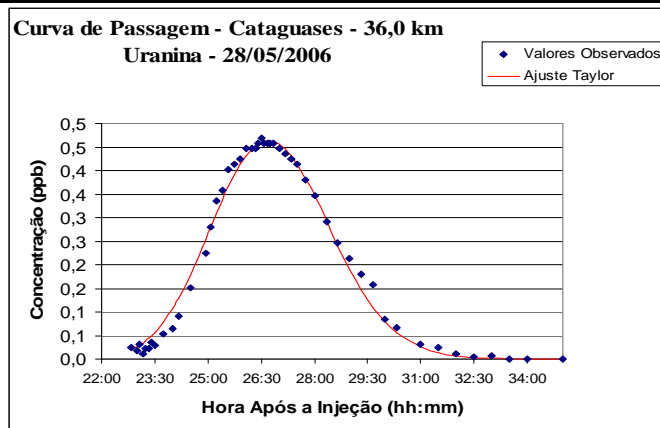


Figura 16.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Cataquases, URA

2.e – Resultados obtidos para o segundo experimento, dias 14 e 15/04/2007, a partir das amostras coletadas em campo

Tabela 17.e- Resultado do 2º experimento, AMIDORIDAMINA G, Ast. Dutra V1, coleta 14/04/2007 - Leitura 01/05//2007 (21:18 h a 21:50 h)

Hora	Hora Após Ini.	Tempo (s)	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
01:46	01:16	4560	3,3	10,0	33,0	0,0	
02:02	01:32	5520	3,5	10,0	35,0	0,1	19,58
02:20	01:50	6600	3,4	10,0	34,0	0,0	41,31
02:40	02:10	7800	2,6	10,0	26,0	0,0	12,24
03:00	02:30	9000	3,1	10,0	31,0	0,0	0,00
03:25	02:55	10500	3,4	10,0	34,0	0,0	15,30
03:30	03:00	10800	5,0	10,0	50,0	0,6	91,80
03:35	03:05	11100	5,2	10,0	52,0	0,7	188,19
03:40	03:10	11400	5,8	10,0	58,0	0,9	231,03
03:43	03:13	11580	9,1	10,0	91,0	1,5	213,95
03:46	03:16	11760	9,1	10,0	91,0	2,1	319,98
03:49	03:19	11940	3,5	3,16	110,8	2,8	433,44
03:52	03:22	12120	4,4	3,16	139,2	3,8	588,44
03:54	03:24	12240	4,9	3,16	155,1	4,3	487,19
03:56	03:26	12360	5,8	3,16	183,5	5,4	582,09
04:00	03:30	12600	6,4	3,16	202,5	6,0	1367,53
04:02	03:32	12720	7,0	3,16	221,5	6,7	765,11
04:04	03:34	12840	7,4	3,16	234,2	7,2	832,89
04:07	03:37	13020	8,0	3,16	253,2	7,8	1351,02
04:10	03:40	13200	8,7	3,16	275,3	8,6	1483,20
04:13	03:43	13380	9,0	3,16	284,8	9,0	1584,87
04:16	03:46	13560	2,7	1,0	270,0	9,1	1626,69
04:19	03:49	13740	2,8	1,0	280,0	9,2	1642,50
04:22	03:52	13920	2,9	1,0	290,0	9,2	1647,86
04:25	03:55	14100	2,9	1,0	290,0	9,2	1648,73
04:29	03:59	14340	2,8	1,0	280,0	8,8	2155,46
04:33	04:03	14580	2,7	1,0	270,0	8,4	2069,78
04:37	04:07	14820	8,2	3,16	259,5	8,1	1981,93
04:40	04:10	15000	7,9	3,16	250,0	7,7	1422,19
04:45	04:15	15300	7,1	3,16	224,7	6,8	2183,91
04:50	04:20	15600	6,6	3,16	208,9	6,3	1963,61
04:55	04:25	15900	5,7	3,16	180,4	5,2	1726,36
05:00	04:30	16200	4,9	3,16	155,1	4,3	1438,28
05:05	04:35	16500	4,3	3,16	136,1	3,7	1201,03
05:10	04:40	16800	3,8	3,16	120,3	3,1	1014,62
05:20	04:50	17400	3,0	3,16	94,9	2,2	1588,64
05:30	05:00	18000	7,3	10,0	73,0	1,4	1082,56
05:40	05:10	18600	6,0	10,0	60,0	0,9	708,39
05:50	05:20	19200	5,0	10,0	50,0	0,6	462,06
06:00	05:30	19800	4,6	10,0	46,0	0,4	312,12
06:15	05:45	20700	4,1	10,0	41,0	0,3	323,60
06:30	06:00	21600	3,6	10,0	36,0	0,1	162,94
06:45	06:15	22500	3,4	10,0	34,0	0,0	50,49
07:00	06:30	23400	3,2	10,0	32,0	0,0	9,18
07:15	06:45	24300	2,8	10,0	28,0	0,0	0,00
07:30	07:00	25200	3,3	10,0	33,0	0,0	0,00
						Σ =	39032,12

Parâmetros	Ast. Dutra V1	M. Recup. =	M. Injetada =
D _t (m ² /s) =	19		1.405.156
X (m) =	6000		1.459.810
U (m/s) =	0,43		0,96
Q (m ³ /s) =	36,00		
M (g) =	1.459.810		
A (m ²) =	83,52		

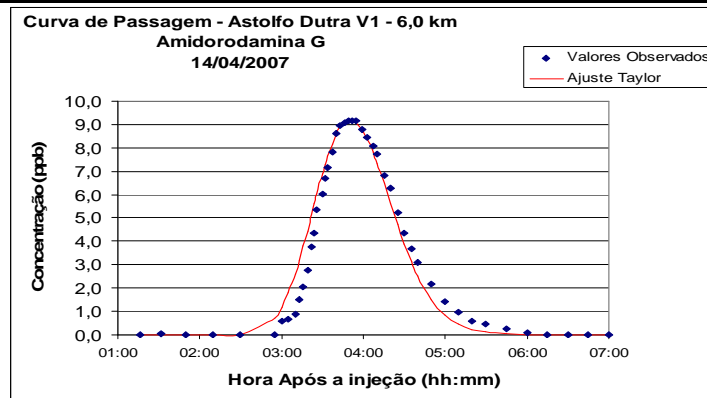


Figura 17.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Astolfo Dutra V1, AMI

Tabela 18.e - Resultado do 2º experimento, URANINA, coleta 14/04/2007, leitura 01/05//2007 (11:15 h a 12:10 h) - Ast. Dutra V1

Hora	Hora Após Inj.	Tempo (s)	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
01:46	01:16	4560	9,1	31,6	28,8	0,0	
02:02	01:32	5520	3,1	10,0	31,0	0,0	0,01
02:20	01:50	6600	3,0	10,0	30,0	0,0	0,01
02:40	02:10	7800	2,9	10,0	29,0	0,0	0,01
03:00	02:30	9000	8,0	31,6	25,3	0,0	0,07
03:25	02:55	10500	9,1	31,6	28,8	0,0	0,08
03:30	03:00	10800	4,5	10,0	45,0	0,1	15,00
03:35	03:05	11100	3,1	3,16	98,1	0,3	60,00
03:40	03:10	11400	3,2	3,16	101,3	0,6	135,00
03:43	03:13	11580	5,2	3,16	164,6	1,7	208,26
03:46	03:16	11760	6,5	3,16	205,7	2,2	355,54
03:49	03:19	11940	8,8	3,16	278,5	3,2	485,75
03:52	03:22	12120	3,3	1,00	330,0	3,8	627,83
03:54	03:24	12240	3,9	1,00	390,0	4,6	503,53
03:56	03:26	12360	4,8	1,00	480,0	5,7	617,83
04:00	03:30	12600	5,6	1,00	560,0	6,7	1494,74
04:02	03:32	12720	5,9	1,00	590,0	7,1	831,19
04:04	03:34	12840	6,3	1,00	630,0	7,6	884,53
04:07	03:37	13020	7,0	1,00	700,0	8,5	1452,53
04:10	03:40	13200	7,4	1,00	740,0	9,0	1578,26
04:13	03:43	13380	7,9	1,00	790,0	9,7	1681,13
04:16	03:46	13560	8,2	1,00	820,0	10,0	1772,57
04:19	03:49	13740	8,4	1,00	840,0	10,3	1829,72
04:22	03:52	13920	8,5	1,00	850,0	10,4	1864,01
04:25	03:55	14100	8,4	1,00	840,0	10,3	1864,01
04:29	03:59	14340	8,2	1,00	820,0	10,0	2439,62
04:33	04:03	14580	7,8	1,00	780,0	9,5	2348,18
04:37	04:07	14820	7,3	1,00	730,0	8,9	2211,02
04:40	04:10	15000	7,0	1,00	700,0	8,5	1566,83
04:45	04:15	15300	6,0	1,00	600,0	7,2	2363,73
04:50	04:20	15600	5,5	1,00	550,0	6,6	2077,98
04:55	04:25	15900	4,8	1,00	480,0	5,7	1849,38
05:00	04:30	16200	4,1	1,00	410,0	4,8	1582,68
05:05	04:35	16500	3,5	1,00	350,0	4,1	1335,03
05:10	04:40	16800	9,0	3,16	284,8	3,2	1096,54
05:20	04:50	17400	6,7	3,16	212,0	2,3	1667,40
05:30	05:00	18000	4,9	3,16	155,1	1,6	1173,07
05:40	05:10	18600	3,9	3,16	123,4	1,2	835,47
05:50	05:20	19200	8,2	10,0	82,0	0,7	557,10
06:00	05:30	19800	6,5	10,0	65,0	0,4	334,53
06:15	05:45	20700	7,2	10,0	72,0	0,3	337,32
06:30	06:00	21600	3,8	10,0	38,0	0,1	183,01
06:45	06:15	22500	3,6	10,0	36,0	0,0	48,06
07:00	06:30	23400	4,7	10,0	47,0	0,0	0,05
07:15	06:45	24300	8,1	31,6	25,6	0,0	0,00
07:30	07:00	25200	9,4	31,6	29,7	0,0	0,00
							42268,62

Parâmetros	Ast. Dutra V1	M. Recup. =	M. Injetada =
D_L (m ² /s) =	18		1.521.670
X (m) =	6000		1.519.590
U (m/s) =	0,43	FC =	1
Q (m ³ /s) =	36,00		
M (g) =	1.519.590		
A (m ²) =	83,52		

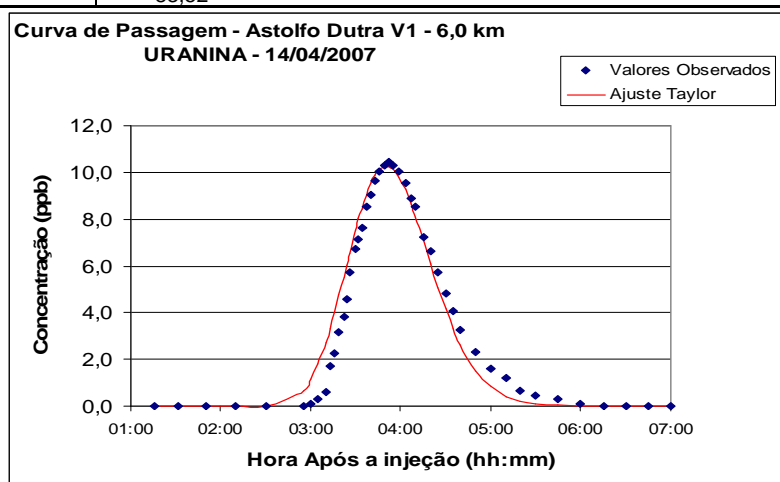


Figura 18.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Astolfo Dutra V1, URA

Tabela 19.e- Resultado do 2º experimento, AMIDORODAMINA G, coleta 14/04/2007, leitura 01/05//2007 (22:00 h a 22:30 h) - Ast. Dutra V2

Hora	Hora Após Inj.	Tempo (s)	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
01:46	01:16	4560	3,2	10,0	32,0	0,0	
02:02	01:32	5520	3,3	10,0	33,0	0,0	0,00
02:20	01:50	6600	3,2	10,0	32,0	0,0	0,00
02:40	02:10	7800	3,0	10,0	30,0	0,0	0,00
03:00	02:30	9000	3,2	10,0	32,0	0,0	0,00
03:25	02:55	10500	3,2	10,0	32,0	0,0	0,00
03:30	03:00	10800	3,5	10,0	35,0	0,0	6,60
03:35	03:05	11100	4,8	10,0	48,0	0,5	84,76
03:40	03:10	11400	6,3	10,0	63,0	1,1	238,91
03:43	03:13	11580	7,8	10,0	78,0	1,6	242,43
03:46	03:16	11760	3,0	3,16	94,9	2,2	347,92
03:49	03:19	11940	3,9	3,16	123,4	3,3	497,93
03:52	03:22	12120	4,5	3,16	142,4	4,0	654,72
03:55	03:25	12300	5,2	3,16	164,6	4,8	790,61
03:56	03:26	12360	5,9	3,16	186,7	5,6	312,31
04:00	03:30	12600	7,2	3,16	227,8	7,1	1527,99
04:02	03:32	12720	7,6	3,16	240,5	7,6	882,46
04:04	03:34	12840	8,0	3,16	253,2	8,1	938,20
04:07	03:37	13020	8,5	3,16	269,0	8,6	1501,38
04:10	03:40	13200	8,7	3,16	275,3	8,9	1574,55
04:13	03:43	13380	9,1	3,16	288,0	9,0	1607,73
04:16	03:46	13560	2,8	1,0	280,0	9,1	1624,50
04:19	03:49	13740	2,8	1,0	280,0	9,1	1629,90
04:22	03:52	13920	2,8	1,0	280,0	9,1	1631,70
04:25	03:55	14100	2,8	1,0	280,0	9,1	1631,70
04:29	03:59	14340	2,8	1,0	280,0	9,1	2173,20
04:36	04:06	14760	2,6	1,0	260,0	8,3	3643,81
04:37	04:07	14820	8,0	3,16	253,2	8,1	490,56
04:40	04:10	15000	7,7	3,16	243,7	7,7	1417,76
04:45	04:15	15300	7,0	3,16	221,5	6,9	2188,72
04:50	04:20	15600	6,3	3,16	199,4	6,1	1944,83
04:55	04:25	15900	5,3	3,16	167,7	4,9	1648,67
05:00	04:30	16200	4,6	3,16	145,6	4,1	1352,52
05:05	04:35	16500	4,2	3,16	132,9	3,6	1160,89
05:10	04:40	16800	3,6	3,16	113,9	2,9	986,68
05:20	04:50	17400	2,8	3,16	88,6	2,0	1485,57
05:30	05:00	18000	7,3	10,0	73,0	1,4	1035,00
05:40	05:10	18600	5,6	10,0	56,0	0,8	675,99
05:50	05:20	19200	5,1	10,0	51,0	0,6	433,77
06:00	05:30	19800	4,5	10,0	45,0	0,4	312,66
06:15	05:45	20700	4,5	10,0	45,0	0,4	369,90
06:30	06:00	21600	3,7	10,0	37,0	0,1	237,78
06:45	06:15	22500	3,3	10,0	33,0	0,0	53,28
07:00	06:30	23400	3,4	10,0	34,0	0,0	3,74
07:15	06:45	24300	3,1	10,0	31,0	0,0	3,29
07:30	07:00	25200	3,1	10,0	31,0	0,0	0,00
						Σ =	39344,91

Parâmetros	Ast. Dutra V2	M.	M.	FC =
D _i (m ² /s) =	19		1.416.417	
X (m) =	6000		1.459.810	
U (m/s) =	0,43			0,97
Q (m ³ /s) =	36,00			
M (g) =	1.459.810			
A (m ²) =	83,52			

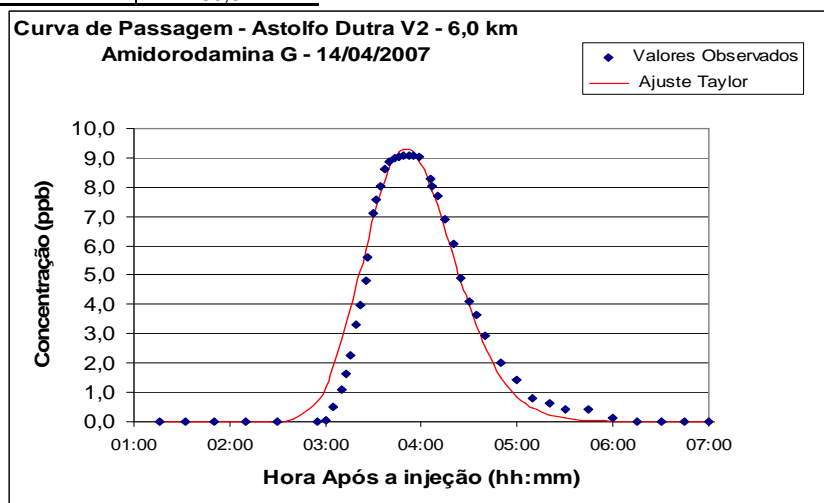


Figura 19.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Astolfo Dutra V2, AMI

Tabela 20.e- Resultado do 2º experimento, URANINA, coleta 14/04/2007, leitura 01/05//2007 (12:20 h a 17:50 h) - Ast. Dutra V2

Hora	Hora Após Ini.	Tempo (s)	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
01:46	01:16	4560	8,3	31,6	26,3	0,0	
02:02	01:32	5520	8,2	31,6	25,9	0,0	0,01
02:20	01:50	6600	8,8	31,6	27,8	0,0	0,01
02:40	02:10	7800	8,6	31,6	27,2	0,0	0,01
03:00	02:30	9000	7,6	31,6	24,1	0,0	0,01
03:25	02:55	10500	9,1	31,6	28,8	0,0	0,08
03:30	03:00	10800	4,0	10,0	40,0	0,1	19,83
03:35	03:05	11100	6,7	10,0	67,0	0,5	91,06
03:40	03:10	11400	3,9	3,16	123,4	1,2	249,98
03:43	03:13	11580	6,1	3,16	193,0	2,1	294,05
03:46	03:16	11760	6,8	3,16	215,2	2,4	398,94
03:49	03:19	11940	9,4	3,16	297,5	3,4	518,31
03:52	03:22	12120	3,6	1,00	360,0	4,2	683,82
03:55	03:25	12300	4,3	1,00	430,0	5,1	835,31
03:56	03:26	12360	5,0	1,00	500,0	6,0	331,78
04:00	03:30	12600	6,0	1,00	600,0	7,2	1586,18
04:02	03:32	12720	6,5	1,00	650,0	7,9	907,39
04:04	03:34	12840	6,9	1,00	690,0	8,4	975,97
04:07	03:37	13020	7,3	1,00	730,0	8,9	1555,40
04:10	03:40	13200	7,6	1,00	760,0	9,3	1635,41
04:13	03:43	13380	7,9	1,00	790,0	9,7	1703,99
04:16	03:46	13560	8,1	1,00	810,0	9,9	1761,14
04:19	03:49	13740	8,3	1,00	830,0	10,2	1806,86
04:22	03:52	13920	8,5	1,00	850,0	10,3	1841,86
04:25	03:55	14100	8,1	1,00	810,0	10,0	1827,00
04:29	03:59	14340	8,0	1,00	800,0	9,8	2374,09
04:36	04:06	14760	7,4	1,00	740,0	9,0	3949,30
04:37	04:07	14820	7,0	1,00	700,0	8,5	526,09
04:40	04:10	15000	6,6	1,00	660,0	8,0	1486,82
04:45	04:15	15300	5,9	1,00	590,0	7,1	2268,48
04:50	04:20	15600	5,1	1,00	510,0	6,1	1982,73
04:55	04:25	15900	4,5	1,00	450,0	5,3	1716,03
05:00	04:30	16200	3,9	1,00	390,0	4,6	1487,43
05:05	04:35	16500	3,2	1,00	320,0	3,7	1239,78
05:10	04:40	16800	8,9	3,16	281,6	3,2	1033,36
05:20	04:50	17400	6,4	3,16	202,5	2,2	1619,18
05:30	05:00	18000	4,9	3,16	155,1	1,6	1136,90
05:40	05:10	18600	3,2	3,16	101,3	0,9	751,07
05:50	05:20	19200	8,2	10,0	82,0	0,7	472,70
06:00	05:30	19800	6,4	10,0	64,0	0,4	330,72
06:15	05:45	20700	5,2	10,0	52,0	0,3	324,63
06:30	06:00	21600	4,1	10,0	41,0	0,1	193,18
06:45	06:15	22500	3,3	10,0	33,0	0,0	65,61
07:00	06:30	23400	3,1	10,0	31,0	0,0	0,45
07:15	06:45	24300	2,5	10,0	25,0	0,0	0,05
07:30	07:00	25200	9,1	31,6	28,8	0,0	0,05
						Σ =	41983,05

Parâmetros	Ast. Dutra V2	
D_L (m ² /s) =	19	M. Recup. = 1.511.390
X (m) =	6000	M. Injetada = 1.519.590
U (m/s) =	0,43	FC = 1
Q (m ³ /s) =	36,00	
M (g) =	1.511.390	
A (m ²) =	83,52	

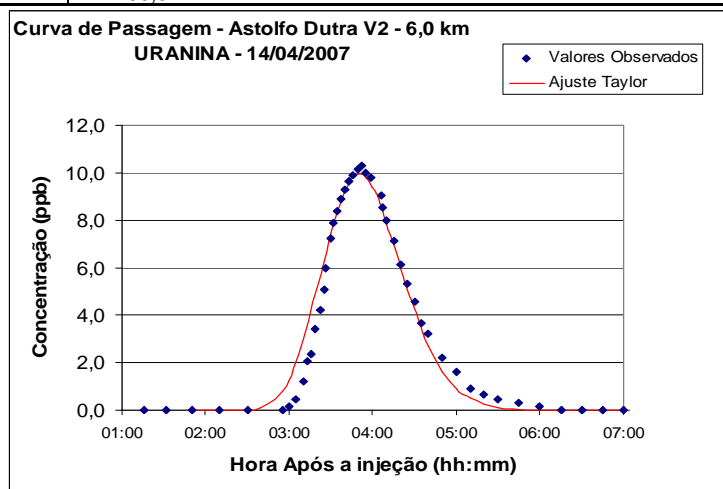


Figura 20.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Astolfo Dutra V2, URA

Tabela 21.e - Resultado do 2º experimento, AMIDORODAMINA G, coleta 14/04/2007, leitura 01/05//2007 (22:35 h a 23:10 h) - Ast. Dutra V3

Hora	Hora Após Inj.	Tempo (s)	Leit. V3	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V3	M Recup.
01:46	01:16	4560	3,4	10,0	34,0	0,0	
02:02	01:32	5520	3,2	10,0	32,0	0,1	51,50
02:20	01:50	6600	3,2	10,0	32,0	0,1	108,00
02:40	02:10	7800	2,9	10,0	29,0	0,1	120,00
03:00	02:30	9000	3,1	10,0	31,0	0,1	120,00
03:25	02:55	10500	3,5	10,0	35,0	0,1	150,00
03:30	03:00	10800	3,4	10,0	34,0	0,1	30,00
03:35	03:05	11100	4,7	10,0	47,0	0,5	87,66
03:40	03:10	11400	4,9	10,0	49,0	1,2	252,66
03:45	03:15	11700	8,1	10,0	81,0	1,7	439,83
03:46	03:16	11760	8,7	10,0	87,0	2,0	110,54
03:49	03:19	11940	3,5	3,16	110,8	2,8	429,91
03:52	03:22	12120	4,3	3,16	136,1	3,8	592,01
03:54	03:24	12240	5,2	3,16	164,6	4,8	513,13
03:56	03:26	12360	5,6	3,16	177,2	5,3	603,72
04:02	03:32	12720	7,3	3,16	231,0	7,2	2250,17
04:03	03:33	12780	6,9	3,16	218,4	6,8	420,32
04:05	03:35	12900	7,8	3,16	246,8	7,8	875,49
04:07	03:37	13020	8,1	3,16	256,3	8,2	959,11
04:10	03:40	13200	8,6	3,16	272,2	8,7	1522,28
04:13	03:43	13380	8,9	3,16	281,6	9,1	1605,90
04:16	03:46	13560	8,9	3,16	281,6	9,1	1637,26
04:19	03:49	13740	2,9	1,0	290,0	9,4	1664,86
04:22	03:52	13920	2,8	1,0	280,0	9,0	1659,42
04:25	03:55	14100	2,8	1,0	280,0	9,0	1626,39
04:29	03:59	14340	8,9	3,16	281,6	9,1	2175,77
04:33	04:03	14580	8,6	3,16	272,2	8,7	2141,20
04:37	04:07	14820	7,9	3,16	250,0	7,9	2001,84
04:40	04:10	15000	7,5	3,16	237,3	7,5	1386,40
04:45	04:15	15300	7,0	3,16	221,5	6,9	2153,88
04:50	04:20	15600	6,0	3,16	189,9	5,7	1892,57
04:55	04:25	15900	5,5	3,16	174,1	5,1	1631,25
05:00	04:30	16200	4,9	3,16	155,1	4,5	1439,62
05:05	04:35	16500	4,4	3,16	139,2	3,9	1247,99
05:10	04:40	16800	3,8	3,16	120,3	3,2	1056,36
05:20	04:50	17400	2,7	3,16	85,4	1,9	1520,42
05:30	05:00	18000	7,2	10,0	72,0	1,4	989,15
05:40	05:10	18600	5,7	10,0	57,0	0,9	675,99
05:50	05:20	19200	4,9	10,0	49,0	0,6	422,76
06:00	05:30	19800	4,1	10,0	41,0	0,3	246,60
06:15	05:45	20700	3,8	10,0	38,0	0,2	188,24
06:30	06:00	21600	3,5	10,0	35,0	0,0	89,14
06:45	06:15	22500	3,5	10,0	35,0	0,0	39,60
07:00	06:30	23400	2,7	10,0	27,0	0,0	19,80
07:15	06:45	24300	9,7	31,6	30,7	0,0	0,00
07:30	07:00	25200	3,7	10,0	37,0	0,0	0,00
						Σ =	39148,74

Parâmetros	Ast. Dutra V3		
D _i (m ² /s) =	19	M.	1.409.355
X (m) =	6000	M.	1.459.810
U (m/s) =	0,43	FC =	0,97
Q (m ³ /s) =	36,00		
M (g) =	1.459.810		
A (m ²) =	83,72		

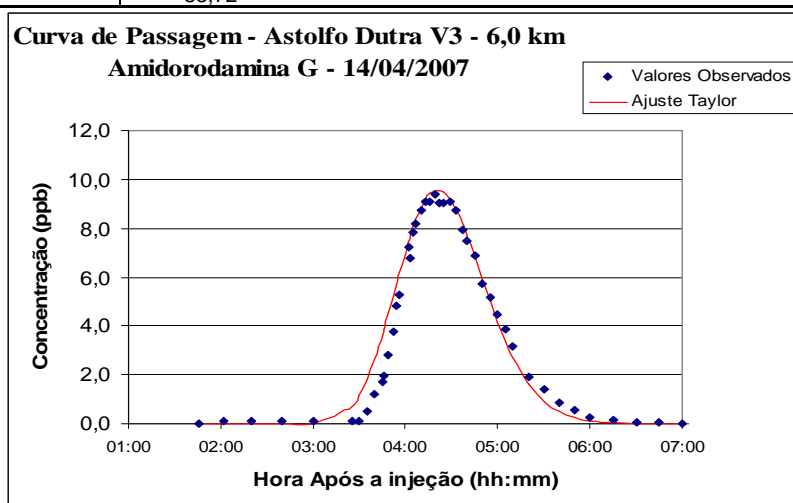


Figura 21.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Astolfo Dutra V3, AMI

Tabela 22.e - Resultado do 2º experimento, AURANINA, coleta 14/04/2007, leitura 01/05//2007 (13:05 h a 13:40 h) - Ast. Dutra V3

Hora	Hora Após Ini.	Tempo (s)	Leit. V3	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V3	M Recup.
01:46	01:16	4560	7,5	31,6	23,7	0,1	
02:10	01:40	6000	8,5	31,6	26,9	0,1	144,00
02:20	01:50	6600	8,0	31,6	25,3	0,1	60,00
02:40	02:10	7800	8,4	31,6	26,6	0,1	120,00
03:00	02:30	9000	8,8	31,6	27,8	0,1	120,00
03:25	02:55	10500	3,0	10,0	30,0	0,1	150,00
03:30	03:00	10800	3,7	10,0	37,0	0,1	29,10
03:35	03:05	11100	6,6	10,0	66,0	0,5	83,44
03:40	03:10	11400	3,3	3,16	104,4	1,0	211,90
03:45	03:15	11700	5,4	3,16	170,9	1,8	411,71
03:46	03:16	11760	6,6	3,16	208,9	2,3	122,13
03:49	03:19	11940	8,4	3,16	265,8	3,0	474,90
03:52	03:22	12120	3,3	1,00	330,0	3,8	613,36
03:54	03:24	12240	4,1	1,00	410,0	4,8	518,77
03:56	03:26	12360	4,7	1,00	470,0	5,6	625,45
04:02	03:32	12720	6,1	1,00	610,0	7,4	2333,56
04:03	03:33	12780	5,8	1,00	580,0	7,0	430,84
04:05	03:35	12900	6,7	1,00	670,0	8,1	907,39
04:07	03:37	13020	7,0	1,00	700,0	8,5	998,83
04:10	03:40	13200	7,6	1,00	760,0	9,3	1601,12
04:13	03:43	13380	7,7	1,00	770,0	9,4	1681,13
04:16	03:46	13560	8,0	1,00	800,0	9,8	1726,85
04:19	03:49	13740	8,3	1,00	830,0	10,2	1795,43
04:22	03:52	13920	8,2	1,00	820,0	10,0	1818,29
04:25	03:55	14100	8,0	1,00	800,0	9,8	1784,00
04:29	03:59	14340	7,9	1,00	790,0	9,7	2332,94
04:33	04:03	14580	7,5	1,00	750,0	9,1	2256,74
04:37	04:07	14820	7,0	1,00	700,0	8,5	2119,58
04:40	04:10	15000	6,6	1,00	660,0	8,0	1486,82
04:45	04:15	15300	5,9	1,00	590,0	7,1	2268,48
04:50	04:20	15600	5,3	1,00	530,0	6,4	2020,83
04:55	04:25	15900	4,6	1,00	460,0	5,5	1773,18
05:00	04:30	16200	4,0	1,00	400,0	4,7	1525,53
05:05	04:35	16500	3,4	1,00	340,0	3,9	1296,93
05:10	04:40	16800	2,9	1,00	290,0	3,3	1087,38
05:20	04:50	17400	6,8	3,16	215,2	2,4	1699,23
05:30	05:00	18000	4,8	3,16	151,9	1,6	1173,07
05:40	05:10	18600	3,3	3,16	104,4	1,0	751,07
05:50	05:20	19200	8,2	10,0	82,0	0,7	484,76
06:00	05:30	19800	6,1	10,0	61,0	0,4	319,29
06:15	05:45	20700	4,7	10,0	47,0	0,2	278,91
06:30	06:00	21600	3,9	10,0	39,0	0,1	153,18
06:45	06:15	22500	3,3	10,0	33,0	0,0	73,17
07:00	06:30	23400	2,9	10,0	29,0	0,0	19,89
07:15	06:45	24300	8,4	31,6	26,6	0,0	0,49
07:30	07:00	25200	9,1	31,6	28,8	0,0	0,09
						Σ =	41883,77

Parâmetros	Ast. Dutra V3
$D_L (m^2/75s) =$	19
$X (m) =$	6000
$U (m/s) =$	0,43
$Q (m^3/s) =$	36,00
$M (g) =$	1.506.127
$A (m^2) =$	83,52

M. Recup. =	1.507.816
M. Injetada =	1.519.590
FC =	1

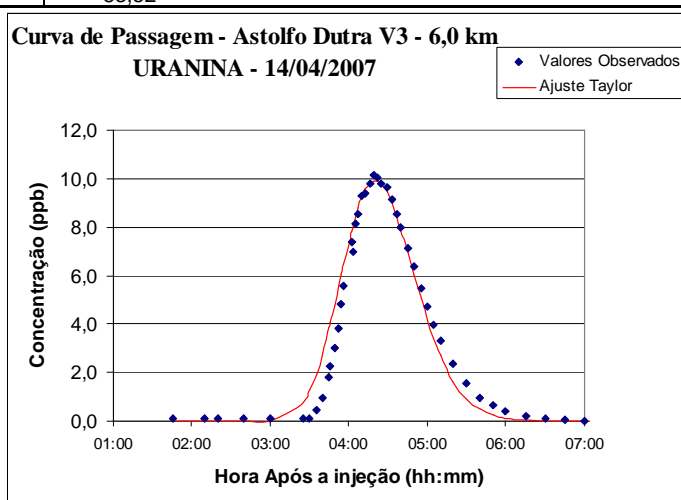


Figura 22.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Astolfo Dutra V3, URA

Tabela 23.e - Resultado do 2º experimento, AMIDORODAMINA G, coleta 14/04/2007, leitura 01/05/2007 (19:50 h a 20:25 h) – Dona Euzébia V1

Hora	Hora Após Inj.	Tempo (s)	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
06:35	06:05	21900	3,1	10,0	31,0	0,0	
06:45	06:15	22500	3,7	10,0	37,0	0,1	30,00
06:55	06:25	23100	3,3	10,0	33,0	0,1	60,00
07:10	06:40	24000	3,4	10,0	34,0	0,1	90,00
07:25	06:55	24900	3,3	10,0	33,0	0,1	90,00
07:35	07:05	25500	3,3	10,0	33,0	0,1	60,00
07:50	07:20	26400	3,4	10,0	34,0	0,1	90,00
08:05	07:35	27300	3,7	10,0	37,0	0,3	180,00
08:15	07:45	27900	4,8	10,0	48,0	0,5	233,46
08:25	07:55	28500	5,1	10,0	51,0	0,6	319,23
08:35	08:05	29100	6,5	10,0	65,0	1,1	502,32
08:40	08:10	29400	7,2	10,0	72,0	1,3	364,24
08:45	08:15	29700	8,5	10,0	85,0	1,8	471,95
08:50	08:20	30000	9,0	10,0	90,0	2,0	568,88
08:55	08:25	30300	9,2	10,0	92,0	2,1	606,57
09:00	08:30	30600	3,3	3,16	104,4	2,5	684,28
09:05	08:35	30900	3,7	3,16	117,1	2,9	810,61
09:10	08:40	31200	3,7	3,16	117,1	3,0	878,77
09:15	08:45	31500	3,7	3,16	117,1	3,3	938,77
09:20	08:50	31800	4,2	3,16	132,9	3,5	1023,98
09:25	08:55	32100	4,1	3,16	129,7	3,4	1040,91
09:30	09:00	32400	4,2	3,16	132,9	3,5	1040,91
09:35	09:05	32700	4,4	3,16	139,2	3,8	1092,04
09:40	09:10	33000	4,3	3,16	136,1	3,6	1109,08
09:45	09:15	33300	4,2	3,16	132,9	3,5	1075,00
09:50	09:20	33600	4,1	3,16	129,7	3,4	1040,91
09:55	09:25	33900	3,9	3,16	123,4	3,3	1006,94
10:00	09:30	34200	3,9	3,16	123,4	3,2	972,85
10:05	09:35	34500	3,9	3,16	123,4	3,1	942,85
10:10	09:40	34800	3,7	3,16	117,1	3,0	908,77
10:15	09:45	35100	3,6	3,16	113,9	2,8	870,50
10:20	09:50	35400	3,5	3,16	110,8	2,7	836,42
10:25	09:55	35700	3,4	3,16	107,6	2,6	802,34
10:30	10:00	36000	3,0	3,16	94,9	2,4	752,65
10:35	10:05	36300	9,5	10,00	95,0	2,2	684,83
10:45	10:15	36900	8,7	10,00	87,0	1,9	1213,14
10:55	10:25	37500	7,7	10,00	77,0	1,5	1019,28
11:05	10:35	38100	6,0	10,00	60,0	1,2	815,79
11:15	10:45	38700	6,0	10,00	60,0	0,9	632,70
11:25	10:55	39300	5,6	10,00	56,0	0,8	502,32
11:35	11:05	39900	5,2	10,00	52,0	0,6	416,16
11:50	11:20	40800	3,9	10,00	39,0	0,4	459,81
12:05	11:35	41700	4,0	10,00	40,0	0,2	265,95
12:20	11:50	42600	3,8	10,00	38,0	0,1	139,59
12:35	12:05	43500	3,8	10,00	38,0	0,1	107,28
12:50	12:20	44400	3,4	10,00	34,0	0,1	98,64
13:05	12:35	45300	3,3	10,00	33,0	0,1	90,00
13:20	12:50	46200	3,2	10,00	32,0	0,1	90,00
13:35	13:05	47100	3,3	10,00	33,0	0,1	90,00
13:50	13:20	48000	3,3	10,00	33,0	0,1	90,00
						Σ =	28210,72

Parâmetros	D. Euzébia V1		
D_L (m ² /s) =	28	M. Recup. =	1.269.483
X (m) =	13000	M. Injetada =	1.459.810
U (m/s) =	0,39	FC =	0,87
Q (m ³ /s) =	41,00		
M (g) =	1.459.810		
A (m ²) =	104,08		

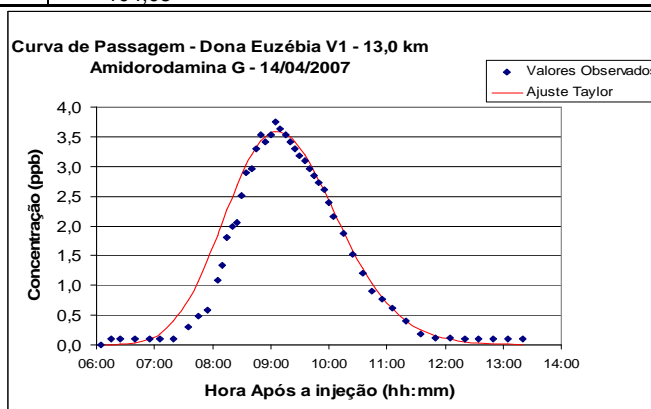


Figura 23.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Dona Euzébia V1, AMI

Tabela 24.e - Resultado do 2º experimento, URANINA, coleta 14/04/2007, leitura 30/04//2007 (20:50 h a 21:45 h) - Dona Euzébia V1

Hora	Hora Após Inj.	Tempo (s)	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
06:35	06:05	21900	3,8	10,0	38,0	0,1	
06:45	06:15	22500	2,9	10,0	29,0	0,0	51,72
06:55	06:25	23100	2,9	10,0	29,0	0,0	17,70
07:10	06:40	24000	2,5	10,0	25,0	0,0	3,87
07:25	06:55	24900	2,9	10,0	29,0	0,0	3,87
07:35	07:05	25500	3,2	10,0	32,0	0,1	29,04
07:50	07:20	26400	3,2	10,0	32,0	0,1	60,57
08:05	07:35	27300	3,9	10,0	39,0	0,2	100,26
08:15	07:45	27900	9,1	10,0	91,0	0,8	289,86
08:25	07:55	28500	7,2	10,0	72,0	0,6	414,60
08:35	08:05	29100	3,7	3,16	117,1	1,1	513,21
08:40	08:10	29400	4,5	3,16	142,4	1,5	389,67
08:45	08:15	29700	5,4	3,16	170,9	1,8	491,35
08:50	08:20	30000	6,1	3,16	193,0	2,1	587,05
08:55	08:25	30300	6,5	3,16	205,7	2,3	652,84
09:00	08:30	30600	7,4	3,16	234,2	2,6	730,59
09:05	08:35	30900	8,3	3,16	262,7	3,0	838,25
09:10	08:40	31200	8,5	3,16	269,0	3,1	904,04
09:15	08:45	31500	9,0	3,16	284,8	3,3	945,91
09:20	08:50	31800	9,3	3,16	294,3	3,4	993,76
09:25	08:55	32100	9,2	3,16	291,1	3,3	1005,72
09:30	09:00	32400	3,0	1,00	300,0	3,4	1016,48
09:35	09:05	32700	3,0	1,00	300,0	3,4	1033,23
09:40	09:10	33000	3,0	1,00	300,0	3,4	1033,23
09:45	09:15	33300	3,0	1,00	300,0	3,4	1033,23
09:50	09:20	33600	2,9	1,00	290,0	3,3	1014,33
09:55	09:25	33900	2,8	1,00	280,0	3,2	976,53
10:00	09:30	34200	8,8	3,16	278,5	3,2	954,76
10:05	09:35	34500	8,6	3,16	272,2	3,1	939,93
10:10	09:40	34800	8,2	3,16	259,5	2,9	904,04
10:15	09:45	35100	7,7	3,16	243,7	2,7	850,21
10:20	09:50	35400	7,4	3,16	234,2	2,6	802,36
10:25	09:55	35700	6,8	3,16	215,2	2,4	748,53
10:30	10:00	36000	6,4	3,16	202,5	2,2	688,72
10:35	10:05	36300	6,0	3,16	189,9	2,1	640,88
10:45	10:15	36900	5,3	3,16	167,7	1,8	1150,17
10:55	10:25	37500	4,5	3,16	142,4	1,5	970,74
11:05	10:35	38100	3,7	3,16	117,1	1,1	779,35
11:15	10:45	38700	3,2	3,16	101,3	0,9	623,84
11:25	10:55	39300	8,5	10,0	85,0	0,7	502,54
11:35	11:05	39900	7,1	10,0	71,0	0,6	388,14
11:50	11:20	40800	5,4	10,0	54,0	0,3	406,44
12:05	11:35	41700	4,3	10,0	43,0	0,2	247,68
12:20	11:50	42600	3,5	10,0	35,0	0,1	139,95
12:35	12:05	43500	3,3	10,0	33,0	0,1	83,25
12:50	12:20	44400	3,2	10,0	32,0	0,1	66,24
13:05	12:35	45300	3,0	10,0	30,0	0,0	49,23
13:20	12:50	46200	3,0	10,0	30,0	0,0	37,89
13:35	13:05	47100	8,9	31,6	28,2	0,0	27,48
13:50	13:20	48000	8,8	31,6	27,8	0,0	15,28
						Σ =	27148,56

Parâmetros	D. Euzébia V1		
D _L (m ² /s) =	28	M. Recup. =	1.221.685
X (m) =	13000	M. Injetada =	1.519.590
U (m/s) =	0,39	FC =	0,8
Q (m ³ /s) =	41,00		
M (g) =	1.519.590		
A (m ²) =	104,08		

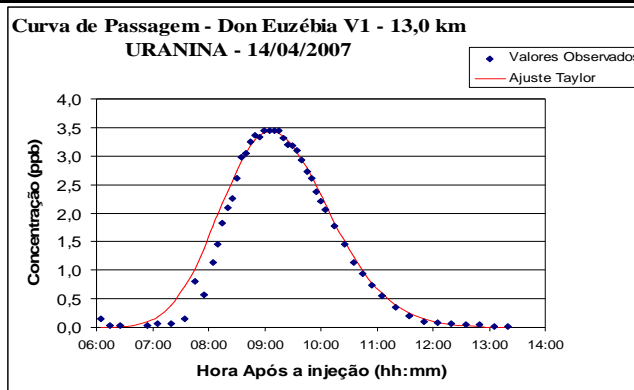


Figura 24.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Dona Euzébia V1, URA

Tabela 25.e - Resultado do 2º experimento, AMIDORODAMINA G, coleta 14/04/2007, leitura 01/05//2007 (20:35 h a 21:10 h) - Dona Euzébia V2

Hora	Hora Após Inj.	Tempo (s)	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
06:35	06:05	21900	3,4	10,0	34,0	0,0	
06:45	06:15	22500	4,0	10,0	40,0	0,0	6,12
06:55	06:25	23100	3,3	10,0	33,0	0,1	30,00
07:10	06:40	24000	3,1	10,0	31,0	0,1	90,00
07:25	06:55	24900	3,3	10,0	33,0	0,1	90,00
07:35	07:05	25500	3,1	10,0	31,0	0,1	60,00
07:50	07:20	26400	3,4	10,0	34,0	0,1	90,00
08:05	07:35	27300	3,8	10,0	38,0	0,2	118,44
08:15	07:45	27900	4,7	10,0	47,0	0,5	194,31
08:25	07:55	28500	4,9	10,0	49,0	0,9	415,35
08:35	08:05	29100	7,0	10,0	70,0	1,3	661,68
08:40	08:10	29400	7,7	10,0	77,0	1,6	429,16
08:45	08:15	29700	8,5	10,0	85,0	1,8	509,49
08:50	08:20	30000	8,6	10,0	86,0	2,1	591,17
08:55	08:25	30300	3,1	3,16	98,1	2,3	661,32
09:00	08:30	30600	3,5	3,16	110,8	2,8	760,43
09:05	08:35	30900	3,6	3,16	113,9	2,9	845,16
09:10	08:40	31200	3,9	3,16	123,4	3,1	896,05
09:15	08:45	31500	3,9	3,16	123,4	3,2	946,89
09:20	08:50	31800	4,0	3,16	126,6	3,3	980,73
09:25	08:55	32100	4,1	3,16	129,7	3,4	1014,62
09:30	09:00	32400	4,2	3,16	132,9	3,6	1048,51
09:35	09:05	32700	4,1	3,16	129,7	3,4	1048,51
09:40	09:10	33000	4,2	3,16	132,9	3,6	1048,51
09:45	09:15	33300	4,1	3,16	129,7	3,4	1048,51
09:50	09:20	33600	4,4	3,16	139,2	3,3	1010,78
09:55	09:25	33900	3,9	3,16	123,4	3,2	976,89
10:00	09:30	34200	3,8	3,16	120,3	3,1	946,84
10:05	09:35	34500	3,8	3,16	120,3	2,9	899,95
10:10	09:40	34800	3,5	3,16	110,8	2,8	849,11
10:15	09:45	35100	3,4	3,16	107,6	2,6	811,27
10:20	09:50	35400	3,3	3,16	104,4	2,5	777,38
10:25	09:55	35700	3,1	3,16	98,1	2,3	726,54
10:30	10:00	36000	3,0	3,16	94,9	2,2	675,70
10:35	10:05	36300	8,7	10,00	87,0	1,9	616,25
10:45	10:15	36900	8,4	10,00	84,0	1,8	1115,37
10:55	10:25	37500	7,5	10,00	75,0	1,5	986,85
11:05	10:35	38100	6,7	10,00	67,0	1,2	804,78
11:15	10:45	38700	6,4	10,00	64,0	1,1	686,97
11:25	10:55	39300	5,5	10,00	55,0	0,8	558,45
11:35	11:05	39900	5,2	10,00	52,0	0,7	429,93
11:50	11:20	40800	4,5	10,00	45,0	0,4	484,25
12:05	11:35	41700	3,9	10,00	39,0	0,2	275,40
12:20	11:50	42600	4,4	10,00	44,0	0,2	179,51
12:35	12:05	43500	3,8	10,00	38,0	0,2	163,44
12:50	12:20	44400	3,7	10,00	37,0	0,1	130,81
13:05	12:35	45300	2,6	10,00	26,0	0,0	57,83
13:20	12:50	46200	4,4	10,00	44,0	0,0	0,50
13:35	13:05	47100	3,3	10,00	33,0	0,0	0,09
13:50	13:20	48000	3,1	10,00	31,0	0,0	0,05
						Σ =	27749,90
Parâmetros		D. Euzébia V2					
D_L (m ² /s) =		29				M. Recup. =	1.248.745
X (m) =		13000				M. Injetada =	1.459.810
U (m/s) =		0,39				FC =	0,86
Q (m ³ /s) =		41,00					
M (g) =		1.459.810					
A (m ²) =		104,08					

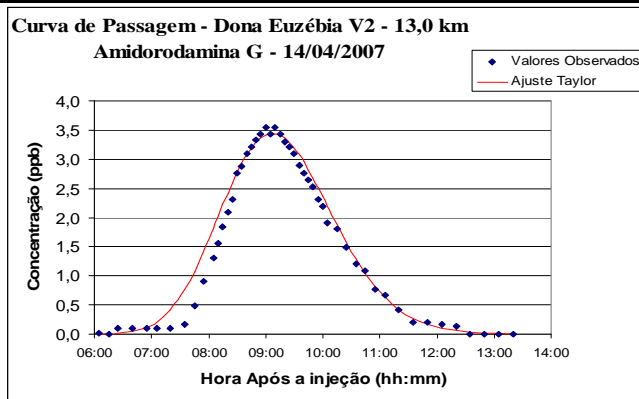


Figura 25.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Dona Euzébia V2, AMI

Tabela 26.e - Resultado do 2º experimento, URANINA, coleta 14/04/2007, leitura 01/05//2007 (10:00 h a 10:55 h) - Dona Euzébia V2

Hora	Hora Após Ini.	Tempo (s)	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
06:35	06:05	21900	3,9	10,0	39,0	0,0	
06:45	06:15	22500	3,3	10,0	33,0	0,1	30,00
06:55	06:25	23100	8,0	31,6	25,3	0,1	60,00
07:10	06:40	24000	9,5	31,6	30,1	0,1	90,00
07:25	06:55	24900	9,4	31,6	29,7	0,1	90,00
07:35	07:05	25500	9,5	31,6	30,1	0,1	60,00
07:50	07:20	26400	3,5	10,0	35,0	0,1	75,87
08:05	07:35	27300	4,7	10,0	47,0	0,2	130,32
08:15	07:45	27900	6,7	10,0	47,0	0,2	132,60
08:25	07:55	28500	3,0	3,16	212,0	0,6	246,30
08:35	08:05	29100	4,3	3,16	94,9	0,8	428,94
08:40	08:10	29400	4,9	3,16	136,1	1,4	327,31
08:45	08:15	29700	5,8	3,16	155,1	1,6	441,85
08:50	08:20	30000	6,6	3,16	183,5	2,0	532,28
08:55	08:25	30300	7,1	3,16	208,9	2,3	634,76
09:00	08:30	30600	7,7	3,16	224,7	2,5	713,13
09:05	08:35	30900	8,3	3,16	243,7	2,7	779,45
09:10	08:40	31200	8,9	3,16	262,7	3,0	851,79
09:15	08:45	31500	9,1	3,16	281,6	3,2	924,13
09:20	08:50	31800	9,3	3,16	288,0	3,3	972,36
09:25	08:55	32100	3,0	1,00	930,0	3,4	1002,21
09:30	09:00	32400	3,0	1,00	300,0	3,4	1025,12
09:35	09:05	32700	3,0	1,00	300,0	3,4	1030,23
09:40	09:10	33000	3,0	1,00	300,0	3,4	1030,23
09:45	09:15	33300	2,9	1,00	300,0	3,4	1030,23
09:50	09:20	33600	2,9	1,00	290,0	3,3	1011,18
09:55	09:25	33900	2,8	1,00	290,0	3,3	992,13
10:00	09:30	34200	8,7	3,16	88,6	3,2	976,07
10:05	09:35	34500	8,5	3,16	275,3	3,1	948,09
10:10	09:40	34800	8,1	3,16	269,0	3,0	924,13
10:15	09:45	35100	7,6	3,16	256,3	2,9	887,96
10:20	09:50	35400	7,1	3,16	240,5	2,7	833,70
10:25	09:55	35700	6,7	3,16	224,7	2,5	773,42
10:30	10:00	36000	6,3	3,16	212,0	2,3	719,16
10:35	10:05	36300	6,0	3,16	199,4	2,2	670,93
10:45	10:15	36900	5,0	3,16	189,9	2,0	1257,47
10:55	10:25	37500	4,4	3,16	158,2	1,6	1100,73
11:05	10:35	38100	3,7	3,16	139,2	1,4	907,81
11:15	10:45	38700	3,3	3,16	117,1	1,1	751,07
11:25	10:55	39300	2,8	3,16	104,4	1,0	618,45
11:35	11:05	39900	7,4	10,0	28,0	0,0	279,02
11:50	11:20	40800	5,9	10,0	74,0	0,6	244,62
12:05	11:35	41700	4,6	10,0	59,0	0,4	421,78
12:20	11:50	42600	4,2	10,0	46,0	0,2	261,77
12:35	12:05	43500	3,7	10,0	42,0	0,2	164,61
12:50	12:20	44400	3,5	10,0	37,0	0,1	113,17
13:05	12:35	45300	3,1	10,0	35,0	0,1	73,17
13:20	12:50	46200	3,4	10,0	31,0	0,0	38,88
13:35	13:05	47100	8,2	31,6	10,8	0,1	53,01
13:50	13:20	48000	8,8	31,6	25,9	0,0	24,15
						Σ =	27685,56

Parâmetros	D. Euzébia V2		
D_L (m ² /s) =	29	M. Recup. =	1.245.850
X (m) =	13000	M. Injetada =	1.519.590
U (m/s) =	0,39	FC =	0,82
Q (m ³ /s) =	41,00		
M (g) =	1.519.590		
A (m ²) =	104,08		

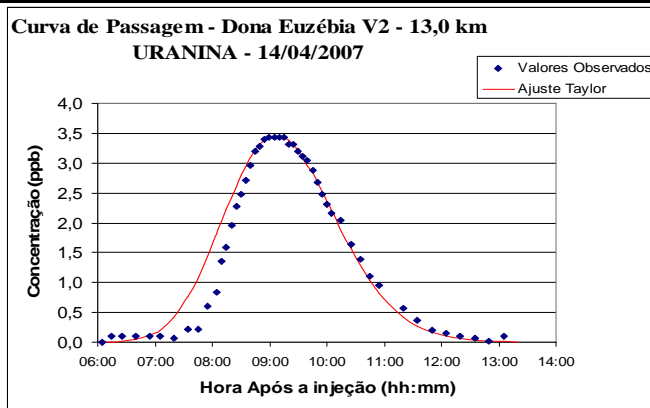


Figura 26.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Dona Euzébia V2, URA

Tabela 27.e - Resultado do 2º experimento, AMIDORODAMINA G, coleta 14/04/2007, leitura 01/05//2007 (18:10 h a 18:50 h) - Sinimbu V1

Hora	Hora Após Ini.	Tempo (s)	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
12:20	11:50	42600	3,3	10,0	33,0	0,0	
12:25	11:55	42900	3,7	10,0	37,0	0,1	15,00
12:30	12:00	43200	3,4	10,0	34,0	0,1	30,00
12:40	12:10	43800	3,5	10,0	35,0	0,1	60,00
12:55	12:25	44700	3,3	10,0	33,0	0,1	90,00
13:00	12:30	45000	3,3	10,0	33,0	0,1	30,00
13:10	12:40	45600	3,7	10,0	37,0	0,1	60,00
13:20	12:50	46200	2,7	10,0	27,0	0,1	60,00
13:25	12:55	46500	3,6	10,0	36,0	0,2	37,50
13:30	13:00	46800	4,0	10,0	40,0	0,2	47,37
13:35	13:05	47100	4,0	10,0	40,0	0,3	62,37
13:40	13:10	47400	4,5	10,0	45,0	0,3	89,37
13:45	13:15	47700	4,5	10,0	45,0	0,4	111,87
13:50	13:20	48000	5,3	10,0	53,0	0,6	155,07
13:55	13:25	48300	5,3	10,0	53,0	0,7	200,07
14:00	13:30	48600	5,8	10,0	58,0	0,8	227,07
14:05	13:35	48900	5,6	10,0	56,0	1,0	272,07
14:10	13:40	49200	6,8	10,0	68,0	1,2	326,07
14:15	13:45	49500	7,2	10,0	72,0	1,3	373,74
14:20	13:50	49800	7,7	10,0	77,0	1,5	422,34
14:25	13:55	50100	9,4	10,0	94,0	1,6	464,67
14:30	14:00	50400	8,3	10,0	83,0	1,7	497,07
14:35	14:05	50700	3,0	3,16	94,9	1,9	542,07
14:40	14:10	51000	3,0	3,16	94,9	2,1	606,53
14:45	14:15	51300	3,1	3,16	98,1	2,3	660,15
14:50	14:20	51600	3,1	3,16	98,1	2,3	677,23
14:55	14:25	51900	3,2	3,16	101,3	2,4	694,32
15:00	14:30	52200	3,2	3,16	101,3	2,4	711,41
15:05	14:35	52500	3,2	3,16	101,3	2,4	711,41
15:10	14:40	52800	3,2	3,16	101,3	2,4	711,41
15:15	14:45	53100	3,4	3,16	107,6	2,3	700,71
15:20	14:50	53400	3,1	3,16	98,1	2,3	683,62
15:25	14:55	53700	2,8	3,16	88,6	2,3	676,12
15:30	15:00	54000	9,7	10,00	97,0	2,2	660,00
15:35	15:05	54300	9,2	10,00	92,0	2,0	628,17
15:40	15:10	54600	8,6	10,00	86,0	1,8	578,94
15:45	15:15	54900	8,5	10,00	85,0	1,8	541,14
15:50	15:20	55200	8,3	10,00	83,0	1,7	524,94
15:55	15:25	55500	7,6	10,00	76,0	1,5	476,34
16:00	15:30	55800	7,1	10,00	71,0	1,3	411,54
16:10	15:40	56400	6,7	10,00	67,0	1,1	725,88
16:20	15:50	57000	6,5	10,00	65,0	0,9	611,34
16:30	16:00	57600	5,6	10,00	56,0	0,7	492,54
16:40	16:10	58200	5,0	10,00	50,0	0,5	380,28
16:50	16:20	58800	9,8	10,00	98,0	0,4	277,74
17:00	16:30	59400	4,5	10,00	45,0	0,3	223,74
17:15	16:45	60300	3,1	10,00	31,0	0,1	200,61
17:30	17:00	61200	4,0	10,00	40,0	0,2	119,61
17:45	17:15	62100	3,5	10,00	35,0	0,1	119,61
18:00	17:30	63000	3,3	10,00	33,0	0,1	90,00
						Σ =	18069,04

Parâmetros	Sinimbu V1		
D_L (m ² /s) =	23		
X (m) =	22000	M. Recup. =	921.521
U (m/s) =	0,42	M. Injetada =	1.459.810
Q (m ³ /s) =	41,00	FC =	0,63
M (g) =	1.459.810		
A (m ²) =	97,84		

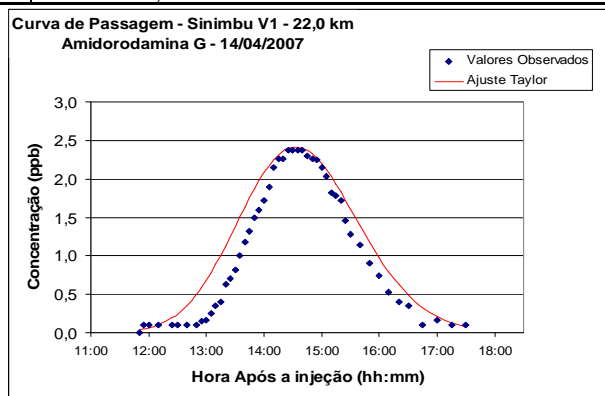


Figura 27.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Sinimbu V1, AMI

Tabela 28.e - Resultado do 2º experimento, URANINA, coleta 14/04/2007, leitura 30/04//2007 (19:50 h a 20:35 h) - Sinimbu V1

Hora	Hora Após Ini.	Tempo (s)	Leit. V1	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V1	M Recup.
12:20	11:50	42600	8,7	31,6	27,5	0,0	
12:25	11:55	42900	2,9	10,0	29,0	0,0	6,07
12:30	12:00	43200	3,1	10,0	31,0	0,1	12,63
12:40	12:10	43800	2,8	10,0	28,0	0,0	21,48
12:55	12:25	44700	2,8	10,0	28,0	0,0	15,21
13:00	12:30	45000	3,1	10,0	31,0	0,1	10,74
13:10	12:40	45600	3,0	10,0	30,0	0,0	29,04
13:20	12:50	46200	3,2	10,0	32,0	0,1	32,82
13:25	12:55	46500	3,7	10,0	32,0	0,1	20,19
13:30	13:00	46800	4,2	10,0	37,0	0,1	29,64
13:35	13:05	47100	4,9	10,0	42,0	0,2	48,54
13:40	13:10	47400	5,1	10,0	49,0	0,3	71,22
13:45	13:15	47700	5,9	10,0	51,0	0,3	88,23
13:50	13:20	48000	6,7	10,0	59,0	0,4	107,13
13:55	13:25	48300	6,7	10,0	67,0	0,5	137,37
14:00	13:30	48600	8,2	10,0	67,0	0,5	152,49
14:05	13:35	48900	9,0	10,0	82,0	0,7	180,84
14:10	13:40	49200	3,1	3,16	284,8	0,8	224,60
14:15	13:45	49500	3,3	3,16	98,1	0,9	255,03
14:20	13:50	49800	3,8	3,16	104,4	1,0	282,01
14:25	13:55	50100	4,1	3,16	120,3	1,2	323,88
14:30	14:00	50400	4,5	3,16	129,7	1,3	371,73
14:35	14:05	50700	4,6	3,16	142,4	1,5	413,60
14:40	14:10	51000	4,9	3,16	145,6	1,5	443,50
14:45	14:15	51300	5,0	3,16	155,1	1,6	467,43
14:50	14:20	51600	5,1	3,16	158,2	1,7	491,35
14:55	14:25	51900	5,1	3,16	161,4	1,7	503,31
15:00	14:30	52200	5,1	3,16	161,4	1,7	509,29
15:05	14:35	52500	5,2	3,16	161,4	1,7	509,29
15:10	14:40	52800	5,1	3,16	164,6	1,7	515,27
15:15	14:45	53100	5,1	3,16	161,4	1,7	515,27
15:20	14:50	53400	5,0	3,16	161,4	1,7	509,29
15:25	14:55	53700	4,7	3,16	158,2	1,7	503,31
15:30	15:00	54000	4,7	3,16	148,7	1,5	479,39
15:35	15:05	54300	4,4	3,16	148,7	1,5	461,45
15:40	15:10	54600	4,0	3,16	139,2	1,4	443,50
15:45	15:15	54900	4,0	3,16	126,6	1,4	415,28
15:50	15:20	55200	3,9	3,16	126,6	1,3	391,36
15:55	15:25	55500	3,5	3,16	123,4	1,2	371,73
16:00	15:30	55800	3,2	3,16	110,8	1,1	341,82
16:10	15:40	56400	3,0	3,16	101,3	0,9	599,92
16:20	15:50	57000	8,0	10,0	30,0	0,8	522,01
16:30	16:00	57600	7,0	10,0	80,0	0,7	441,63
16:40	16:10	58200	5,7	10,0	70,0	0,5	365,46
16:50	16:20	58800	7,5	10,0	57,0	0,4	278,52
17:00	16:30	59400	5,0	10,0	75,0	0,3	204,69
17:15	16:45	60300	4,3	10,0	50,0	0,3	247,50
17:30	17:00	61200	3,7	10,0	43,0	0,2	205,15
17:45	17:15	62100	5,1	10,0	37,0	0,1	151,29
18:00	17:30	63000	3,1	10,0	51,0	0,1	81,14
						Σ =	13803,66

Parâmetros	Sinimbu V1		
D _L (m ² /s) =	26		
X (m) =	22000	M. Recup. =	703,987
U (m/s) =	0,42	M. Injetada =	1.519.590
Q (m ³ /s) =	41,00	FC =	0,46
M (g) =	1.519.590		
A (m ²) =	97,84		

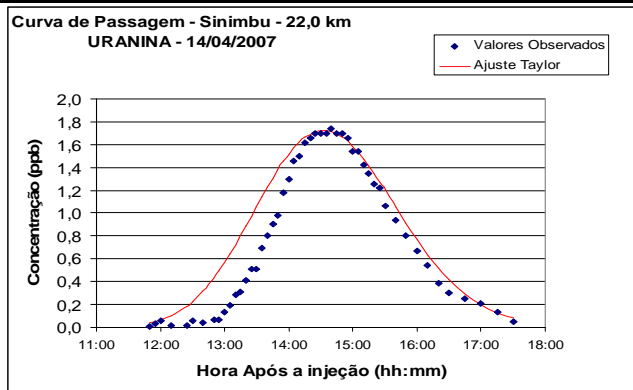


Figura 28.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Sinimbu V1, URA

Tabela 29.e - Resultado do 2º experimento, AMIDORODAMINA G, coleta 14/04/2007, leitura 01/05//2007 (19:00 h a 19:40 h) - Sinimbu V2

Hora	Hora Após Ini.	Tempo (s)	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
12:20	11:50	42600	6,0	10,0	60,0	0,0	
12:25	11:55	42900	4,9	10,0	49,0	0,0	0,00
12:30	12:00	43200	3,5	10,0	35,0	0,0	1,73
12:40	12:10	43800	2,7	10,0	27,0	0,1	18,45
12:55	12:25	44700	3,5	10,0	35,0	0,1	67,50
13:00	12:30	45000	3,2	10,0	32,0	0,1	30,00
13:10	12:40	45600	3,7	10,0	37,0	0,1	54,99
13:20	12:50	46200	3,6	10,0	36,0	0,0	39,21
13:25	12:55	46500	3,8	10,0	38,0	0,1	24,99
13:30	13:00	46800	4,0	10,0	40,0	0,2	46,53
13:35	13:05	47100	4,1	10,0	41,0	0,2	62,68
13:40	13:10	47400	4,3	10,0	43,0	0,3	78,84
13:45	13:15	47700	4,7	10,0	47,0	0,4	111,15
13:50	13:20	48000	5,2	10,0	52,0	0,6	159,62
13:55	13:25	48300	5,6	10,0	56,0	0,8	208,08
14:00	13:30	48600	5,1	10,0	51,0	0,9	249,81
14:05	13:35	48900	6,5	10,0	65,0	1,1	298,28
14:10	13:40	49200	7,1	10,0	71,0	1,3	358,86
14:15	13:45	49500	7,4	10,0	74,0	1,4	407,33
14:20	13:50	49800	8,0	10,0	80,0	1,6	455,79
14:25	13:55	50100	8,6	10,0	86,0	1,8	520,41
14:30	14:00	50400	9,3	10,0	93,0	2,1	590,42
14:35	14:05	50700	3,0	3,16	94,9	2,2	638,54
14:40	14:10	51000	3,1	3,16	98,1	2,3	666,01
14:45	14:15	51300	3,1	3,16	98,1	2,4	694,03
14:50	14:20	51600	3,1	3,16	98,1	2,4	708,00
14:55	14:25	51900	3,1	3,16	98,1	2,4	714,00
15:00	14:30	52200	3,2	3,16	101,3	2,4	717,07
15:05	14:35	52500	3,2	3,16	101,3	2,5	726,07
15:10	14:40	52800	3,0	3,16	94,9	2,5	736,50
15:15	14:45	53100	3,2	3,16	101,3	2,4	727,57
15:20	14:50	53400	3,1	3,16	98,1	2,3	700,09
15:25	14:55	53700	3,0	3,16	94,9	2,2	666,01
15:30	15:00	54000	2,9	3,16	91,8	2,0	631,93
15:35	15:05	54300	8,2	10,00	82,0	1,9	584,94
15:40	15:10	54600	8,3	10,00	83,0	1,7	537,71
15:45	15:15	54900	8,1	10,00	81,0	1,7	509,64
15:50	15:20	55200	7,6	10,00	76,0	1,5	471,94
15:55	15:25	55500	7,3	10,00	73,0	1,4	428,87
16:00	15:30	55800	7,0	10,00	70,0	1,3	396,56
16:10	15:40	56400	6,1	10,00	61,0	0,9	363,87
16:20	15:50	57000	5,6	10,00	56,0	0,8	313,09
16:30	16:00	57600	5,6	10,00	56,0	0,7	249,62
16:40	16:10	58200	4,8	10,00	48,0	0,5	163,46
16:50	16:20	58800	4,5	10,00	45,0	0,4	101,25
17:00	16:30	59400	4,3	10,00	43,0	0,3	51,69
17:15	16:45	60300	2,9	10,00	29,0	0,2	18,81
17:30	17:00	61200	3,8	10,00	38,0	0,1	6,76
17:45	17:15	62100	3,4	10,00	34,0	0,1	2,56
18:00	17:30	63000	3,3	10,00	33,0	0,1	0,90
						Σ =	18022,21

Parâmetros	Sinimbu V2
D_L (m ² /s) =	21
X (m) =	22000
U (m/s) =	0,42
Q (m ³ /s) =	41,00
M (g) =	1.459.810
A (m ²) =	97,84

M. Recup. =	919.133
M. Injetada =	1.459.810
FC =	0,63

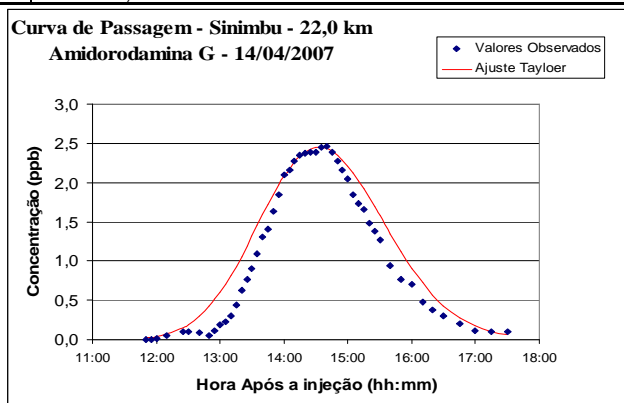


Figura 29.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Sinimbu V2, AMI

Tabela 30.e - Resultado do 2º experimento, URANINA, coleta 14/04/2007, 30/04//2007 (17:10 h a 18:45 h) – Sinimb V2

Hora	Hora Após Ini.	Tempo (s)	Leit. V2	Escala	Leit. Esc.100	Conc. V2	M Recup.
12:20	11:50	42600	4,2	10,0	42,0	0,0	
12:25	11:55	42900	3,9	10,0	39,0	0,0	0,01
12:30	12:00	43200	3,0	10,0	30,0	0,0	0,02
12:46	12:16	44160	2,8	10,0	28,0	0,0	0,00
12:55	12:25	44700	3,0	10,0	30,0	0,0	0,01
13:00	12:30	45000	2,9	10,0	29,0	0,0	0,00
13:10	12:40	45600	3,1	10,0	31,0	0,0	4,74
13:20	12:50	46200	3,5	10,0	35,0	0,1	23,28
13:25	12:55	46500	3,9	10,0	35,0	0,1	18,54
13:30	13:00	46800	4,0	10,0	39,0	0,1	25,44
13:35	13:05	47100	4,8	10,0	40,0	0,1	34,06
13:40	13:10	47400	5,1	10,0	48,0	0,2	49,59
13:45	13:15	47700	5,9	10,0	51,0	0,2	68,57
13:50	13:20	48000	6,6	10,0	59,0	0,3	87,54
13:55	13:25	48300	7,4	10,0	66,0	0,4	113,41
14:00	13:30	48600	8,4	10,0	74,0	0,5	139,29
14:05	13:35	48900	9,4	10,0	84,0	0,6	170,34
14:10	13:40	49200	3,3	3,16	297,5	0,7	198,80
14:15	13:45	49500	3,6	3,16	104,4	0,9	234,04
14:20	13:50	49800	4,0	3,16	113,9	1,0	274,45
14:25	13:55	50100	4,4	3,16	126,6	1,1	312,66
14:30	14:00	50400	4,6	3,16	139,2	1,3	356,33
14:35	14:05	50700	4,9	3,16	145,6	1,3	389,09
14:40	14:10	51000	5,0	3,16	155,1	1,4	416,38
14:45	14:15	51300	5,2	3,16	158,2	1,5	438,22
14:50	14:20	51600	5,1	3,16	164,6	1,6	454,59
14:55	14:25	51900	5,4	3,16	161,4	1,5	460,05
15:00	14:30	52200	5,4	3,16	170,9	1,6	470,97
15:05	14:35	52500	5,2	3,16	170,9	1,6	487,35
15:10	14:40	52800	5,4	3,16	164,6	1,6	476,43
15:15	14:45	53100	5,1	3,16	170,9	1,6	476,43
15:20	14:50	53400	4,9	3,16	161,4	1,5	470,97
15:25	14:55	53700	4,7	3,16	155,1	1,4	443,68
15:30	15:00	54000	4,7	3,16	148,7	1,4	421,84
15:35	15:05	54300	4,4	3,16	148,7	1,4	410,92
15:40	15:10	54600	4,1	3,16	139,2	1,3	394,55
15:45	15:15	54900	3,8	3,16	129,7	1,2	361,79
15:50	15:20	55200	3,6	3,16	120,3	1,0	329,04
15:55	15:25	55500	3,3	3,16	113,9	1,0	301,75
16:00	15:30	55800	3,1	3,16	104,4	0,9	274,45
16:10	15:40	56400	8,7	10,00	31,0	0,8	498,07
16:20	15:50	57000	7,5	10,0	87,0	0,7	437,94
16:30	16:00	57600	6,5	10,0	75,0	0,5	354,48
16:40	16:10	58200	5,7	10,0	65,0	0,4	278,58
16:50	16:20	58800	4,9	10,0	57,0	0,3	216,48
17:00	16:30	59400	4,5	10,0	49,0	0,2	161,28
17:15	16:45	60300	3,7	10,0	45,4	0,2	181,89
17:30	17:00	61200	3,2	10,0	37,0	0,1	119,79
17:45	17:15	62100	3,0	10,0	32,0	0,0	50,45
18:00	17:30	63000	2,9	10,0	30,0	0,0	14,22
						Σ =	11902,81

Parâmetros	Sinimbu V2
D _L (m ² /s) =	23
X (m) =	22000
U (m/s) =	0,42
Q (m ³ /s) =	41,00
M (g) =	1.519.590
A (m ²) =	97,84

M. Recup. =	607,043
M. Injetada =	1.519.590
	40

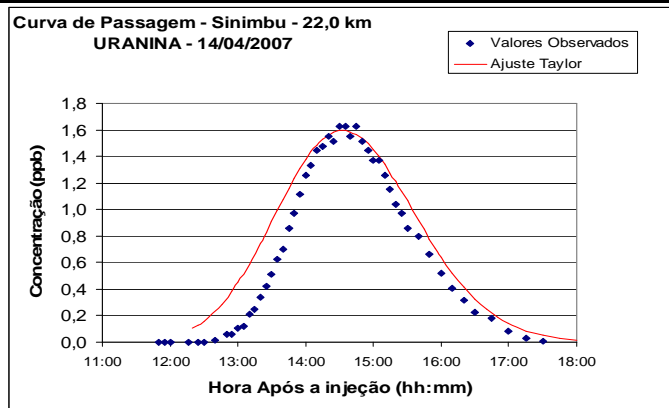


Figura 30.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Sinimbu V2, URA

Tabela 31.e - Resultado do 2º experimento, AMIDORODAMINA G, coleta 14/04/2007, 19/07//2007 - Cataguases

Hora	Hora após Ini.	Tempo (s)	Leitura	Escala	Leit.Esc.100	Conc.	M. Recup.
19:15	18:45	67500	4,9	31,6	15,51	0,18	
19:45	19:15	69300	4,6	31,6	14,56	0,17	319,79
20:00	19:30	70200	4,5	31,6	14,24	0,17	153,40
20:20	19:50	71400	5,1	31,6	16,14	0,19	215,36
20:50	20:20	73200	5,6	31,6	17,72	0,21	358,75
21:10	20:40	74400	6,4	31,6	20,25	0,24	267,31
21:30	21:00	75600	2,9	10	29,00	0,34	344,45
21:42	21:12	76320	3,5	10	35,00	0,41	267,19
21:50	21:20	76800	4,5	10	45,00	0,52	221,90
22:00	21:30	77400	5,5	10	55,00	0,63	345,78
22:10	21:40	78000	7	10	70,00	0,80	431,28
22:19	21:49	78540	7,5	10	75,00	0,86	449,71
22:27	21:57	79020	8,6	10	86,00	0,99	443,52
22:30	22:00	79200	2,7	3,16	85,44	0,98	177,03
22:35	22:05	79500	2,8	3,16	88,61	1,02	299,52
22:40	22:10	79800	2,8	3,16	88,61	1,02	304,93
22:45	22:15	80100	3	3,16	94,94	1,09	315,75
22:50	22:20	80400	3,2	3,16	101,27	1,16	337,40
22:55	22:25	80700	3,3	3,16	104,43	1,20	353,63
23:00	22:30	81000	3,3	3,16	104,43	1,20	359,04
23:05	22:35	81300	3,4	3,16	107,59	1,23	364,45
23:10	22:40	81600	3,3	3,16	104,43	1,20	364,45
23:15	22:45	81900	3,3	3,16	104,43	1,20	359,04
23:20	22:50	82200	3,3	3,16	104,43	1,20	359,04
23:25	22:55	82500	3,3	3,16	104,43	1,20	359,04
23:30	23:00	82800	3,3	3,16	104,43	1,20	359,04
23:35	23:05	83100	3,2	3,16	101,27	1,16	353,63
23:40	23:10	83400	3,2	3,16	101,27	1,16	348,22
23:45	23:15	83700	3,1	3,16	98,10	1,12	342,81
23:50	23:20	84000	3,1	3,16	98,10	1,12	337,40
23:55	23:25	84300	3	3,16	94,94	1,09	331,98
24:00	23:30	84600	2,8	3,16	88,61	1,02	315,75
24:05	23:35	84900	8,7	10	87,00	1,00	302,18
24:10	23:40	85200	8,7	10	87,00	1,00	299,43
24:20	23:50	85800	7,9	10	79,00	0,91	571,50
24:30	24:00	86400	6,9	10	69,00	0,79	509,94
24:40	24:10	87000	6,3	10	63,00	0,72	455,22
24:50	24:20	87600	6	10	60,00	0,69	424,44
25:00	24:30	88200	5,5	10	55,00	0,63	397,08
25:20	24:50	89400	4	10	40,00	0,46	657,36
25:40	25:10	90600	3,3	10	33,00	0,38	506,88
26:00	25:30	91800	8,2	31,6	25,95	0,30	410,77
26:30	26:00	93600	6,5	31,6	20,57	0,24	488,62
						Σ =	15184,04
Parâmetros		Cataguases					
D _L (m ² /s) =		30					
X (m) =		36000				M Injet.	1459810,00
U (m/s) =		0,44				M. Recup.	971778,26
Q (m ³ /s) =		64,00				FC =	0,67
M (g) =		1459810,00					
A (m ²) =		145,13					

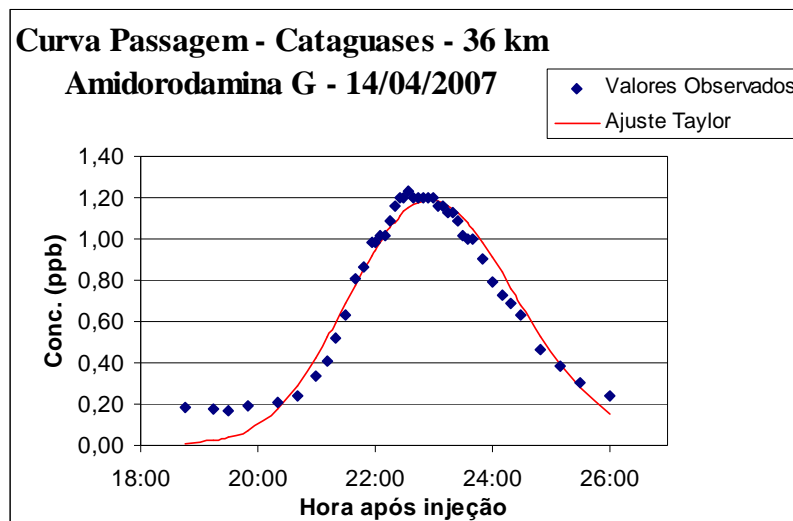


Figura 31.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Cataguases, AMI

Tabela 32.e - Resultado do 2º experimento, URANINA, coleta 14/04/2007, leitura 19/07//2007 - Cataguases

Hora	Hora após Ini.	Tempo (s)	Leitura	Escala	Leit.Esc. 100	Conc.	M. Recup.
19:15	18:45	67500	6	31,6	18,99	0,08	
19:45	19:15	69300	5,8	31,6	18,35	0,07	132,50
20:00	19:30	70200	5,6	31,6	17,72	0,06	60,04
20:20	19:50	71400	5,6	31,6	17,72	0,06	75,92
20:50	20:20	73200	6	31,6	18,99	0,08	126,29
21:10	20:40	74400	6,9	31,6	21,84	0,11	111,10
21:30	21:00	75600	8,7	31,6	27,53	0,17	166,98
21:42	21:12	76320	3,9	10	39,00	0,30	167,54
21:50	21:20	76800	4,2	10	42,00	0,33	149,54
22:00	21:30	77400	5	10	50,00	0,42	222,90
22:10	21:40	78000	5,7	10	57,00	0,49	271,95
22:19	21:49	78540	6,4	10	64,00	0,57	285,96
22:27	21:57	79020	6,9	10	69,00	0,62	285,58
22:30	22:00	79200	7,5	10	75,00	0,69	117,88
22:35	22:05	79500	7,2	10	72,00	0,65	201,38
22:40	22:10	79800	7,2	10	72,00	0,65	196,47
22:45	22:15	80100	7,7	10	77,00	0,71	204,65
22:50	22:20	80400	8,2	10	82,00	0,76	221,00
22:55	22:25	80700	8,4	10	84,00	0,79	232,44
23:00	22:30	81000	8,4	10	84,00	0,79	235,71
23:05	22:35	81300	8,4	10	84,00	0,79	235,71
23:10	22:40	81600	8,3	10	83,00	0,77	234,07
23:15	22:45	81900	8,2	10	82,00	0,76	230,80
23:20	22:50	82200	8,4	10	84,00	0,79	232,44
23:25	22:55	82500	8,3	10	83,00	0,77	234,07
23:30	23:00	82800	8,2	10	82,00	0,76	230,81
23:35	23:05	83100	8	10	80,00	0,74	225,90
23:40	23:10	83400	7,9	10	79,00	0,73	220,99
23:45	23:15	83700	7,7	10	77,00	0,71	216,09
23:50	23:20	84000	7,8	10	78,00	0,72	214,45
23:55	23:25	84300	7,8	10	78,00	0,72	216,09
24:00	23:30	84600	7,4	10	74,00	0,68	209,55
24:05	23:35	84900	7	10	70,00	0,63	196,47
24:10	23:40	85200	6,9	10	69,00	0,62	188,29
24:20	23:50	85800	6,5	10	65,00	0,58	360,24
24:30	24:00	86400	5,8	10	58,00	0,50	324,27
24:40	24:10	87000	5,6	10	56,00	0,48	294,84
24:50	24:20	87600	5,3	10	53,00	0,45	278,49
25:00	24:30	88200	4,7	10	47,00	0,38	249,06
25:20	24:50	89400	4	10	40,00	0,31	413,10
25:40	25:10	90600	3,5	10	35,00	0,25	334,62
26:00	25:30	91800	3	10	30,00	0,20	269,22
26:30	26:00	93600	6,7	31,6	21,20	0,10	268,48
						Σ =	9343,90
Parâmetros		Cataguases					
D_L (m ² /s) =		27				M. Iniet.	1459810,00
X (m) =		36000				M. Recup	598009,3756
U (m/s) =		0,44				FC =	0,40
Q (m ³ /s) =		64,00					
M (g) =		1459810,00					
A (m ²) =		145,45					

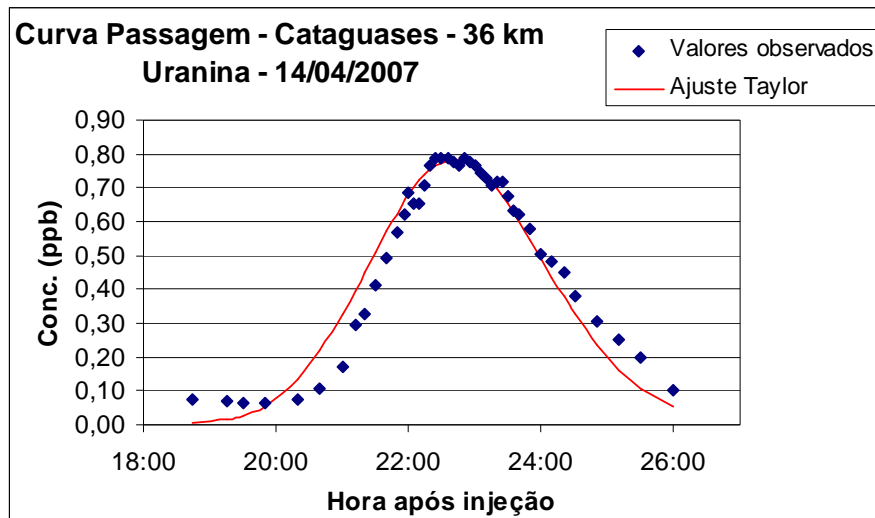


Figura 32.e – Gráfico do ajuste entre os valores medidos e o modelo de Taylor, Cataguases, URA

APÊNDICE F

**VALORES DO COEFICIENTE DE DISPERSÃO LONGITUDINAL (D_L)
OBSERVADOS (O_i) POR PEREIRA (1999) E ESTIMADOS (E_i) PELAS DIVERSAS
FÓRMULAS EMPÍRICAS**

Tabela 1.f – Valores do coeficiente de dispersão longitudinal (D_L) observados (O_i) por PEREIRA (1999) e estimados (E_i) pelas diversas fórmulas empíricas, utilizados para fins de comparação

(i)	Valores Observados (O_i)	Valores Estimados (E_i)												
	Pereira (1999)	Elder (1959)	Parker (1961)	Glover (1964)	McQuivey (1974)	Fisher (1975)	Liu (1977)	Iwasa (1991)	Seo&Cheong (1998)	Huisman (2000)	Deng et al. (2001)	Falconer (2002)	Devéns et al. (2006)	Eq.(57)
1	0,89	0,18	0,66	15,00	2,78	1,84	1,86	2,39	11,53	0,50	6,95	13,04	0,010	0,68
2	3,40	0,34	1,30	28,80	2,37	1,56	1,58	2,50	17,12	0,42	7,63	24,84	0,004	1,78
3	5,14	0,56	0,67	46,80	392,08	1,56	1,31	2,34	26,47	0,42	9,13	51,81	0,002	4,27
4	10,91	0,27	0,97	23,00	94,27	16,01	7,59	6,33	45,53	4,37	36,44	54,85	0,006	3,55
5	5,20	0,35	1,22	29,40	6,33	61,97	35,84	22,63	73,72	16,90	68,62	53,80	0,009	6,12
6	16,00	0,54	2,43	45,60	68,10	10,14	3,59	3,98	74,13	2,76	42,00	160,43	0,002	11,18
7	9,62	0,51	2,21	42,80	58,34	10,25	4,16	4,53	66,13	2,79	39,61	125,41	0,002	9,27
8	8,03	0,39	1,79	32,55	45,31	11,45	4,51	4,45	57,64	3,12	38,22	99,48	0,003	6,37
9	16,68	0,54	1,74	45,50	62,28	24,24	9,78	8,72	90,39	6,61	66,54	134,46	0,003	12,39
10	20,65	0,45	1,54	37,80	54,57	27,17	10,13	8,37	86,02	7,41	66,14	124,24	0,003	10,08
11	19,04	0,42	1,66	35,00	23,35	22,91	9,61	8,13	72,59	6,25	56,13	98,24	0,004	7,96