

MEDIÇÃO DE CAUDAIS EM RIOS

Métodos Tradicionais *versus* Novos Equipamentos

PEDRO NUNO BARROS DEVESA E CUNHA

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

Orientador: Professor Doutor Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia

Co-Orientador: Engenheiro José Manuel Dias da Silva (EDP)

JANEIRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

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

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

À memória da minha avó

Os sistemas fluviais são como um perene fluir de vida sempre renovado e embora passando pelas fases de juventude, maturidade e envelhecimento não são, em geral, ameaçados pela morte.

Luís Veiga da Cunha

AGRADECIMENTOS

A conclusão de um capítulo vivencial, marco indubitável da formação pessoal e técnica de todos nós, proporcionou no presente trabalho uma realidade fugaz e passageira de preparação para uma nova rotina diária e um padrão de responsabilidade e maturidade exigíveis. Para tal ser atingido, muito contribuiu o sucesso de outros aos quais fui buscar os conhecimentos que me permitiram levar a bom termo o trabalho a que me propus.

Assim, gostaria de deixar uma palavra de apreço a todos aqueles que, indirecta ou directamente, deixaram um pouco do seu Eu no Meu, contribuindo mesmo que de uma forma pouco notória para definir e pautar muitas das reacções e atitudes que acabei por tomar.

À minha avó, que já não se encontra entre nós, mas que foi, sem dúvida, a peça mais importante no puzzle que constitui a minha formação pessoal, e a verdadeira inspiração para enfrentar com calma e força interior os obstáculos do dia-a-dia.

Aos meus pais, que sempre foram um exemplo de postura e sensatez, dotados de uma experiência de vida notável e portadores de um conhecimento, quer teórico quer vivencial, excepcional.

Ao meu irmão, que ao longo de todos estes anos compactuou, de forma mais do que positiva, com os meus anseios de conhecimento, de vivências e experimentalismo, que me fez ver o mundo de uma forma única, sempre com as justas ressalvas e conselhos.

Joana e todos os amigos próximos, cuja amizade, carinho e camaradagem foi sendo fomentada ao longo destes anos, os quais para sempre terão um lugar especial na minha vida.

A todos aqueles que partilharam os bons e os maus momentos vividos, os sucessos e infortúnios, todos os pequenos buracos da estrada que percorremos, um enorme obrigado.

Ao Professor Doutor Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia, pelo método e forma como me orientou ao longo do presente trabalho, pela participação e pela amizade demonstrada ao longo deste percurso; ao Engenheiro José Manuel Dias da Silva, pela inigualável disponibilidade com que me recebeu e apoio que prestou; à Engenheira Maria João Gavina, cuja ajuda e amizade foram, sem dúvida, essenciais na integração e desenvolvimento deste trabalho em ambiente empresarial; à Engenheira Luísa Lameiro, pela amizade, compreensão e companheirismo; aos Senhores João Castro, António Pereira, Fernando Coelho e Fernando Barros que me apoiaram directamente no trabalho de campo e a todos os restantes colegas da EDP; à Engenheira Cláudia Brandão e a todos os colaboradores do INAG com quem tive o prazer de trabalhar, Engenheira Paula Machado, Brito Calrão e Paulo Fernandes; aos colaboradores da QUALITAS, Pedro Agostinho, Bruno Pereira e Angel Chinchón; à Engenheira Juliana Mendes da Faculdade de Engenharias da Universidade do Porto, pela orientação, amizade e carinho, fundamentais e indispensáveis no percurso final deste trabalho; a todos um respeitoso e sincero muito obrigado.

Aos amigos e conhecidos que me acompanham para além dos tempos, e principalmente à família, deixo um emocionado agradecimento.

Saravá!

RESUMO

A dissertação apresenta como objectivo geral a comparação dos valores de caudais obtidos pelos equipamentos utilizados, tendo para tal sido medidos caudais em nove secções, em seis diferentes rios e num canal artificial.

Este estudo foi estruturado em conjunto com a empresa EDP, em parceria com o INAG, tendo sido desenvolvido em ambiente empresarial. Foi estabelecido o contacto com uma empresa de fornecimento de equipamentos para a medição de caudais, de nome QUALITAS, com o intuito de explorar alguns dos equipamentos mais recentes, permitindo realizar uma campanha de medições de caudal e estabelecer comparações entre diferentes equipamentos.

Durante os cinco meses de trabalho, foram assim realizadas sete campanhas de medição de caudal com o intuito de comparar os valores dos caudais obtidos e avaliar o desempenho e performance dos equipamentos de tecnologia recente, nomeadamente os baseados em efeito doppler (ADV's – velocímetros acústicos de efeito doppler e ADCP's – perfiladores acústicos de efeito doppler) e em sensores electromagnéticos, com os equipamentos de utilização convencional (molinetes hidráulicos).

Para a medição de caudais, o INAG disponibilizou dois perfiladores acústicos de efeito doppler, com características específicas para, respectivamente, medições em situações de reduzidas e de elevadas profundidades, e um sensor electromagnético; a QUALITAS cedeu um velocímetro acústico para medições a vau e um perfilador acústico para medições em situações de elevadas profundidades, utilizados numa das campanhas de medições de caudal; o molinete hidráulico foi disponibilizado pela empresa EDP, para utilização em todas as campanhas.

O ADV, o sensor electromagnético e o molinete hidráulico foram utilizados nas medições a vau, sendo o último utilizado também nas medições realizadas em cabo suspenso, com recurso a teleférico e ponte.

Os resultados obtidos permitiram identificar as vantagens e desvantagens operacionais de cada equipamento utilizado e tirar conclusões relativamente à precisão, aplicabilidade e limitações de cada um.

Foram também actualizados e desenvolvidos os procedimentos operacionais para a monitorização de caudais em rios, utilizados pela empresa EDP. As medições de caudal realizadas nas secções de monitorização utilizadas e sob a responsabilidade da empresa EDP, permitiram ainda avaliar a necessidade de ajuste das curvas de vazão actualmente utilizadas.

Para a realização deste trabalho foi ainda efectuada pesquisa bibliográfica no sentido de aprofundar os conhecimentos sobre o modo de funcionamento dos diferentes equipamentos, correspondentes procedimentos operacionais e métodos de cálculo de caudais. Destes últimos, foi efectivamente utilizado, no presente trabalho, o designado método secção – velocidade.

PALAVRAS-CHAVE: caudal, efeito doppler, perfilador acústico, molinete hidráulico, sensor electromagnético.

ABSTRACT

The main objective of this Thesis is to compare discharges obtained by different equipments. Therefore discharges were measured in nine sections in six different rivers and in one artificial channel (man-made).

The study has been developed in a business company environment, structured together with EDP enterprise and in partnership with INAG. A contact with a discharge measurements equipment device supplying company was established, named QUALITAS, in order to possible exploring some of the most recent equipments, which allowed doing a flow measurement campaign and establishing comparisons between different devices.

During a five months work, seven discharge measurement campaigns were conducted in order to compare discharge flow measured values and evaluate the performance of new technology equipment devices, in particular those based on the doppler effect (ADV's – acoustic doppler velocimeters and ADCP's – acoustic doppler current profiler) and electromagnetic sensors, to those of traditional methods (propeller current meter).

Two ADCP's with specific characteristics for low and high flow depths, respectively and an electromagnetic sensor were provided by INAG; QUALITAS provided an ADV for measuring in shallow rivers (rod measurements) and an ADCP for high depths flow measurements, although this company participation was restricted to one single campaign; EDP provided a propeller current meter, available for all discharge flow measurement campaigns.

The ADV, the electromagnetic sensor and the propeller current meter were carried out by wading in shallow water courses. The propeller current meter was also used with a cable in a suspended way, using a cable system or an existing bridge.

The results allowed to identify the operational advantages and disadvantages of the equipments used and to draw conclusions about their accuracy, applicability and limitations.

Field operating procedures could also be updated and developed for monitoring rivers sections of EDP responsibility. Discharge measurements taken in sections monitored by EDP also allowed evaluating current adequacy of the corresponding rating curves used.

Literature review was also carried out to perform this work, enabling deep knowledge about the wadding and cable suspending principles of used equipments, and the field operational procedures of used devices, field operating procedures and discharge calculation methods. From these last, the velocity area method was used.

KEYWORDS: discharge, doppler effect, acoustic profiler, propeller current meter, electromagnetic sensor.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1.INTRODUÇÃO	1
1.1. ASPECTOS GERAIS	1
1.2. OBJECTIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	2
2. MEDIÇÃO DE CAUDAIS EM RIOS.....	5
2.1. SUMÁRIO.....	5
2.2. NÍVEIS DE ÁGUA.....	5
2.2.1. LEITURA DIRECTA.....	6
2.2.2. LEITURA INDIRECTA.....	8
2.3. MEDIÇÃO DE CAUDAIS.....	13
2.3.1. MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DE CAUDAIS	13
2.3.2. FACTORES QUE AFECTAM A SELECÇÃO DOS MÉTODOS	15
2.4. MÉTODO SECÇÃO – VELOCIDADE	16
2.4.1. DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES NA SECÇÃO TRANSVERSAL	17
2.4.2. MÉTODOS DE CÁLCULO DA VELOCIDADE MÉDIA NUMA VERTICAL.....	18
2.4.3. METODOLOGIAS PARA A DETERMINAÇÃO DO CAUDAL	22
2.4.4. ERROS E INCERTEZAS – TIPOS, INFLUÊNCIA E CÁLCULO	24
2.4.5. FORMAS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO SECÇÃO VELOCIDADE.....	29
3. EQUIPAMENTOS	35
3.1. SUMÁRIO.....	35
3.2. PERFORMANCE DOS EQUIPAMENTOS	35
3.3. MOLINETE HIDRÁULICO.....	36
3.3.1. PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO – MOLINETE DE HÉLICE – DE EIXO HORIZONTAL	37
3.3.2. CALIBRAÇÃO.....	40
3.4. SENSOR ELECTROMAGNÉTICO	42

3.4.1. PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	42
3.4.2. CALIBRAÇÃO	44
3.5. ADCP – ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER	44
3.5.1. PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO	45
3.5.2. PERFORMANCE DO ADCP - INCERTEZAS	53
3.5.3. CALIBRAÇÃO	55
3.6. ADV – ACOUSTIC DOPPLER VELOCIMETER	56
 4. METODOLOGIAS E PROCEDIMENTOS DE CAMPO	 59
4.1. SUMÁRIO	59
4.2. METODOLOGIAS PARA A MEDIÇÃO DE CAUDAIS EM RIOS	59
4.2.1. DEFINIÇÃO DE UM PERFIL DE MEDIÇÃO	59
4.2.2. NÚMERO DE VERTICAIS	62
4.2.3. NÚMERO DE PONTOS A MEDIR POR VERTICAL	63
4.2.4. TEMPOS DE MEDIÇÃO	64
4.2.5. CORRENTES OBLÍQUAS	65
4.3. SISTEMAS DE SUSPENSÃO – PROCEDIMENTOS PARA A MEDIÇÃO DE CAUDAIS	65
4.3.1. A VAU	65
4.3.2. CABO	70
4.3.3. SISTEMA FLUTUANTE (CATAMARAN, TRIMARAN OU BARCO)	72
4.4. MODELOS DE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	76
 5. CAMPANHAS DE MEDIÇÃO	 79
5.1. SUMÁRIO	79
5.2. LOCAIS DE ESTUDO	79
5.3. CONDICIONALISMOS ENCONTRADOS	82
5.4. CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE CAUDAL REALIZADAS	83
5.4.1. DESCRIÇÃO DAS ACTIVIDADES DE CAMPO	84
5.4.2. TRATAMENTO DE DADOS	90
5.4.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS	91
5.4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
 6. CONCLUSÕES	 105

Bibliografia	111
Anexos	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Escala vertical – fotografia tirada no rio Paiva, secção de Castro Daire.....	6
Figura 2.2 - Escala/flutuador (Davis 1074, adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)	7
Figura 2.3 - Limnómetro de fita (Stevens 1978, adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984).....	7
Figura 2.4 - Estação hidrométrica de Ermida, rio Corgo (fotografia no dia 12 de Novembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal).....	8
Figura 2.5 - Limnígrafo de flutuador (adaptado de W. Boiten 2000).....	9
Figura 2.6 - Limnígrafo de pressão (adaptado de W. Boiten 2000).....	9
Figura 2.7 - Limnígrafo ultra-sónico (adaptado de W. Boiten 2000).....	10
Figura 2.8 - Limnigrama da estação hidrométrica de Ponte Remondes, rio Sabor (fotografia tirada no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)	10
Figura 2.9 - Exemplo de Sistema Mecânico Analógico (adaptado de W. Boiten 2000)	11
Figura 2.10 - Exemplo de Sistema Mecânico Digital (adaptado de W. Boiten 2000).....	11
Figura 2.11 - Sistema eléctrico de data logger (adaptado de W. Boiten 2000).....	12
Figura 2.12 - Sistema de telemetria, existente na estação hidrométrica da Fábrica da Matrena, no rio Nabão, (fotografia tirada no dia 17 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal).....	12
Figura 2.13 – Esquema de descarregadores de soleira delgada e espessa respectivamente (adaptado de apontamentos de Hrhi, 2008).....	15
Figura 2.14 - Exemplo da medição da largura de uma secção com recurso a uma fita graduada e da flecha adquirida pela mesma; exemplo de uma vertical a ser sondada com recurso a haste (fotografia tirada durante uma campanha de medições de caudal no dia 4 de Novembro de 2009)	17
Figura 2.15 - Distribuição parabólica da velocidade ao longo de uma vertical (adaptado de W. Boiten 2000)	17
Figura 2.16 - Variação da velocidade com o tempo em regime turbulento (adaptado de W. Boiten 2000)	18
Figura 2.17 - Exemplos da distribuição da velocidade na secção transversal em canal regular (trapezoidal) e irregular (adaptado de W. Boiten 2000).....	18
Figura 2.18 - Método de 1 ponto (adaptado de W. Boiten 2000).....	20
Figura 2.19 - Método de 2 pontos (adaptado de W. Boiten 2000).....	21
Figura 2.20 - Gráfico profundidade/velocidade – Método gráfico (Hayes, 1978 – adaptado de W. Boiten 2000)	22
Figura 2.21 - Método da secção média (Hayes, 1978 – adaptado de W. Boiten 2000).....	23
Figura 2.22 - Método secção do meio (Hayes, 1978 – adaptado de W. Boiten 2000).....	24
Figura 2.23 - Gráfico que relaciona o desvio standard da velocidade média em função do número de pontos medidos numa vertical.....	28
Figura 2.24 - Gráfico que relaciona o desvio standard da velocidade média em função do número de verticais entre duas margens	29
Figura 2.25 – Exemplo de uma medição a vau (fotografia foi tirada no rio Corgo, na estação hidrométrica de Ermida, no dia 12 de Novembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal).....	30
Figura 2.26 - Medição ao longo de um cabo, recorrendo a um barco (adaptado de W. Boiten 2000). 31	
Figura 2.27 - Medição efectuada a partir de uma ponte (fotografia tirada no rio Almonda, na estação de Ponte Nova, no dia 15 de Janeiro de 2010, durante uma campanha de medições de caudal)	31
Figura 2.28 - Medição com recurso a teleférico (adaptado de W. Boiten 2000)	32
Figura 2.29 - Fotografia do aparelho suspenso por cabo a partir de um teleférico, tirada no rio Paiva, na estação de Castro Daire, no dia 16 de Outubro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal (molinete C 31 suspenso por cabo com peso).....	32
Figura 2.30 – Teleférico (fotografia tirada no rio Paiva, na secção de Castro Daire, no dia 16 de Outubro de 2009 durante uma campanha de medições de caudal).....	32
Figura 2.31 - Foto tirada no rio Paiva, na estação de Castro Daire, no dia 3 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal (River Surveyor M9, apoiado num trimaran, suspenso por cabo em teleférico e peso).....	33

Figura 2.32 - Fotografia tirada no rio Sabor, na estação de Ponte Remondes, no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal	33
Figura 2.33 - Fotografia tirada no rio Azibo, a jusante da estação de Azibo, no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal, em parceria com a EDP, INAG e QUALITAS (o aparelho que efectua medições é o Stream Pro).....	34
Figura 2.34 - River Surveyor M9 acoplado a um barco (adaptado de notícias Sontek 2009, Amazónia)	34
Figura 3.1 - Exemplo de molinete de hélice – de eixo horizontal (fotografia tirada ao Molinete C 31, utilizado na campanha de medições de caudal)	36
Figura 3.2 - Exemplo de um molinete de copos – de eixo vertical.....	37
Figura 3.3 - Exemplo de um contador (fotografia tirada no rio Almonda, secção de Ponte Nova, no dia 15 de Janeiro).....	37
Figura 3.4 – Esquema ilustrativo do prato na ponta da haste.....	38
Figura 3.5 – Molinete suspenso: 1º com leme, peso e cauda estabilizadora; 2º com leme, peso, barra estabilizadora e contacto de fundo – conjunto “unstrut” e por último, o 3º suspenso de uma lança com guincho manual	38
Figura 3.6 - Fotografia tirada no rio Sabor, na estação de Ponte Remondes, no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal, em parceria com a EDP, INAG e QUALITAS)	39
Figura 3.7 - Exemplo de um canal com carrinho – A. OTT – KEMPTEN (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984).....	40
Figura 3.8 - Esquema de canal circular – Orlova 1974 (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984).....	41
Figura 3.9 - Esquema do aferidor de circuito fechado G.R. 19 – Orlova 1974 (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984).....	41
Figura 3.10 - Fotografia tirada no rio Corgo, na estação de Ermida, no dia 12 de Novembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal (molinete hidráulico à esquerda e sensor electromagnético à direita)	42
Figura 3.11 - Técnica de leitura do ADCP de banda larga (adaptada de RD Instruments).....	46
Figura 3.12 - Mudança de frequência causada pelo efeito Doppler	46
Figura 3.13 - Geometria dos feixes sonoros	47
Figura 3.14 - Frequências emitidas pelas partículas em suspensão	47
Figura 3.15 - Modulação dos ecos recebidos por várias partículas versus tempo	47
Figura 3.16 - Analogia entre ADCP e cadeia de aparelhos convencionais (molinetes)	48
Figura 3.17 - Alcance do ADCP num perfil vertical de velocidades (adaptado de W. Boiten 2000)	49
Figura 3.18 - Diagrama esquemático das áreas onde a velocidade não é medida, próximo da superfície e leito do rio.....	50
Figura 3.19 - Esquema de todas as áreas susceptíveis de serem medidas e não medidas ao longo de uma secção transversal a partir de medições efectuadas com recurso ao barco em movimento	51
Figura 3.20 - Produto dos vectores durante a travessia	52
Figura 3.21 - Propriedades do produto vectorial velocidade da corrente e velocidade do sistema flutuante	52
Figura 3.22 - Configuração de 4 feixes (Rio Grande ADCP)	53
Figura 3.23 - Configuração de 9 feixes (River Surveyor M9).....	54
Figura 3.24 - Imagens descritas do efeito “piching and rolling”.....	55
Figura 3.25 – Bolha que permite controlar a verticalidade da haste do Flow Tracker ADV (fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal).....	57
Figura 3.26 – Aparelho indicador do Flow Tracker ADV; neste caso indica a área e a largura da secção medida [fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal).....	57
Figura 3.27 – Indicador do Flow Tracker ADV a mostrar velocidades obtidas na medição e o número de verticais medidas (fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009)	58
Figura 3.28 – Aparelho indicador do Flow Tracker ADV a mostrar caudal obtido durante a medição (fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)	58
Figura 3.29 – Indicador do Flow Tracker ADV a mostrar incerteza obtida na medição efectuada (fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)	58

Figura 4.1 - Local recomendado para definir um perfil de medição (adaptado de W. Boiten 2000)	61
Figura 4.2 - Imagem demonstrativa de uma confluência (adaptado de W. Boiten 2000)	61
Figura 4.3 - Exemplo de uma secção de controlo (adaptado de W. Boiten 2000)	61
Figura 4.4 - Fotografia demonstrativa da limpeza efectuada ao leito do rio no perfil de medição, tirada no rio Paiva, 40 metros a montante da estação hidrométrica de Castro Daire, no dia 4 de Novembro de 2009.....	68
Figura 4.5 - Esquema de uma instalação teleférica.....	71
Figura 5.1 - Localização das secções 1 e 2, no rio Paiva (extracto da carta militar nº157, à escala 1:25000)	81
Figura 5.2 - Localização da secção 3 e perfil de medição da estação hidrométrica de Ermida, no rio Corgo (extracto das cartas militares nº114 e nº115, à escala 1:25000).....	81
Figura 5.3 - Localização das secções 4, 5 (rio Sabor) e 6, no rio Azibo (extracto das cartas militares nº114 e nº115, à escala 1:25000)	82
Figura 5.4 - Fotografia demonstrativa do efeito das reentrâncias existentes nas margens, na campanha de medições de caudal (secção 1 em Castro Daire, rio Paiva, no dia 3 de Dezembro de 2009).	87
Figura 5.5 - Teleférico do perfil de medição da Fábrica da Matrena	88
Figura 5.6 - Secção a jusante do perfil de medição da Fábrica da Matrena	88
Figura 5.7 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 4, secção 4).....	95
Figura 5.8 - Desvios relativos na estação hidrométrica de Castro Daire.....	100
Figura 5.9 - Desvios relativos na estação hidrométrica de Ponte Remondes	101
Figura 5.10 - Enquadramento dos valores de caudais obtidos na nuvem de pontos de pontos que deu origem à Curva de vazão da Estação hidrométrica de Castro Daire, no rio Paiva (escala definida para visualização dos caudais de reduzida ordem de grandeza)	102
Figura 5.11 - Enquadramento dos valores de caudais obtidos na nuvem de pontos de pontos que deu origem à curva de vazão da estação hidrométrica de Castro Daire, no rio Paiva (escala definida para visualização dos caudais de elevada ordem de grandeza)	103
Figura 5.12 - Enquadramento dos valores de caudais obtidos na nuvem de pontos de pontos que deu origem à curva de vazão da estação hidrométrica de Ermida, no rio Corgo.....	104
Figura 5.13 - Enquadramento dos valores de caudais obtidos na nuvem de pontos de pontos que deu origem à curva de vazão da estação hidrométrica de Ponte Remondes, no rio Sabor.....	104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Profundidade y_v em função de n	19
Tabela 2.2 - Velocidade média na vertical, relacionada com V_y , y e n	19
Tabela 2.3 - Erros $of+s$ (combinação dos Erros Tipo I e II) como função do número de pontos n numa vertical	26
Tabela 2.4 - Erros $of+s$ (combinação dos Erros Tipo I e II) como função do número de pontos n numa vertical	27
Tabela 4.1 - Número de verticais em função da largura da secção a ser medida	63
Tabela 4.2 - Número de pontos a medir em função da profundidade	64
Tabela 4.3 - Descrição dos diversos equipamentos acústicos utilizados no decorrer deste trabalho .	77
Tabela 5.1 – Caracterização das estações hidrométricas para o estudo [23].....	80
Tabela 5.2 - Localização dos rios estudados.....	80
Tabela 5.3 – Calendário, secções de medição e entidades intervenientes nas campanhas realizadas	83
Tabela 5.4 - Parâmetros comparativos adoptados na primeira campanha	84
Tabela 5.5 - Parâmetros definidos para a segunda campanha (medições a vau)	84
Tabela 5.6 - Programa de medições da terceira campanha.....	85
Tabela 5.7 - Parâmetros definidos para terceira campanha (medições a vau)	85
Tabela 5.8 - Programa de medições da quarta campanha.....	86
Tabela 5.9 – Parâmetros definidos para a quarta campanha (medições a vau)	86
Tabela 5.10 - Programa de medições para a quinta campanha.....	87
Tabela 5.11 - Programa de medições para a sexta campanha	89
Tabela 5.12 - Programa de medições para a sétima campanha	89
Tabela 5.13 - Caudais, áreas e velocidades médias (primeira campanha).....	92
Tabela 5.14 - Caudais, áreas e velocidades médias (segunda campanha).....	92
Tabela 5.15 - Caudais, áreas, velocidades médias e tempos de medição (terceira campanha, secção 2)	93
Tabela 5.16 - Caudais, áreas, velocidades médias e tempos de medição (quarta campanha, secção 6)	96
Tabela 5.17 - Caudais, áreas, larguras efectivas e velocidades médias (quarta campanha, secção 6)	96
Tabela 5.18 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (sétima campanha) ...	98
Tabela 5.19 - Caudais parciais obtidos pelos equipamentos acústicos (sétima campanha)	98
Tabela 5.20 - Caudais, áreas, profundidades e velocidades médias (sétima campanha)	99
Tabela 5.21 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (sétima campanha) ...	99
Tabela 5.22 – Tempos de medição para cada equipamento e campanha de medições de caudal	99

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

- 2.1 – Conceito básico para cálculo do caudal (método Secção Velocidade)
- 2.2 – Equação para regime turbulento da distribuição de velocidades parabólica
- 2.3 – Power Coefficient (n)
- 2.4 – Profundidade em função de n
- 2.5 a) e b) – Cálculo da velocidade média para o método de 1 ponto
- 2.6 – Cálculo da velocidade média para o método dos 2 pontos
- 2.7 – Cálculo da velocidade média para o método dos 3 pontos
- 2.8 – Cálculo da velocidade média para o método dos 4 pontos
- 2.9 – Cálculo da velocidade média para o método dos 5 pontos
- 2.10 – Cálculo da velocidade média para o método dos 6 pontos
- 2.11 – Cálculo genérico do caudal parcial para o método da secção média
- 2.12 – Cálculo do caudal total para o método da secção média
- 2.13 – Cálculo do caudal parcial junto às margens para o método da secção média
- 2.14 – Cálculo genérico do caudal parcial para o método da secção do meio
- 2.15 – Erro total estocástico
- 2.16 – Erro total (estocástico mais sistemático)
- 3.1 – Relação entre a velocidade e revoluções numa hélice de um molinete
- 3.2 – Equação de Faraday
- 3.3 – Equação do doppler shift
- 3.4 – Velocidade média para margens não medíveis triangulares
- 3.5 – Velocidade média para margens não medíveis com grande elevação
- 3.6 – Caudal das margens não medíveis
- 3.7 – Caudal da secção (medível e não medível)
- 3.8 – Equação geral para cálculo do caudal de um rio
- 3.9 – Equação geral para cálculo do caudal de um rio que relaciona os vectores velocidade do sistema flutuante e corrente
- 3.10 – Conversão do produto vectorial em coordenadas polares
- 3.11 – Produto vectorial do vector velocidade da corrente e o vector velocidade do sistema flutuante
- 3.12 – Equação geral para cálculo do caudal de um rio pelo ADCP
- 4.1 – Velocidade horizontal num ponto, em correntes oblíquas
- 5.1 – Desvio entre os valores de caudais obtidos entre dois equipamentos

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Q - Caudal (m^3/s)

V - Velocidade média da secção (m/s)

A - Área da secção molhada (m^2)

S - Inclinação da superfície da água

H - Nível de água (m)

h_w - Altura hidrométrica observada

h_0 - Altura que corresponde a um caudal nulo ($Q = 0$)

a, b, c, d - Parâmetros da estação (equação 2.3)

y e a - Distâncias arbitradas a partir do fundo

V_y e V_a - Velocidades nos pontos y e a

n - Power coefficient

f - Factor de conversão [$f = 0,098 (\text{m}^{-0,5} \cdot \text{s})$]

C - Coeficiente de rugosidade de Chezy ($\text{m}^{0,5} \cdot \text{s}^{-1}$)

V_s - Velocidade à superfície

V_f - Velocidade de fundo

$V_i^{\text{média}}$ - Velocidade média na vertical i

d_i - Profundidade da respectiva vertical i

b - Largura entre as verticais i e i + 1 (m)

Q_p - Caudal parcial (m^3/s)

b_2 - Distância horizontal entre a vertical I e II

b_3 - Distância horizontal entre a vertical II e III

σ_1 - Desvio relativo standard total estocástico instrumental e erro de amostragem;

σ_{d+h} - Desvio relativo standard devido a erros de amostragem aleatórios do perfil de profundidades e perfil de velocidades (Erro Tipo III), como uma função do número m de verticais;

m - Número de verticais;

σ_{f+s} - Desvio relativo standard devido a erros aleatórios (Erros Tipo I e II) como função do número de pontos n na vertical;

σ_v - Desvio relativo standard devido a erros instrumentais aleatórios na determinação de velocidade;

σ_d - Desvio standard relativo devido a erros instrumentais na determinação de profundidades;

σ_B - Desvio standard relativo devido a erros instrumentais na determinação da largura.

σ_{sto} - Erro estocástico

σ_{sys} - Erro sistemático

- v - Velocidade do fluido num determinado ponto (m/s)
- n - Número de revoluções da hélice (s^{-1})
- k - Pitch hidráulico da hélice (m), determinado por testes em laboratórios
- Δ - Característico de medidor (m/s), determinado por testes em laboratório
- E - Voltagem medida
- B - Potência do fluxo magnético
- b - Comprimento do condutor (distância entre os dois eléctrodos), na equação 3.2
- F_d - Frequência do Doppler Shift (Khz)
- F_s - Frequência do som que regressa (Khz)
- v - Velocidade relativa entre a o som que provém da fonte e o som que provém do receptor (m/s), na equação 3.3
- c - Velocidade do som (m/s) na equação 3.3
- V_e - Velocidade média da secção onde a área é estimada
- C - Coeficiente (0,707 ou 0,910) dependente da forma do canal
- V_m - Velocidade média do primeiro ou último ensemble
- L - Distância da margem ao primeiro ou último ensemble medido pelo ADCP (medido manualmente pelo operador)
- d_m - Profundidade do primeiro ou último ensemble medido pelo ADCP
- Q_t - Caudal total do rio (m^3/s)
- Q_m - Caudal calculado a partir de quantidades directamente medidas pelo ADCP (m^3/s)
- Q_{em} - Caudal estimado pelos algoritmos de processamento de dados do ADCP quando parte dos dados medidos directamente está em falta (m^3/s)
- Q_{et} - Caudal estimado na área não medível, junto à superfície (m^3/s)
- Q_{eb} - Caudal estimado na área não medível, junto ao leito do canal (m^3/s)
- Q_{el} - Caudal estimado na área não medível, adjacente à margem esquerda (m^3/s)
- Q_{er} - Caudal estimado na área não medível, adjacente à margem direita (m^3/s)
- $\bar{V}_f$ - Vector velocidade média da água (m/s)
- $\bar{n}$ - Vector unidade normal à área ds num ponto genérico
- ds - Diferencial da área (m), em canais abertos
- T - Tempo total de travessia da secção (s)
- d - Profundidade total (m)
- $\bar{V}_b$ - Vector da velocidade média do sistema flutuante (m/s)
- $\bar{K}$ - Vector unitário na direcção vertical (positivo no sentido ascendente)
- dz - Profundidade diferencial (m)

dt - Tempo diferencial (s)

a_1 - Componente do vector velocidade média da água (m/s)

a_2 - Componente avanço/recuo ("fore/aft") do vector velocidade média da água (m/s)

b_1 - Componente do vector velocidade média do sistema flutuante (m/s)

b_2 - Componente avanço/recuo ("fore/aft") do vector velocidade média do sistema flutuante (m/s)

f - Produto vectorial do vector velocidade da corrente e o vector velocidade do sistema flutuante

N_s - Número de subsecções medidas

i - Indicador da subsecção (equação 3.12)

d - Profundidade da subsecção (m), na equação 3.12

f_z - Valor do produto vectorial à profundidade z

dz - Profundidade integrada da subsecção i (m)

t_i - Tempo decorrido entre os finais das subsecções i e $i - 1$ (s)

θ - Ângulo medido entre a direcção da corrente e a perpendicular à secção transversal

V_{medido} - Velocidade obtida pelo aparelho da medição

$V_{corrigida}$ - Velocidade horizontal num ponto em correntes oblíquas, usada para cálculo do caudal

Q_{e1} - Valor de caudal obtido pelo equipamento 1

Q_{e2} - Valor de caudal obtido pelo equipamento 2

1

INTRODUÇÃO

1.1. ASPECTOS GERAIS

Os recursos hídricos existentes em Portugal são genericamente e nomeadamente na zona norte, considerados relativamente abundantes, existindo um considerável potencial hídrico distribuído em grandes bacias hidrográficas, formadas principalmente por pequenos e médios cursos de água. O cumprimento da legislação actual exige mecanismos fiáveis e flexíveis para a monitorização prolongada e constante de caudais em rios, o que exige o controlo, não só da qualidade, mas também da quantidade de recursos hídricos. A quantificação e gestão destes recursos são, portanto, uma necessidade.

A optimização dos sistemas de aproveitamento do escoamento superficial depende de planeamento, estudos e, principalmente, do conhecimento das reais características dos regimes fluviais das bacias. Para tal, revela-se essencial a realização de campanhas de medição de caudal em diversas secções de diferentes cursos de água. O conhecimento do caudal e da sua evolução ao longo do tempo, permite definir uma curva de vazão, a partir da qual é possível quantificar o escoamento e estimar o caudal real de um rio através do conhecimento dos níveis de água presentes. É, por isso, necessária a instalação de estruturas fixas (descarregadores de medida) em pontos estratégicos dos rios e/ou a utilização de equipamentos móveis (medição pontual ou contínua) que permitam medir os volumes de água escoados em determinados locais, de modo a ser possível controlar e monitorizar os caudais ao longo do traçado dos rios.

Os registos de caudais são informações essenciais (dados de base), nomeadamente para estudos e projectos que permitem assegurar a gestão das necessidades de consumo de volumes de água em áreas urbanas e rurais, o tratamento de águas residuais, a produção de energia eléctrica, a prevenção de certos acontecimentos (como por exemplo inundações), minimizando potenciais danos humanos e financeiros. Assim sendo, as medições de caudal revelam-se uma ferramenta indispensável na resolução de problemas da sociedade actual, sendo a base de estudo da hidráulica fluvial. Perante tal necessidade, há décadas que as tecnologias de medição de velocidade da água e medição de caudais têm vindo a sofrer alterações profundas no modo de funcionamento.

Actualmente, existe à disposição das empresas uma grande variedade de equipamentos, que possuem as mais diversas especificações e características, diferentes metodologias de cálculo e procedimentos de campo.

Os aparelhos convencionais, como por exemplo os molinetes hidráulicos, possuem uma credibilidade suportada por um longo e fiável histórico em medições hidráulicas. As medições e procedimentos operacionais para a sua aplicabilidade estão bastante desenvolvidos e universalmente ao alcance de

todos, e como tal, são muito aplicados devido aos óptimos resultados que deles advêm. Contudo, a sua aplicabilidade contém limitações e a sua execução exige tempo, experiência e habilidades técnicas.

Neste trabalho, foram utilizadas algumas das novas tecnologias e os seus resultados comparados com os métodos convencionais, para avaliar o desempenho e a performance de cada um. Para a comparação de vários métodos de medição de caudal, utilizou-se 1 molinete hidráulico da empresa EDP, 2 perfiladores acústicos de efeito doppler, com características específicas para reduzidas e elevadas profundidades e 1 sensor electromagnético, disponibilizados pelo INAG. Foi estabelecido ainda o contacto com uma empresa de fornecimento de equipamentos para a medição de caudais, de nome QUALITAS, a qual cedeu 1 velocímetro acústico para medições a vau e 1 perfilador acústico para situações de escoamento com elevadas profundidades.

Este estudo foi desenvolvido como ponto de partida e até incentivo à realização de outros estudos que o possam completar e melhorar, com o objectivo de se poder assistir à implementação de uma estratégia eficaz na quantificação e controlo dos recursos hídricos fluviais nacionais, que se considera serem uma mais-valia para a gestão económica do País.

1.2. OBJECTIVOS

Este trabalho pretendeu rever, ou actualizar procedimentos operacionais, processos de medição e eventualmente desenvolver novas metodologias, para a monitorização de caudais em rios, nomeadamente, e tendo especialmente em atenção, os utilizados pela empresa EDP.

Para tal, foi perspectivada a realização de campanhas de medição de caudal utilizando diferentes equipamentos de medição. Nessas campanhas, perspectivou-se utilizar, para além de equipamentos tradicionais, equipamentos de tecnologia recente, nomeadamente os baseados em efeito doppler (ACDP), comparando os resultados obtidos (no mínimo em três locais por rio, em dois rios de diferentes características, de acordo com o plano previsto) por estes equipamentos e os de utilização convencional (molinetes hidráulicos). O método aplicado para a avaliação dos caudais escoados foi o designado método de secção – velocidade.

Através da comparação dos resultados obtidos perspectivou-se a possibilidade de identificar as vantagens e desvantagens operacionais de cada aparelho e tirar conclusões relativamente à precisão, aplicabilidade e limitações de cada um. Tal deveria permitir escolher o(s) tipo(s) de equipamento(s) mais adequado(s) para medir os caudais escoados em rios, de acordo com as características físicas do local.

Para a concretização dos objectivos propostos foram realizadas campanhas de medição de caudais, em circunstâncias diferentes do que foi previsto inicialmente (acima referidas). Assim, para a obtenção de resultados mais consistentes, segundo se espera, foram medidos caudais em nove secções, em seis diferentes rios e num canal artificial.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente tese encontra-se dividida em seis capítulos, sendo o primeiro referente a esta introdução.

No capítulo 2 (Medição de caudais em canais naturais) são abordados os aspectos teóricos relacionados com as diferentes metodologias para cálculo de velocidades médias, cálculo de caudais e as diferentes estruturas que suportam o controlo dos níveis de água. O capítulo descreve ainda o método secção – velocidade e as utilizações práticas da sua aplicação.

O capítulo 3 (Equipamentos) distingue os diferentes equipamentos utilizados no trabalho de campo, realizado no âmbito desta Tese de Mestrado, em termos de características e modos operacionais.

O capítulo 4 (Metodologias e procedimentos de campo) expõe, para além das metodologias e procedimentos operacionais necessários à medição de caudais em rios através da utilização de diferentes equipamentos, as suas diferentes características.

O capítulo 5 (Campanhas de medição de caudal) descreve as campanhas de medições de caudal efectuadas, identificando os locais de estudo. Por último, realiza-se a análise dos resultados obtidos com o trabalho de campo realizado.

No capítulo 6 (Conclusões), são apresentadas as conclusões finais deste trabalho.

2

MEDIÇÃO DE CAUDAIS EM CANAIS NATURAIS

2.1. SUMÁRIO

No presente capítulo, pretende abordar-se, para além dos diferentes métodos existentes para o cálculo de caudais, sendo o método secção – velocidade explicado pormenorizadamente, os dados hidrológicos que é possível recolher em determinadas secções de rios e respectivas estruturas que os suportam.

A cada nível de água numa dada secção de um curso de água, expresso em metros (m), corresponde um volume de água, que se escoia por unidade de tempo e que se exprime em metros cúbicos/litros por segundo (m^3/s), consoante a grandeza do caudal medido. De forma a quantificar o caudal que circula num rio e a consequente caracterização do seu regime hidrológico, é necessário medir um grande e diversificado número de caudais, aplicando métodos de medição de caudais, aos quais correspondem diferentes níveis de água.

Geralmente realizam-se medições de caudal nas secções das estações hidrométricas. O conjunto de estações hidrométricas de uma região, ou de um país, constitui a respectiva rede hidrométrica. As finalidades fundamentais dos dados obtidos por intermédio de uma rede hidrométrica são:

- Planeamento e projecto de obras hidráulicas (torna-se necessária a existência de séries o mais extensas possíveis de 20, 25, 30 anos, etc.);
- Modelação de uma bacia hidrográfica (obtenção de dados para a gestão de recursos hídricos e quando é necessário tomar decisões em períodos curtos, aumenta a importância da qualidade das medições e da rápida transmissão e disponibilidade de dados). [1]

2.2. NÍVEIS DE ÁGUA

Os níveis de água são considerados como a base de qualquer estudo de um rio. Actualmente, a determinação dos níveis de água é obtida a partir de estações hidrométricas, tanto por observação directa de dispositivos graduados (limnímetros), como indirecta, com recurso a gravações (limnógrafos).

Através da observação da lâmina de água numa escala ou régua graduada colocada no leito do rio obtém-se directamente o nível de água (o nilómetro foi o precursor). Os primeiros dados hidrométricos recolhidos com periodicidade regular consistiam em leituras diárias das escalas hidrométricas, efectuadas normalmente à mesma hora.

Empregando dispositivos especiais para indicar o nível da água, colocados fora do leito do rio, obtém-se indirectamente o nível de água. Este dispositivo é normalmente um registador (limnógrafo).

Para a obtenção de informações sobre a evolução histórica da medição dos níveis de água, deve ser consultada a nota histórica, referente à medição de níveis de água, no Anexo 1.

2.2.1. LEITURA DIRECTA

Os instrumentos de leitura directa são designados de limnómetros e consistem geralmente em réguas graduadas, com um comprimento suficiente para registar todas as flutuações de nível que podem ocorrer no curso de água, desde o caudal nulo até aos níveis máximos de cheia. Podem ser constituídos por um ou vários troços e podem construir-se em diversos materiais, como madeira, ferro, betão, fibra de vidro, etc.

Em seguida, são referenciados os limnímetros mais utilizados nas observações dos níveis de água:

1. Escalas

As escalas são o tipo de limnómetro mais utilizado, sendo normalmente constituídos por uma régua graduada em centímetros. Existem dois tipos, podendo ser classificadas quanto à sua posição, sendo estes, vertical (figura 2.1) ou inclinada (ver escala da figura 2.7).



Figura 2.1 Escala vertical – fotografia tirada no rio Paiva, secção de Castro Daire

A instalação das escalas deve obedecer às seguintes condições:

- Acesso fácil e boa visibilidade;
- Permitir a flutuação dos níveis de água da corrente;
- O zero da escala deve localizar-se a um nível tal que não se verifiquem leituras negativas e sempre que possível o zero deverá estar referenciado ao nivelamento geral do país

2. Limnómetro de flutuador

Se a escala graduada estiver posicionada sobre um flutuador (como mostra a figura 2.2) tem o nome de limnómetro de flutuador. A escala é colocada dentro de um depósito, onde as variações dos níveis actuam sobre a régua através do flutuador. Estes limnómetros são normalmente utilizados em instalações portuárias e de abastecimento de água.

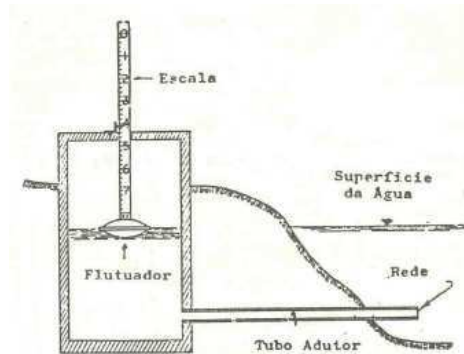


Figura 2.2 - Escala/flutuador (Davis 1074, adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

3. Limnómetro de fita

A partir de um ponto referenciado na superfície do terreno, as medições fazem-se com recurso a uma roldana, contrapeso e fita graduada, que sobe ou desce consoante o nível de água, como demonstra a figura 2.3. São geralmente utilizados nas observações em poços.

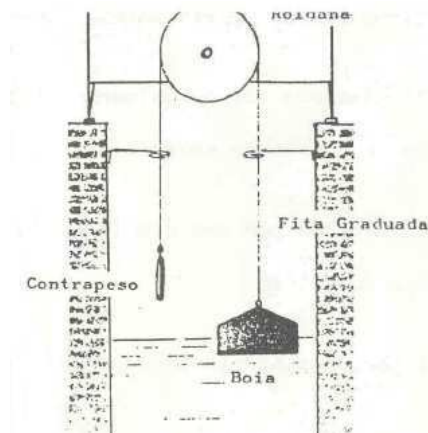


Figura 2.3 - Limnómetro de fita (Stevens 1978, adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

Existem ainda outros tipos de limnómetros, aos quais já não se recorre frequentemente à sua utilização. Estes são:

4. Limnómetro de gancho;
5. Tele-limnómetro;
6. Limnómetro para medição de níveis máximos, constituído por três tipos distintos:
 - Escala com pintura dissolvente;
 - Flutuador de fita unidireccional;
 - Escala de depósito.

As ilustrações destes instrumentos podem ser vistas no Anexo 1, em instrumentos para a medição dos níveis de água (complementos).

2.2.2. LEITURA INDIRECTA

Recentemente, procura-se que todas as estações hidrométricas sejam equipadas com aparelhos de registo contínuo de medição de níveis de água (ver exemplo de estação hidrométrica na figura 2.4), designados por limnígrafos. [3]



Figura 2.4 - Estação hidrométrica de Ermida, rio Corgo (fotografia no dia 12 de Novembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)

Os limnígrafos são constituídos, essencialmente, por dois elementos principais: um mecanismo de medição do nível de água na secção e um mecanismo de registo contínuo dos mesmos níveis. Os referidos mecanismos estão interligados, de modo que o segundo mecanismo regista os valores medidos pelo primeiro.

Quanto ao mecanismo de medição dos níveis, os limnígrafos podem ser classificados de acordo com os seguintes tipos:

1. Limnígrafo de Flutuador

Neste tipo de limnígrafo, as variações de nível hidrométrico são detectadas através da deslocação de um flutuador ou bóia que permanece à superfície de água, dentro da estrutura da Estação hidrométrica, como demonstra a figura 2.5.

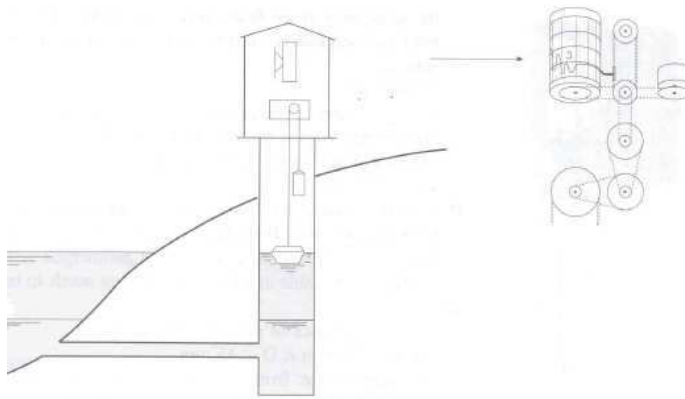


Figura 2.5 - Limnígrafo de flutuador (adaptado de W. Boiten 2000)

2. Limnígrafo pneumático ou de pressão

Neste tipo de limnígrafo, as variações de nível hidrométrico são detectadas através das variações de pressão, no interior de um cilindro de ar comprimido, regulado por um manómetro de mercúrio. Possui um regulador do número de bolhas e um tubo de plástico, que termina no fundo da secção, com um orifício de reduzido diâmetro. A pressão que a água exerce no orifício dificulta a saída das bolhas de ar, aumentando a pressão do ar pelo tubo até ao cilindro, que por sua vez, comunica ao aparelho registador. O esquema de operação pode ser observado na figura que se segue. [3]

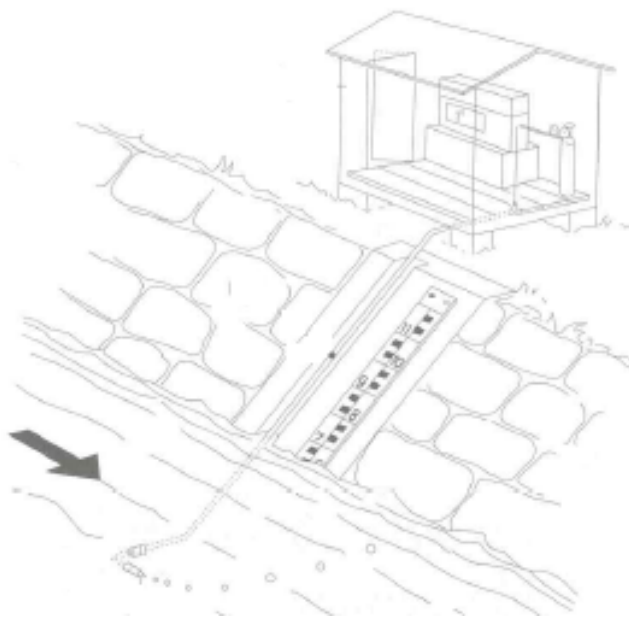


Figura 2.6 - Limnígrafo de pressão (adaptado de W. Boiten 2000)

3. Limnígrafo ultra-sónico

Este limnígrafo emite impulsos ultra sónicos a uma dada frequência através de um transdutor montado com a face paralela à superfície da água, como se pode ver pela figura 2.7. O som é reflectido pela superfície da água e recebido pelo sensor. O tempo entre o som transmitido e recebido é medido electronicamente e aparece como um sinal “output” proporcional ao nível hidrométrico presente. A

precisão deste aparelho é muito sensível às condições de escoamento e, ao contrário dos referidos anteriormente, não possui nenhum componente que entre em contacto com a água.



Figura 2.7 - Limnígrafo ultra-sónico (adaptado de W. Boiten 2000)

Quanto ao mecanismo de registo contínuo dos níveis de água, os limnígrafos podem ser classificados em dois tipos:

- Mecânicos

O limnígrafo mecânico regista as variações do nível de água, em função do tempo, sobre uma folha de papel através de uma linha contínua. O limnigrama é o gráfico representativo das flutuações dos níveis de água num período de tempo determinado. Representa os valores em coordenadas cartesianas, sendo o tempo, em horas, representado no eixo das ordenadas e as alturas hidrométricas, em metros, no eixo das abcissas (exemplo de um limnigrama na figura 2.8). A análise e a leitura dos limnigramas são de grande importância para o cálculo de caudais de um curso de água, pois através da curva de vazão da secção, fornecem uma primeira estimativa dos caudais médios diários.



Figura 2.8 - Limnigrama da estação hidrométrica de Ponte Remondes, rio Sabor (fotografia tirada no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)

Os limnógrafos mecânicos podem ser:

1. Analógicos, os quais registam informação contínua, em tempo real, com recurso a um papel e caneta. Através de ajustes, permitem registar a temperatura da água ou chuvas no mesmo gráfico. Possuem a desvantagem de ser necessário digitalizar os registos para os dados poderem ser inseridos no computador (figura 2.9);
2. Digitais, através dos quais a informação vem codificada (como se pode ver pela figura 2.10) e é obtida em períodos pré-seleccionados. Este mecanismo é prático e opera sob variadas condições de temperatura e humidade. Permite, através de aparelhos de tradução electrónica, passar os registos obtidos para o computador.

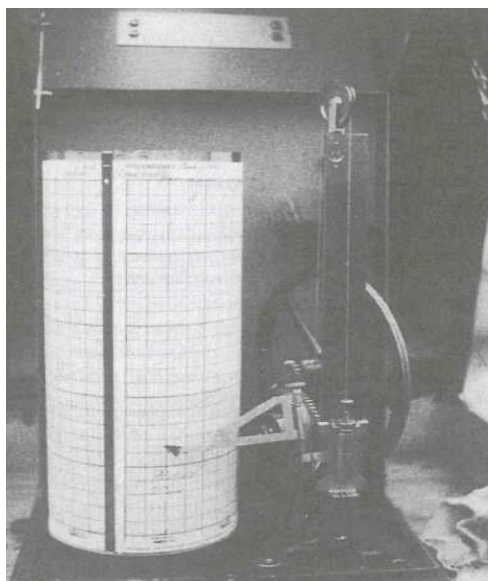


Figura 2.9 - Exemplo de Sistema Mecânico Analógico (adaptado de W. Boiten 2000)

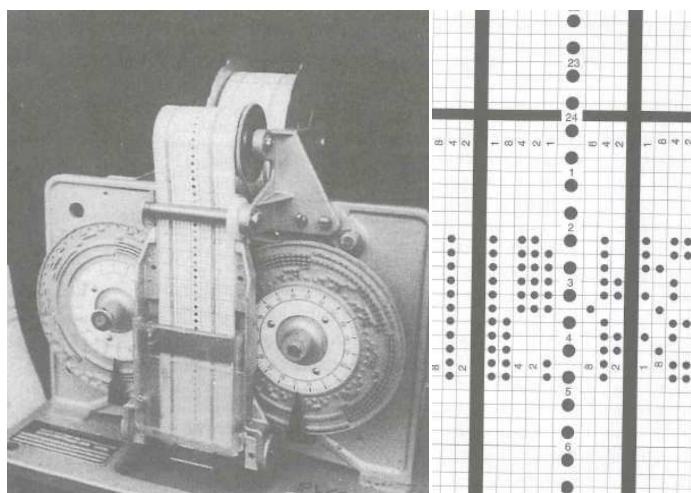


Figura 2.10 - Exemplo de Sistema Mecânico Digital (adaptado de W. Boiten 2000)

▪ Electrónicos

Nos últimos anos, estes mecanismos têm vindo a substituir os mecânicos devido às inúmeras potencialidades que possuem. O “data logger” é um cartão de memória que possui baterias de baixo consumo, permitindo montar este aparelho em locais remotos, e é reutilizável, possuindo uma capacidade de armazenamento que varia dos 10.000 às 50.000 leituras (dependendo da capacidade do

modelo). Associado a mecanismos de medição de níveis de água, revela-se um equipamento fundamental na monitorização constante de níveis, a partir das Estações hidrométricas. Na figura 2.11, é possível ver um sistema de data logger.

Quando o data logger possui uma ligação à linha telefónica, rádio ou satélite tem o nome de sistema de telemetria (figura 2.12). Este sistema permite saber o nível de água do rio no momento, bem como o nível registado num espaço de tempo, e também se a tendência é para subir ou descer. As flutuações de níveis são recebidas e processadas ininterruptamente para um computador central em intervalos regulares ou em tempo real.

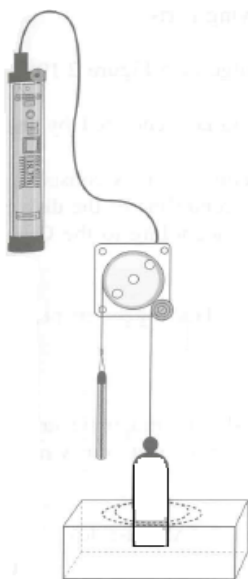


Figura 2.11 - Sistema eléctrico de data logger (adaptado de W. Boiten 2000)



Figura 2.12 - Sistema de telemetria, existente na estação hidrométrica da Fábrica da Matrena, no rio Nabão, (fotografia tirada no dia 17 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)

- Electromecânicos

Estes dispositivos não são muito utilizados. Para a obtenção de mais informações deve consultada a respectiva bibliografia.

Os mecanismos electrónicos de registo contínuo de níveis possuem custos iniciais mais elevados e são mais difíceis de instalar, quando comparados com os mecânicos. Contudo, revelam-se, para além de extremamente práticos e fiáveis, económicos a longo prazo, evitando deslocações periódicas aos respectivos locais de instalação por parte dos operadores, a não ser para proceder à sua manutenção e reparação, se necessário.

2.3. MEDIÇÃO DE CAUDAIS

Actualmente, as medições de caudais possuem inúmeras finalidades, algumas das quais são descritas de seguida:

- Obter curvas de vazão, combinando os valores hidrométricos medidos na estação hidrométrica com os valores do caudal;
- Obter hidrogramas relativos a estação hidrométricas. A partir deles, é possível determinar a probabilidade de ocorrência de cheias;
- Informação necessária à realização de obras hidráulicas e concretização de acordos bilaterais em relação a rios que atravessam fronteiras;
- Gestão de água;
- Informação para a definição de usos para a água, como navegação, gestão de água e tratamento de águas residuais;
- Estatísticas fiáveis que assentam numa monitorização prolongada;
- Etc.

Para a obtenção de informações sobre a evolução histórica da medição de caudais, deve ser consultada a nota histórica, referente à medição de caudais, no Anexo 1.

2.3.1. MÉTODOS PARA MEDIÇÃO DE CAUDAIS

Segundo W. Boiten (2000), dentro do conjunto de métodos disponíveis para a medição de caudais, podem distinguir-se dois conjuntos, os que resultam de medições isoladas e os que resultam de medições contínuas. São identificados, de seguida, todos os métodos, mas somente os métodos com mediana/elevada relevância para o presente trabalho é que são descritos.

i. Medições isoladas:

- Método Secção – Velocidade

Neste método, a área da secção transversal é determinada a partir de sondagens de profundidades e larguras, sendo as velocidades medidas com recurso a molinetes, sensores electromagnéticos, ADCP's (a informação referente ao modo de funcionamento dos referidos aparelhos de medição está presente no capítulo 3), entre outros. A velocidade média é deduzida a partir de velocidades medidas em pontos distribuídos sistematicamente ao longo da secção transversal. O caudal é então definido por:

$$Q = V \times A \quad (2.1)$$

As medições devem ser realizadas sob regimes permanentes. Este requisito pode restringir a aplicação do método secção – velocidade convencional.

Este método é descrito mais pormenorizadamente no subcapítulo 2.4.

- Método da Área Inclinação
- Método da Diluição

ii. Medições contínuas:

- Método da Curva de Vazão

A partir da realização de medições isoladas é possível relacionar os caudais com os níveis de água medidos momentaneamente numa dada secção, estabelecendo-se relações H/Q , que possibilitam a quantificação do escoamento para diferentes níveis de água – curva de vazão (exemplo de curva de vazão e os pontos H/Q que lhe dá origem na figura 5.11, no capítulo 5). Com esta finalidade, é necessário realizar séries extensas de medições de caudais para diferentes alturas hidrométricas de modo a definir convenientemente a curva de vazão. Expressa-se em m^3/s ou l/s , o volume escoado por unidade de tempo.

A disponibilidade de curvas de vazão permite obter dados sobre caudais, a partir da medição de alturas de água no curso de água, nas designadas estações hidrométricas.

O facto de a maioria dos cursos de água naturais estar constantemente em evolução, sofrendo processos naturais de erosão ou sedimentação, torna essencial a actualização constante das curvas de vazão, através da efectivação periódica de novas medições de alturas e caudais simultaneamente.

- Método Estrutural

Este método recorre a estruturas fixas (descarregadores, canais, e por vezes comportas) ou móveis (descarregadores portáteis do tipo Parshall) para a medição de caudais fluviais. As referidas estruturas são mais frequentes nos troços superiores e médios dos cursos de água do que nos inferiores, devido aos maiores volumes de água existentes a jusante. Nos troços superiores existem, todavia, problemas com o caudal sólido arrastado.

A utilização de estruturas para medição de caudais baseia-se no princípio de poder ser determinada, tanto teórica como experimentalmente, uma relação entre o caudal e o nível de água a montante da estrutura, ou entre o caudal e os níveis simultaneamente a montante e a jusante.

Das estruturas hidráulicas já referidas para medição de caudais, os descarregadores são as mais utilizadas (ver figura 2.13). Consistem em estruturas destinadas a serem galgadas pelas águas, sendo o caudal que passa no descarregador obtido por uma expressão que o relaciona com a carga, $Q = f(h)$ e depende directamente da geometria do descarregador. [1]

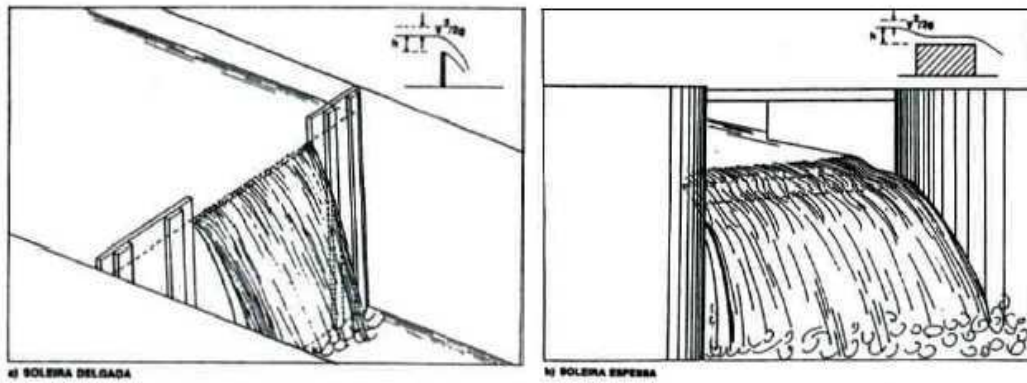


Figura 2.13 – Esquema de descarregadores de soleira delgada e espessa respectivamente (adaptado de apontamentos de Hrhi, 2008)

Para além dos métodos de medição de caudais já referidos (medições contínuas), podem ainda indicar-se os seguintes:

- Método Electromagnético
- Método da Inclinação Caudal
- Método Acústico
- Estações de Bombagem

No caso de ser pretendida alguma informação sobre os métodos identificados não descritos, deve ser consultado o Anexo 1, referente aos métodos de medição de caudais, ou então a correspondente bibliografia, no caso de ser pretendida informação ainda mais pormenorizada.

2.3.2. FACTORES QUE AFECTAM A SELECÇÃO DOS MÉTODOS

Todos os métodos apresentados possuem aplicações específicas. Quando se pretende seleccionar um deles, devem ser equacionadas previamente algumas questões, nomeadamente:

- Pretende-se uma medição contínua ou isolada?
- Condições hidráulicas (estabilidade do canal, tipo de regime, teor de sedimentos, etc.)?
- Qual a precisão requerida?
- Existem operadores disponíveis com experiência?
- Existem estruturas hidráulicas ou estações de bombagem?
- Quais os custos de instalação e operação?
- Quais os equipamentos disponíveis?
- Qual a largura e profundidade do rio?
- Qual a gama de velocidades da água a medir?
- O local a medir é acessível?

Quando se julga a aplicabilidade dos instrumentos, devem ainda ser considerados certos aspectos:

- Disponibilidade de fornecimento de energia para a operação dos instrumentos necessários à medição;
- Disponibilidade de peças de reposição;

- A possibilidade de ser necessário efectuar pequenas reparações e a presença de uma loja ou vendedor para reparações mais complexas;
- A necessidade de calibração e o método de calibração a utilizar;
- As dimensões e o peso do instrumento levando em consideração o transporte e o uso de barcos, guinchos, etc. [1]

2.4. MÉTODO SECÇÃO – VELOCIDADE

O princípio do método secção – velocidade e o cálculo do caudal assentam na expressão 2.1.

A secção transversal deve ser seleccionada, de tal forma que a direcção principal da corrente seja perpendicular à secção, o quanto possível. A área da secção transversal é calculada a partir da largura da secção e profundidade da água num variado número de verticais. [1]

A medição da largura total de um canal e dos segmentos a serem medidos pode ser obtida medindo a distância horizontal de um ponto de referência a um segundo, de uma margem a outra, precisando de estar situadas no mesmo plano que a secção a ser medida. As distâncias horizontais, quando o canal o permite, devem ser obtidas com recurso a uma fita graduada (figura 2.14). Quando o canal é muito largo e não é possível medir manualmente, devem ser utilizados instrumentos para medição de distâncias (instrumentos ópticos ou electrónicos), ou o sistema de posicionamento global diferencial (DGPS).

As medições de largura realizadas com recurso a fita estão sujeitas a erros, devido à flecha que a fita pode fazer quando for posicionada no local (figura 2.14). Quanto mais larga for a secção, maior será o erro, mas os valores podem ser corrigidos e o erro minimizado. Se as medições forem realizadas com recurso a aparelhos também existe o erro inerente à utilização do próprio aparelho. [15]

As profundidades devem ser medidas em intervalos suficientemente próximos para definir com exactidão o perfil da secção transversal. As profundidades podem ser medidas com recurso a hastes, quando a profundidade do rio e a velocidade da corrente não é muito elevada (figura 2.14), permitindo que o operador entre na água. No caso de o ser e o operador não possa entrar na água, é preferível usar um cabo graduado com um peso na ponta que permita assentar no fundo do leito, um eco sonda ou outro equipamento de sondagem de profundidades.

O número de verticais a escolher para medição das profundidades deve seguir o procedimento de medição exposto no subcapítulo 4.2.2.

As incertezas nas sondagens são devidas a:

- Impossibilidade de manter a haste na vertical, principalmente em águas profundas e quando a velocidade é elevada;
- Penetração da ponta da haste no leito;
- Natureza do leito (quando um eco sonda é utilizado). [15]



Figura 2.14 - Exemplo da medição da largura de uma secção com recurso a uma fita graduada e da flecha adquirida pela mesma; exemplo de uma vertical a ser sondada com recurso a haste (fotografia tirada durante uma campanha de medições de caudal no dia 4 de Novembro de 2009)

Para uma melhor compreensão do sistema DGPS, deve ser consultado o Anexo 1.

2.4.1. DISTRIBUIÇÃO DE VELOCIDADES NA SECÇÃO TRANSVERSAL

A distribuição de velocidades da corrente numa secção transversal pode ser definida medindo velocidades nas pré-seleccionadas verticais, referidas anteriormente.

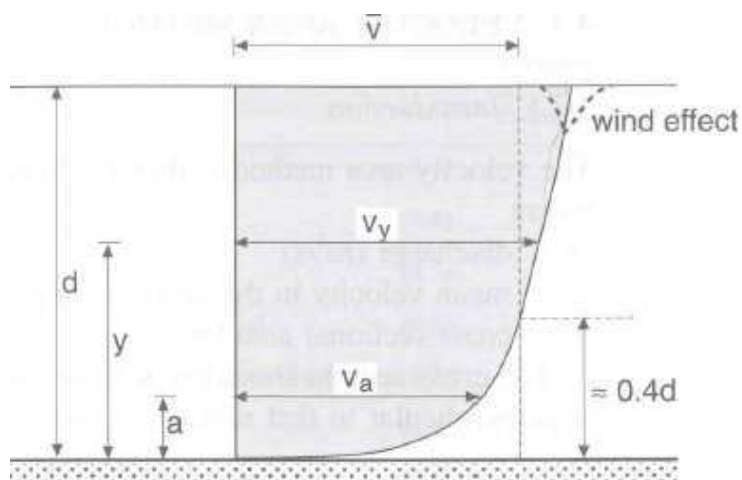


Figura 2.15 - Distribuição parabólica da velocidade ao longo de uma vertical (adaptado de W. Boiten 2000)

Devido à fricção existente no fundo dos canais, geralmente a velocidade mais próxima da superfície é superior à do fundo, como se pode constatar pela figura 2.15. Quando o vento possui uma direcção contrária ao sentido da corrente, a velocidade próxima da superfície pode ser inferior. Próximo das margens a rugosidade e a inclinação das margens influencia a distribuição das velocidades no canal.

A distribuição da velocidade na vertical, para um regime turbulento, assume-se como parabólica, como mostra a figura 2.15. A expressão que demonstra esta distribuição é:

$$\frac{v_y}{v_a} = \left(\frac{y}{a}\right)^{1/n} \quad (2.2)$$

Em qualquer ponto da vertical, a velocidade é de facto, uma média, isto porque o carácter turbulento da corrente provoca flutuações nas velocidades em qualquer ponto. Consequentemente, o valor da velocidade instantânea está em constante alteração. Assim sendo, ao medir a V_y com o aparelho de medição, é recomendado medir durante um período mínimo de tempo de forma a encontrar velocidades fiáveis.

Como é possível ver na figura 2.16, as velocidades mais elevadas apresentam-se como “picos”, enquanto as velocidades inferiores apresentam-se com um formato redondo de longa duração. As velocidades elevadas podem então ser medidas com tempos de medição inferiores às velocidades reduzidas. Assim sendo, quanto maior a velocidade, menor o intervalo de tempo necessário para a realizar a medição.

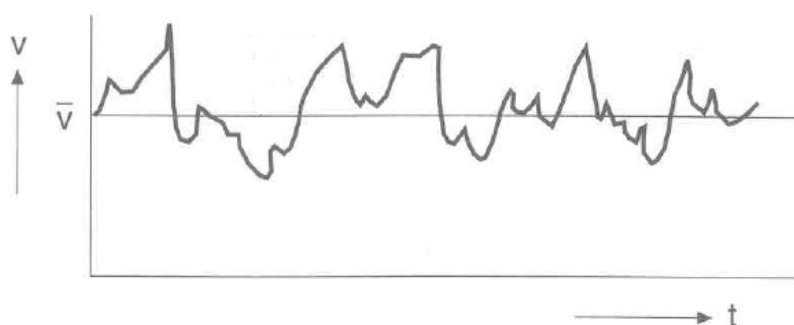


Figura 2.16 - Variação da velocidade com o tempo em regime turbulento (adaptado de W. Boiten 2000)

Tanto as velocidades verticais como horizontais influenciam a distribuição das velocidades. Como tal durante uma medição de velocidades devem medir-se o maior número de pontos possíveis.

Como já foi referido anteriormente, as velocidades mais elevadas encontram-se junto à superfície e as velocidades mais baixas próximas do fundo. A distribuição das velocidades na secção transversal depende fortemente da forma da secção (como mostra a figura 2.17) e da configuração (as curvas) do canal a montante. [1]

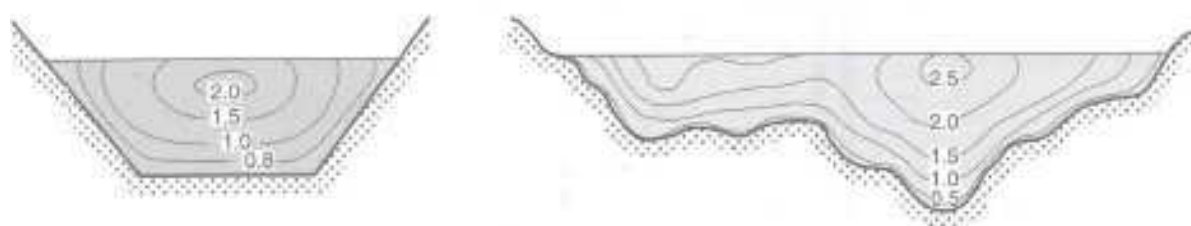


Figura 2.17 - Exemplos da distribuição da velocidade na secção transversal em canal regular (trapezoidal) e irregular (adaptado de W. Boiten 2000)

2.4.2. MÉTODOS DE CÁLCULO DA VELOCIDADE MÉDIA NUMA VERTICAL

A velocidade média pode ser determinada em cada vertical através de qualquer um dos métodos que se apresentam de seguida, dependendo do tempo disponível e da precisão pretendida para o efeito, da largura e profundidade da água, e das condições do leito do rio. Estes métodos são baseados, no entanto, em perfis de velocidades teóricos, que assumem que a distribuição das velocidades é parabólica. Para além do aspecto referido, na utilização dos seguintes métodos é necessário que seja possível medir velocidades às profundidades pretendidas e não se verifiquem alterações no nível hidrométrico.

i. Método de 1 ponto

O método de 1 ponto foi definido através da análise da expressão 2.2. Sabendo que o coeficiente n depende da resistência hidráulica e que varia de acordo com a rugosidade do leito (este coeficiente é diferente do coeficiente de Manning Strickler), o valor correcto de n é calculado a partir da expressão que segue:

$$n = 1,77 + f \times C \quad (2.3)$$

A velocidade média de uma vertical corresponde, em geral, aproximadamente ao valor da velocidade pontual encontrada a uma distância aproximada de $y_v = 0,4 \cdot d$ a partir do fundo (d é a profundidade total). Esta profundidade varia ligeiramente com o valor de n , e como tal, com a rugosidade do leito. Na realidade, a profundidade y_v é uma função de n e pode ser derivada pela equação:

$$y_v = \left(\frac{n}{n+1} \right)^n \quad (2.4)$$

A tabela indica alguns valores de y_v em função de n :

Tabela 2.1 - Profundidade y_v em função de n

n	y_v
3 (extremamente rugoso)	0,422*d
5	0,402*d
6 (valor normal)	0,397*d
7	0,393*d
10 (extremamente suave)	0,386*d

Usando as equações 2.3 e 2.4, a $V_{médica}$ pode ser calculada a partir da velocidade medida, V_y a qualquer profundidade y como representa a tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Velocidade média na vertical, relacionada com V_y , y e n

Profundidade y (a partir do fundo)	Velocidade Relativa $V_{médica}/V_y$ para diferentes valores de n					Profundidade y (partir da superfície)
	3	5	6	7	10	
0,2. d	1,28	1,15	1,12	1,10	1,07	0,8. d
0,4. d	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	0,6. d
0,5. d	0,94	0,96	0,96	0,97	0,97	0,5. d
0,8. d	0,81	0,87	0,87	0,90	0,93	0,2. d
d	0,75	0,83	0,83	0,88	0,91	0

De acordo com os valores da tabela, podem retirar-se as seguintes conclusões:

- A velocidade média numa vertical pode ser encontrada à profundidade de $0,4.d$ a partir do fundo ou $0,6.d$ a partir da superfície, se $n \geq 5$;
- A variação da velocidade V_y na vertical é mais elevada para um leito rugoso do que para um leito suave.

Segundo Boiten:

- Ao colocar o aparelho a uma distância de $0,6$ da profundidade a partir da superfície e efectuando a respectiva medição, obtém-se a correspondente velocidade média (figura 2.18):

$$V_{média} = V_{0,6} \quad (2.5 a)$$

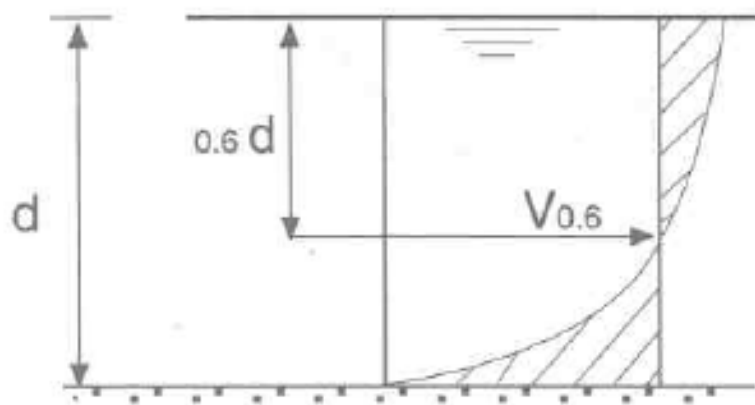


Figura 2.18 - Método de 1 ponto (adaptado de W. Boiten 2000)

- Ao colocar o aparelho a uma distância de $0,5$ da profundidade a partir da superfície, efectuando a respectiva medição, obtém-se a correspondente velocidade média através da fórmula que se segue (considerando leitos com uma rugosidade normal, como se pode constatar pela tabela 2.2):

$$V_{média} = 0,96 \times V_{0,5} \quad (2.5 b)$$

ii. Método dos 2 pontos

Efectuando medições às profundidades de $0,2$ e $0,8$ abaixo da linha da superfície da água (figura 2.19), é possível obter a velocidade média através da seguinte fórmula:

$$V_{média} = 0,5 \times (V_{0,2} + V_{0,8}) \quad (2.6)$$

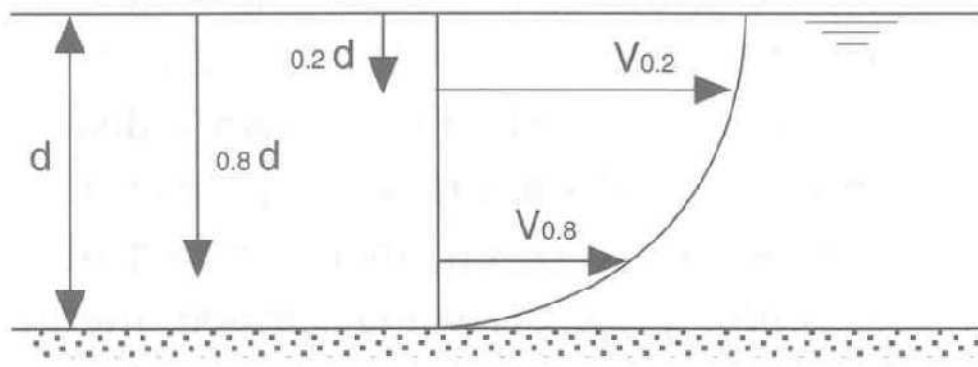


Figura 2.19 - Método de 2 pontos (adaptado de W. Boiten 2000)

iii. Método dos 3 pontos

Efectuando medições às profundidades de 0,2, 0,6 e 0,8 abaixo da linha da superfície da água, é possível obter a velocidade média.

$$V_{média} = 0,25 \times (V_{0,2} + 2 \times V_{0,6} + V_{0,8}) \quad (2.7)$$

Este método é uma combinação entre o método de 1 ponto e o método dos 2 pontos. [1]

iv. Método dos 4 pontos

Efectuando medições às profundidades de 0,2, 0,4, 0,7 e 0,9 abaixo da linha da superfície da água, é possível obter a velocidade média. [15]

$$V_{média} = 0,25 \times (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,7} + V_{0,9}) \quad (2.8)$$

v. Método dos 5 pontos

Efectuando medições às profundidades de 0,2, 0,6, 0,8 abaixo da linha da superfície da água, o mais próximo da superfície e o mais próximo do leito que o aparelho de medição permitir, é possível obter a velocidade média através da fórmula que se segue: [1]

$$V_{média} = 0,1 \times (V_s + 3 \times V_{0,2} + 2 \times V_{0,6} + 3 \times V_{0,8} + V_f) \quad (2.9)$$

vi. Método dos 6 pontos

Efectuando medições às profundidades de 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 abaixo da linha da superfície da água, o mais próximo da superfície e o mais próximo do leito, é possível obter a velocidade média através da fórmula que se segue. [15]

$$V_{média} = 0,1 \times (V_s + 2 \times V_{0,2} + 2 \times V_{0,4} + 2 \times V_{0,6} + 2 \times V_{0,8} + V_f) \quad (2.10)$$

Quando a distribuição de velocidades não é parabólica, ou não é conhecida, ou os referidos métodos são difíceis ou impossíveis de aplicar, registando-se variações significativas do nível de água, podem ser utilizados os métodos descritos no Anexo 1, métodos para cálculo de velocidades médias.

2.4.3. METODOLOGIAS PARA A DETERMINAÇÃO DO CAUDAL

Os métodos descritos de seguida permitem calcular caudais, partindo do princípio que um número razoável de verticais foi medido e que o aparelho de medição mede velocidades pontuais.

i. Método gráfico (ou método da integração da profundidade velocidade)

O produto do valor da velocidade média em cada vertical pela profundidade média correspondente (caudal medido por largura: $V_{\text{média}} \times d$) deve ser desenhado a partir da linha da superfície da água. Uma curva suave pode ser desenhada para ligar os pontos $V_{\text{média}} \times d$, como mostra a figura 2.20.

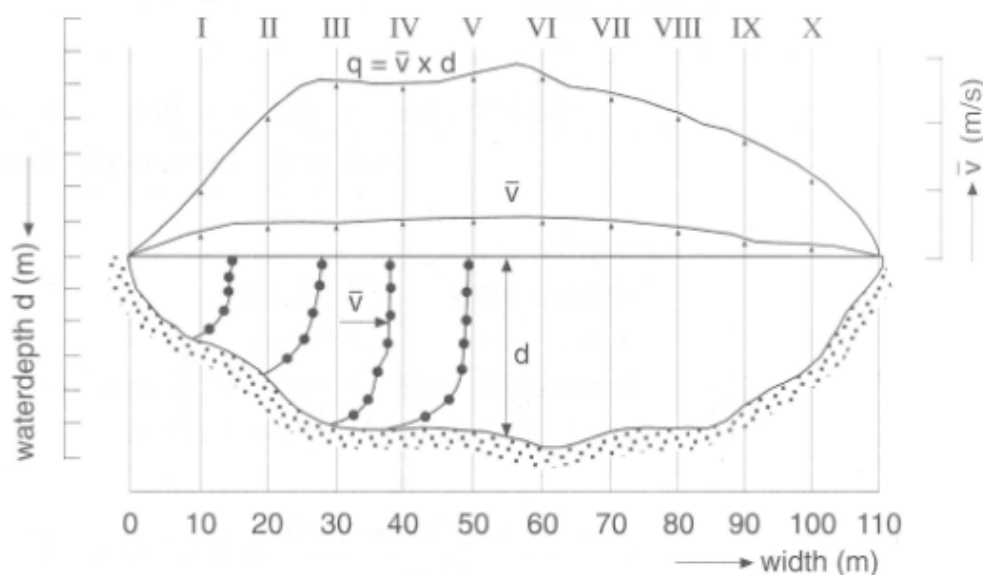


Figura 2.20 - Gráfico profundidade/velocidade – Método gráfico (Hayes, 1978 – adaptado de W. Boiten 2000)

O caudal médio é dado pela área da figura, sendo esta calculada usando um planímetro, tendo em conta as escalas do gráfico.

ii. Método da secção média

A secção transversal é dividida em subsecções (painéis), o que torna possível calcular caudais parciais, para cada painel (ver figura 2.21). O caudal parcial é dado pela expressão que se segue:

$$Q_p = \frac{V_i^{\text{média}} + V_{i+1}^{\text{média}}}{2} \times \frac{d_i + d_{i+1}}{2} \times b \quad (2.11)$$

Este processo é repetido para os diversos painéis e o caudal total é a soma de todos os caudais parciais:

$$Q_{final} = \sum Q_p \quad (2.12)$$

Para os painéis adjacentes às margens, a equação 2.11 pode ser utilizada, substituindo a velocidade na margem por zero. No entanto, é necessário ter em conta que a velocidade média na direcção horizontal perto das margens, em muitos casos, possui uma forma parabólica, e como tal dá uma estimativa mais correcta do Q_p nos painéis junto às margens a seguinte fórmula:

$$Q_p = \frac{2}{3} \times V_l^{média} \times \frac{1}{2} \times (d_0 + d_l) \times b \quad (2.13)$$

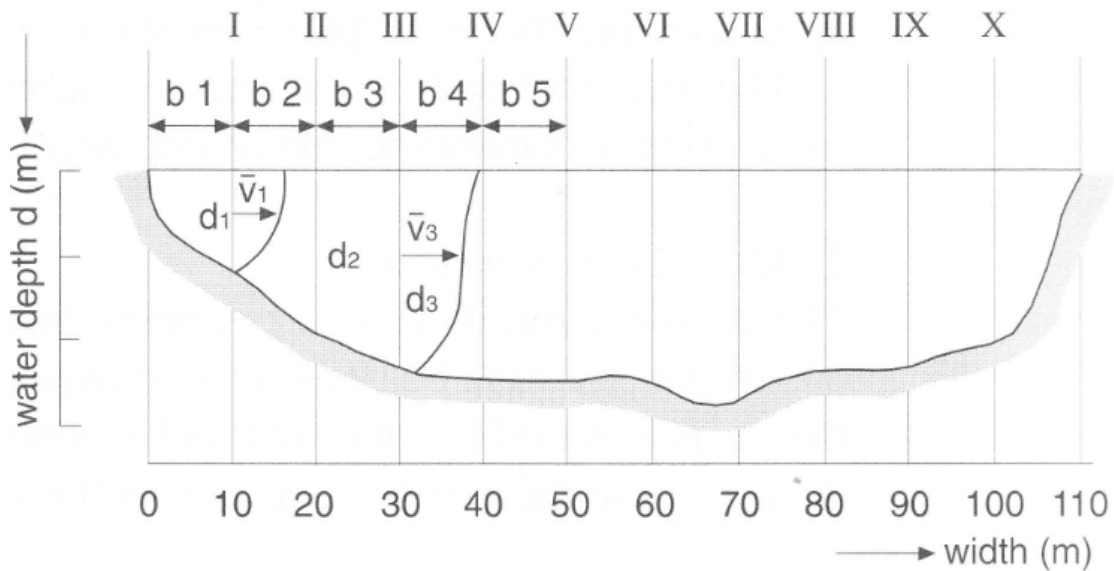


Figura 2.21 - Método da secção média (Hayes, 1978 – adaptado de W. Boiten 2000)

iii. Método da secção do meio

Assumindo uma linha recta de variação de $V_{média} \times d$, no invés de multiplicar pela largura da secção, multiplica-se pela soma de metade da largura das verticais adjacentes (à esquerda e à direita) até à vertical onde $V_{média} \times d$, foi calculado. O caudal em torno da vertical II (figura 2.22) é:

$$Q_p = V_2^{média} \times d_2 \times \frac{1}{2} (b_2 + b_3) \quad (2.14)$$

O valor de $V_{média} \times d$ nas duas meias larguras próximo das margens deverá ser considerado como zero. O caudal total é a soma dos caudais parciais e toma a forma da equação 2.12. [1]

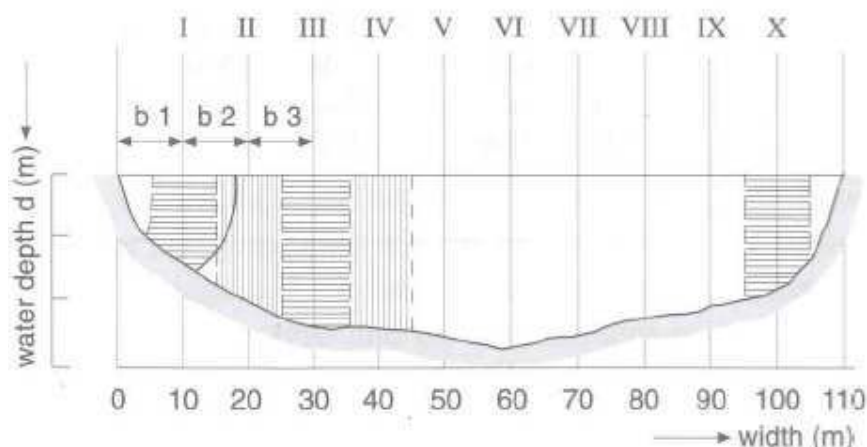


Figura 2.22 - Método secção do meio (Hayes, 1978 – adaptado de W. Boiten 2000)

Para o caso de ser necessário calcular o caudal a partir de medições através de um reduzido número de verticais, ou a partir de medições efectuadas com grande variação do nível de água, ou ainda efectuadas com recurso a flutuadores (instrumento de medição com modo operacional diferente dos aparelhos de medição de velocidades pontuais), encontram-se descritos três métodos, no Anexo 1.

2.4.4. ERROS E INCERTEZAS – TIPOS, INFLUÊNCIA E CÁLCULO

Quando se pretende efectuar estimativas de velocidades médias, escolhendo um dos métodos descritos anteriormente, é necessário ter em conta que, existem algumas precauções a tomar durante a medição. Mesmo efectuando as medições com todas as precauções, e nas melhores condições, os erros aleatórios que afectam este tipo de medições estão sempre presentes e resultam num desvio de valor, obstante da incerteza do próprio método e equipamento utilizado.

Os erros podem surgir quando:

- A corrente possui um regime de escoamento variável;
- O material em suspensão interfere com a performance do equipamento;
- Ocorre distorção de corrente (“skew flow”) e os factores de correcção apropriados não são conhecidos;
- O medidor é utilizado para gamas de velocidade fora do alcance do aparelho, estabelecidas pela calibração;
- O modo operacional definido para a medição (com recurso a haste, cabo, barco, etc.) é diferente do usado para a calibração do aparelho, o que resulta, neste caso, na introdução de um erro sistemático;
- O vento introduz uma perturbação significativa na corrente;
- O aparelho não é segurado com firmeza na vertical e no local certo (o que acontece, por exemplo, quando se efectua medições num barco parado).
- Etc. [15]

Usualmente, o grau de precisão requerido é baseado num número de considerações, tendo em conta a exigência da necessidade (pesquisa, design, construção, economia, gestão, etc). Uma consideração

importante é a extensão para qual a precisão pode ser melhorada com um esforço extra razoável (bom senso).

Na medição de caudais, existe um variado número de componentes que têm de ser medidos, como por exemplo, distâncias horizontais (larguras) e verticais (profundidades). Para otimizar as medições, é necessário conhecer a precisão que pode ser obtida quando se mede cada um destes componentes. Como o erro total é composto por incertezas na medição individual destes componentes, é evidente, que se um dos componentes for medido com pouca precisão, este facto irá afectar a incerteza total, de tal forma que, as medições precisas de outros componentes não terão significado.

Em geral, uma distinção pode ser feita entre os erros possíveis, sistemáticos e os de natureza estocástica (aleatória), de acordo com a origem. Os erros podem ser distinguidos como sendo fruto do instrumento utilizado, dos procedimentos de medição ou do processamento de dados.

Quando se usa o método secção – velocidade, a largura, profundidade, velocidade da corrente incluindo direcção da corrente são componentes a serem medidas e cada uma destas medições está sujeita a incertezas.

Os erros sistemáticos de um instrumento estão relacionados com as propriedades características dos equipamentos. O erro total estocástico possui também uma componente instrumental (estocástica) que depende das características e condições do local a medir, ocorrendo os erros mais significativos na medição de velocidades menores.

Nesta investigação, foi dada especial atenção aos métodos usados para determinar a velocidade média da secção transversal considerada.

Independentemente do erro relativo ao instrumento de medição utilizado, o erro referente à velocidade média da corrente é composto por três componentes:

- Erro Tipo I – σ_f (tempo de medição) – Tempo de medição definido para medir os diversos pontos em cada vertical;
- Erro Tipo II – σ_s (número de pontos n medidos numa vertical) – O cálculo da velocidade média na vertical é, portanto, uma aproximação da verdadeira velocidade média nessa mesma vertical;
- Erro Tipo III – σ_d e σ_h (número de verticais m) – Este tipo de erro possui a mesma natureza do Erro Tipo II e deve-se ao reduzido número de verticais. O perfil de velocidades horizontais σ_d e o perfil do leito entre duas verticais σ_h tem de ser determinado por interpolação, e como tal erros são introduzidos.

Descreve-se de seguida os três tipos de erros:

i. Erro Tipo I (σ_f)

Assumindo um tempo de medição igual a 30 segundos para velocidades elevadas e 60 segundos para velocidades mais baixas, o erro atinge um valor aceitável. A flutuação do erro σ_f depende, além disso, ligeiramente do número de pontos na vertical. Os valores de σ_f estão, portanto, combinados com os valores dos Erros Tipo II.

ii. Erro Tipo II (σ_s)

Usualmente, a velocidade média numa vertical é calculada com recurso a métodos computacionais existentes. Estes métodos resultam de uma aproximação da verdadeira velocidade média num dado momento. A tabela 2.3, que se apresenta de seguida, para os métodos existentes para o cálculo da velocidade média, conjuga os Erros Tipo I e II.

Seguem-se as seguintes conclusões:

- Os métodos para avaliação da velocidade média num ponto são mais válidos para rios grandes ($Q > 120 \text{ m}^3/\text{s}$) do que para pequenos ($Q < 120 \text{ m}^3/\text{s}$). O critério dos $120 \text{ m}^3/\text{s}$ foi escolhido de modo que os dois grupos, de diferentes dimensões, fossem representados por um número suficiente de rios;
- O método de medições em 3 pontos é suficiente para definir o perfil da natureza das velocidades na vertical. O resultado pode ainda ser melhorado, se o tempo de medição for aumentado e/ou número de pontos (maior ou igual a 3).

Tabela 2.3 - Erros $\sigma_f + s$ (combinação dos Erros Tipo I e II) como função do número de pontos n numa vertical

Método	Número de pontos n	Desvio Standard do Erro médio $\sigma_f + s$ (%) (Tipo I e II)
$V_{média} = V_{0,6}$	1	8,2
$V_{média} = 0,96 \times V_{0,5}$	1	6,5
$V_{média} = 0,5 \times (V_{0,2} + V_{0,8})$	2	4,9
$V_{média} = 0,25 \times (V_{0,2} + 2 \times V_{0,6} + V_{0,8})$	3	4,8
$V_{média} = 0,25 \times (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,7} + V_{0,9})$	4	3,0
$V_{média} = 0,1 \times (V_s + 3 \times V_{0,2} + 2 \times V_{0,6} + 3 \times V_{0,8} + V_f)$	5	2,7

Estas velocidades são medidas a partir da superfície. [1]

iii. Erro Tipo III (σ_d e σ_h)

Este erro deve-se à aproximação por interpolação do perfil do leito (σ_d) e da distribuição de velocidades horizontais entre verticais (σ_h). Na prática, ambos os factores ocorrem em simultâneo.

A selecção do número e da localização das verticais é baseada num julgamento pessoal do operador, tendo em conta o perfil do leito e a secção vertical. É do conhecimento geral que um número reduzido de verticais pode originar um erro considerável.

De modo a escolher o número e a localização das verticais, pode recorrer-se aos seguintes critérios:

- Verticais equidistantes
Neste critério, o número de verticais é decidido antecipadamente e são espaçadas igualmente ao longo da largura. É aplicado em secções transversais, nas quais as variações em perfil e distribuições de velocidades são graduais.
- Perfil do leito do rio na secção transversal

As verticais são escolhidas de acordo com as irregularidades do perfil fornecido pelo ecograma, tendo em conta que as distâncias entre as verticais não deverão variar muito.

c) Secções nas quais o caudal que as atravessa é igual

As verticais são escolhidas de modo a que o caudal que atravessa as correspondentes secções seja igual em todas. No entanto, este critério exige que a distribuição da velocidade seja conhecida previamente à medição.

A tabela que se segue mostra os resultados obtidos relativamente aos testes referentes aos critérios expostos em cima. A tabela mostra o desvio standard do Erro Tipo III.

Tabela 2.4 - Erros relativos (combinação dos Erros Tipo I e II) como função do número de pontos n numa vertical

Número de Verticais - m	Desvio Standard Relativo do Erro (%)		
	Critério a) Verticais Equidistantes	Critério b) Perfil do Leito na Secção Transversal	Critério c) Secções de igual Caudal
5	4,20*	7,70	
6	3,70*	7,00	4,52
10	2,60	4,40	3,35
15	1,98	3,02	2,60
20	1,65	2,20	2,08
25	1,45	1,70	1,76
30	1,30	1,28	1,60
35		1,02	1,55
40		0,80	
45		0,68	

* Extrapolados pelo autor

De acordo com os resultados apresentam-se as seguintes conclusões:

- O cálculo de caudais a partir de um número reduzido de verticais equidistantes fornece resultados sistematicamente baixos;
- A selecção de verticais, baseada no perfil da secção transversal (critério b) origina bons resultados, quando comparada com os outros critérios;
- O critério a) fornece melhores resultados que o critério c). Todavia, a diferença é pouco significativa;
- Para rios de grande extensão ($Q > 120 \text{ m}^3/\text{s}$), a interpolação do perfil de velocidades horizontais afecta mais significativamente o erro do que a interpolação do perfil do leito. A diferença é, no entanto, pequena;
- Para rios de pequena extensão ($Q < 120 \text{ m}^3/\text{s}$), verifica-se o contrário, ou seja, a interpolação do perfil do leito influencia muito mais o erro do que a interpolação do perfil de velocidades horizontais;
- Os erros relativos aos caudais, causados pela interpolação do perfil de velocidades e profundidade respectivamente, estão relacionados. Esta relação é baseada na interdependência entre a velocidade da corrente e a profundidade nas verticais;
- O erro presente no caudal calculado pode decrescer consideravelmente através do conhecimento do perfil contínuo (ecograma), em vez de usar apenas a profundidade nas verticais onde a velocidade é observada. [17]

Antes de proceder-se a uma medição devem colocar-se algumas questões, como por exemplo, quantas verticais são necessárias e quantos pontos devem ser medidos por vertical. A resposta depende:

- Da precisão pretendida para o efeito (quantos mais pontos, mais precisa será a velocidade média; um maior número de verticais, permite o cálculo de um caudal mais preciso);
- Considerações económicas (maior número de pontos medidos e um maior número de verticais exigem mais tempo);
- Circunstâncias práticas, por exemplo: condições de escoamento instáveis.

De acordo com as precisões que podem ser obtidas numa medição foi elaborado um estudo por um Comité Técnico da Organização Internacional para padronizações (ISO). O resultado de uma análise de um grande número de medições de caudal realizada em rios nos Estados Unidos da América, Reino Unido, Holanda e Índia, e algumas conclusões deste estudo foram sumariados na publicação “WL Delft Hydraulics”, como se segue:

“Para aproximar a velocidade média em cada vertical, um número de pontos numa vertical deve ser medido. Desde que a distribuição da velocidade seja normal, (distribuição mais ou menos parabólica), o número de pontos numa vertical (n) é menos importante que o número de verticais (m) entre as duas margens”.

De seguida, apresenta-se dois gráficos comparativos (figuras 2.23 e 2.24) resultantes de uma investigação ISO, baseada em medições em vários rios, sobre a influência dos diferentes tipos de erros numa medição de velocidades.

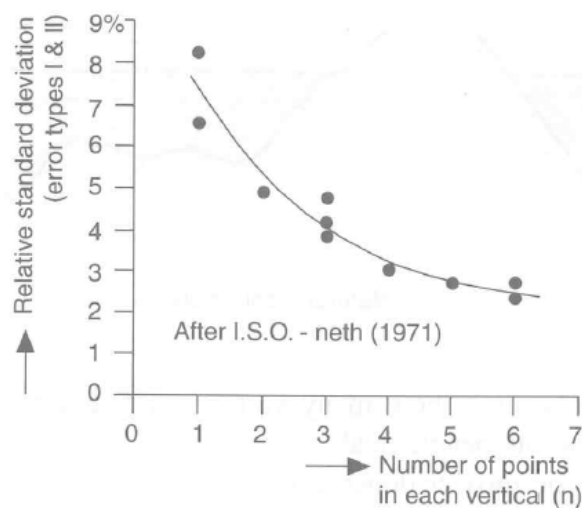


Figura 2.23 - Gráfico que relaciona o desvio standard da velocidade média em função do número de pontos medidos numa vertical

A partir da figura 2.23, é possível perceber que para valores de n igual a 3 o desvio standard relativo da velocidade média pouco diminui, logo conclui-se que para valores de n igual ou superior a 3 (3 pontos em cada vertical) já se obtém um desvio aceitável. Este desvio standard é relativo a $\sigma_f + s$ (Erro do Tipo I e II).

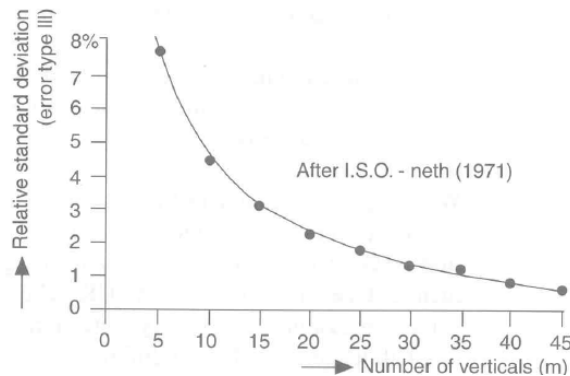


Figura 2.24 - Gráfico que relaciona o desvio standard da velocidade média em função do número de verticais entre duas margens

A partir da figura 2.24, é possível perceber que para valores de m igual a 20 (dependendo da largura da secção), o desvio standard relativo da velocidade média pouco diminui, logo conclui-se que para valores de m igual ou superior a 20 (20 verticais medidas em cada secção) obtém-se um desvio aceitável. Este desvio standard é relativo a $\sigma_f + s$ (Erro do Tipo I e II).

É possível também concluir que o critério m (número de verticais) assume uma influência claramente superior ao critério n no erro final. Este resultado não é surpreendente visto que a grande maioria dos rios possuem rácios largura/profundidade relativamente elevados.

A equação simplificada que se segue, pode ser usada para o cálculo dos erros estocásticos.

$$\sigma_1 = \sqrt{(\sigma_{d+h})^2 + \frac{1}{m} \times (\sigma_{f+s}^2 + \sigma_v^2 + \sigma_d^2 + \sigma_B^2)} \quad (2.15)$$

O erro estocástico total (σ_{sto}), combinado com o erro sistemático total (σ_{sys}) apresenta-se da seguinte forma: [1]

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{sto}^2 + \sigma_{sys}^2} \quad (2.16)$$

2.4.5. FORMAS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO SECÇÃO VELOCIDADE

Existem diversas formas de aplicar o método secção – velocidade, através de aparelhos de medição de velocidades pontuais ou contínuos. Algumas dessas formas, para além de recorrerem ao instrumento de medição, essencial a qualquer medição de velocidade, recorrem a equipamentos auxiliares que permitem aplicar o método nas mais variadas situações. Descrevem-se seguidamente as variadas formas de aplicação do método.

2.4.5.1. MEDIÇÕES PONTUAIS

A secção transversal do canal natural é dividida em vários segmentos. A largura de cada segmento, a profundidade e a velocidade média numa vertical em cada segmento são medidas. O caudal total resulta da soma do produto da velocidade, largura e profundidade de cada segmento.

A posição das verticais numa secção transversal é extremamente dependente do facto de serem ou não usados barcos, facilidades de ancoragens, sistemas a cabo, largura e forma da secção transversal do canal, etc.

Os aparelhos utilizados neste tipo de medição são os aparelhos de medição pontuais.

i. Medições realizadas a vau:

Em cursos de água de baixa profundidade, as medições podem ser feitas a vau. O medidor é colocado numa haste graduada (figura 2.25), que possui um apoio de fundo (figura 2.25). Em muitos casos, o posicionamento na secção transversal, é feito com recurso a uma fita, presa em cada uma das margens e o operador desloca-se ao longo dessa mesma fita, efectuando medições de velocidades em diversos pontos e medindo as distâncias entre verticais.

A posição do operador não deve afectar as condições de escoamento, em torno do aparelho, sendo a melhor posição a jusante do mesmo, na diagonal ao sentido da corrente, à distância de um braço do aparelho para evitar erros.



Figura 2.25 – Exemplo de uma medição a vau (fotografia foi tirada no rio Corgo, na estação hidrométrica de Ermida, no dia 12 de Novembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)

Os aparelhos que surgem na legenda da fotografia são descritos com pormenor no capítulo 3.

ii. Medições com recurso a um barco parado

Este tipo de medição é realizado com recurso a um barco, mantido na mesma posição ao longo da secção, através de um cabo preso em ambas as margens, ou um teleférico (figura 2.26)

A grande vantagem do método reside no posicionamento rápido e preciso do barco, sem existir qualquer problema de ancoragem.

Possui algumas desvantagens:

- Bloqueia o tráfego do rio, caso exista;
- Aplicável apenas para rios não muito largos;
- Facilidades exigidas para prender cabo em terra.

O operador mantém-se no barco a controlar e registar os valores lidos.

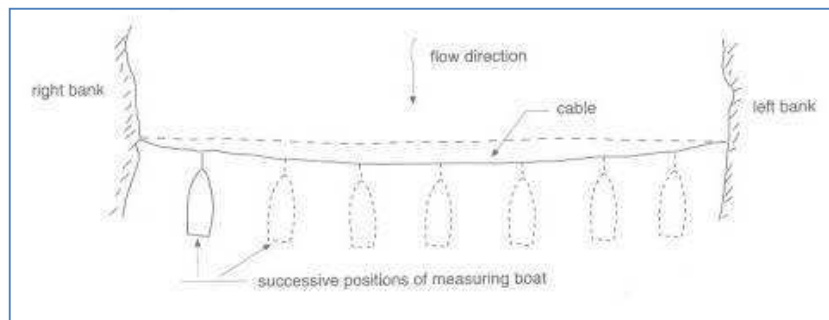


Figura 2.26 - Medição ao longo de um cabo, recorrendo a um barco (adaptado de W. Boiten 2000)

iii. Medições a partir de uma ponte

Este tipo de medição é efectuada a partir de uma ponte, na qual o operador permanece em cima da mesma, de onde efectua as medições (figura 2.27). A grande vantagem deste método reside no fácil posicionamento que o operador consegue obter. A desvantagem reside no facto de os pilares da ponte por vezes alterarem as condições de escoamento.



Figura 2.27 - Medição efectuada a partir de uma ponte (fotografia tirada no rio Almonda, na estação de Ponte Nova, no dia 15 de Janeiro de 2010, durante uma campanha de medições de caudal)

iv. Medições com recurso a Teleférico

Os sistemas a cabo são construídos para obter medições da corrente ou do transporte de sedimentos numa secção transversal. O uso do cabo elimina os riscos inerentes dos operadores durante o trabalho a partir de pontes ou barcos. Todavia, existem muitos erros numa medição deste género, relativos, por

exemplo, à verticalidade do cabo que suporta o medidor, à folga existente no cabo que faz a ligação horizontal entre as duas margens, etc.

A posição do medidor em qualquer vertical, a qualquer profundidade, pode ser obtida por contadores de profundidade e distâncias, sendo este acompanhado por um peso que assegura a verticalidade do cabo que o suspende (figura 2.28). Este sistema é muito usado, mas exige que uma estrutura seja montada previamente (figura 2.29 e 2.30). O operador mantém-se nas margens a controlar o deslocamento do aparelho ao longo do cabo e a registar os valores lidos.

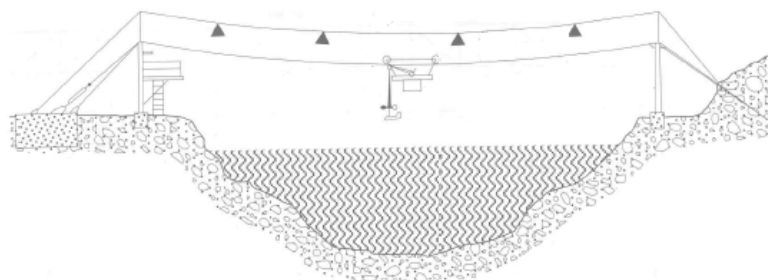


Figura 2.28 - Medição com recurso a teleférico (adaptado de W. Boiten 2000)



Figura 2.29 - Fotografia do aparelho suspenso por cabo a partir de um teleférico, tirada no rio Paiva, na estação de Castro Daire, no dia 16 de Outubro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal (molinete C 31 suspenso por cabo com peso)



Figura 2.30 – Teleférico (fotografia tirada no rio Paiva, na secção de Castro Daire, no dia 16 de Outubro de 2009 durante uma campanha de medições de caudal)

Estas formas de medição são descritas pormenorizadamente no capítulo 4.

2.4.5.2. MEDIÇÕES CONTÍNUAS

Neste género de medições, todos os tipos descritos anteriormente, com excepção do que recorre a um barco parado e medição a vau, permitem fazer leituras/medições contínuas, desde que o aparelho seja o indicado. As medições contínuas podem ser realizadas por aparelhos de medição pontual, desde que o método a utilizar seja o método do barco em movimento, ou flutuadores (sendo estes dois métodos descritos no Anexo 1). Pode também ser realizado por aparelhos de medição contínua de velocidades. Este tipo de equipamentos são os ADCP's – Acoustic Doppler Current Profiler – com recurso a catamaran/trimaran ou acoplado a um barco, dependendo da largura e profundidade do rio. O princípio operacional deste aparelho é diferente, sendo por isso o método secção velocidade aplicado doutra forma. Deixa-se de medir profundidades, larguras ou ângulos, pois o software do equipamento faz todas as leituras, inclusive o respectivo cálculo do caudal. Este tipo de aparelho de medição é explicado pormenorizadamente no capítulo 3. A figura que se segue permite visualizar a utilização deste tipo de aparelho num teleférico:



Figura 2.31 - Foto tirada no rio Paiva, na estação de Castro Daire, no dia 3 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal (River Surveyor M9, apoiado num trimaran, suspenso por cabo em teleférico e peso)

Na próxima figura, o mesmo aparelho desloca-se ao longo da secção através de uma corda, suspensa por dois operadores, um em cada margem, que permite a movimentação do aparelho, perpendicular ao sentido da corrente.

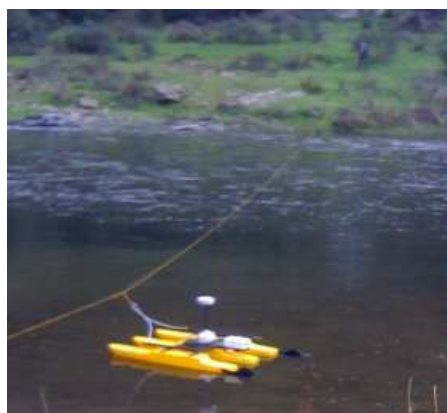


Figura 2.32 - Fotografia tirada no rio Sabor, na estação de Ponte Remondes, no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal

A imagem que se segue mostra um aparelho a ser encaminhado pelo operador, a passo, ao longo da secção transversal.



Figura 2.33 - Fotografia tirada no rio Azibo, a jusante da estação de Azibo, no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal, em parceria com a EDP, INAG e QUALITAS (o aparelho que efectua medições é o Stream Pro)

Se a margem a medir for muito larga e não houver qualquer estrutura que permita utilizar o catamaran ou trimaran, o ADCP é desmontado deste sistema de suporte de reduzidas dimensões e acoplado lateralmente a um barco a motor (para rios grandes), permitindo fazer o mesmo tipo de travessia necessária aos outros aparelhos (figura 2.34).



Figura 2.34 - River Surveyor M9 acoplado a um barco (adaptado de notícias Sontek 2009, Amazónia)

Apresenta-se uma tabela resumo das especificações e aplicações de cada um dos métodos descritos anteriormente no Anexo 1.

3

EQUIPAMENTOS

3.1. SUMÁRIO

No presente capítulo, pretende-se abordar as diferentes tipologias, características e especificações dos diferentes equipamentos utilizados no trabalho de campo realizado no âmbito desta Tese de Mestrado.

Como já referido, existem vários instrumentos que foram desenvolvidos com o intuito de medir velocidades em canais abertos. A escolha dos equipamentos a utilizar em cada situação depende das circunstâncias do local, precisão requerida para o efeito e orçamento disponível.

Os equipamentos existentes para a medição de velocidades são:

- Molinete Hidráulico;
- Sensor Electromagnético;
- Perfilador acústico com efeito doppler (ADCP);
- Velocímetro acústico com efeito doppler (ADV);
- Flutuador;
- Medidor do tipo Pêndulo;
- Tubo de pitot.

No presente estudo foram apenas utilizados os quatro primeiros equipamentos da listagem acima apresentada, sendo sobre eles que dedica este capítulo.

Os primeiros dois equipamentos são, em geral, bastante utilizados. O terceiro equipamento, devido às inúmeras potencialidades que possui, uma vez que mede continuamente velocidades em pontos na secção (perfis de velocidades), calculando imediatamente, inclusive, o respectivo caudal, tem vindo a expandir-se no mercado, sendo cada vez mais utilizado. [1]

3.2. PERFORMANCE DOS EQUIPAMENTOS

Antes de proceder à escolha do equipamento para o propósito da medição, o operador deve verificar se o equipamento tem a performance operacional exigida para o efeito perante o método de medição escolhido, o qual, sob inúmeros factores mecânicos, naturais, etc., pode ver a performance do aparelho influenciada. Os factores que influenciam a performance do aparelho são:

- i. Condições atmosféricas:
 - Temperatura do ambiente;

- Humidade atmosférica;
- Pressão atmosférica;
- Qualidade do ar;
- Precipitação atmosférica;
- Radiação solar;
- Velocidade do vento;
- Descargas eléctricas, de origem humana e natural;
- Interferência electromagnética;
- ii. Condições aquáticas:
 - Temperatura da água;
 - Pressão da água;
 - Qualidade da água (pH, sólidos suspensos, condutividade, óleo visível, etc.);
- iii. Factores mecânicos:
 - Posição do operador;
 - Vibração;
 - Choques mecânicos;
- iv. Outros factores:
 - Natureza da fonte de energia;
 - Nível de actividade biológica;
 - Interferência eléctrica através do solo ou da água;
 - Experiência do operador;
 - Padrão standard de manutenção operacional. [2]

3.3. MOLINETE HIDRÁULICO

O molinete hidráulico é um instrumento destinado a medir mecanicamente a velocidade da água num dado ponto de uma corrente. Neste tipo de medição a energia cinética da água que passa por uma dada área transforma-se em movimento de rotação de um mecanismo. A velocidade média da corrente, nessa área (ponto), obtém-se pelo número de rotações por segundo que fornece a hélice ou sistema análogo.

Os diferentes sistemas de rotação empregados para captar o movimento das águas permitem classificar os molinetes em duas classes fundamentais:

- Tipo europeu – Molinete de hélice – de eixo horizontal
O molinete de hélice de eixo horizontal (figura 3.1) é constituído por um número de pás rectas ou angulares, associadas em equidistantes intervalos à volta do mesmo perímetro, que roda em torno de um eixo horizontal, quando posicionado na corrente.



Figura 3.1 - Exemplo de molinete de hélice – de eixo horizontal (fotografia tirada ao Molinete C 31, utilizado na campanha de medições de caudal)

- Tipo americano – Molinete de copos – de eixo vertical
O molinete de copos, de eixo vertical é constituído por copos cónicos, interligadas em intervalos equidistantes, que rodam através de um eixo vertical, quando posicionado na corrente (figura 3.2). É um aparelho comparável com o anemómetro, responsável por medir a velocidade do vento. [1] [4]



Figura 3.2 - Exemplo de um molinete de copos – de eixo vertical

3.3.1. PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO – MOLINETE DE HÉLICE – DE EIXO HORIZONTAL

O elemento rotatório do aparelho é activado pela passagem do fluído, a uma determinada velocidade angular, que é proporcional à velocidade local do fluído, num determinado ponto imerso, quando a velocidade excede um determinado valor crítico, mínimo para o movimento se concretizar. [4]

O aparelho trabalha sob o princípio que o *pitch* (distância que a hélice se movimenta através da água durante uma revolução) da hélice de eixo horizontal é activado pela passagem da água. Cada revolução da hélice corresponde à distância percorrida pelas partículas de água, igual ao *pitch* do eixo e é calculada dividindo o número de rotações da hélice pelo tempo de medição utilizado na contagem. Aplicando a fórmula 3.1, é possível calcular a velocidade da água no ponto medido.

$$v = k \times n + \Delta \quad (3.1)$$

O número de rotações é medido através de um contador (figura 3.3), utilizando um tempo de medição variável (30, 40, 50, 60, e 100 segundos). [1]



Figura 3.3 - Exemplo de um contador (fotografia tirada no rio Almonda, secção de Ponte Nova, no dia 15 de Janeiro)

Com o intuito de determinar a velocidade do fluido, o aparelho é colocado num determinado ponto dentro de água e o número de rotações, durante um período de tempo pré-estabelecido, é contabilizado, ou então é contabilizado o tempo que demora a atingir um determinado número de rotações. A velocidade é obtida através da tabela de calibração do aparelho ou pela equação de calibração, ou pode ainda ser obtida, com recurso a um equipamento apropriado para leitura directa de velocidades, ligado directamente ao aparelho. [4]

Existem dois tipos de molinetes de hélice de eixo horizontal:

- O micro molinete, com uso destinado a laboratórios de hidráulica, e canais muito pequenos (quanto menor o diâmetro da hélice menor é a capacidade do aparelho de medir velocidades elevadas). O medidor é usado apenas com recurso a um sistema de suspensão a haste. Os diâmetros disponíveis para a hélice são 30 e 50 milímetros, o pitch vai aos 50, 100, 250 e 500 milímetros e o comprimento das hastes vai de 1 a 3 metros (consoante o número de extensões).
- O molinete universal, com uso destinado a rios e canais profundos. É usado, com haste (figura 2.25), em rios de baixas profundidades e riachos de reduzidas velocidades, ou com sistema de suspensão a cabo em rios largos e/ou profundos. Neste caso, a medição é executado a partir de uma ponte (figura 2.27), teleférico (figuras 2.28 2.29 e 2.30) ou barco (ver Anexo 1).

Quando se utiliza uma haste para apoio nas medições em rios, esta deverá estar equipada com um prato no fundo de forma a evitar que a mesma penetre no leito do rio (figura 3.4). Quando se utiliza o sistema de cabos, é usado um contrapeso para manter o cabo o mais vertical possível (figuras 2.29, 3.5 e 3.6). Este sistema é equipado com um leme, que permite manter o equipamento na direcção da corrente e uma barra estabilizadora, diferenciando-se 3 modos de suspensão, como se pode ver na figura 3.5.

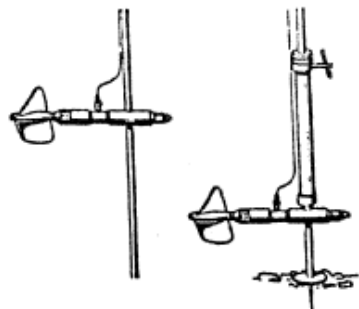


Figura 3.4 – Esquema ilustrativo do prato na ponta da haste

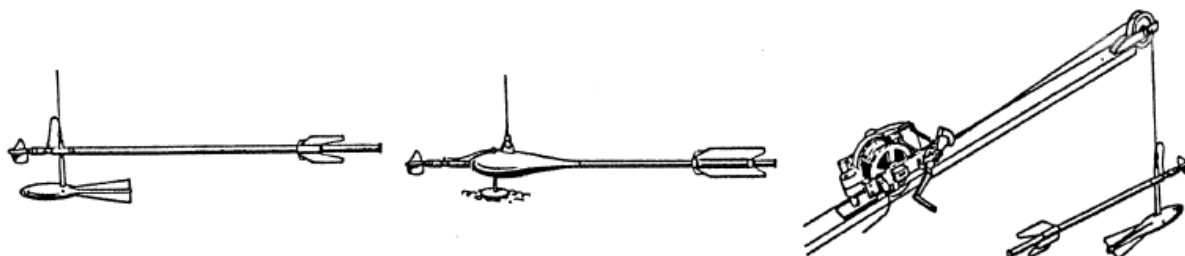


Figura 3.5 – Molinete suspenso: 1º com leme, peso e cauda estabilizadora; 2º com leme, peso, barra estabilizadora e contacto de fundo – conjunto “unstrut” e por último, o 3º suspenso de uma lança com guincho manual



Figura 3.6 - Fotografia tirada no rio Sabor, na estação de Ponte Remondes, no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal, em parceria com a EDP, INAG e QUALITAS)

A posição do leme na barra estabilizadora é dependente da hélice a utilizar e está referenciada na própria barra (quanto mais pesada for a hélice, mais próximo da extremidade da barra o leme tem de estar). Existem diversos pesos (5, 10, 25, 50 e 100 kg), que são utilizados consoante a velocidade da corrente, pois quanto maior a velocidade da corrente, maior terá de ser o peso a utilizar para evitar o arrastamento. No entanto, se o cabo do aparelho possuir uma inclinação com a vertical superior a 15° , terá de ser efectuada uma correcção à profundidade. [5]

O material que compõe a hélice pode ser alumínio anodizado, metal ou plástico. Quanto maior for a gama de velocidades da corrente a medir, maior terá de ser o diâmetro da hélice a utilizar e maior será o pitch da mesma, variando a gama de velocidades mínimas potencialmente medidas de 0,03 a 0,06 m/s.

As velocidades medidas possuem um erro que depende directamente da grandeza da velocidade medida. Nas medições, as velocidades elevadas são medidas com um erro inferior, comparativamente com as velocidades reduzidas. Todavia, este erro pode ser reduzido quando se adopta um tempo de medição superior a 60 segundos. [1]

O molinete possui uma velocidade mínima de resposta, isto é, após a submersão do aparelho, é necessária uma velocidade mínima que faça a hélice rodar, sendo esta velocidade determinada em laboratório. Só após atingir a velocidade mínima é que o contador inicia a contagem do número de voltas. Quanto mais baixa for a velocidade mínima de resposta do molinete, mais elevada será a incerteza, quando as velocidades medidas forem de ordem de grandeza semelhante. Assim sendo, é recomendado que o aparelho seja utilizado para velocidades maiores ou iguais ao dobro da velocidade mínima de resposta. [4]

A medição em cada ponto cobre apenas a componente axial da velocidade da corrente, o que significa que se obtém o efeito a 100 % da mesma componente.

Desde que a calibração seja verificada periodicamente, que seja efectuada alguma manutenção e se tenha cuidado aquando da sua utilização, estes aparelhos fornecem bons resultados na medição de velocidades em rios, esperando-se erros da ordem dos 5 % para velocidades baixas (0,2 m/s) e 0,5 % para velocidades elevadas (2,5 m/s).

3.3.2. CALIBRAÇÃO

A calibração ou aferição é um procedimento de medida (controlo metrológico) em que se efectua o controlo dos instrumentos de medição (nomeadamente os utilizados nas transacções comerciais, na saúde, na segurança, na protecção do consumidor e do ambiente, e que, por lei, estão submetidos a esse controlo) através da comparação entre o valor observado e o correspondente valor padrão reconhecido por um órgão oficial.

Com o uso do aparelho no decorrer do tempo, algumas peças e em especial as hélices sofrem deformações que mudam as características tanto mecânicas como hidrodinâmicas dos molinetes. Perante isto, torna-se necessário a sua aferição em laboratório equipado com estruturas próprias para o efeito.

A recalibração deve ser efectuada sempre que a performance do aparelho seja duvidosa. A recalibração deve ser efectuada anualmente, ou após 300 horas de uso. Na prática, a recalibração deve ser efectuada após o período mais curto entre os dois anteriores. [4]

Os tipos de estruturas de aferição mais conhecidas são:

i. Canal com carrinho

É constituído por um canal de comprimento de 100 a 150 metros com a água parada, em que os molinetes são fixos a um carrinho que circula sobre o canal a velocidades pré-estabelecidas (figura 3.7).

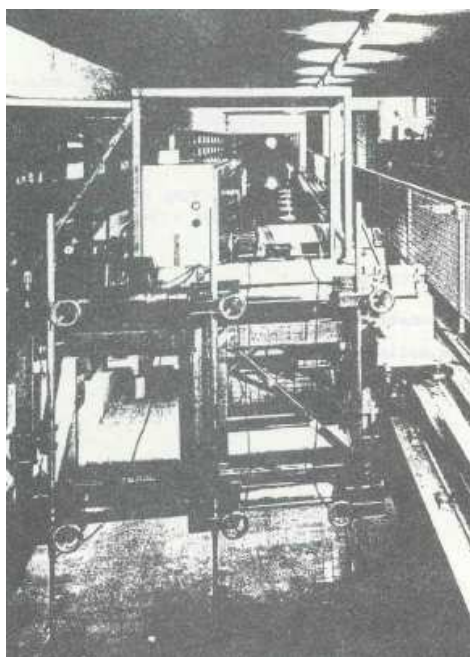


Figura 3.7 - Exemplo de um canal com carrinho – A. OTT – KEMPTEN (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

ii. Canal circular

É constituído por uma tina circular com cerca de três metros de diâmetro, que possui ao centro um eixo rotativo com duas hastes para fixação dos molinetes (figura 3.8).

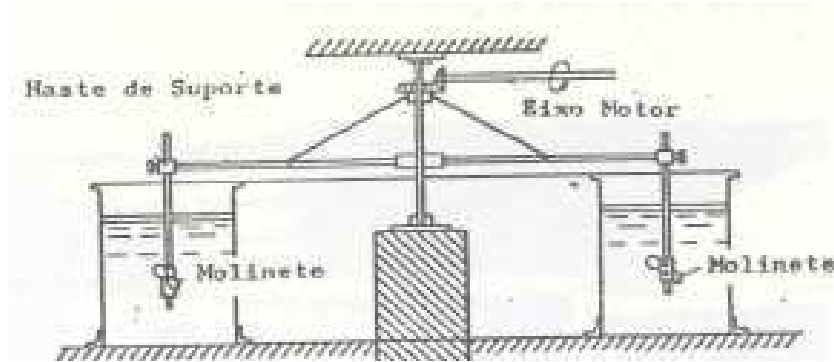


Figura 3.8 - Esquema de canal circular – Orlova 1974 (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

iii. Circuito fechado

É constituído por uma estrutura rectangular fechada, na qual a água circula em circuito fechado através de mecanismo apropriado, e onde os molinetes são fixados (3.9).

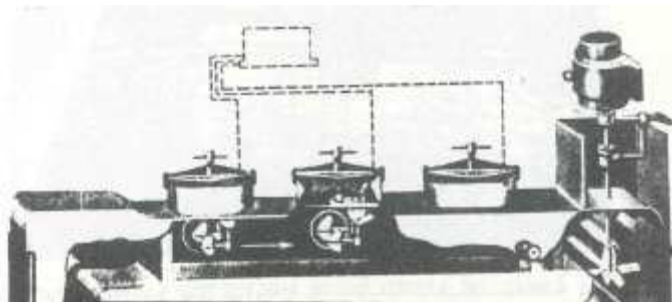


Figura 3.9 - Esquema do aferidor de circuito fechado G.R. 19 – Orlova 1974 (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

Os molinetes são calibrados individualmente, ou em grupo, desde que o grupo de molinetes seja uniforme. Os diferentes tipos de calibração são descritos de seguida:

i. Calibração individual

Neste tipo de calibração é estabelecida, para cada molinete, uma relação entre a velocidade e o número de revoluções. É apenas necessária quando o fabricante não fornece garantias relativamente ao comportamento standard de alto nível que o aparelho deve possuir, de origem.

ii. Calibração (standard) em grupo

Este tipo de calibração pode ser efectuada quando se está perante uma uniformidade de aparelhos. A amostragem de aparelhos calibrados deve ser adequada em número e deve conter, se possível, tanto equipamentos novos como usados. O fabricante deve dispor da descrição da calibração original e da calibração utilizada. Adicionalmente, deve validar a calibração em grupo a partir de uma amostragem composta por, pelo menos, 10 % de novos equipamentos seleccionados aleatoriamente e deve novamente dispor de detalhes da calibração efectuada.

Os custos associados a uma calibração em grupo são significativamente inferiores comparativamente a uma calibração individual, contudo a confiança de resultados transmitida pelo tipo de calibração é reduzida. Para implementar uma calibração em grupo é necessário efectuar um controlo rigoroso das tolerâncias estabelecidas pelos fabricantes e uma vigilância apertada por parte do utilizador.

Para verificar a fiabilidade da curva de calibração, o fabricante ou laboratório que efectua a operação deve explicitar o erro standard obtido, com os respectivos limites superiores e inferiores, para além de, no mínimo, dois pontos intermédios. O erro standard deve ser escrito como percentagem da velocidade média e relacionada a um nível de confiança de 95 %. [4]

Para a obtenção de informações sobre a evolução histórica da verificação da necessidade de calibração deste equipamento, deve ser consultada a nota histórica, referente aos equipamentos, no Anexo 1.

3.4. SENSOR ELECTROMAGNÉTICO

O sensor electromagnético é um equipamento preciso, utilizado na medição de velocidades em canais, tornando-se uma alternativa aos equipamentos convencionais. É possível observar um sensor electromagnético na figura 3.10.



Figura 3.10 - Fotografia tirada no rio Corgo, na estação de Ermida, no dia 12 de Novembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal (molinete hidráulico à esquerda e sensor electromagnético à direita)

3.4.1. PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

O princípio de operação deste equipamento consiste na aplicação da Lei de Faraday:

$$E = B \times b \times v \quad (3.2)$$

A voltagem de saída no sensor advém de dois eléctrodos especiais. Dependendo do aparelho poderá possuir vários pares de eléctrodos (é pré-amplificada e directamente expressa em unidades S.I.). Para qualquer electromagnético obter uma performance satisfatória, o fluído onde é inserido deve possuir condutividade adequada. A condutividade mínima requerida para a medição é de 5 μS (a condutividade da água límpida é de cerca de 50 μS), todavia a condutividade mínima varia de aparelho para aparelho e com os fabricantes. Em geral, velocidades e condutividade baixas não combinam adequadamente, o que coloca em causa a performance da medição. A energia provém de pilhas, o suficiente para 30 horas de operação, aproximadamente. [1]

O movimento da água (o condutor) através do campo magnético, gerado pela bobina interna do dispositivo, gera potencial eléctrico. Este potencial pode ser detectado pelos eléctrodos e é proporcional:

- À força do campo magnético (influenciado pela interface água/ar e água/leito);
- Ao tamanho do condutor (é função da forma e extensão da estimulação eléctrica da bobina e da orientação do campo, tendo em conta o sentido da corrente);
- À velocidade do condutor através do campo.

O sensor é independente de parâmetros como a temperatura (as temperaturas nas quais opera variam de -5 a 70 °C e o contador varia de -5 a 40 °C), concentração de sedimentos suspensos, salinidade, etc., e devido ao facto de não possuir partes móveis, revela-se robusto e muito resistente. O aparelho permite também, através da ligação a um computador portátil (via RS 232 C interface), gravar diagramas de corrente, e a partir daí, representar o comportamento da mesma.

A medição em cada ponto cobre apenas a componente axial da velocidade da corrente, o que significa que se obtém o efeito a 100 % da mesma componente. A velocidade obtida pode ser negativa, o que significa que a corrente se desloca no sentido contrário (esta situação acontece, geralmente, junto às margens em reentrâncias consideradas zonas mortas). É um aparelho muito sensível à verticalidade da haste (que controla a horizontalidade do aparelho), o que impossibilita a existência de movimentos bruscos ou inclinações. Para além de que necessita de um período mínimo, na mudança de um ponto para outro, não inferior a 10 segundos em modo de leitura contínua, para permitir estabilizar e iniciar nova leitura.

O peso do sensor é de cerca de 0,5 kg e do contador cerca de 1,8 kg, variando a forma e dimensão de modelo para modelo, sendo o cabo de ligação de 3 metros de comprimento. O indicador de velocidades possui um teclado operativo, que permite efectuar médias das velocidades em intervalos de 2 a 60 segundos (“average mode”) ou ler velocidades instantâneas (“online mode” – 2 valores de velocidade por segundo), o que permite registar várias velocidades consecutivamente (apropriado para locais onde as velocidades variam rapidamente).

Este instrumento é adequado para medições de velocidades em águas rasas, com recurso a uma haste, mas também pode ser utilizado com recurso a outros sistemas de suspensão, como por exemplo a cabo, tal como o molinete. Para além das várias semelhanças com o aparelho convencional (molinete) já descritas, possui também uma distância mínima de colocação do sensor, tanto relativamente à superfície como ao fundo – mais ou menos 3 centímetros. Todavia, existem diferenças mecânicas e eléctricas construtivas entre estes dois equipamentos, que os tornam funcionalmente diferentes. Como tal, o electromagnético pode ser colocado em situações operacionais, às quais o molinete não consegue operar, como por exemplo:

- Velocidades da corrente inferiores à velocidade de resposta do molinete (velocidade inicial indispensável para começar a rodar a hélice), apesar de a incerteza ser superior nos valores de velocidade inferiores;
- Água repleta de plantas aquáticas, que impedem a hélice de rodar;
- Água com grande concentração de sólidos suspensos, que também impede a hélice de rodar.

O aparelho electromagnético é apropriado para as seguintes situações:

- Medições de corrente de efluentes domésticos não tratados, efluentes tratados, água potável em operações de tratamento e água de refrigeração para centrais eléctricas. Em todos estes casos o canal deverá ser rectangular e feito de betão [6];
- Medições de corrente em rios com ervas em crescimento, grande concentração de sedimentos, condições instáveis de leito, efeitos “backwater” ou correntes reversíveis e margens (águas rasas), para além dos óbvios rios com boas características para serem medidos.

Com o objectivo de reduzir o tempo que uma medição demora a ser efectuada, é usual diminuir o tempo de medição de cada ponto. No entanto, menores tempos de medição aumentam a incerteza dos valores obtidos. Em regimes turbulentos a adopção de um tempo de medição menor ou igual a 30 segundos, torna a medição volátil, podendo a incerteza atingir os 20 %.

Num canal isolado de secção transversal rectangular, a incerteza total a um nível de 95 % de confiança será de 5 %. Em canais não isolados, a incerteza total será de 10 %;

Para velocidades muito baixas (0,02 m/s), a incerteza é grande (± 10 %), logo é necessário redobrar cuidados durante a medição, nomeadamente na verticalidade da haste. Para velocidades da gama dos 0,10 m/s é de esperar um erro de 3 % que diminui à medida que a velocidade aumenta.

3.4.2. CALIBRAÇÃO

Dependendo do design específico do aparelho, a calibração pode ser única para o comprimento do cabo que faz a ligação ao contador de velocidades e para o tipo de sinal usado durante a calibração. Se o cabo for substituído por um de comprimento diferente será necessário proceder a uma nova calibração do aparelho. Assim sendo é necessário assegurar que o equipamento é calibrado na sua totalidade, combinando os diversos componentes constituintes (sensor, cabo e contador).

Se alguma mudança nas propriedades for sentida e os valores obtidos se revelarem suspeitos, nomeadamente os obtidos nos testes preliminares que antecedem qualquer medição (descritos nos procedimentos, capítulo 4) é necessário proceder a uma calibração.

Antes de efectuar a compra do equipamento devem definir-se as especificações da calibração perante o fabricante. Deverão existir pontos suficientes calibrados para assegurar que o equipamento obtenha uma performance satisfatória em qualquer gama de velocidades medidas com especial interesse (por exemplo, velocidades baixas).

Estes aparelhos vêm calibrados de fábrica, mas mesmo efectuando uma boa manutenção exigem uma verificação, no mínimo, de 3 em 3 anos, independentemente do uso a que esteja sujeito. [6]

3.5. ADCP – ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER

As siglas ADCP reduzem o nome do longo termo que classifica este instrumento de medição de caudais – *Acoustic Doppler Current Profiler*, mas cada uma significa:

- i. A: Acústico, pois usa ondas sonoras para sondar velocidades;
- ii. D: Doppler, visto que usa o efeito doppler para medir a velocidade, sendo este proporcional à velocidade da corrente;

- iii. C: *Current* – o ADCP necessita de três feixes para determinar três vectores componentes da velocidade da corrente e a configuração de quatro feixes fornece dois vectores verticais que utiliza para verificar a integridade dos dados obtidos;
- iv. P: Perfilador, pois mede as velocidades de um grande número de pontos (células de profundidade) ao longo da mesma vertical.

A entrada destes equipamentos no mercado das medições de caudais revolucionou o modo de funcionamento operacional dos hidrometristas, pois vieram ocupar um lugar de destaque na liderança das técnicas de medição de caudais, sobrepondo-se aos dispendiosos, morosos e por vezes impossíveis de utilizar, métodos convencionais.

3.5.1. PRINCÍPIO DE OPERAÇÃO

O ADCP é um equipamento que permite medir velocidades, batimetria de canais e ainda caudais, através do efeito doppler, de acordo com o método secção – velocidade. Existem ADCP's que medem perfis de velocidades da superfície ao leito e vice-versa, sendo os últimos montados no leito do rio. Os ADCP's montados em sistemas flutuantes são um exemplo dos que medem perfis de forma descendente.

Consoante a especificidade do modelo que se dispõe, esta tecnologia pode possuir diversas finalidades, que são descritas de seguida:

- Medições para a marinha (ondas na costa e oceanos profundos);
- Recursos hídricos (fluxos, descargas em rios, canais criados pelo homem);
- Navegação e tecnologia para mapas;
- Batimetria.

Os vários modelos são desenvolvidos especificamente para as mais diversas situações. Consequentemente, o modelo adequado para qualquer situação depende da:

- Largura do canal;
- Profundidade;
- Carga de sedimentos a ser medida.

Os ADCP's transmitem ondas sonoras através da água (figura 3.11) e as partículas transportadas pela corrente reflectem o som de volta. A diferença de frequências observadas tem o nome de *pitch*. Quando as partículas se afastam do local onde a onda sonora é emitida, o som reflectido possui uma frequência e *pitch* inferior (doppler shift negativo) ao reflectido quando a partícula se aproxima (doppler shift positivo).

A mudança de frequência do sinal transmitido pelo transdutor (figura 3.12), causada pelo movimento relativo entre o aparelho e o material em suspensão na água sob a acção de feixes de ondas sonoras tem o nome de efeito doppler.

Como o material em suspensão se desloca com a mesma velocidade da corrente, a magnitude do efeito doppler é directamente proporcional a essa velocidade. Medindo a frequência dos ecos que retornam do material em suspensão e comparando com a frequência do som emitido, o ADCP determina, não

apenas a velocidade da partícula, que é a mesma da corrente à mesma profundidade, mas também a respectiva profundidade.

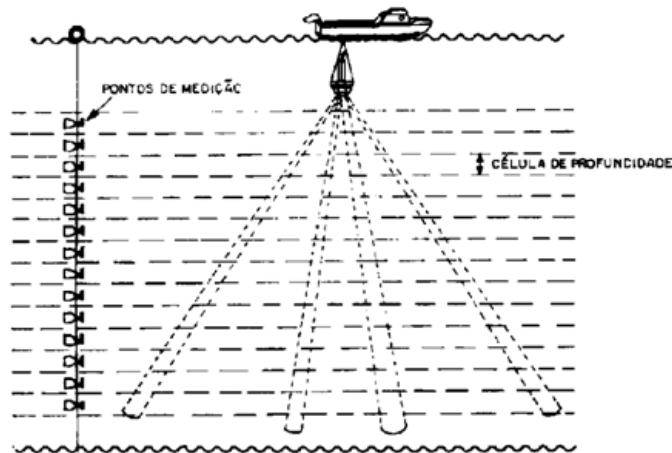


Figura 3.11 - Técnica de leitura do ADCP de banda larga (adaptada de RD Instruments)

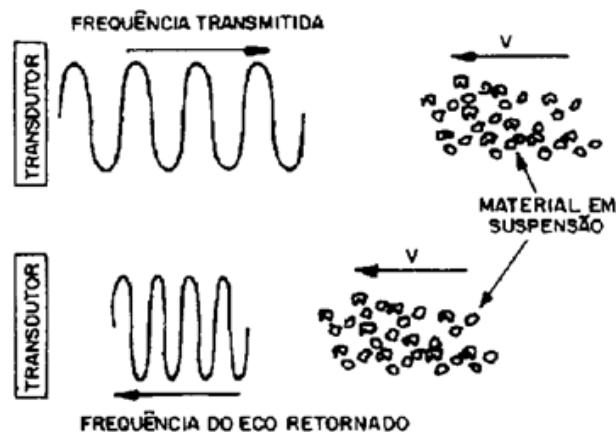


Figura 3.12 - Mudança de frequência causada pelo efeito Doppler

A equação do doppler shift é: [1]

$$Fd = Fs \times \frac{v}{c} \quad (3.3)$$

O som é enviado pelo emissor e o eco recebido pelo transdutor (emissor/receptor). O ADCP transmite séries de pulsos acústicos, de nome “pings” ao longo de 3 ou 4 feixes com frequências constantes, que dependem do modelo e podem variar entre 75 e 3000 kHz. A frequência é inversamente proporcional à profundidade, logo os modelos que operam com maiores frequências, medem velocidades a profundidades inferiores.

O efeito doppler é direccional. Qualquer mudança de frequência corresponde a uma componente de velocidade ao longo da direcção do transdutor.

O ADCP opera a três dimensões, usando relações trigonométricas, mas os feixes sonoros do ADCP (figura 3.13) medem apenas duas componentes do vector da corrente. Como as componentes não estão na mesma direcção, estas podem ser transformadas em dois vectores ortogonais (horizontal e vertical). Um segundo par de feixes sonoros, que giram 90° do primeiro par, gera outro conjunto de vectores, totalizando três vectores ortogonais (x, y, z), que são as três componentes do vector velocidade da corrente (u, v, w).

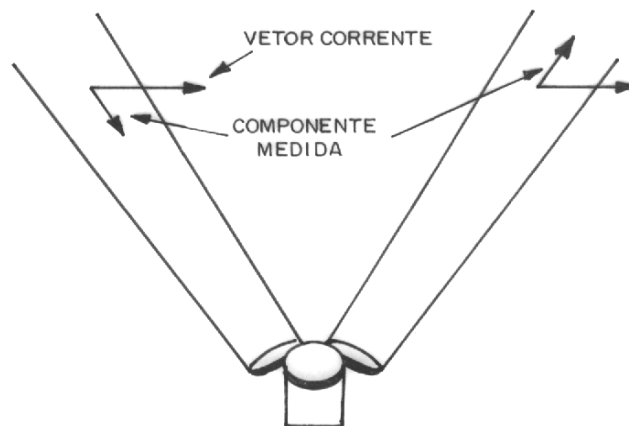


Figura 3.13 - Geometria dos feixes sonoros

Os pulsos acústicos são enviados pela água, mas cada partícula emite um eco com frequências diferentes (figura 3.14). O pulso recebido pelo transdutor é a soma dos ecos individuais das partículas em suspensão (figura 3.15). Pela análise das figuras, é possível ver que a intensidade das frequências que retornam das partículas é inferior à emitida pelo aparelho, pois nem toda a energia é devolvida e cada partícula possui uma fase distinta.

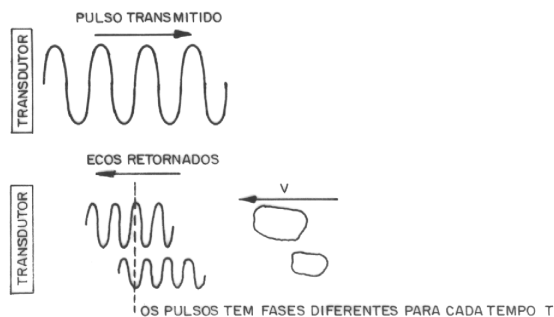


Figura 3.14 - Frequências emitidas pelas partículas em suspensão

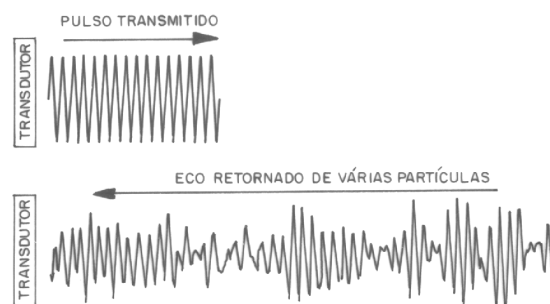


Figura 3.15 - Modulação dos ecos recebidos por várias partículas versus tempo

O ADCP possui a capacidade de levantar o perfil de velocidades ao longo da seção, através de feixes nos quais os sinais de retorno são analisados. Com efeito, existe um intercâmbio de sinais nos transdutores, em intervalos regulares, de acordo com os tempos de retorno dos ecos na água. Este processo de distribuição dos registos dos ecos refere-se às seções distintas da coluna de água, conhecidas como células de profundidade (figura 3.11), que variam espacialmente com a frequência. [9] [10]

Cada célula de profundidade é comparável a um equipamento de medição de velocidades em pontos singulares, logo o ADCP pode ser entendido como uma cadeia de vários molinetes igualmente espaçados, mas tecnologicamente mais desenvolvida. Portanto, é possível fazer a seguinte analogia:

- O tamanho das células de profundidade corresponde à distância entre os medidores, pertencentes à cadeia;
- O número de células de profundidade corresponde ao número de equipamentos.

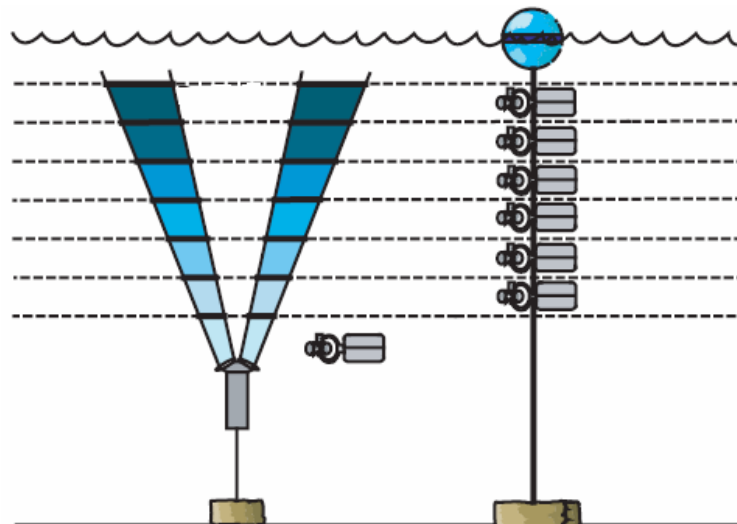


Figura 3.16 - Analogia entre ADCP e cadeia de aparelhos convencionais (molinetes)

Com estes dados e a respectiva distribuição das componentes das velocidades medidas para as diferentes células de profundidade, o ADCP gera o perfil de velocidades.

Contudo, existem duas grandes diferenças entre o perfil de velocidades obtido pelo ADCP e a cadeia de medidores singulares (molinetes hidráulicos). A primeira consiste no facto de as células de profundidade do perfil de velocidades definido pelo aparelho acústico serem sempre igualmente espaçadas, ao contrário da cadeia de molinetes, na qual podem ser espaçadas em intervalos irregulares. A segunda consiste no valor de velocidades obtido, visto que o ADCP obtém uma média da velocidade para cada intervalo da célula de profundidade e a cadeia de medidores mede apenas um único ponto no espaço. [1]

O ADCP move-se perpendicularmente à corrente do rio e mede tanto a velocidade da corrente como a velocidade do sistema flutuante. A velocidade do sistema é medida através do doppler shift de pulsos acústicos separados reflectidos a partir do leito do rio. Esta técnica tem o nome de monitorização de fundo (“*bottom tracking*”). A profundidade do rio é estimada a partir dos ecos de monitorização de fundo (“*bottom-track echoes*”), pois as ondas sonoras vão até ao fundo do rio e retornam de seguida. O sistema diferencial de posicionamento global (DGPS) providencia uma técnica alternativa para medir a velocidade do sistema flutuante (o princípio de funcionamento é explicado sucintamente no Anexo 1).

Quando o instrumento acústico de doppler é usado para medir caudais transmite *pings* (séries de pulsos acústicos). Os *pings* que medem a velocidade da água são os *pings* de água e os *pings* usados para medir a velocidade do sistema flutuante tem o nome de *pings* de monitorização de fundo. Normalmente, estes dois tipos de *pings* vêm intercalados durante a transmissão. O conjunto dos dois tipos de *pings* forma um “*ensemble*”, sendo único para cada vertical medida. A velocidade e profundidade medidas para cada ping produzem um perfil de velocidade e profundidade único para cada *ensemble*.

Os métodos convencionais, que utilizam medidores de pontos singulares, definem o número de pontos a medir numa vertical a partir da profundidade existente. O ADCP, dependendo do modelo, pode medir velocidades em intervalos de 0,25 metros (e até menos) e numa vertical de 10 metros obter 34 medições de velocidade. Não obtém as 40 medições, pois existem dois intervalos ao longo de todas as verticais, constituintes da secção, nos quais o aparelho não consegue medir as velocidades, próximo da superfície e do leito do canal, como mostra a figura que se segue. [9]

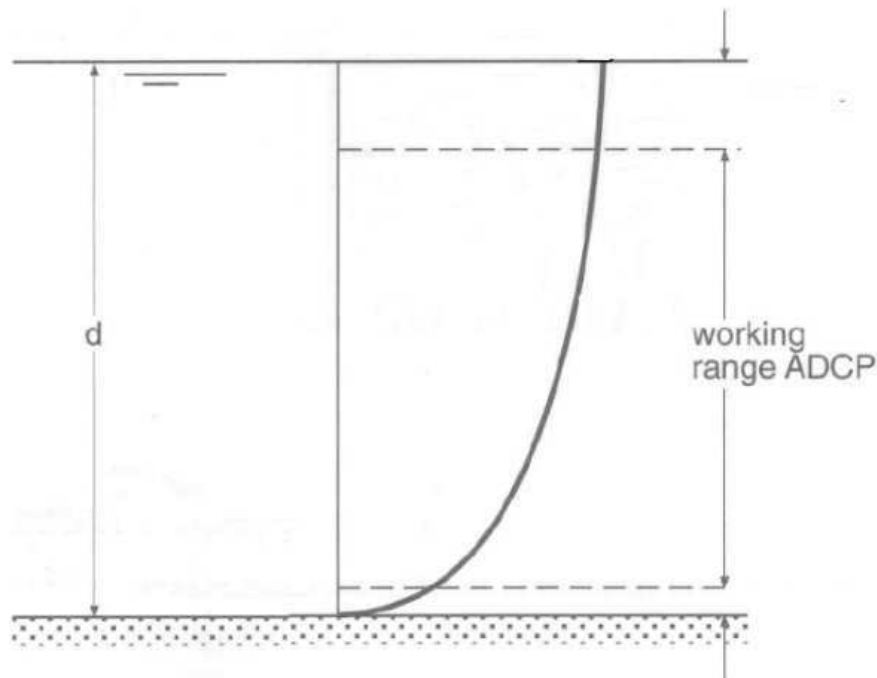


Figura 3.17 - Alcance do ADCP num perfil vertical de velocidades (adaptado de W. Boiten 2000)

A impossibilidade de medir as velocidades próximo da superfície é devida, não apenas à face do transdutor que já se encontra submersa por alguns centímetros, mas também à distância em branco – “*blanking distance*” (distância na vertical desde a face do transdutor na qual não é possível medir nenhuma velocidade, devido ao tempo que o transdutor precisa para atenuar as vibrações a que está sujeito, imediatamente após a transmissão de pulsos – cerca de 0,25 metros).

A impossibilidade de medir as velocidades no leito do canal deve-se à interferência provocada pela energia acústica dos lóbulos laterais a 30 e 40° dos feixes principais. Os reflexos da energia do lóbulo lateral a partir do leito oprimem os ecos do feixe principal provenientes das partículas existentes no fundo da coluna de água (figura 3.18).

No entanto, o software do equipamento extrapola os valores das velocidades para esses mesmos intervalos, e calcula os correspondentes caudais. Os valores das velocidades são estimados por dois métodos:

- “*Constant method*”, no qual a velocidade à superfície ou fundo é igual à velocidade da primeira e última célula de profundidade medida, respectivamente. Este método não é considerado apropriado porque não representa o perfil de velocidades típico num canal aberto;
- “*Power method*”, em que a velocidade é ajustada pelo método dos mínimos quadrados, usando a “*power-law velocity distribution*”, um tipo de lei de distribuição. Para este método, o operador selecciona o expoente a utilizar na equação 2.2 para obter a velocidade (normalmente 1/6). Conceptualmente o “*power method*” é um método melhor para a estimativa de velocidades próximo do leito.

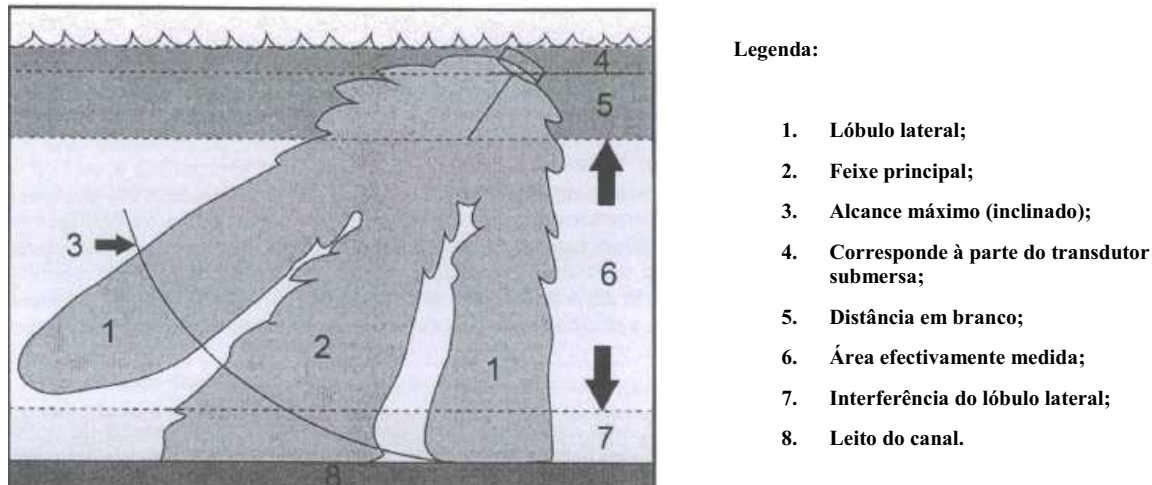


Figura 3.18 - Diagrama esquemático das áreas onde a velocidade não é medida, próximo da superfície e leito do rio

Para além da limitação anterior, existe outra que corresponde à incapacidade de medir velocidades e distâncias às margens. As águas rasas e a interferência nos sinais acústicos das paredes laterais impedem o ADCP de operar normalmente. Consequentemente, é necessário efectuar previamente uma travessia teste para determinar a posição inicial e final (para as quais o ADCP já consegue efectuar medições de velocidades), e de seguida medir as distâncias destes pontos às margens para posteriormente inserir no programa e começar efectivamente a medição de caudal. [12] [9]

Se as áreas laterais forem consideradas triangulares (rios onde o fundo cresce gradualmente até à margem), o programa utiliza a seguinte expressão para calcular a velocidade média da secção:

$$Ve = 0,707 * Vm \quad (3.4)$$

Se as áreas laterais forem consideradas paredes de água verticais (rios onde as margens são cavadas ou possuem parede com grande elevação), o programa utiliza a seguinte expressão para calcular a velocidade média da secção:

$$Ve = 0,91 * Vm \quad (3.5)$$

O respectivo caudal, referente à margem, é estimado pela seguinte fórmula:

$$Qe = (C * Vm * L * dm) \quad (3.6)$$

Os pacotes de software desenvolvidos para os ADCP's possuem procedimentos para estimar os caudais impossíveis de medir, com metodologias específicas para cada situação. As diversas componentes do caudal estimado encontram-se localizadas na figura 3.19 e aparecem descriminadas nos relatórios de medição, fornecidos pelos aparelhos (exemplos presentes no Anexo 2, nas folhas de

cálculo de caudais dos aparelhos acústicos, utilizados durante as campanhas de medição de caudal realizadas).

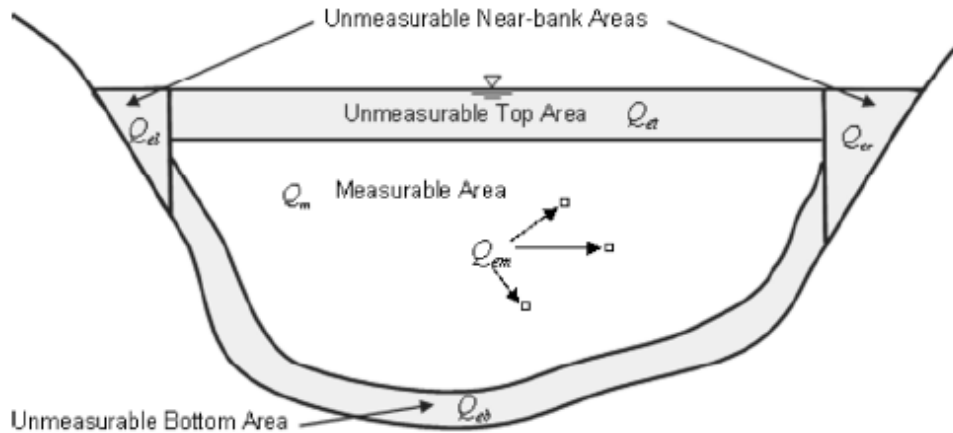


Figura 3.19 - Esquema de todas as áreas susceptíveis de serem medidas e não medidas ao longo de uma secção transversal a partir de medições efectuadas com recurso ao barco em movimento

O caudal é o somatório de todas as componentes, como se pode ver pela expressão que se segue:

$$Q_t = Q_m + Q_{em} + Q_{et} + Q_{eb} + Q_{el} + Q_{er} \quad (3.7)$$

A equação geral para cálculo do caudal de um rio, através de uma superfície arbitrária s , é:

$$Q_t = \int_s \bar{V}_f * \bar{n} \, ds \quad (3.8)$$

A equação descrita em cima é apenas uma das formas de escrever o conceito base para o cálculo do caudal (equação 2.1) integrada ao longo de uma secção. Para medições com recurso a sistema flutuante em movimento, o caudal Q_m numa porção de área da secção transversal definida pelo plano vertical ao longo da trajectória percorrida pelo ADCP, é estimado a partir de medições da velocidade da corrente e sistema flutuante. O produto $\bar{V}_f \times \bar{n}$ é igual a zero quando o sistema flutuante se move contra ou a favor da corrente e será igual a $\bar{V}_f$ quando o sistema se mover perpendicularmente à corrente (ambos os vectores estão no plano horizontal).

Como o ADCP fornece as velocidades do barco e da corrente no sistema de coordenadas do sistema flutuante, é conveniente reformular a equação anterior:

$$Q_t = \int_0^T \int_0^d [(\bar{V}_f \times \bar{V}_b) \times \bar{K}]. dz. dt \quad (3.9)$$

Este algoritmo assenta bem no sistema de medições de caudal do ADCP e pode ser descrito como o produto da velocidade do sistema flutuante pela velocidade da corrente, primeiro integrado ao longo da secção, de seguida novamente integrado ao longo da largura da secção (figura 3.20).

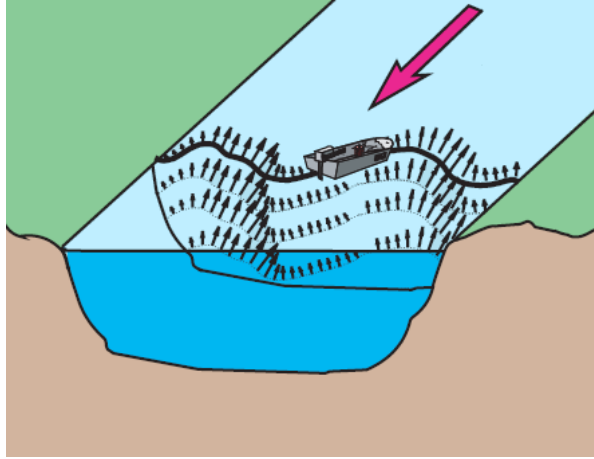


Figura 3.20 - Produto dos vectores durante a travessia

O produto vectorial $(\vec{V}_f \times \vec{V}_b) \times \vec{K}$ pode ser convertido em coordenadas rectangulares:

$$(\vec{V}_f \times \vec{V}_b) \times \vec{K} = a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1 \quad (3.10)$$

A expressão que se segue, tem o nome de produto vectorial da velocidade e as suas propriedades estão representadas na figura 3.21:

$$f = a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1 \quad (3.11)$$

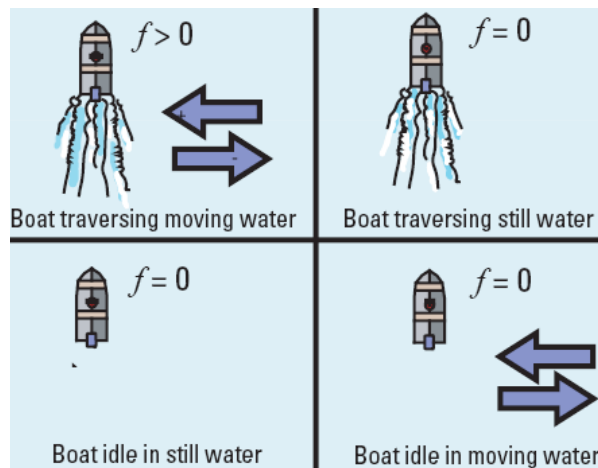


Figura 3.21 - Propriedades do produto vectorial velocidade da corrente e velocidade do sistema flutuante

É de salientar que o sistema flutuante tem de atravessar um campo de velocidades antes de o produto vectorial ser maior que zero. f é calculado a partir das velocidades médias de cada *ensemble* e exprime-se em m/s.

Quando o produto vectorial é integrado, o resultado vem em m^3/s , e ao substituir o tempo de início e fim de cada *ensemble*, o valor do caudal é determinado para cada *ensemble* respectivamente (figura 3.20). A soma de todos os caudais parciais determina o valor do caudal total no canal. A mecânica desta operação exige que a equação 3.8 seja transformada na que se segue para ser usada pelo *software* do ADCP. [14]

$$Q_m = \sum_{i=1}^{N_s} \left[\int_0^d f_z \cdot dz \right] t_i \quad (3.12)$$

3.5.2. PERFORMANCE DO ADCP - INCERTEZAS

Existem inúmeros factores que afectam a performance dos perfiladores acústicos de efeito doppler na medição de velocidades em rios e respectivos caudais, criando erros e aumentando as incertezas. Esses factores podem ser divididos em:

1. Características dos instrumentos e software;
2. Características do rio;
3. Treino e experiência dos operadores do sistema.

Segue-se agora uma descrição dos factores enumerados:

1. Características dos instrumentos e software

- Transdutores e feixes

Os instrumentos acústicos de doppler estão disponíveis geralmente em configurações de 3 e 4 feixes (ver figura 3.22). Actualmente já existem configurações de 9 feixes (ver figura 3.23). O processo computacional de determinação de velocidades a 3 dimensões exige, no mínimo, 3 feixes acústicos. O quarto feixe é usado para analisar o erro da velocidade. Um erro de velocidade significativo pode indicar uma corrente extremamente turbulenta ou velocidades mal obtidas.

Cada um dos feixes é posicionado com elevado rigor a um ângulo específico com a horizontal e com o feixe seguinte (120 e 90° para instrumentos de 3 e 4 feixes, respectivamente). Os feixes são direccionados para um ângulo conhecido na vertical, tipicamente 20 ou 30°. A grandeza deste ângulo afecta a performance do equipamento. Um ângulo maior aumenta a largura do cone do feixe, o que permite ao aparelho medir colunas de água mais largas, uma vez que o instrumento detecta e processa ecos ao longo da coluna de água para cada feixe. No entanto, aumenta a interferência do lóbulo lateral. A perda de alcance de análise vertical no leito, devida a uma interferência do lóbulo lateral, é de 15 %, se o ângulo for de 30° e 6 %, se o mesmo ângulo for de 20°.



Figura 3.22 - Configuração de 4 feixes (Rio Grande ADCP)



Figura 3.23 - Configuração de 9 feixes (River Surveyor M9)

- Tamanho e frequência

O tamanho e a frequência do ADCP a ser adoptado depende das características da secção do rio a ser medido e o modo de suspensão utilizado. A profundidade do rio define o modo de suspensão a utilizar e determina a frequência do sistema, pois quanto maior a frequência do sinal transmitido, maior a atenuação do sinal acústico e menor alcance útil. Para profundidades de 20 e 130 metros são utilizadas frequências de 1200 e 300 kHz respectivamente.

- Tamanho e frequência

O tamanho e a frequência do ADCP a ser adoptado depende das características da secção do rio a ser medido e o modo de suspensão utilizado. A profundidade do rio define o modo de suspensão a utilizar e determina a frequência do sistema, pois quanto maior a frequência do sinal transmitido, maior a atenuação do sinal acústico e menor alcance útil. Para profundidades de 20 e 130 metros são utilizadas frequências de 1200 e 300 kHz respectivamente.

2. Características do rio

As características do rio afectam a performance do equipamento na medição de velocidades e caudais. Um rio com um centro muito fundo e águas rasas ou existência de cardumes em locais próximo das margens pode provocar problemas nas medições com um único sistema de frequências, visto que a configuração interna do sistema é diferente para profundidades elevadas e pouco profundas. Esta situação pode acrescentar incerteza à medição.

A incerteza também é afectada pelo grau de flutuações turbulentas presente na secção do rio a ser medido (as flutuações são comuns e podem ser medidas pelos perfiladores, ao contrário dos aparelhos convencionais que se revelam incapazes de o fazer).

O número de partículas suspensas na água também pode afectar a incerteza na medição de velocidades. Poucas partículas pode resultar num número limitado de sinais recebidos pelas células de profundidade dos *ensembles*, embora esta situação seja rara. Muitas partículas em suspensão são, normalmente, a ocorrência mais comum, especialmente durante inundações. Neste caso, a penetração de sinais acústicos para profundidades elevadas é reduzida.

O leito de um rio possui muitos sedimentos. Uma grande concentração de sedimentos próximo do leito pode contaminar o retorno dos sinais acústicos nas medições, com recurso à técnica de monitorização do fundo dos rios. Como resultado, estas medições, são efectuadas a montante da verdadeira localização do sistema flutuante e a velocidade medida sofre um desvio, porque o ADCP mede, não só a velocidade do sistema flutuante, mas também a velocidade do movimento das partículas próximo do

leito. A alteração de padrões de movimento do leito impede o ADCP de medir com precisão, durante as travessias ao longo da largura do rio. O DGPS pode ser usado para obter a posição do sistema flutuante e medir velocidades, no entanto o uso de uma velocidade de referência externa introduz potenciais erros na medição final de velocidades e caudais.

3. Treino e experiência dos operadores do sistema

A performance do aparelho depende directamente do operador do sistema flutuante, quer seja um catamaran ou um barco a motor (se estiver perante um grande rio) e do operador do sistema.

O operador do sistema de suspensão do aparelho (o barco) deve ter experiência suficiente para manter o verdadeiro curso do barco durante a travessia, mantendo o barco a uma velocidade inferior à da corrente. Deve também manobrar o barco de forma a minimizar a turbulência – o “*pitching and rolling*” (figura 3.24), que pode reduzir a precisão durante a medição. A experiência do operador de sistema é necessária para configurar os parâmetros iniciais do equipamento, de acordo com as características da secção. [9]

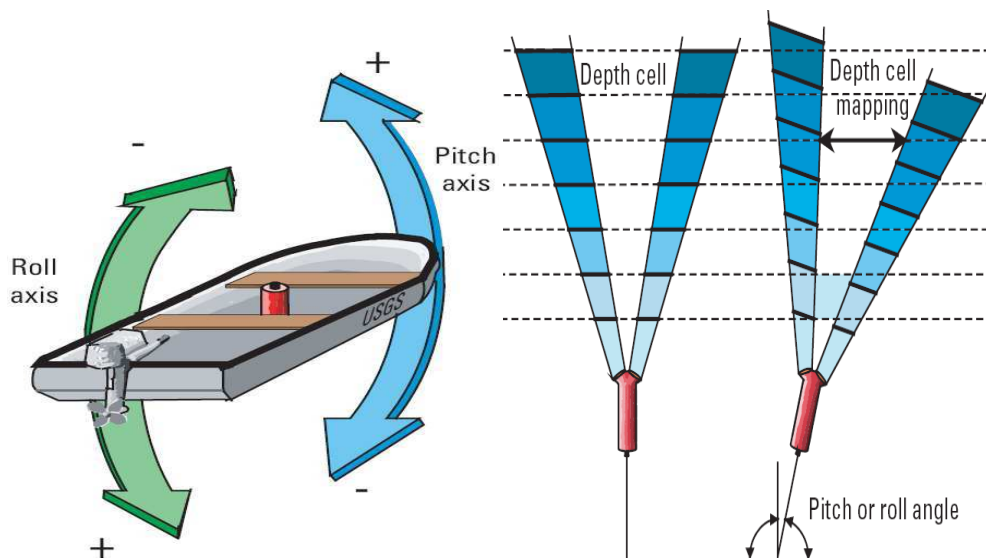


Figura 3.24 - Imagens descritas do efeito “pitching and rolling”

As medições de velocidades estão sujeitas a inúmeros factores que provocam erros. O erro numa medição consiste na diferença de resultados entre o valor real e o valor medido. Na grande maioria das situações, não é possível saber o valor real, muito mais quando se tratam de caudais, sujeitos a inúmeros parâmetros aleatórios. Assim sendo, é necessário estimar as fronteiras (máxima e mínima) que limitam o erro total possível na medição. Desta forma, reconhece-se que um nível de confiança de 95 % estabelece os limites para as incertezas numa medição. Assim, todas as medições que obtêm resultados que difiram mais de 5 % da média não são consideradas aceitáveis. [11]

3.5.3. CALIBRAÇÃO

Uma das limitações do ADCP é a inexistência de uma calibração independente e de um sistema de verificação. A calibração é limitada às especificações fornecidas pelos fabricantes e vendedores, no entanto, a verificação é acompanhada de alguns métodos (capítulo 4). Para além da aplicação destes métodos para assegurar que o equipamento está a trabalhar correctamente, devem ser efectuadas,

periodicamente e simultaneamente, medições com instrumentos tradicionais para posterior avaliação e comparação dos resultados.

As comparações com os métodos tradicionais permitem verificar os valores para os caudais obtidos pelos ADCP's, mas não permitem verificar os valores para as velocidades obtidas. De forma a verificar as medições de velocidades, os ADCP's podem também ser colocados no mesmo tipo de tanques de reboque que são utilizados para a calibração de molinetes de eixo horizontal e vertical. O aparelho é colocado num carrinho de reboque dentro do tanque a uma velocidade constante. O tanque deve ser relativamente largo e profundo (mais de 4 metros) de forma a evitar as interferências de fundo e laterais. Para os testes, é introduzido material no tanque, que sofre variações no retroespalhamento, provocando incertezas.

Para além dos tanques de reboque, a calibração pode ser verificada recorrendo ao modelo da “bacia de David Taylor”, em Carderock, Maryland. A bacia possui 15,5 metros de largura, e 6,7 metros de profundidade.

O U.S.G.S (*United States Geological Survey*) está a investigar um método de campo para a verificação de perfiladores acústicos. O método consiste no uso, em simultâneo, de um aparelho de medição pontual muito preciso, equipado com DGPS e um perfilador acústico, para verificar a distância e a velocidade de um ADCP. Estes aparelhos são utilizados ao longo de uma travessia de 400 a 800 metros num lago ou qualquer outro corpo líquido com correntes mínimas. [9]

3.6. ADV – ACOUSTIC DOPPLER VELOCIMETER

As siglas ADV reduzem o nome do termo que classifica este instrumento de medição de caudais – *Acoustic Doppler Velocímeter*, mas cada uma significa:

- i. A: Acústico, pois usa ondas sonoras para sondar velocidades;
- ii. D: Doppler, visto que usa o efeito doppler para medir a velocidade, sendo este proporcional à velocidade da corrente;
- iii. V: Velocímetro, pois mede as velocidades, ponto a ponto, ao longo da vertical, com recurso a tecnologia acústica.

Este aparelho funciona da mesma forma que o ADCP, visto que utiliza a mesma tecnologia para a medição de velocidades. No entanto, apresenta diferenças no modo operativo, visto que efectua medições de velocidades pontuais e não mede profundidades, ao contrário do perfilador acústico que efectua medições contínuas de velocidade e profundidade. Este aparelho é operado com recurso a um sistema de suspensão a haste, igual aos molinetes hidráulicos e sensores electromagnéticos, exigindo que o operador entre dentro do rio. Os procedimentos operacionais são os mesmos utilizados para os equipamentos referidos, em termos de medição de largura, número de verticais a adoptar, posicionamento de haste e operador, etc, devendo ser consultado o capítulo 4 para mais informações sobre esta matéria. Consequentemente, é limitado a secções de baixa profundidade e velocidade. O aparelho é composto pela haste, bolha que permite controlar a verticalidade da haste (figura 3.25), sensor e aparelho indicador de valores obtidos (figura 3.26).



Figura 3.25 – Bolha que permite controlar a verticalidade da haste do Flow Tracker ADV (fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)



Figura 3.26 – Aparelho indicador do Flow Tracker ADV; neste caso indica a área e a largura da secção medida [fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal]

Durante a medição permite escolher o método de cálculo para a velocidade média a aplicar em cada vertical, mediante o número de pontos que se pretender medir (ver subcapítulo 2.4.2). No final de cada ponto medido, fornece a indicação da incerteza da velocidade, relativamente à precisão do valor obtido, indicando se o ponto deve, ou não, ser medido novamente. Concretizada a medição de velocidades na vertical, é necessário inserir a distância à próxima vertical a ser medida. Assim, no final da medição, possui a capacidade de calcular, de imediato, a área total e largura da secção medida (figura 3.26), indicando a velocidade média da secção, a velocidade máxima obtida, o número de verticais medidas (figura 3.27) e respectivo caudal (figura 3.28). Para além dos dados referidos, calcula a incerteza da medição (figura 3.29), de acordo com a incerteza calculada para cada ponto medido e fornece ainda a indicação do número de verticais medidas, como é possível ver pela figura que se segue:



Figura 3.27 – Indicador do Flow Tracker ADV a mostrar velocidades obtidas na medição e o número de verticais medidas (fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009)



Figura 3.28 – Aparelho indicador do Flow Tracker ADV a mostrar caudal obtido durante a medição (fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)



Figura 3.29 – Indicador do Flow Tracker ADV a mostrar incerteza obtida na medição efectuada (fotografia tirada no rio Azibo no dia 4 de Dezembro de 2009, durante uma campanha de medições de caudal)

Introduzindo a informação obtida no local de medição num computador, o software do programa emite um relatório de medição, com todos os detalhes relativamente aos valores medidos, incertezas e cálculos efectuados. Este relatório pode ser visto no Anexo 2, campanha de medição de caudal número 4, secção 6.

Para a obtenção de informações sobre a evolução histórica dos equipamentos descritos, deve ser consultada a nota histórica, referente aos equipamentos, no Anexo 1.

4

METODOLOGIAS E PROCEDIMENTOS DE CAMPO

4.1. SUMÁRIO

Este capítulo descreve os procedimentos e metodologias essenciais para uma correcta medição de caudais em rios, subdivididos não pelo tipo de equipamento, mas sim pelos diferentes sistemas de suspensão que podem ser utilizados.

Diferenciam-se os diversos modelos utilizados durante as campanhas de medição de caudal realizadas no âmbito desta Tese de Mestrado e as metodologias para a aplicação de cada equipamento.

4.2. METODOLOGIAS PARA A MEDIÇÃO DE CAUDAIS EM RIOS

4.2.1. DEFINIÇÃO DE UM PERFIL DE MEDIÇÃO

A secção transversal a escolher e analisar, independentemente do equipamento a utilizar, deve conjugar as seguintes condições:

- O perfil deve estar localizado num troço rectilíneo, numa área distanciada de 5B do final da curva a montante e 2B anterior à curva a jusante, sendo B a largura do rio (figura 4.1);
- Deve estar localizado num trecho estável (se a secção do rio a jusante é instável, então irão surgir alterações na relação entre Q e H);
- Se o local a escolher for utilizado frequentemente para a realização de futuras medições, então deve ser marcado de forma a não haver margem para dúvidas relativamente ao local de medição, havendo necessidade de colocação de uma escala. Independentemente da secção ser usada apenas uma vez, ou com pouca frequência, não havendo forma de medir o nível de água, deve existir algum cuidado no sentido de assegurar que os níveis de água não se alteram significativamente durante a medição;
- Devem evitar-se locais perto de confluências (figura 4.2), locais onde se possam sentir os efeitos da “*backwater*” (correntes de montante provenientes de açudes, canais, descarregadores, etc.) e locais onde existe possibilidade de águas estagnadas/mortas estarem presentes. É recomendado escolher um local a montante da secção de controlo;
- A posição do perfil de medição, normal ao sentido da corrente, deve ser definida nas duas margens de modo visível e perfeitamente identificável. Geralmente, são materializados por postes, argolas ou ganchos, mas, provisoriamente, podem ser assinalados por marcações em rochas, árvores ou estacas;

- O perfil deve ser, sempre que possível, acessível com facilidade e o local de realização das medições acessível para todos os caudais a medir;
- Deve ser, sempre que possível, constituído por um só canal e deve existir uma estação de leitura na secção escolhida;
- Em cada perfil, deve haver do(s) lado(s) que se procede à medição, uma marca fixa bem visível – a origem – (M1 e/ou M2), a partir da qual se referencia a distâncias à linha de água e as verticais de observação das velocidades, permitindo assim, averiguar se o perfil sofre alterações significativas ao longo do tempo e definir a localização e espaçamento das verticais a medir. Os referidos pontos devem ser afastados da linha de água o suficiente, de modo que, independentemente do nível de água presente, se possam iniciar as medições a partir desses pontos. A(s) marca(s) devem ser levantada(s) topograficamente para não existirem erros na medição de distâncias verticais;
- Deve existir uma caderneta de medições que acompanhe o hidrometrista nas campanhas de medição de caudal e que consista na listagem de todos os perfis de medição existentes. A lista deve ser permanentemente actualizada. Para cada perfil pertencente à lista deve ser assinalado cada nível de água medido e correspondente caudal, juntamente com a respectiva localização e distância entre verticais que foi adoptada em relação aos pontos M1 e M2. A consulta dessa lista permite, muitas vezes, alterar o programa de trabalhos a realizar.
- Os perfis devem ser identificados no terreno pela mesma indicação que consta na listagem dos perfis da caderneta de medição na posse do hidrometrista, que será também aquela pela qual este o deve identificar na caderneta de medição;
- No caso de o rio ser muito largo e consequentemente a secção a medir também, deve ser instalada uma escala auxiliar na margem oposta pois existe probabilidade de haver diferença de níveis entre as duas margens. O valor do nível a adoptar como base para o perfil da secção transversal e para obtenção de caudal a partir da curva de vazão deve ser a média dos dois níveis medidos;
- Os filetes de escoamento devem ser paralelos, sem turbilhões não só na superfície, mas também em profundidade;
- O leito deve ser o mais regular possível, de forma a obter o escoamento com filetes paralelos e evitar a deterioração do instrumento de medição;
- A profundidade da água na respectiva secção transversal deve ser suficiente de modo a tornar possível a imersão do equipamento de medição, no caso de equipamentos submersíveis, ou no caso de ADCP's, para permitir a recolha de valores. Assim sendo, não podem existir margens planas que impossibilitem que para certos níveis, existam zonas com escoamento pouco profundo;
- Deve realizar-se uma prospecção da distribuição das velocidades para analisar a distribuição de escoamento e, consequentemente, verificar se a velocidade é satisfatória;
- Sempre que seja necessário escolher um novo perfil, deve observar-se o atrás exposto, elaborando um relatório e esquema do local, com indicação de distância aproximada a qualquer ponto de referência (limnígrafo, escala, pontes, descarregador, etc.), tipo de leito, vegetação das margens e acessos;
- Os perfis de medição devem ser levantados topograficamente durante as estiagens. [1] [15] [18]

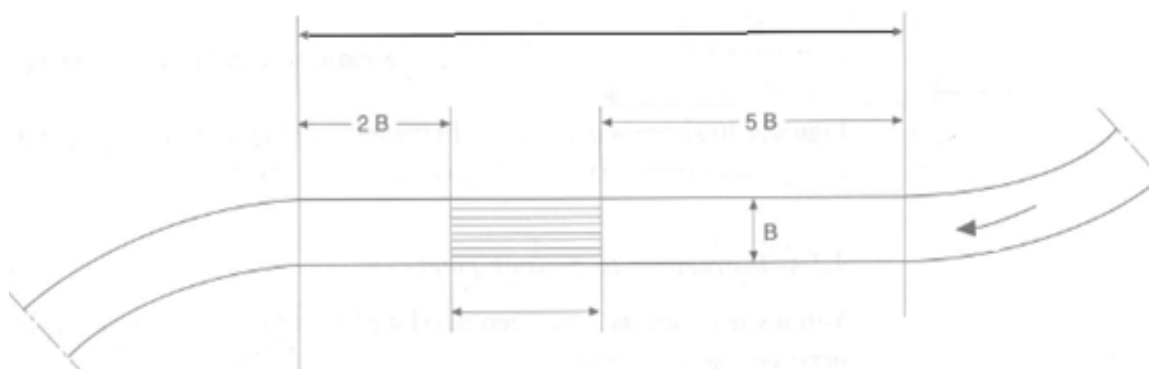


Figura 4.1 - Local recomendado para definir um perfil de medição (adaptado de W. Boiten 2000)

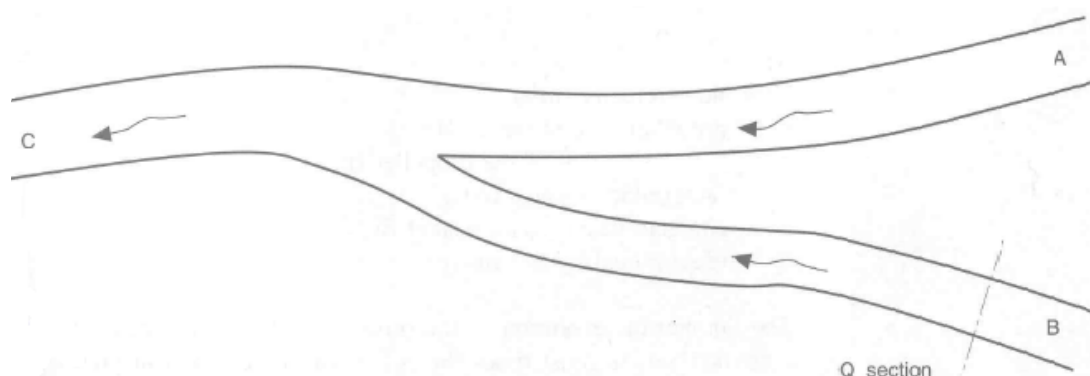


Figura 4.2 - Imagem demonstrativa de uma confluência (adaptado de W. Boiten 2000)

O controlo do escoamento é realizado numa secção transversal com características geométricas específicas que causam a mudança no regime de escoamento (regime lento /rápido). As características de controlo determinam o comportamento da vazão do rio (por exemplo, a forma da curva de vazão).

As secções de controlo podem ser formadas por um estreitamento local, natural ou artificial, da secção transversal do canal (queda de água, cascalho, etc.), as quais são locais privilegiados para a medição dos níveis de água e caudais, e consequentemente para a instalação de estações hidrométricas. Estas secções estão geralmente associadas a estreitamentos originados por açudes ou canais artificiais, que alteram o regime de escoamento livre.

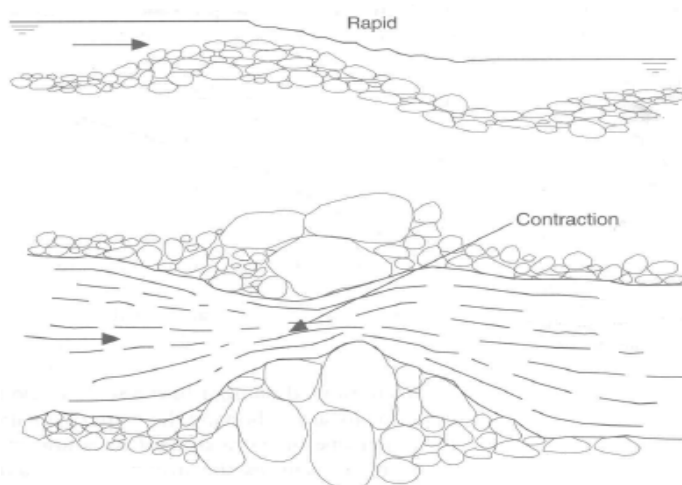


Figura 4.3 - Exemplo de uma secção de controlo (adaptado de W. Boiten 2000)

As condições apresentadas são a base para qualquer medição. O molinete hidráulico encaixa no perfil de aparelho que exige a conjugação das condições descritas. No entanto, no caso da utilização de um aparelho electromagnético, deve ter-se alguns cuidados complementares relativamente à secção escolhida, visto que a construção mecânica e eléctrica é diferente do molinete, limitando o seu uso e afectando a sua performance. Neste caso devem evitar-se:

- Áreas com grande interferência eléctrica (cabos eléctricos, carris eléctricos, transmissores de rádio e televisão) que criem fortes campos magnéticos;
- Para canais não isolados o rácio largura/profundidade não deve exceder o valor de 10. Os canais isolados permitem um rácio de 200; [19]
- Variações espaciais na condutividade da água (estuários), devendo atender-se às especificações do aparelho. [6]

No caso dos aparelhos acústicos de efeito doppler, existem dois tipos de situações possíveis. Se for utilizado um modelo acústico a vau, a secção transversal deve respeitar todas as condições descritas anteriormente, referentes à utilização do molinete hidráulico. Se for utilizado um ADCP com sistema de suspensão de barco é necessário ter em conta outros parâmetros, que são citados de seguida:

- As características do rio que afectam a performance do equipamento na medição de velocidades e caudais, como já referido no subcapítulo 3.5.2 (Ponto 2 - Características do rio);
- Deve ser realizado um reconhecimento da secção previamente à medição. O operador deve procurar, em geral, secções de forma aproximadamente parabólica, trapezoidal ou rectangular, com uma profundidade média de 1,5 metros. As profundidades podem ser menores, se forem usados outros modos de medição sem ser o standard, específicos para profundidades inferiores;
- Devem evitar-se secções com margens largas de baixa profundidade e com velocidades quase nulas. O aparelho interpola estes valores e sendo áreas muito extensas, o valor final do caudal pode diferir significativamente do real;
- Secções com fundo topograficamente assimétrico devem ser evitadas;
- Secções que exibam velocidades médias inferiores a 0,10 m/s também devem ser evitadas. [14]

Nem sempre é possível efectuar medições em locais que possuam todas as características descritas. Assim sendo, o operador deve fazer uso do bom senso, de modo a tentar minimizar o mais possível qualquer erro que o incumprimento das condições descritas possa acrescentar.

4.2.2. NÚMERO DE VERTICAIS

No caso de se utilizarem equipamentos de medição pontuais, do tipo molinetes hidráulicos e electromagnéticos, é necessário definir o número de verticais a adoptar para uma medição de velocidades numa secção transversal. A tabela que se segue exhibe o número de verticais a adoptar na medição em função da largura da secção (b , em metros):

Tabela 4.1 - Número de verticais em função da largura da secção a ser medida

Largura do canal (b)	Número de verticais (m)
$b \leq 0,5$	$5 \leq m \leq 6$
$0,5 < b \leq 1,0$	$6 \leq m \leq 7$
$1,0 < b \leq 3,0$	$7 \leq m \leq 12$
$3,0 < b \leq 5,0$	$13 \leq m \leq 16$
$5,0 < b$	$22 \leq m$

Quando a largura da secção a medir é superior a 5 metros ($b > 5$), o número de verticais a escolher deve ser definido de modo que, entre duas verticais, não se escoe mais de 5 % do caudal total. Se tal não for possível, poder-se-á ir até ao máximo de 10 % do caudal escoado entre duas verticais consecutivas. A primeira e a última vertical do perfil são adicionais ao número definido em cima e devem localizar-se o mais próximo possível da linha de água junto à margem.

A distância entre as verticais deve ser, o quanto possível, equidistante. Todavia, é necessário ter em conta que maior inclinação transversal, ou maior velocidade exige maior número de verticais, logo é conveniente realizar uma sondagem prévia à medição para medir as profundidades da secção (com recurso a haste, se possível, ou com eco sonda) que permita identificar as zonas críticas e localizar as respectivas verticais críticas. [15]

Os aparelhos acústicos de medição a vau (ADV's) exigem um mínimo de 20 verticais, independentemente das características da secção e seguem o mesmo critério dos outros aparelhos convencionais para a definição das distâncias entre as verticais. No caso de se utilizar ADCP's, a metodologia definida é desnecessária, visto que estes definem o perfil da secção.

4.2.3. NÚMERO DE PONTOS A MEDIR POR VERTICAL

O número de pontos a medir depende directamente do método para cálculo de caudais a utilizar e do tempo disponível para efectuar a medição. No caso de se utilizar um método que parte do cálculo da velocidade média, então é necessário calcular a velocidade dos pontos a uma profundidade pré-definida. Se for utilizado, por exemplo, o método de integração da velocidade profundidade, torna-se irrelevante a posição precisa dos pontos nos quais se mede a velocidade, devendo estes estar espaçados o suficiente, de modo a permitir definir o perfil de velocidades da forma mais exacta possível.

Para determinar a velocidade média por vertical, é necessário medir a velocidade de um conjunto de pontos por vertical. Uma medição realizada quando a altura da escala varia rapidamente é, tanto menos rigorosa quanto mais tempo a medição levar, pois nessas circunstâncias é difícil a determinação do valor da altura da escala correspondente ao caudal observado. Por isso, existe interesse em procurar definir a velocidade média em cada vertical com o menor número de observações possível. Nesta situação, devem ser medidos um ou dois pontos, consoante o tempo definido para completar a medição.

Se o tempo não for uma questão primordial e a altura da escala não variar significativamente ao longo do tempo de medição deve optar-se por reduzir, ao máximo possível, a incerteza inerente à medição, medindo a velocidade no maior número de pontos e respectivas profundidades, adoptando um dos métodos para a determinação de velocidade média por vertical, descritos no já referido subcapítulo 2.4.2.

Para medir todo o perfil de velocidades num relativo curto período de tempo, o perfil de velocidades é simplificado por um número finito de observações, dependendo da profundidade da vertical e partindo do princípio que a distribuição de velocidades é parabólica. A tabela que se segue define o número de pontos a medir por vertical em função da profundidade da água (d , em metros), independentemente do método para cálculo de caudais a utilizar:

Tabela 4.2 - Número de pontos a medir em função da profundidade

Profundidade da vertical (d)	Número de pontos a medir
$d \leq 0,25$	1
$0,25 < d \leq 0,50$	2
$0,50 < d$	≥ 3

A metodologia descrita é aplicável a todos os equipamentos pontuais, nomeadamente molinetes hidráulicos, electromagnéticos e ADV's.

4.2.4. TEMPOS DE MEDIÇÃO

i. Molinete hidráulico

Depois de posicionar o medidor no ponto em que se deseja proceder à observação de velocidades, deve deixar-se o molinete rodar durante um período mínimo, até este se adaptar ao escoamento. Em seguida, contar o número de toques (o contador regista uma volta completa da hélice, o que origina um som, chamado de toque) que se verificam no tempo de medição pré-estabelecido. Este tempo deve ser um período mínimo que permita encontrar velocidades fiáveis. Tendo em conta que quanto maior a velocidade, menor o intervalo de tempo necessário para a leitura, é recomendado:

- 30 a 50 segundos para velocidades elevadas (próximo da superfície);
- 60 a 100 segundos para velocidades baixas (próximo do leito do rio).

O operador deve fazer uso do bom senso na estimativa de tempos para a medição, pois o tempo a escolher no caso de existir um regime turbulento deve ser superior a um regime permanente. [1]

Cada vertical deve ser medida, pelo menos 5 vezes, de preferência consecutivamente (no caso de o regime ser permanente e não houver indisponibilidade de tempo na realização da medição). [21]

Para se considerar que existe velocidade num ponto, o número de toques deverá ser sempre igual ou superior a 10. Se for inferior a este número, a velocidade é de tal maneira reduzida que não se considera significativa para a existência escoamento.

Se, apesar de todo o cuidado na escolha do perfil se verificar que o escoamento apresenta turbilhões, quer de eixo vertical, quer mesmo de eixo horizontal, o tempo de observação das velocidades, em cada ponto da vertical, deverá ser prolongado o suficiente para que o número de rotações médio da hélice por unidade de tempo seja independente do tempo de observação. [1]

ii. Sensor electromagnético

O operador deve usar a sua experiência de forma criteriosa de modo a otimizar o tempo de medição e rejeitar valores aparentemente absurdos. Por exemplo, se a corrente está sob um regime turbulento, o

tempo de medição deve ser elevado (± 50 segundos). Por outro lado, se a corrente está sob um regime permanente pode utilizar um tempo inferior até 5 segundos. No entanto, deve manter-se o mesmo critério descrito para o molinete, em que velocidades elevadas (junto à superfície) exigem tempos de medição inferiores às velocidades inferiores.

É também recomendado, para medições em que a precisão é uma prioridade, medir pontos singulares com tempos de medição o mais elevado possível. Se o equipamento permitir, adoptar 100 segundos. Se não, como alternativa, adoptar 50 segundos e efectuar duas medições para o mesmo ponto, sendo o valor da velocidade desse mesmo ponto a média dos dois valores obtidos. [6]

iii. ADV

Para este tipo de equipamento é o próprio aparelho que define o tempo de medição da velocidade para cada ponto, pois cada ponto pode exigir tempos diferentes.

4.2.5. CORRENTES OBLÍQUAS

Se é inevitável realizar a medição sob uma corrente oblíqua, deve ser adoptado um procedimento específico para tornar o resultado da medição mais fiável. Deve medir-se o ângulo da direcção da corrente, perpendicular à secção transversal e as velocidades medidas devem ser corrigidas através da fórmula 4.1.

$$V_{corrigida} = V_{medido} \times \cos\theta \quad (4.1)$$

Foram desenvolvidos aparelhos específicos para medir, simultaneamente, o ângulo e a velocidade num ponto. Contudo, estes aparelhos não são utilizados. Assume-se que o ângulo da corrente em qualquer ponto da vertical é o ângulo observado à superfície. Este ângulo pode ser medido com o equipamento apropriado, desde que o operador se posicione acima da vertical medida. Se o canal for muito fundo, ou o perfil do leito sofrer alterações rapidamente, o pressuposto de que o ângulo medido à superfície é igual ao ângulo dos pontos a medir não pode ser assumido sem uma confirmação prévia.

É de salientar que alguns medidores estão equipados com um dispositivo, que permite medir directamente a componente normal da velocidade, quando posicionados perpendicularmente à secção com corrente oblíqua. Nestes casos, a referida correcção não deve ser aplicada. [15]

4.3. SISTEMAS DE SUSPENSÃO – PROCEDIMENTOS PARA A MEDIÇÃO DE CAUDAIS

De acordo com as características da secção a medir e os meios disponíveis para o efeito existem diferentes sistemas de suspensão a adoptar com específicos procedimentos para a sua correcta implementação.

4.3.1. A VAU

É possível utilizar um sistema de suspensão de haste quando a secção a ser medida permitir, isto é, quando não possui nem profundidades nem velocidades muito elevadas permitindo ao operador entrar

dentro do rio e efectuar as medições com segurança e mobilidade, independentemente do equipamento que utilizar.

I. Procedimentos a adoptar antes de iniciar a medição

Antes de iniciar a medição, é necessário efectuar alguns procedimentos, que se revelam essenciais na obtenção de resultados rigorosos, que se descrevem de seguida:

1. Caso seja necessário, efectuar uma limpeza superficial do rio no local do perfil de medição, de forma a retirar alguma vegetação que possa existir no leito e margens a serem medidas (figura 4.4).
2. As distâncias horizontais, quando o canal o permite, devem ser obtidas com recurso a uma fita graduada. Quando o canal é muito largo e não é possível medir manualmente, devem ser utilizados instrumentos tradicionais de medição de distâncias (instrumentos ópticos ou electrónicos), ou o sistema de posicionamento global diferencial (DGPS). No caso de ser utilizada uma fita graduada, esta deve ser esticada o máximo possível, para reduzir a flecha, medir com exactidão a largura do canal e permitir distanciar as verticais a serem medidas com a maior precisão possível.
3. Caso existam registos de medições efectuadas no mesmo local, deve realizar-se um estudo prévio da secção, de forma a conhecer as suas irregularidades, o que permite, para além de a caracterizar, definir as verticais importantes de serem medidas. Se não for possível fazer o estudo prévio, deve fazer-se uma sondagem da secção, através de um eco sonda ou mesmo através da haste. As profundidades devem ser medidas da seguinte forma:
 - Ao longo do perfil de medição, se usada uma haste, deve medir-se duas vezes a mesma vertical. Se a diferença de valores obtidos for superior a 5 %, então deve repetir-se o procedimento. Se as duas últimas diferirem novamente em mais de 5 %, deve ser assumido como profundidade da vertical a média das quatro medições;
 - Se usado um eco sonda, deve repetir-se o procedimento de leitura várias vezes e assumir como profundidade a média das várias passagens. O eco sonda deve ser calibrado para as condições de salinidade e temperatura que se encontram no local a ser medido. [15]
4. O operador deve ler a altura da escala do local. Posteriormente, deve registar a leitura correspondente e a hora a que foi efectuada, no local próprio da folha de medição.
5. Verificar os equipamentos e componentes antes de iniciar a medição de caudal.

i. Molinete hidráulico

1. Uma medição de caudal, realizada com este equipamento, requer a presença de:
 - Fato de pescador (bota com perneira);
 - Cabo de aço;
 - Cabos eléctricos;
 - Guincho;
 - Peso;
 - Barra estabilizadora (fornece horizontalidade ao aparelho);
 - Leme (fornece direcção);
 - Fita métrica;
 - Caderneta (para registos);
 - Caixa do molinete e acessórios;

- Haste(s);
 - Hélice(s);
 - Contador de impulsos;
2. Verificar todo o equipamento, em especial o molinete e ver se os contactos estão limpos (especialmente os platinados).
 3. Limpar e substituir o óleo. O lubrificante a utilizar para o efeito deve possuir as mesmas características de viscosidade que o usado durante a calibração e deve ser o recomendado pelo fabricante.
 4. Verificar se a hélice roda livremente, efectuando um teste que consiste na rotação lenta e contagem do número de voltas que a hélice efectua, com consequente confirmação do número de toques no contador de impulsos. [4]
 5. Verificar se os diversos componentes estão firmemente ligados.
 6. Mergulhar ligeiramente o molinete na água para ver se está bem equilibrado; [18]
 7. Verificar se algum componente apresenta sinais de desgaste, deformação ou dano;
 8. Verificação dos limites de utilização:
 - O elemento rotativo do molinete deve, quando atravessado pelo fluido, rodar com uma determinada velocidade angular e possuir uma relação pré-estabelecida entre a velocidade da corrente e o intervalo de valores da velocidade de calibração, definida pelos fabricantes ou laboratório. O sistema de suspensão utilizado deve ser o especificado pelo fabricante;
 - O aparelho deve responder com consistência e rapidez às alterações na velocidade da corrente. Deve também ser utilizado apenas em líquidos com propriedades semelhantes para o qual foi calibrado. Se as propriedades do líquido a medir forem significativamente diferentes, o aparelho deve ser recalibrado;
 - O fabricante deve especificar a pressão hidrostática máxima à qual o aparelho pode estar sujeito e fornecer os limites de temperatura dos óleos lubrificantes a aplicar aos rolamentos. [4]

ii. Sensor electromagnético

1. Uma medição de caudal, realizada com este equipamento, requer a presença dos seguintes componentes:
 - Sensor;
 - Meios de suspensão;
 - Unidade de controlo (contador);
 - Cabos eléctricos (para efectuar a ligação entre o aparelho e o contador);
 - Fonte de energia eléctrica;
2. A cabeça da sonda deve estar escrupulosamente limpa (especial cuidado com ervas e produtos oleosos que possam estar presentes na água ou até nos operadores), pois pode alterar as propriedades condutivas dos eléctrodos, e consequentemente descalibrar o aparelho;
3. Efectuar dois testes preliminares antes de proceder à medição. Eles são:
 - Uma série consecutiva de, no mínimo, 20 leituras com 10 segundos cada, no mesmo ponto, a meia profundidade e a meio da secção a ser medida. Este teste deve ser efectuado em canais artificiais, sob regime permanente, para evitar valores muito discrepantes e verificar a performance do aparelho.

- “*Near zero test*” – este teste consiste em colocar o aparelho num local com condutividade eléctrica, sem movimento absolutamente nenhum e efectuar medições da velocidade. É de esperar alguma variação nos resultados obtidos (mais ou menos 10 %). Se a variação for muito elevada, é recomendado alongar o tempo de medição das amostras. Este teste deve ser realizado periodicamente e os seus resultados devem ser guardados, para permitir analisar variações significativas através de resultados dos testes anteriores e verificar a performance do aparelho, avaliando se sofre de “instabilidade zero” significativa. Se for o caso, deve ser sujeito a uma calibração. [6]



Figura 4.4 - Fotografia demonstrativa da limpeza efectuada ao leito do rio no perfil de medição, tirada no rio Paiva, 40 metros a montante da estação hidrométrica de Castro Daire, no dia 4 de Novembro de 2009

II. Procedimentos a adoptar durante a medição

Durante a medição, é necessário efectuar alguns procedimentos, que se revelam essenciais na obtenção de resultados rigorosos, os quais se descrevem de seguida:

1. Relativamente ao posicionamento do operador, a sua posição não pode afectar as condições de escoamento, em torno do aparelho. A melhor posição será a jusante do equipamento, à distância de um braço do mesmo, na diagonal do sentido da corrente.
2. Relativamente ao posicionamento do aparelho, este deve estar totalmente mergulhado respeitando as distâncias mínimas de medição, ao leito e superfície (raio da hélice e espessura de aparelho para o molinete hidráulico e electromagnético, respectivamente). Para além disso:
 - No caso do molinete hidráulico, este tem de estar alinhado com a corrente de modo a que o elemento rotativo do aparelho possua a resposta pretendida ao movimento do fluxo. O eixo longitudinal deve ser paralelo à superfície da água e a hélice do aparelho virada para montante;

- No caso do aparelho electromagnético, este tem de ser posicionado o mais horizontalmente possível, paralelo à superfície da água, com a cabeça do equipamento virada para montante.
- 3. Quando a medição da profundidade é realizada separadamente da medição da velocidade e o nível de água varia muito, os níveis têm de ser registados sempre que se efectua uma medição da profundidade. Quando não é possível, os níveis de água devem ser observados em intervalos suficientes, para que durante a determinação da profundidade, os restantes níveis não medidos possam ser interpolados. [15]
- 4. As verticais em que se proceda às observações de velocidades, devem ser assinaladas no perfil de medição na posse do hidrometrista. Para além destas verticais, devem ser registadas mais algumas, com as respectivas profundidades, mesmo sem a leitura de velocidades em pontos, para definir melhor a secção e reduzir o erro no cálculo do caudal.
- 5. Todas as vezes que se iniciam observações numa vertical devem registar-se, além do número da vertical e da distância à vertical anterior, a hora e a altura da escala na caderneta de registos da medição.
- 6. Quer a linha de água, quer todas as verticais onde se efectuam observações de velocidades, devem ser referenciadas a partir da referência de origem, existente no perfil de medição e claramente marcadas.
- 7. No caso de numa vertical não se registarem velocidades (normalmente próximo das margens), deve “tactear-se” com o medidor de modo a procurar a vertical onde estas começam, desaparecem, ou voltam a aparecer.
- 8. Qualquer ocorrência extraordinária durante a medição tem de ser assinalada na folha da caderneta de registo.
- 9. Não interferir na corrente, colocando algo em frente do ponto a ser medido, aquando da medição.
- 10. Se existir algum objecto, como por exemplo uma pedra, que prejudique a medição e esta for retirada, deve esperar-se algum tempo para que o escoamento se adapte ao novo perfil e recomeçar a medição a partir do início. [18]

III. Procedimentos a adoptar no final da medição

No final da medição, é necessário efectuar alguns procedimentos, que se revelam essenciais na obtenção de resultados rigorosos, que se descrevem de seguida:

1. A medição tem de ser realizada integralmente no mesmo perfil. As duas marcas que definem o perfil de medição (ME e MD – margem esquerda e direita respectivamente), determinam um alinhamento de comprimento conhecido. Os hidrometristas, no final de cada medição, devem confirmar o valor obtido durante a medição, somando à largura do rio que foi medida, as distâncias das amarrações às respectivas linhas de água.
2. O operador deve ler a altura da escala do local, e caso exista, a altura do limnígrafo. Posteriormente, deve registar a leitura correspondente e a hora a que foi efectuada, no local próprio da folha de medição. É evidente que ao ler a escala do limnígrafo (no caso de existir), deve verificar se o aparelho ainda se encontra a funcionar correctamente, na altura e horas.
3. O aparelho de medição utilizado deve ser verificado, de modo a certificar a performance requerida para a medição.

i. No caso do molinete hidráulico, devem ser realizadas as seguintes verificações:

- Verificar se a hélice está a rodar livremente e se não sofreu qualquer choque. Se a hélice não roda livremente, a curva de taragem (curva característica do tipo de hélice) do molinete foi afectada e a medição resultará em valores errados, deixando de ter interesse. Haverá, portanto, necessidade de proceder à limpeza do molinete e repetir a medição de caudal desde o início;
- Verificar se o rabo do molinete não sofreu qualquer pancada, se as duas fracções estão bem seguras pelos parafusos, se o cursor corre bem e se não tem água no interior;
- Proceder ao enrolamento e limpeza do cabo eléctrico de aço, evitando o encavalitamento das espiras;
- Verificar se, após a recolha de todo o material, o estojo está completo. [18]

ii. No caso do sensor electromagnético, devem ser realizadas as seguintes verificações:

- A cabeça da sonda deve ser escrupulosamente limpa;
- É aconselhável seguir escrupulosamente as instruções operacionais do fabricante. Se não existirem especificações do fabricante relativamente ao leito do canal, margens ou superfície da água, assumir as mesmas restrições do molinete;
- Verificar se após a recolha de todo o material o estojo está completo. [6]

4.3.2. CABO

Existem duas formas de efectuar medições a cabo: a partir de uma ponte (ver figura 2.27 e fotografias do Anexo 2, referente à Sexta Campanha), ou utilizando uma estrutura previamente montada, denominada de teleférico (figuras 2.28, 2.29, 2.30 e 4.5).

I. Procedimentos a adoptar antes de iniciar a medição

Os procedimentos, que antecedem a medição suspensa a cabo, são os mesmos que antecedem a medição a vau, sendo que as únicas diferenças assentam no facto de este sistema de suspensão exigir cabos de aço, um peso (para evitar o arrastamento do equipamento pela corrente), barra estabilizadora e leme, no caso de a medição ser efectuada a partir de uma ponte e, simultaneamente, um guincho e uma estrutura previamente montada (figuras 2.54, 3.4 e 4.5). No caso de efectuarem-se medições a partir de um teleférico deve realizar-se uma verificação ao sistema antes de iniciar-se a medição.

Os cabos e ancoragens devem, o quanto possível, ser examinados antes de qualquer medição. Deve ser prestada atenção aos cabos, no sentido de ver se estão danificados e se existe algum sinal de deterioração da estrutura.

A instalação desta estrutura exige alguns cuidados relativamente à tensão imposta ao cabo que atravessa as margens. Quanto maior a tensão, maior será a carga horizontal que o sistema consegue suportar, mas menor será o coeficiente de segurança relativo à utilização do sistema e aparelho de medição. Quanto maior o diâmetro do cabo, maior pode ser a tensão imposta ao mesmo e quando relacionada com o comprimento do cabo, um maior comprimento exige um maior tensionamento. No entanto, quanto maior o comprimento, maior a flecha esperada no cabo.

A estrutura é dimensionada para um coeficiente de segurança mínima de 5 e o cabo é tensionado, de modo que a flecha máxima nunca exceda um valor de 2 %, independentemente da carga utilizada.

O sistema de cabos típico é composto por um guincho manual, uma cruzeta de suporte do molinete, roldana para cabo vai vem, peso, esticador, cabo principal, cabo condutor eléctrico, cabo vai vem, cabo de suspensão do molinete e medidores de distância e profundidade (figura 4.5). [22]

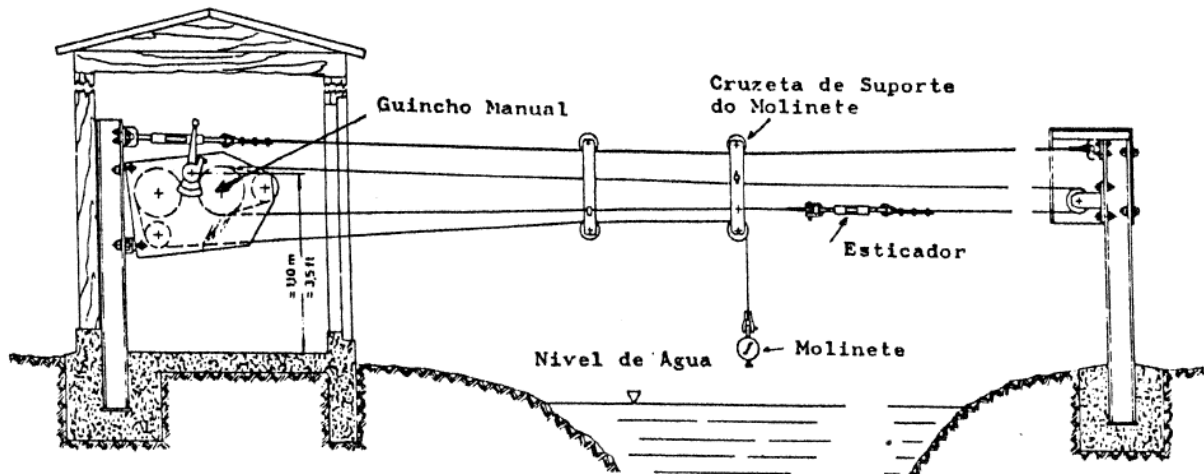


Figura 4.5 - Esquema de uma instalação teleférica

II. Procedimentos a adoptar durante a medição

Os procedimentos a seguir durante a medição são iguais aos anteriores descritos para as medições realizadas a vau. Deve deixar-se o peso assentar no leito e só depois medir a profundidade, devendo-se evitar que haja folga no cabo vertical que sustenta o aparelho, para não se sobrestimar a profundidade da vertical. De seguida, medem-se as velocidades em pontos ao longo da vertical. Quando se verifica que existe arrastamento do equipamento, deve usar-se um peso de massa superior, de modo a reduzir o arrastamento ao mínimo possível. Se mesmo assim houver arrastamento, deve registar-se para cada vertical e para cada observação de velocidades ou sondagem de profundidades, o ângulo que o cabo de suspensão do molinete faz com a vertical e a distância do cabo à linha de água e à margem. A partir do ângulo que faz com a vertical, é possível corrigir a profundidade medida, calculando o valor da sondagem a subtrair à distância de suspensão à superfície da água. Este cálculo é efectuado através da aplicação de relações trigonométricas. O erro que se comete na colocação do molinete hidráulico é pequeno, pois sendo a acção da corrente sobre o peso grande, esta fica sensivelmente no prolongamento do cabo fora de água. Para profundidades grandes, o erro será um pouco maior, mas prevê-se que sem significado no resultado da medição. Se a inclinação com a vertical for superior a 15° , deve aumentar-se o tempo mínimo de medição de cada ponto para 60 segundos de forma a reduzir o erro de medição (erros mais frequentes nas medições a cabo). [18]

III. No final da medição, os procedimentos a seguir são também iguais aos procedimentos relativos às medições a vau. Porém é necessário efectuar algumas verificações adicionais, que se descrevem de seguida:

1. Deve ser realizada uma verificação anual às ancoragens e aos cabos em busca de corrosão e rompimento dos cabos. As fundações devem ser inspeccionadas na procura de qualquer movimentação que possa surgir, estilhaçamento, estalidos, ou outro sinal de deterioração. Na presença destes sinais, a estrutura não pode ser utilizada e é necessário proceder à sua reparação. A estrutura deve ser lubrificada sempre que necessário e a flecha do cabo verificada regularmente, principalmente quando ocorrem grandes alterações na temperatura. Antes de o cabo ser re-tensionado deve ser realizada uma investigação com o objectivo de averiguar se existem alterações significativas na estrutura. Deve existir muito cuidado para evitar um sobre-tensionamento do cabo, o que caso aconteça, provoca uma redução do factor de segurança e uma falha prematura de instalação.
2. Após qualquer reparação devem ser efectuados dois testes estáticos à estrutura, que consistem em:
 - Aplicar uma carga, com o dobro do peso máximo aprovado para a instalação, a uma distância de 10 centímetros do solo;
 - Aplicar uma carga que aumenta progressivamente, e correr a mesma ao longo do cabo.

A flecha do cabo deve ser verificada antes e após os testes estáticos. [22]

4.3.3. SISTEMA FLUTUANTE (CATAMARAN, TRIMARAN OU BARCO)

O ADCP é composto por:

- O conjunto instrumento acústico/transdutor;
- Sistema flutuante para montagem do equipamento;
- Computador portátil ou PDA.

Devido à complexa natureza do ADCP e do software associado, pelo menos um dos operadores de campo deve ter formação para a operação e manutenção destes aparelhos. Os procedimentos para a operação e manutenção são disponibilizados nos manuais do equipamento e do software.

O tipo de suspensão utilizado para o ADCP depende das características (dimensão, velocidades e profundidades) da secção do rio a ser medido. O sistema flutuante escolhido deve ter um design que suporte, com segurança, a combinação de forças da velocidade da água resultante do movimento do barco e da velocidade da corrente.

- i. Em rios pequenos (pouco largos e com caudal inferior a 120 m³/s) o sistema pode ser montado num barco pequeno, raft, catamaran ou trimaran, ligado a um PDA ou computador portátil. Com este sistema, a medição pode ser realizada:
 - A partir de um teleférico (caso exista na secção a medir), prendendo o equipamento ao cabo vertical do teleférico e movendo-se perpendicularmente à corrente, ao longo do cabo horizontal (figura 2.31);
 - A partir de uma ponte, o que não é aconselhável se for feita a jusante da mesma, visto que os pilares ou outros suportes da ponte podem causar turbulência na corrente (ver fotografias no Anexo 2, referentes à sétima campanha de medições de caudal realizada). Este facto viola um dos pressupostos básicos de medição de caudais para a utilização de um ADCP, em que cada feixe mede secções homogéneas de água.

- Com recurso a dois operadores para efectuar a travessia. Estes devem posicionar-se, um em cada margem e duas cordas maiores do que a largura da secção a ser medida devem ser utilizadas, para permitir ao ADCP chegar a cada uma das margens (figura 2.32).
- Com o operador a efectuar a travessia a pé, percorrendo o perfil com uma velocidade inferior à da corrente e prendendo o equipamento pela mão (figura 2.33). No entanto, esta situação só é possível em condições com características semelhantes ao sistema de suspensão a vau, nas quais a profundidade e velocidades presentes são reduzidas, permitindo ao operador entrar dentro da água.
- ii. Para rios grandes (largos e com $Q > 120\text{m}^3$) é necessário utilizar um suporte de montagem acoplado a um barco que se mova a motor (figura 2.34).

I. Procedimentos a adoptar antes de iniciar a medição

Antes de iniciar a medição, é necessário efectuar alguns procedimentos, que se revelam essenciais na obtenção de resultados rigorosos, que se descrevem de seguida:

1. Os transdutores devem ser montados, em posição vertical, de forma a posicionar a face do transdutor a pelo menos 8 cm da superfície da água. Em águas com velocidades elevadas devem estar um pouco mais baixos para assegurar que a face se mantém submersa durante toda a medição.
2. O ADCP não deve ser montado perto de aço ou qualquer outro material de ferro que possa afectar o funcionamento do “*flux-gate compass*” – compasso que fornece orientação ao aparelho durante a operação.
3. O operador deve anotar qualquer característica presente na secção, relevante para a medição. Vento, correntes bidireccionais, passagem de barcos, características dos sedimentos em suspensão, registos das condições meteorológicas, hidrológicas e outros fenómenos físicos pertinentes para a medição de caudal, são algumas das características que devem ser anotadas.
4. De seguida deve efectuar-se uma configuração do setup do equipamento:
 - 4.1. Introduzir a altura exacta do transdutor desde a superfície da água até à face (deve ser medida previamente);
 - 4.2. Introduzir o número de células de profundidade e o correspondente tamanho de cada uma, a partir do conhecimento prévio da profundidade do local;
 - 4.3. Introduzir o número de “*pings*”;
 - 4.4. E por último, a velocidade máxima esperada, designada de velocidade de referência.
5. Após a montagem do barco, ligação dos cabos e energia, é necessário assegurar que todos os circuitos, sensores e ligações estão a funcionar correctamente. De seguida, inicia-se a comunicação entre o ADCP e o computador (“*awake*”), para o ADCP assumir as configurações do setup introduzidas. Se a ligação falhar, ou alguma mensagem de erro surgir, deve efectuar-se uma verificação de todas as ligações, incluindo de energia, no sentido de averiguar se algo está mal ligado. Se o problema persistir, deve consultar-se o manual do aparelho.
6. As horas do computador/PDA e do ADCP devem ser sincronizadas.
7. Após a introdução do aparelho na água devem ser realizados dois testes preliminares, para verificar se o aparelho se encontra a funcionar correctamente antes de proceder com a medição:

- 7.1. Calibração do compasso (“*compass calibration*”), que depende do modelo utilizado e pode consistir em rodar o aparelho em movimentos helicoidais, ou simplesmente correr um algoritmo no software.
- 7.2. Teste do leito em movimento (“*moving bed test*”), que consiste em colocar o barco fixo, no local onde o leito possui um potencial de movimento maior, e recolher vários *ensembles* durante cerca de 10 minutos. A importância deste teste reside no facto do ADCP medir a velocidade da coluna de água relativamente ao movimento do barco. A velocidade do barco é relativa ao leito e é medida e utilizada para o cálculo da velocidade da água. Como este cálculo assume um leito fixo, logo se o leito estiver em movimento, o cálculo da velocidade da água actual está com erro. Existem modelos em que é necessário inserir, antes de iniciar o teste, o tipo de material que compõe o leito e outros em que essa informação não é necessária.
Se o leito for estável, o display “*shiptrack*” indica, passado alguns minutos, que não existe movimento significativo do barco. Todavia, se o leito está em movimento, o display *shiptrack* indica que existe um movimento aparente gradual do barco na direcção montante. Se este movimento for significativo, deve escolher-se outra secção de medição.
8. De seguida, é necessário efectuar uma travessia teste para:
 - 8.1. Definir as distâncias às margens, ou seja os pontos de início e fim da travessia e localizá-los (com recurso a bóias, fitas graduadas, etc). Estas distâncias devem ser definidas do modo mais preciso possível (com recurso a instrumentos de medição de distâncias) para reduzir os erros de interpolação do caudal. A indicação de que o ponto de início ou fim da travessia foi encontrado, é fornecida, mediante o modelo utilizado, ou por sinalização sonora, ou pelo número de *ensembles* medidos com qualidade (um mínimo de 2).
 - 8.2. Se a distância às margens for muito elevada significa que existe uma grande área onde não é possível medir, logo o software interpola os valores para estas secções. Nesta situação é preferível rejeitar a secção e escolher outra com características mais indicadas.
 - 8.3. Verificar se os parâmetros de setup introduzidos no ponto 4 estão correctos (verificando a velocidade e a profundidade máxima), ou se é necessário proceder a algum ajuste, de modo a otimizar o sistema para efectuar a medição na secção a ser medida.

II. Procedimentos a adoptar durante a medição

Durante a medição, é necessário efectuar alguns procedimentos, que se revelam essenciais na obtenção de resultados rigorosos, que se descrevem de seguida:

1. O treino e experiência dos operadores do sistema (operador do barco o operador do sistema) é um factor preponderante durante a medição de caudal.
O operador do barco deve ter experiência suficiente para manter o verdadeiro curso do barco durante a travessia, mantendo o barco a uma velocidade constante e inferior à da corrente. No entanto, o factor da velocidade constante revela-se mais importante, durante a medição, que o factor de trajecto rectilíneo. Para além disso, deve minimizar a turbulência (figura 3.24), responsável por reduzir a precisão durante a medição.

A experiência do operador de sistema é necessária para configurar os parâmetros iniciais do equipamento, de acordo com as características da secção.

2. Os pontos de início e fim, durante todas as travessias, devem manter-se os mesmos, para posterior comparação dos valores medidos e poupança de tempo de medição, evitando medir as distâncias em todas as travessias.
3. Durante a recolha dos *ensembles*, em locais onde a velocidade do barco é mínima (por exemplo, próximo das margens), a medição deve ser realizada com o cuidado de evitar que a cabeça do barco rode no sentido contrário. A direcção do barco estabelece um sinal positivo ou negativo, o que determina se o caudal para esse local é somado ou subtraído ao caudal total.
4. A exclusão de medições deve ser efectuada de acordo com dois parâmetros:
 - 4.1. Reconhece-se que um nível de confiança de 95 % estabelece os limites para as incertezas numa medição de caudal. Assim, todas as medições que obtêm resultados que difiram mais de 5 % da média das medições efectuadas não são consideradas aceitáveis.
 - 4.2. Todas as medições que registem valores de velocidade e profundidades superiores às definidas na configuração do setup devem ser excluídas.
5. O número de travessias a realizar depende directamente do tipo de regime de escoamento presente:
 - 5.1. Se a medição for efectuada sob um regime quase permanente, devem ser realizadas 4 travessias para cada secção. Realizam-se pares de travessias, uma num sentido e a segunda em sentido contrário, para minimizar o desvio que pode estar presente. Se alguma das travessias obtiver um caudal que varia mais de 5 % da média, é necessário realizar mais 4 travessias, pois o caudal obtido da secção é a média de todas as travessias efectuadas (para reduzir variações de valores devido a possível turbulência da corrente);
 - 5.2. Sob regime turbulento, com rápida alteração dos níveis de água, a medição de caudal passa por apenas uma travessia. Contudo, 2 a 4 travessias devem ser realizadas para ajudar a definir e verificar a curva de vazão.

III. Procedimentos a adoptar no final da medição

No final da medição, é necessário efectuar alguns procedimentos, que se revelam essenciais na obtenção de resultados rigorosos, que se descrevem de seguida:

1. Após a medição, os ficheiros devem ser revistos para verificar:
 - 1.1. Se os dados estão completos e não incluem *ensembles* de fraca qualidade;
 - 1.2. Se as profundidades medidas não ultrapassam os limites da configuração do setup;
 - 1.3. Não existem picos de velocidade, o que é equivalente a velocidades ambíguas.Estas medições não devem ser incluídas no cálculo final do caudal, no entanto são sempre necessárias um mínimo de 4 para validar a medição. [14] [9]
2. Tal como muitos aparelhos electrónicos, os ADCP's não devem ser sujeitos a choques físicos. Devem ser protegidos durante o transporte e uso. Após a utilização devem ser secos e guardados com segurança dentro da mala protectora.
3. Os selos protectores devem ser inspeccionados e verificados. Se partirem ou racharem devem ser substituídos imediatamente;

4. O transdutor deve ser inspeccionado em busca de mossas, fissuras ou descasque da película estanque em uretano. Se for detectada alguma anomalia que possa afectar a integridade da estanquidade do transdutor, a unidade deve ser enviada aos fornecedores para reparação;
5. Os ânodos de zinco devem ser inspeccionados por corrosão. Se usados em água salgada, devem ser substituídos de 6 em 6 meses;
6. O ADCP deve ser limpo, periodicamente, com água fresca e sabão. [9]

Deve ser realizado um teste de eficácia ao ADCP, efectuando uma medição de caudal com o aparelho e comparando o valor do caudal obtido com o valor fornecido pela curva de vazão do rio, tendo a certeza de que a curva está bem extrapolada e actual. O local onde o teste se realiza deve ser escolhido, de modo que, a área das secções próximo das margens (que o aparelho não consegue medir), ou a área de águas rasas sejam o mais reduzidas possível. O caudal obtido tem de possuir um desvio nunca superior a 5 % da curva de vazão. Se tal acontecer, o aparelho tem de ser enviado para os fornecedores para ser avaliado e considerada uma possível calibração.

É essencial que sejam implementadas medidas para assegurar a qualidade dos dados obtidos. Visto que a tecnologia destes aparelhos é recente, devem ser levadas a cabo revisões frequentes de *hardware*, *firmware* e *software* (upgrades). Estas revisões resultam, geralmente, em melhoramentos na precisão dos resultados obtidos. No entanto, podem surgir problemas quando se utilizam dados recolhidos com sistemas antigos. Os upgrades podem ser instalados fazendo um download a partir da internet, ou substituindo manualmente chips, se necessário, nos quadros electrónicos do aparelho. [14]

4.4. MODELOS DE EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Foram utilizados, durante as campanhas de medição de caudal realizadas no âmbito desta Tese de Mestrado, os seguintes equipamentos:

- O molinete de hélice de eixo horizontal foi o Molinete Universal C 31, sendo o fabricante a OTT Hydrometrie. Este modelo permite medir velocidades desde 0,025 até 10 m/s, dependendo do número da hélice utilizada. As hélices são de plástico.
- O sensor electromagnético utilizado foi o Sensor Nautilus C 2000 com contador indicador de velocidades SENSE Z 300, sendo o fabricante a OTT Hydrometrie. Este modelo permite medir velocidades desde 0,002 a 1,500 m/s (standard) ou 2,500 m/s (opcional); o material dos eléctrodos é titânio, o que facilita a sua limpeza; o sensor tem dimensões aproximadas de 18 cm x 5 cm x 2 cm e o contador 22,5 cm x 14 cm x 10,05 cm; para o “near zero test” admite desvios de 0,002 m/s.
- Foram também utilizados dois tipos de aparelhos acústicos de efeito doppler:
 1. ADCP – Perfilador acústico de efeito doppler:
 - Stream Pro ADCP, com catamaran;
 - Workhorse Rio Grande ADCP, com trimaran;
 - River Surveyor M9, com trimaran;
 2. ADV – Velocímetro acústico de efeito Doppler:
 - Flow Tracker Handheld ADV, a vau.

Apresenta-se, em seguida, um quadro comparativo de algumas características dos equipamentos acústicos utilizados:

Tabela 4.3 - Descrição dos diversos equipamentos acústicos utilizados no decorrer deste trabalho

Características		Equipamento			
		Stream Pro ADCP	Workhorse Rio Grande ADCP	River Surveyor M9	Flow Tracker Handheld ADV
Fabricante		TELEDYNE RD INSTRUMENTS WATER RESOURCES	TELEDYNE RD INSTRUMENTS WATER RESOURCES	SONTEK	SONTEK
Perfilador de Velocidades	Distância de alcance do perfilador (metros)	2,25	100 (dependendo do "mode" utilizado)	40	1
	Velocidade alcance do perfilador (m/s)	5	20	20	4
	Precisão	1 % ± 0,2 cm/s	0,25 % (corrente + barco) ± 0,25 cm/s	0,25 % ± 0,2 cm/s	1 % ± 0,25 cm/s
	Resolução (cm/s)	0,1	0,1	0,1	0,0001
	Distância em branco (cm)	7 a 30 (a partir do transdutor); depende do tamanho	30	20	10
	Número	1 - 20	1 - 128	1 - 128	1 - 640
	Tamanho	2 - 10 cm	----	0,02 - 4 m	----

No Anexo 1, apresentam-se os prospectos informativos dos equipamentos utilizados, fornecidos pelos respectivos fabricantes.

5

CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

5.1. SUMÁRIO

Este capítulo identifica os locais de estudo e descreve as campanhas de medição de caudais realizadas, com o objectivo de comparar os valores de caudais obtidos pelos diversos equipamentos e avaliar as limitações, vantagens e inconvenientes dos equipamentos.

São descritos os objectivos e características das campanhas realizadas e apresentados os registos obtidos, nomeadamente de profundidades e velocidades de escoamento, perfis transversais das secções, bem como os cálculos dos correspondentes caudais, enquadramento dos mesmos nas curvas de vazão das secções dos respectivos rios, a comparação de desempenho dos diversos equipamentos utilizados, para além de conclusões individualizadas para cada campanha.

5.2. LOCAIS DE ESTUDO

Durante a execução deste trabalho, foram realizadas medições de caudais em secções com diferentes características, em diferentes rios. Foram ainda realizadas medições do caudal escoado num canal artificial.

As características das secções de medição escolhidas para o estudo, nomeadamente os rios a que pertencem, as bacias principais em que se integram, a área drenada, as respectivas coordenadas geográficas e a entidade responsável pela manutenção da estação hidrométrica, estão identificadas na tabela 5.1.

A localização das respectivas estações hidrométricas (freguesia, concelho, distrito) é identificada na tabela 5.2. [23]

É de salientar que cada estação hidrométrica possui um perfil de medição e que nem todas as secções de medição utilizadas cumprem o conjunto de condições definidas no subcapítulo 4.2.1, relativamente à optimização de critérios para a escolha de um perfil de medição. No entanto, o desejo de que o discernimento e o bom senso acompanhassem as actividades, de modo a minimizar potenciais erros de medição, esteve sempre presente.

Tabela 5.1 – Caracterização das estações hidrométricas para o estudo [23]

Secções de medição		Rios	Bacia	Área drenada (km ²)	Coordenadas		Entidade responsável
Secções	Localização				Lat. (°N)	Long. (°W)	
1	Perfil de medição de Castro Daire	Paiva	Douro	288,17	40.891	-7.932	EDP
2	Cerca de 40 metros a montante do Perfil de Medição				----	----	
3	Cerca de 15 metros a montante do perfil de medição de Ermida	Corgo	Douro	294,23	41.23	-7.749	EDP
4	Perfil de medição de Ponte Remondes	Sabor	Douro	2833,58	41.396	-6.806	EDP – INAG
5	Cerca de 21 metros a montante do perfil de medição				----	----	
6	Cerca de 42 metros a jusante da Ponte (a jusante do descarregador de Azibo)	Azibo	Douro	282,76	41.406	-6.803	EDP
7	Perfil de medição da Fábrica da Matrena	Nabão	Tejo	1047,16	39.532	-8.379	INAG
8	Perfil de medição de Ponte Ribeira Pernes	Alviela	Tejo	162,85	39.39	-8.66	INAG
9	Ponte Nova	Almonda	Tejo	102,16	39.466	-8.527	INAG
10	Ponte – situada no troço rectilíneo do canal de adução, a montante da Central da Senhora do Porto (Porto de Ave)						EDP

Tabela 5.2 - Localização dos rios estudados

Secções	Rios	Bacia	Freguesia	Concelho	Distrito
1; 2	Paiva	Douro	Castro Daire	Castro Daire	Viseu
3	Corgo	Douro	Ermida	Vila Real	Vila Real
4; 5	Sabor	Douro	Remondes	Torre de Moncorvo	Bragança
6	Azibo	Douro	Castro Vicente	Mogadouro	Bragança
7	Nabão	Tejo	S. Pedro de Tomar	Tomar	Santarém
8	Alviela	Tejo	Pernes	Torres Novas	Santarém
9	Almonda	Tejo	Santa Maria	Santarém	Santarém
10	Canal artificial		Taíde	Póvoa de Lanhoso	Braga

A localização das secções de medição 1 a 6 referidas, responsabilidade da entidade EDP, é apresentada nas figuras seguintes:

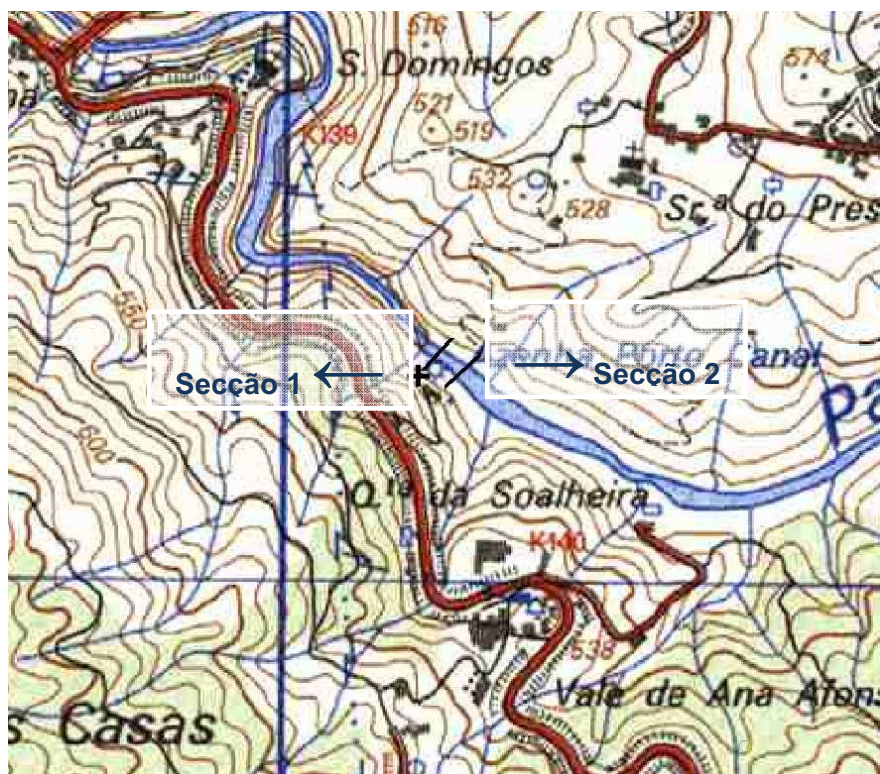


Figura 5.1 - Localização das secções 1 e 2, no rio Paiva (extracto da carta militar nº157, à escala 1:25000)

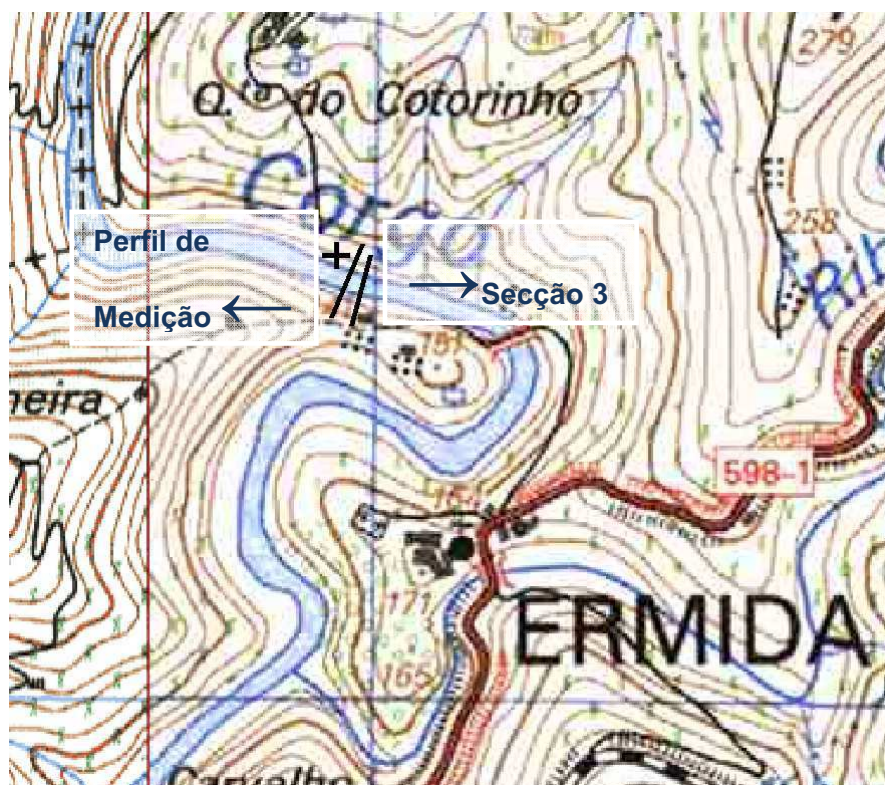


Figura 5.2 - Localização da secção 3 e perfil de medição da estação hidrométrica de Ermida, no rio Corgo (extracto das cartas militares nº114 e nº115, à escala 1:25000)

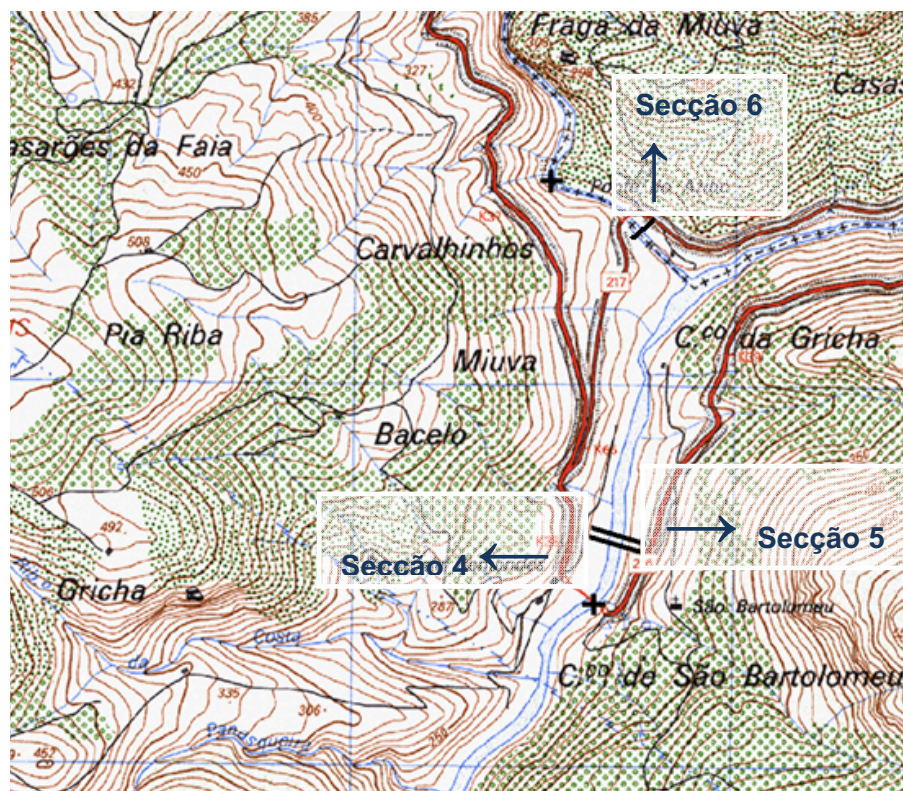


Figura 5.3 - Localização das secções 4, 5 (rio Sabor) e 6, no rio Azibo (extracto das cartas militares n°114 e n°115, à escala 1:25000)

Não foi possível obter a localização, através de cartas militares, das restantes secções definidas para a realização de medições.

No Anexo 2, encontra-se uma breve descrição dos rios em que se localizam as estações hidrométricas e secções onde foram efectuadas medições de caudal; apresenta-se também uma breve descrição do canal artificial onde se realizou a sétima campanha de medições de caudal.

5.3. CONDICIONALISMOS ENCONTRADOS

O trabalho de campo decorreu entre os meses de Outubro de 2009 e Janeiro de 2010. Os meses de Outubro e Novembro foram secos, e como tal, foram medidos caudais de reduzida ordem de grandeza. O contrário verificou-se nos restantes meses, nos quais os caudais escoados registaram-se elevados. Este facto dificultou a comparação dos valores obtidos pelos diferentes equipamentos utilizados nas várias campanhas realizadas.

Durante este período foi complicado compatibilizar as disponibilidades das diversas entidades envolvidas nas medições. Para além deste aspecto, o reduzido número de horas diárias de luz, condicionou o número de medições efectuadas e o tempo disponível para a sua realização. Assim, foi, por vezes, difícil efectuar medições com o rigor pretendido.

Salienta-se ainda os seguintes factos ocorridos:

- Em duas campanhas (1 e 2) não foi possível comparar qualquer equipamento, visto que só se dispunha do molinete hidráulico;

- Uma das secções da terceira campanha apresentou uma subida elevadíssima do nível de água num curto espaço de tempo, permitindo comparar somente o molinete hidráulico com o sensor electromagnético;
- Na campanha número 5, não foi possível para realizar medições com o aparelho convencional (molinete hidráulico), visto o local não apresentava condições para o efeito;
- Na campanha seguinte (6) ocorreu a avaria do equipamento acústico destinado à comparação de resultados com o convencional, sendo portanto pouco conclusiva;
- Na última campanha (7) não foi também possível recorrer a um dos equipamentos de tecnologia recente, devido à falta de condições do local.

5.4. CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE CAUDAL REALIZADAS

Ao longo do trabalho de campo realizado, foram efectuadas 7 campanhas de medição de caudal, nos locais já identificados na tabela 5.2.

Foram utilizados os equipamentos identificados na tabela 4.3 (subcapítulo 4.4) na medição de caudais, tendo as campanhas ocorrido nas datas e secções indicadas na tabela 5.3:

Tabela 5.3 – Calendário, secções de medição e entidades intervenientes nas campanhas realizadas

Campanha	Data		Secções	Entidades intervenientes
	Início	Fim		
1	16-10-2009	16-10-2009	1	EDP
2	04-11-2009	04-11-2009	2	EDP
3	11-11-2009	12-11-2009	2	EDP; INAG
			3	EDP; INAG
			5	EDP; INAG
4	03-12-2009	04-12-2009	1	EDP; QUALITAS
			4	EDP; INAG; QUALITAS
			6	EDP; INAG; QUALITAS
5	17-12-2009	17-12-2009	7	INAG
6	14-01-2010	14-01-2010	9	EDP; INAG
			8	EDP; INAG
7	20-01-2009	20-01-2009	10	EDP; INAG

As campanhas de medição de caudal efectuadas pretenderam:

- Comparar os caudais obtidos pelos diversos equipamentos utilizados, permitindo avaliar o desempenho de cada um deles, as suas potencialidades e limitações;
- Avaliar as limitações e precisão dos diferentes equipamentos, atente nomeadamente os modos de suspensão utilizados, vantagens e inconvenientes destes equipamentos;

5.4.1. DESCRIÇÃO DAS ACTIVIDADES DE CAMPO

i. A campanha número um teve como objectivo principal a avaliação da influência e importância dos seguintes parâmetros:

- Distância entre verticais utilizadas para a definição dos perfis transversais;
- Diferente duração temporal utilizada para a medição da velocidade em cada ponto, consoante a profundidade ao longo de uma mesma vertical (um ponto perto da superfície exige menos tempo para a medição da velocidade do que um ponto mais profundo);
- Diferentes tipos de suspensão adoptados para o molinete hidráulico, comparando os resultados obtidos.

Foram programadas 4 medições de caudal na mesma secção transversal (estação hidrométrica de Castro Daire, rio Corgo – secção número 1 da tabela 5.1), com recurso ao molinete C 31, suspenso por cabo (25 kg) e por haste, variando o espaçamento entre verticais e o tempo de medição de velocidade em cada ponto da vertical. Apresenta-se, de seguida, uma tabela explicitando os diferentes parâmetros comparativos analisados:

Tabela 5.4 - Parâmetros comparativos adoptados na primeira campanha

Número de Medição	Sistema de Suspensão	Distância entre Verticais (m)	Tempo de Medição (seg)
1	Haste	0,5	50
2	Haste	1	50
3	Cabo	1	50
4	Haste	1	40/60/80/100*

* Dependendo da profundidade do ponto de medição.

ii. A campanha número dois teve como principal objectivo:

- A avaliação da importância dos diferentes tempos de medição de velocidade em cada ponto, tendo em conta a profundidade ao longo de uma mesma vertical e a comparação dos resultados obtidos.

Foram programados 2 ensaios comparativos na mesma secção transversal (cerca de 40 metros a montante do perfil de medição da estação hidrométrica de Castro Daire – secção número 2 da tabela 5.1), com recurso ao molinete C 31, suspenso por haste (medição a vau), mantendo o mesmo espaçamento entre verticais e variando o tempo de medição da velocidade em cada ponto da vertical, consoante a profundidade do mesmo.

Apresenta-se, de seguida, a tabela 5.5 com os respectivos parâmetros comparativos analisados:

Tabela 5.5 - Parâmetros definidos para a segunda campanha (medições a vau)

Número de Medição	Sistema de suspensão	Distância entre Verticais (m)	Tempo de Medição (seg)
1	Haste	0,5	40/100*
2	Haste	0,5	50

* Dependendo da profundidade do ponto. Nos primeiros 30 cm de profundidade, utilizou-se 40 segundos. A partir dos 30 cm, utilizou-se 100 segundos.

iii. À campanha número três corresponderam os seguintes objectivos:

- Comparação do tempo numérico para efectuar uma medição completa (isto é, ao longo de uma secção de medição), utilizando diferentes equipamentos, nas mesmas condições (rio e secção);
- Comparação dos valores obtidos (larguras de medição efectivas, áreas e velocidades de escoamento e caudais escoados) pelos diferentes equipamentos utilizados;

Foram realizados 15 medições comparativas em 3 secções distintas, localizadas em 3 diferentes rios e utilizando 3 equipamentos distintos. A tabela 5.6 indica o programa de medições da 3ª campanha:

Tabela 5.6 - Programa de medições da terceira campanha

Secção	Número de medições	Equipamentos utilizados
2	1	Molinete C 31
	1	Sensor electromagnético
	1	Stream Pro ADCP
3	3	Molinete C 31
	3	Sensor electromagnético
	3	Stream Pro ADCP
5	1	Molinete C 31
	1	Sensor electromagnético
	1	Stream Pro ADCP

As medições realizadas com o molinete C 31 e o sensor electromagnético foram realizadas em simultâneo, e com um sistema de suspensão a haste. O Stream Pro ADCP foi utilizado com recurso a catamaran. A tabela 5.7 apresenta os parâmetros adoptados para as medições com recurso a haste:

Tabela 5.7 - Parâmetros definidos para terceira campanha (medições a vau)

Secção	Equipamento utilizado	Distância entre Verticais (m)	Tempo de Medição (seg)
2	Molinete C 31	0,5	50
	Sensor Electromagnético	0,5	20
3	Molinete C 31 (1º ensaio)	1	50
	Molinete C 31 (2º ensaio)	2	50
	Molinete C 31 (3º ensaio)	2	50
	Sensor Electromagnético (1º ensaio)	1	20
	Sensor Electromagnético (2º ensaio)	2	20
	Sensor Electromagnético (3º ensaio)	2	20
5	Molinete C 31	1	50
	Sensor Electromagnético	1	20

A secção transversal de medição número 3 da tabela 5.1 (cerca de 15 metros a montante do perfil de medição da estação hidrométrica de Ermida), aquando da medição, revelou muita instabilidade relativamente ao nível da superfície livre de escoamento. Tal poderá ser justificado, não só pela chuva

caída durante a realização das medições, mas também pela existência de turbinamentos a montante devido a uma mini-hídrica, o que fez o nível da água subir consideravelmente num curto espaço de tempo. Este facto exigiu que o espaçamento entre as verticais utilizado fosse aumentado, de modo a realizar uma medição minimamente credível, procurando enquadrar uma variação do nível de água (entre os instantes inicial e final) o mais reduzida possível.

iv. A campanha número quatro pretendeu:

- Comparar os caudais obtidos através da utilização dos diferentes equipamentos;
- Comparar os dois perfiladores acústicos em termos de largura total e efectiva da secção;
- Aferir os valores da curva de vazão do descarregador do Azibo com caudais obtidos através da utilização dos diferentes equipamentos.

Foram realizadas 10 medições comparativas em 3 secções distintas, pertencentes a 3 diferentes rios e com 4 equipamentos distintos. A tabela 5.8 descreve o programa de medições da quarta campanha:

Tabela 5.8 - Programa de medições da quarta campanha

Secção	Número de medições	Equipamentos utilizados
1	1	Molinete C 31
	2	River Surveyor M9
4	1	Molinete C 31
	1	River Surveyor M9
	1	Stream Pro ADCP
6	1	Molinete C 31
	1	Sensor electromagnético
	1	Stream Pro ADCP
	1	Flow Tracker ADV

As duas primeiras secções possuíam profundidades elevadas, o que impossibilitou a utilização do molinete C 31 com sistema de suspensão a haste, sendo utilizado o sistema a cabo. As condições de escoamento na última secção de medida considerada nesta campanha permitiu que as sondagens pudessem ser feitas a vau, pelo que foi possível efectuar medições com o molinete hidráulico, o sensor electromagnético e o flow tracker ADV. As restantes medições com os equipamentos acústicos foram efectuadas com recurso catamaran e trimaran. A tabela que se segue apresenta os parâmetros definidos para os ensaios a vau.

Tabela 5.9 – Parâmetros definidos para a quarta campanha (medições a vau)

Secção	Equipamento utilizado	Distância entre Verticais (m)	Tempo de Medição (seg)
1	Molinete C 31	2	50
4	Molinete C 31	2	50
6	Molinete C 31	1	50
	Sensor electromagnético	1	50

Nas secções 1 e 4 (identificadas na tabela 5.1), optou-se por aumentar a distância entre as primeiras verticais, visto que, as margens onde se iniciaram as medições possuíam reentrâncias de baixa profundidade, nas quais a velocidade era praticamente nula (figura 5.4), ao ponto de a barra estabilizadora não se orientar para jusante.



Figura 5.4 - Fotografia demonstrativa do efeito das reentrâncias existentes nas margens, na campanha de medições de caudal (secção 1 em Castro Daire, rio Paiva, no dia 3 de Dezembro de 2009).

- v. A campanha número cinco pretendeu:
- Como objectivo principal, comparar os caudais obtidos através da utilização dos diferentes equipamentos;
 - Comparar o valor da curva de vazão do rio na secção de medida com os valores obtidos através da utilização dos aparelhos de medição.

Foram efectuadas 3 medições comparativas na mesma secção, realizadas com 2 equipamentos distintos. Segue-se a tabela descritiva do programa de medições da campanha:

Tabela 5.10 - Programa de medições para a quinta campanha		
Secção	Número de Ensaios	Equipamentos utilizados
7	1	Molinete C 31
	1	Rio Grande ADCP
	1	Stream Pro ADCP

Não foi possível efectuar a medição a vau com o molinete C 31 porque a secção 7 (identificada na tabela 5.1) possuía uma altura de água superior a 2 metros. Como o perfil de medição permitiu no passado efectuar medições a cabo, ainda tentou adaptar-se o sistema de suspensão existente de modo a

concretizar a medição, mas se mostrou possível, devido às más condições em que aquele se encontrava (figura 5.5).

De seguida, procurou-se uma secção mais a jusante, menos profunda, para realizar as medições. No entanto, a velocidade revelou-se demasiado elevada, como se pode ver pela figura 5.6, e o fundo muito irregular.



Figura 5.5 - Teleférico do perfil de medição da Fábrica da Matrena



Figura 5.6 - Secção a jusante do perfil de medição da Fábrica da Matrena

- vi. A campanha número seis pretendeu:
- Como objectivo principal, comparar os caudais obtidos através da utilização dos diferentes equipamentos;
 - Adquirir informação sobre medições efectuadas a partir de ponte;
 - Comparar a curva de vazão do rio na secção de medida com os valores obtidos através da utilização dos aparelhos de medição.

Foram programadas 4 medições comparativas em 2 secções diferentes (secções 8 e 9), com 2 equipamentos distintos. Segue-se a tabela descritiva do programa de medições da campanha:

Tabela 5.11 - Programa de medições para a sexta campanha

Secção	Número de Ensaios	Equipamentos utilizados
8	1	Molinete C 31
	1	Rio Grande ADCP
9	1	Molinete C 31
	1	Rio Grande ADCP

As medições foram iniciadas na secção 9 (identificada na tabela 5.1). A primeira foi realizada com o molinete C 31, com sistema de suspensão a cabo, realizada a partir da ponte (adoptada distância de 1 metro entre verticais), tendo sido adoptado um tempo de medição de 60 segundos. No decorrer da segunda medição realizada na secção 9 ocorreu uma avaria do equipamento Rio Grande ADCP, o que impossibilitou terminar esta medição. Este problema, aliado também ao elevado nível do escoamento que se verificou na secção 8, comprometeu as medições nesta secção, as quais não se puderam realizar.

vii. A campanha número sete pretendeu:

- Comparar os caudais obtidos através da utilização de diferentes equipamentos;
- Comparar os caudais, as velocidades seccionais médias, as áreas e as larguras da secção transversal obtidas através dos equipamentos utilizados;
- Obter conclusões sobre o valor da distância às margens a inserir nos equipamentos ADCP's.

Tal como já se referiu, esta campanha foi realizada num canal artificial. Foram programadas 8 medições comparativas na secção 10, com 4 equipamentos diferentes, para 2 níveis de água distintos. Segue-se a tabela descritiva do programa de medições da campanha:

Tabela 5.12 - Programa de medições para a sétima campanha

Secção	Número de Ensaios	Equipamentos utilizados
10	2	Molinete C 31
	2	Sensor electromagnético
	2	Rio Grande ADCP
	2	Stream Pro ADCP

Foi possível utilizar 3 dos equipamentos disponíveis, mas apenas para um dos níveis de água previamente definidos (nível mais baixo). A inexistência de um passadiço impossibilitou a utilização do sensor electromagnético, uma vez que a ponte, onde se efectuaram as medições, possuía uma altura superior ao comprimento de haste disponível para o referido aparelho.

O molinete C 31 foi utilizado com um sistema de suspensão a vau, sendo as verticais espaçadas de 0,5 metros e o tempo de medição variável (100 segundos para o ponto mais próximo do fundo e 50 para os restantes).

O software dos equipamentos acústicos foi executado considerando uma distância à margem igual a zero e diferente de zero para permitir tirar conclusões sobre o modo como devem ser medidas estas distâncias.

5.4.2. TRATAMENTO DE DADOS

Todos os registos efectuados relativamente a velocidades e sondagens (distâncias horizontais e profundidades medidas, com recurso a sistema de suspensão a haste e/ou cabo) foram tratados em computador, o que permitiu elaborar tabelas que resumem a medição. A partir dos registos e com recurso ao Microsoft Office Excel, a programas para cálculo de caudais (nomeadamente o da empresa EDP e INAG) e o software que acompanha os aparelhos acústicos de efeito de doppler, foi possível criar o perfil transversal das secções medidas, calcular caudais, áreas e velocidades médias por secção.

Os programas para cálculo de caudais utilizados para os aparelhos de medição pontual assentam nos seguintes métodos:

- O método computacional da EDP assenta no método de integração da velocidade profundidade. Este método é independente da localização precisa dos pontos medidos ao longo da vertical, sendo o mais importante a definição, da maneira mais completa possível, do perfil de velocidades. Deve medir-se vários pontos, com um espaçamento considerável entre si, ao longo da mesma vertical;
- O método computacional do INAG assenta no método da secção média. Este método calcula o caudal em cada subsecção, exigindo, para além da profundidade, a velocidade média em cada vertical. O método do INAG calcula a velocidade média a partir da medição de velocidades a 0,2 e 0,8 da profundidade em cada vertical.

Para mais informação sobre métodos de cálculo de velocidades médias e caudais, os subcapítulos 2.4.2 e 2.4.3 devem ser consultados, respectivamente.

Os relatórios de medição dos aparelhos acústicos discriminam os caudais que foram efectivamente medidos dos que foram estimados, apresentando também as áreas, velocidades médias e distâncias para cada travessia realizada. Expõe os perfis transversais obtidos para cada passagem, onde são apresentadas as gamas de velocidades medidas, em diferentes tonalidades ao longo do perfil, para cada uma das travessias. Para além dos referidos dados, apresenta a média de todos os valores obtidos.

Os referidos dados calculados foram, posteriormente, tabelados e foram estimados os desvios relativos entre os caudais obtidos pelos diferentes equipamentos, através da fórmula que se segue:

$$\text{desvio} = \frac{Q_{e1} - Q_{e2}}{Q_{e1}} \quad (5.1)$$

Para avaliação dos desvios relativos entre os valores de caudal obtidos pelos diferentes equipamentos não basta que o valor do desvio esteja o mais próximo possível da linha de “resultado ótimo”, sendo, portanto, necessário estimar as fronteiras (máxima e mínima) que limitam o erro na medição. Desta forma, admite-se que um nível de confiança de 95 % estabelece os limites para as incertezas numa medição. Assim, todos os desvios que difiram mais de 5 % da média não são considerados aceitáveis.

Os desvios existentes entre os vários métodos foram analisados da forma que se passa a descrever. Teoricamente, os valores obtidos pelos diferentes equipamentos deveriam ser iguais. Contudo, na prática, os valores nunca se igualam. Portanto, foi criada uma linha de 45° (exemplo na figura 5.7), que corresponde ao resultado ótimo, passível de se obter, uma vez que permite comparar os valores

de caudal pelos equipamentos nas diversas secções. A referida linha considera a igualdade dos valores de caudal obtido, logo quanto mais próximo da mesma, menor é o desvio e melhor o resultado.

Os caudais obtidos foram também representados nas curvas de vazão correspondentes às secções onde se efectuaram medições (figura 5.11), com a finalidade de visualizar o distanciamento dos valores obtidos em relação aos valores das curvas, e consequentemente, analisar se as mesmas devem ou não ser reajustadas. A escala de representação das curvas foi seleccionada de modo a permitir visualizar com alguma distinção os caudais correspondentes às medições efectuadas, visto que para a mesma curva, foram medidos caudais correspondentes a diferentes alturas de água. Nessas curvas representam-se as medições de caudal que lhes deram origem e as medições de caudal efectuadas no desenvolvimento deste trabalho.

Todos os registos de medição, perfis transversais, folhas de cálculo de caudais, áreas, velocidades médias por secção e correspondentes caudais, gráficos, curvas de vazão e fotografias que compõem os relatórios de campo encontram-se no Anexo 2, referente às campanhas de medição de caudal.

5.4.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Procede-se de seguida à análise dos resultados obtidos por campanha de medições de caudal realizadas:

i. Campanha de medições número 1

A primeira medição, com recurso a haste, apresenta-se, como seria de esperar, com uma configuração do fundo mais detalhada, devido ao menor espaçamento adoptado entre verticais (0,5 metros). Tal permitiu calcular uma área da secção superior à área encontrada com verticais espaçadas de 1 metro. Para além disso, permitiu encontrar uma zona de velocidades não nulas, a 3 metros da margem esquerda, imperceptível em qualquer uma das outras medições. Consequentemente, obteve-se o caudal mais elevado nesta medição (e o mais próximo da curva de vazão).

A segunda medição, em termos de configuração, possui um intervalo menos detalhado (os últimos 3,8 metros da margem direita) e muito inclinado junto à margem, pois optou-se por iniciar a medição a uma distância da margem, onde, potencialmente, já existiria algum valor de velocidade para medir. Como tal, obteve-se um valor para área da secção inferior às outras medições.

A 3ª medição, com recurso ao cabo, como se pode ver pela figura 1 do Anexo 2, onde são apresentados os perfis transversais, pormenoriza de forma semelhante o fundo da secção. No entanto, revela erros excessivos na medição da largura da secção. As medições com recurso a haste, definem ambas a secção com 13,8 metros, enquanto a medição suspensa por cabo define a secção com 15,85 metros, o que provocou um sobredimensionamento da área da secção. Para além disso, revela menor precisão na definição das velocidades, visto que para a mesma vertical, apenas no ponto mais à superfície (ponto com velocidade mais elevada) foi possível definir um valor não nulo (com excepção da vertical 9, com 2), obtendo o valor da velocidade média da secção mais baixo, como se apresenta na tabela 1 do Anexo 2. Mede menor número de pontos por vertical, e para o mesmo intervalo em metros (largura), apresenta menos verticais com valores de velocidade não nulos em relação às outras 2 medições. As medições efectuadas a vau, revelaram, não só, maior precisão na obtenção de velocidades, mas também maior pormenorização na definição do fundo da secção em causa. Os

resultados sugerem então, que a medição a cabo, para esta gama de caudais (cerca de $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$) e tendo em conta que a precisão obtida, não apenas em termos de velocidade mas também em termos de sondagem de profundidades é inferior, revela-se, portanto, inadequada.

Os caudais, áreas e velocidades médias obtidas são apresentados na tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Caudais, áreas e velocidades médias (primeira campanha)

Medições	H (m)	Q médio (m^3/s)	Área (m^2)	$V=Q/A$ (m/s)
1ª	1,045	0,098	9,128	0,0107
2ª	1,045	0,086	8,544	0,0101
3ª	1,040	0,076	9,826	0,0077

As pequenas diferenças entre as configurações do fundo do rio são justificadas pelo local onde se apoiaram os sistemas de suspensão do aparelho, uma vez que as medições foram realizadas por aparelhos pontuais.

ii. Campanha de medições número 2

Para a secção em causa e tendo em conta as velocidades obtidas para as diferentes profundidades e verticais, não foi possível tirar conclusões concretas, visto que os resultados são insuficientes para uma análise mais profunda e concreta. No entanto, foi possível concluir que as velocidades medidas com 40 segundos, próximo da superfície, são, em geral, superiores às medidas com 50 segundos e que as medidas com 100 segundos, próximo do fundo, são inferiores às medidas com 50 segundos, tal como se apresenta na tabela 4 do Anexo 2.

O caudal correspondente à segunda medição é sensivelmente superior ao primeiro, sendo essa diferença pouco relevante. Perante estes resultados e efectuada uma análise cuidada dos perfis de velocidades, conclui-se que a adopção de tempos de medição de 100 segundos para os pontos mais baixos da vertical e 50 segundos para todos os outros pertencentes à vertical, permite encontrar valores de velocidade mais próximos do real e consequente valor de caudal.

Os caudais, áreas e velocidades médias obtidas são apresentados na tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Caudais, áreas e velocidades médias (segunda campanha)

Medições	H (m)	Q médio (m^3/s)	Área (m^2)	$V=Q/A$ (m/s)
1ª (≠ tempo de medição)	1,085	0,386	2,125	0,182
2ª (= tempo de medição)	1,085	0,395	2,125	0,186

iii. Campanha de medições número 3

Recorda-se que nesta campanha foram realizadas medições em três secções.

A primeira secção objecto de estudo permitiu verificar que os valores de caudal obtidos pelos diversos equipamentos foram sensivelmente semelhantes, estando o desvio de valores entre o molinete C 31 e

os restantes dois equipamentos abaixo de 5 %. O mesmo não se verificou para o sensor electromagnético e Stream Pro ADCP, apesar de não se revelar significativamente superior (6,79 %).

Na segunda secção não foi possível efectuar qualquer comparação com o aparelho Stream Pro ADCP, visto que as medições foram efectuadas para níveis diferentes. A subida significativa do nível da água impossibilitou tal comparação, na medida em que, desde a primeira até à última medição realizada, o nível subiu mais de 30 centímetros, o que correspondeu a um aumento superior a 1000 % do caudal do rio, segundo a curva de vazão em vigor.

No entanto, visto que o molinete C 31 e o sensor electromagnético foram utilizados simultaneamente é possível comparar os resultados obtidos. Obtiveram-se desvios relativos de 15,82, 1,78, e 4,39 % na primeira, segunda e terceira passagem, respectivamente, para as diferentes alturas de água. A média dos desvios é superior a 5 %, embora numa percentagem muito reduzida (5,77 %). O valor é, contudo, aceitável, visto que a primeira passagem obteve um desvio muito superior às outras, inclusive 3 vezes superior ao mínimo admissível, sugerindo que possam ter sido cometidos erros durante uma das medições, e como tal, não deve ser considerado para a média. Assim sendo, a média assume o valor de 3,09 %, considerando-se razoável.

Perante estes resultados, é possível concluir que o molinete C 31 e o sensor electromagnético possuem um desempenho muito semelhante e uma performance razoável, pela semelhança de valores de caudais obtidos.

A terceira secção revelou valores que se enquadram na curva de vazão do rio. Contudo, os valores diferem significativamente entre si. Os desvios existentes entre os diversos equipamentos são, todos eles, superiores aos 5 % aceitáveis. O desvio mais significativo é referente ao molinete hidráulico e Stream Pro ADCP (16,12%).

O caudal obtido pelo aparelho acústico foi o mais elevado (tabela 5.15). Tal grandeza pode ser devida ao facto de o equipamento não corrigir desvios de rota, aliado ao facto de também não terem sido medidas as distâncias às margens com a exactidão devida. Tal acontecimento pode provocar um sobredimensionamento do caudal, tendo em conta que, a largura total e a largura média efectiva da medição calculada pelo aparelho é de 8,9 e 6,95 metros, respectivamente, sendo consideravelmente superior à largura total medida com recurso a uma fita graduada (6,4 metros), durante a utilização dos equipamentos de medição de velocidades pontuais. As alterações nos padrões físicos do leito também impedem o ADCP de medir com precisão a largura do rio. Para além disso, a secção utilizada está fora dos padrões tipo a utilizar para medições com aparelhos acústicos, pois é muito irregular (margem esquerda longa, com fundo raso e margem direita mais funda do que o centro) e assimétrica, como se pode constatar pelo perfil transversal obtido na figura 12 do Anexo 2.

Tabela 5.15 - Caudais, áreas, velocidades médias e tempos de medição (terceira campanha, secção 2)

Equipamento	H (m)	Q (m ³ /s)	Área (m ²)	V=Q/A (m/s)	Tempo de medição (minutos)
Molinete C 31	1,08	0,406	2,272	0,179	60
Sensor electromagnético	1,08	0,445	2,119	0,212	60
Stream Pro ADCP	1,08	0,484	2,210	0,220	20

De modo a comparar as características da secção (largura, velocidade e área) tentou efectuar-se as medições com o ADCP sob o perfil estabelecido para as medições a vau. No entanto, por mais cuidado que se procure ter neste sentido, é impossível manter o percurso do aparelho igual ao longo da

medição. Portanto, não foi possível comparar as características obtidas durante as medições dos dois tipos de sistemas de suspensão (haste e barco).

O tempo que demora, em média, uma medição com o molinete hidráulico e o sensor electromagnético é, sensivelmente, três vezes superior ao tempo que demora a completar uma medição com o aparelho acústico (tabela 5.15), excluindo a travessia teste, não referenciando o perigo inerente a uma medição com recurso a um sistema de medição a haste, inexistente numa medição com estes aparelhos acústicos. O tempo de medição pode ser superior se a secção for efectivamente mais larga.

Assim sendo, perante os resultados obtidos, e tendo em conta que, as especificações do aparelho acústico utilizado são adequadas para a gama de profundidades dos locais em estudo, o Stream Pro ADCP revela-se um aparelho eficaz e seguro para a medição de caudais em rios, desde que a secção seja apropriada para a sua utilização.

iv. Campanha de medições número 4

Recorda-se que nesta campanha foram realizadas medições em três secções.

Na primeira secção de medição, os valores obtidos possuem um desvio de 11,27 % (medições realizadas para o mesmo nível), e como tal, muito superior ao valor limite de 5 %. No entanto, os valores obtidos pelo River Surveyor M9, nas duas medições efectuadas, para a secção em questão, enquadram-se perfeitamente na curva de vazão, o que sugere, não apenas que os valores obtidos são aceitáveis, mas também que possam ter existido factores externos a afectar a medição realizada com o molinete C 31.

Na segunda secção de medição, os caudais obtidos possuem desvios entre os 9 e os 33 % (o afastamento dos valores é representado na figura 5.7), o que permite concluir que, pelo menos duas das medições não foram realizadas com o cuidado e precisão exigida para o efeito. Durante a utilização dos aparelhos acústicos, as distâncias às margens não foram medidas correctamente, mas sim lidas “a olho”. Para além disso, a secção escolhida revelou-se imprópria para o efeito, visto que era extremamente irregular, possuindo uma margem muito longa e com profundidades reduzidas, um centro pouco profundo e uma segunda margem com profundidades elevadas (como se pode ver pelo perfil transversal da secção apresentada no Anexo 2, figura 15), o que justifica os valores obtidos para os ADCP's. No caso do molinete C 31, surgiu um imprevisto durante a medição, que inviabilizou terminar a medição com sistema de suspensão a cabo. Todo o equipamento que foi utilizado durante a medição devia ter sido verificado, conforme os procedimentos descritos no capítulo 4, o que não aconteceu. O guincho utilizado para o efeito não possuía comprimento suficiente que permitisse terminar a medição. Como tal, a partir dos 94 metros do poste da margem direita até à margem esquerda, foi necessário entrar na água e realizar a medição com recurso a sistema de suspensão a haste (ver álbum de fotografias 7, no Anexo 2, referente à secção em causa). Este facto poderá ter introduzido alguns erros, visto que o caudal foi calculado a partir do método computacional.

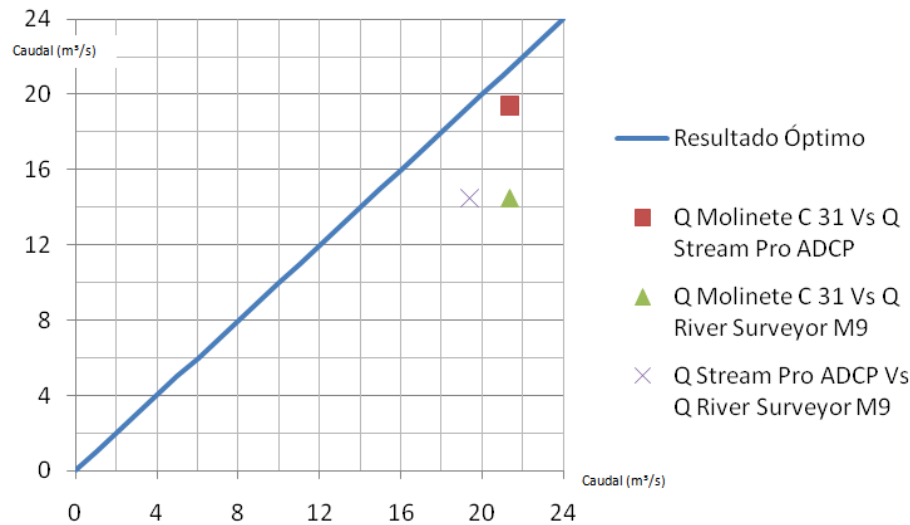


Figura 5.7 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 4, secção 4)

Os caudais estão, contudo, enquadrados com a curva de vazão do rio no local da medição. De todos os equipamentos utilizados, o Stream Pro ADCP é o que possui menor afastamento, sendo o River Surveyor M9 o que possui o maior.

Perante tamanha discrepância entre os valores de caudais obtidos e dificuldade de definir qual o valor de caudal mais coerente, não é possível tirar qualquer conclusão relativamente à precisão dos equipamentos.

Relativamente à largura da secção, o river surveyor M9 definiu uma secção com largura total de 50,07 metros e largura efectiva de 44,19 metros (folha de cálculo 22). O stream pro ADCP definiu uma secção com 47,48 metros e uma largura efectiva de 38,48 metros (folha de cálculo 23). Procurou realizar-se as medições sob o perfil já definido, pelo qual se efectuou a sondagem a cabo. Para esta sondagem a largura total da secção obtida foi de 49,07 metros, como se pode ver pela tabela 20, sendo a largura efectiva 44,07 metros. Este valor foi determinado partindo do princípio que a largura efectiva é contabilizada pela distância entre a primeira vertical a seguir à linha de água, onde se iniciam as medições de velocidade, até à última anterior à margem oposta, onde se terminam as medições de velocidade. Mesmo sabendo que é muito difícil efectuar uma medição com recurso a perfilador exactamente sob o perfil, devido às deslocções longitudinais provocadas pela corrente, considera-se que o river surveyor M9 é mais preciso na definição da largura das secções, perante os resultados obtidos pelos perfiladores, visto que o valor aproxima-se mais do valor obtido pela sondagem (perfil) efectuada com o molinete C 31 do que o stream pro ADCP. O M9 utiliza tecnologia GPS na medição de distâncias (conforme referido no prospecto do equipamento), inexistente no stream pro, que permite corrigir desvios de rota em secções descontínuas.

A secção 6 no rio Azibo apresentava-se imprópria para ser medida devido à quantidade de pedras existentes em torno do perfil definido para a medição (álbum de fotografias 8, presente no Anexo 2). No entanto, dentro dos possíveis, revelou-se a melhor opção. O menor desvio referente ao valor devolvido pela curva de vazão teórica do descarregador para a altura de água em causa e os equipamentos utilizados foi o do Molinete C 31 (5,39 %). O maior desvio foi referente ao flow tracker ADCP (18,77 %), como se pode constatar pela tabela 5.16. Nenhum dos valores está abaixo dos 5 %, mas este facto pode ser justificado pelas más condições em que se apresentava a secção. Contudo, visto que a curva de vazão do descarregador é bastante próxima do real, é possível concluir que o molinete C 31 foi o aparelho mais preciso na medição de caudal efectuada. As velocidades médias da

secção fornecidas pelos aparelhos acústicos são muito semelhantes, independentemente dos diferentes valores de caudal e áreas obtidos. O stream pro ADCP, quando puxado manualmente, calcula uma largura efectiva mais próxima do real, pois o operador define o trajecto mais correctamente.

Tabela 5.16 - Caudais, áreas, velocidades médias e tempos de medição (quarta campanha, secção 6)

	Q Descarregador / Q Molinete C 31	Q Descarregador / Q Sensor electromagnético	Q Descarregador / Q Stream Pro ADCP	Q Descarregador / Q Flow Tracker ADV
Desvio (%)	5,39	9,85	13,24	18,77

Esta campanha permitiu concluir que, apesar do molinete hidráulico ser um instrumento de medições de caudal moroso, fornece bons resultados, revelando uma performance constante e um desempenho fiável, quando comparado com os equipamentos que usam tecnologias recentes, nomeadamente os acústicos, desde que o nível de água se mantenha constante.

Os aparelhos acústicos definem o perfil da secção com grande exactidão e quando correctamente utilizados, permitem obter caudais muito próximos do real. Porém, qualquer descuido no manuseio do equipamento, nomeadamente na inserção da distância às margens, pode originar erros significativos no caudal final.

Considera-se que os aparelhos acústicos mais recentes, com GPS incorporado, calculam a largura efectiva da secção com maior precisão.

v. Campanha de medições número 5

A partir dos valores dos caudais obtidos entre os 2 aparelhos acústicos, é possível constatar que os valores apresentam desvios de 7,67 %, acima dos 5 %.

É de salientar o facto de as velocidades médias da secção calculadas pelos aparelhos ser exactamente a mesma (0,282 m/s) e a largura efectiva pouco diferir. Logo, o aparelho que definiu uma área superior, definiu também uma profundidade superior e correspondente caudal (tabela 5.17). O aparelho em questão é o rio grande ADCP. Pela análise das folhas de cálculo 28 e 29, presentes no Anexo 2, onde são apresentados os perfis de leitura de velocidades, é possível constatar que o rio grande ADCP mediu velocidades até sensivelmente 1,8 metros de profundidade, enquanto o stream pro ADCP ficou pelos 1,5 metros, aproximadamente. No entanto, o rio grande estimou valores para os primeiros 50 centímetros, tendo medido velocidades a partir desta profundidade, enquanto o stream pro estimou apenas para os primeiros 20. O valor de caudal fornecido pelo stream pro ADCP aproxima-se mais da curva de vazão da secção do rio em questão.

Tabela 5.17 - Caudais, áreas, larguras efectivas e velocidades médias (quarta campanha, secção 6)

Equipamentos	Q (m³/s)	Área (m²)	Largura efectiva (m)	V=Q/A (m/s)
Stream Pro ADCP	5,224	18,554	13,49	0,282
Rio Grande ADCP	5,658	20,17	13,18	0,282

vi. Campanha de medições número 6

Esta campanha acabou por se revelar pouco conclusiva, uma vez que não foi possível estabelecer a comparação dos resultados obtidos pelos dois equipamentos. Considera-se que a medição com o molinete C 31 foi correctamente efectuada. No entanto, durante a medição com o rio grande ADCP foi possível constatar que o nível de água subiu mais de 10 centímetros em relação à primeira medição, o que impossibilitou qualquer comparação dos caudais obtidos pelos equipamentos. Para além disso, a avaria que surgiu no perfilador acústico impediu a realização de uma medição com a exigência requerida.

Porém, foi possível efectuar uma medição a cabo, através da ponte, sobre o rio, com o molinete C 31. Esta medição provou que este sistema é funcional, devendo ser considerada uma solução a adoptar na inexistência de um sistema de cabos previamente montado (ver álbum de fotografias 9, no Anexo 2).

A secção de medição escolhida não possui uma curva de vazão definida, pelo que não foi possível enquadrar os valores do caudal obtidos na referida curva.

vii. Campanha de medições número 7

Esta campanha permitiu concluir o que os resultados das campanhas anteriores descritas já sugeriam, relativamente à incapacidade que os perfiladores acústicos possuem de determinar um valor de caudal mais concreto perante secções irregulares. Perante os valores de desvios obtidos (tabela 5.18), todos eles inferiores a 5 % (o que nunca tinha acontecido), é possível concluir que os ADCP's, quando correctamente utilizados e quando a secção a medir respeita todas as condições definidas no subcapítulo 4.2.1, possuem um desempenho fantástico e uma óptima performance. À partida, o valor de caudal obtido pelo molinete C 31 é muito próximo do real, isto porque as características do canal impõem apenas uma direcção ao sentido da corrente, o que fornece fiabilidade ao resultado obtido.

O facto de a secção ser regular permite, pela primeira vez, avaliar com elevado grau de precisão, certos parâmetros que eram até à data impossíveis de comparar, nomeadamente os caudais passíveis de serem medidos e os caudais estimados pelo software dos perfiladores (tabela 5.19).

O rio grande ADCP é um aparelho acústico que opera com uma variada gama de frequências. Em modo standard opera em profundidades e velocidades elevadas. Perante a secção objecto de estudo foi necessário configurar o sistema para o modo 11 (em que utiliza uma gama de frequências superiores, nas quais restringe a medição de valores de velocidades a 2 m/s). O stream pro ADCP não precisa de ajustes, pois é um aparelho específico para profundidades inferiores a 2,25 metros. Perante este facto e pela análise dos resultados, é natural que a distância em branco do rio grande ADCP ($\pm 0,35$ centímetros) seja, aproximadamente, 2 vezes superior à do stream pro ($\pm 0,15$ centímetros), o que justifica o valor de caudal à superfície obtido pelos dois equipamentos (proporcionalmente também o dobro). Relativamente à distância do fundo, onde estes aparelhos deixam de medir velocidades, o stream pro ADCP possui uma distância vertical superior e correspondente valor superior de caudal estimado.

Na configuração da distância às margens, optou-se por inserir a distância desde o centro da face do transdutor até ao limite físico lateral do barco (ver álbum de fotografias 11 do Anexo 2, ilustrativas da campanha realizada). A distância do rio grande ADCP é superior à do stream pro ADCP, visto que a largura do barco é superior, logo o caudal estimado para as margens é também superior. Para além do referido, o transdutor do rio grande possui um diâmetro 3 vezes superior, aproximadamente (22,8

centímetros), em relação ao transdutor do stream pro (sensivelmente 10 centímetros). Assim sendo, a distância às margens pode ter sido mal inserida, na medida em que, deveria ter sido medida a distância desde o limite físico lateral do barco ao limite lateral da face do transdutor e não a distância até ao seu centro. Este facto pode explicar, não apenas o valor da largura efectiva obtida pelos 2 equipamentos (inferior no rio grande, pois quanto maior a distância inserida, menor é a largura efectiva medida), o valor da área obtida (se para a mesma profundidade o valor da largura efectiva é inferior, a correspondente área da secção também é inferior), velocidades médias da secção (se o caudal total do rio grande é superior ao stream pro e a área é inferior, a velocidade é obrigatoriamente superior), mas também o valor obtido para o desvio relativo entre os dois perfiladores (maior dos desvios). O caudal efectivamente medido pelo stream pro é então superior ao do rio grande. Estes valores são apresentados na tabela 31 do Anexo 2 e estão descritos nas folhas de cálculo 33 e 34.

Os resultados obtidos pelo rio grande ADCP, após uma distância às margens inserida igual a zero (tabela 5.20), provocaram um desvio de 5,10 % relativamente à mesma medição (com distância às margens diferente de zero), como se pode constatar pela tabela 5.21. Estes resultados sugerem que, apesar do valor do caudal total obtido (distância às margens inserida igual a zero) ser mais próximo do valor obtido pelo molinete (desvio de 1,96 %) do que o valor inicial, com distância às margens (2,99 %), não significa que seja o mais próximo do real. Isto porque, a partir da tabela 35 (Anexo 2), a nova área obtida é inferior à inicial (7,73 %) e bastante inferior à obtida pelo molinete C 31 (17,96 %), o que não revela coerência, visto que o canal tem dimensões definidas e a área líquida do molinete foi calculada a partir dessas dimensões. Portanto, para a altura de água registada, o valor da área tem de ser, obrigatoriamente, o mais próximo da obtida pelo molinete e não o contrário, como se pode verificar. Consequentemente, o equipamento com distância às margens igual a zero registou a velocidade média mais elevada da secção, entre todas as obtidas (12,97 e 2,54 % em relação ao molinete e primeira medição do rio grande, respectivamente – tabela 36 do Anexo 2).

Assim sendo, os resultados obtidos sugerem que, na inserção da distância às margens, deve ser medida a distância desde o limite lateral da face do transdutor do lado da margem, até à margem propriamente dita.

Tabela 5.18 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (sétima campanha)

Equipamentos	Q Molinete C 31 / Q Stream Pro ADCP	Q Molinete C 31 / Q Rio Grande ADCP	Q Rio Grande ADCP / Q Stream Pro ADCP
Desvio (%)	1,14	2,99	4,25

Tabela 5.19 - Caudais parciais obtidos pelos equipamentos acústicos (sétima campanha)

Equipamentos	Q Total (m³/s)	Q Medido (m³/s)	Q Superfície (m³/s)	Q Fundo (m³/s)	Dist. Esq (m)	Q Esq. (m³/s)	Dist. Dir. (m)	Q Dir. (m³/s)
Rio Grande ADCP	2,845	1,164	1,282	0,261	0,4	0,084	0,4	0,054
Stream Pro ADCP	2,729	1,762	0,522	0,383	0,2	0,036	0,2	0,025

Tabela 5.20 - Caudais, áreas, profundidades e velocidades médias (sétima campanha)

Equipamentos	Distância às margens (m)	Q (m³/s)	Área (m²)	Profundidade efectiva (m)	V=Q/A (m/s)
Molinete C 31	---	2,760	4,27	0,80	0,651
Rio Grande ADCP	0,00	2,707	3,62	0,76	0,748
Rio Grande ADCP	0,40	2,845	3,90	0,76	0,729

Tabela 5.21 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (sétima campanha)

Equipamentos	Q Molinete C 31 / Q Rio Grande ADCP (distância às margens = 0)	Q Molinete C 31 / Q Rio Grande ADCP (distância às margens ≠ 0)	Q Rio Grande ADCP (distância às margens ≠ 0 / Q Rio Grande ADCP (distância às margens = 0)
Desvio (%)	1,96	2,99	5,10

5.4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

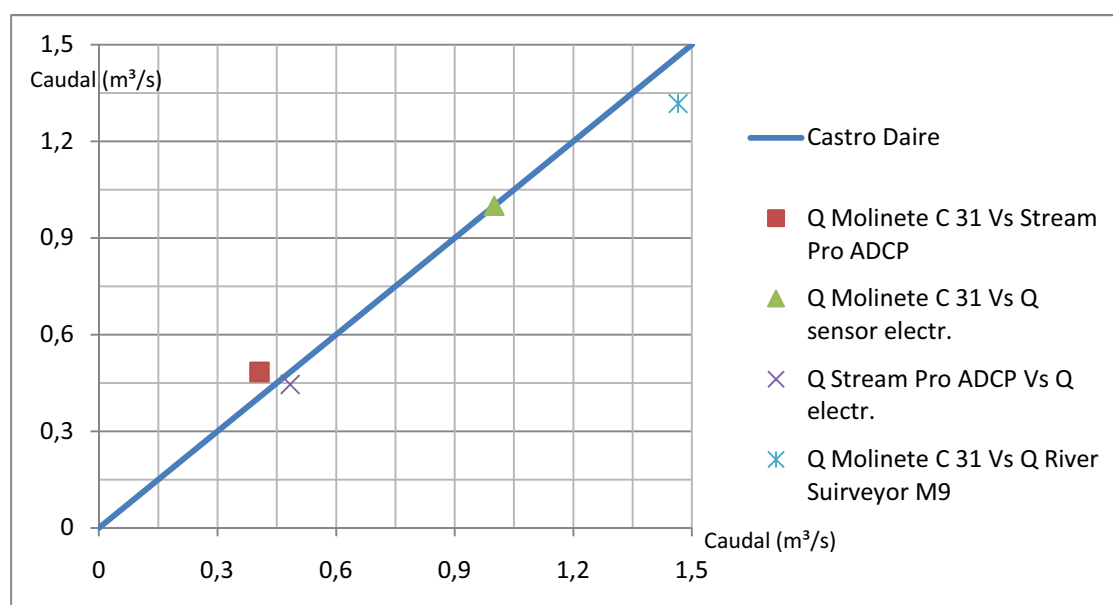
O tempo que demorou a completar cada medição de caudal realizada, tendo em conta o equipamento utilizado, em cada secção e correspondente campanha são expostos seguidamente na tabela 5.22.

Tabela 5.22 – Tempos de medição para cada equipamento e campanha de medições de caudal

Campanhas	Canais	Secções	Equipamentos	Tempo de medição (minutos)	Largura da secção (m)
1	Paiva	1	Molinete C 31	120	14,00
				40	14,00
				60	14,00
2	Paiva	2	Molinete C 31	75	6,60
				45	6,60
	Sabor	5	Molinete C 31	75	18,72
			Sensor electromagnético	50	18,72
			Stream Pro ADCP	18	18,31
				35	11,00
3	Corgo	3	Molinete C 31	25	12,40
				29	12,90
				35	11,00
			Sensor electromagnético	25	12,40
				29	12,90
				11	10,42
	Paiva	2	Stream Pro ADCP	12	11,47
				16	12,42
			Molinete C 31	60	6,40
			Sensor electromagnético	60	6,40
			Stream Pro ADCP	21	6,95

4	Paiva	1	Molinete C 31	70	14,00
			River Surveyor M9	17	15,70
	Sabor	4	Molinete C 31	150	49,70
			Stream Pro ADCP	17	47,48
			River Surveyor M9	31	50,07
	Azibo	6	Molinete C 31	47	10,50
			Sensor electromagnético	45	10,50
			Stream Pro ADCP	12	10,49
			Flow Tracker ADV	55	10,50
	Nabão	7	Stream Pro ADCP	18	13,49
5			Rio Grande ADCP	13	13,18
6	Almonda	9	Molinete C 31	105	21,70
			Rio Grande ADCP	10	20,74
7	Canal Artificial	10	Molinete C 31	60	5,30
			Stream Pro ADCP	16	5,24
			Rio Grande ADCP	10	5,11

Os desvios relativos dos caudais obtidos por todos os equipamentos utilizados em duas secções distintas, estação hidrométrica de Ponte Remondes, no rio Sabor e estação hidrométrica de Castro Daire, no rio Paiva (secções onde foi possível efectuar mais do que uma sessão de medição de caudal, visto que as outras representações de desvios por secção já são apresentadas no Anexo 2) são representados nas figuras 5.8 e 5.9. Os valores de caudal mais elevados (para uma altura hidrométrica significativamente superior) foram divididos por 10, de forma a obter uma comparação proporcional com as restantes medições realizadas para um nível hidrométrico inferior.



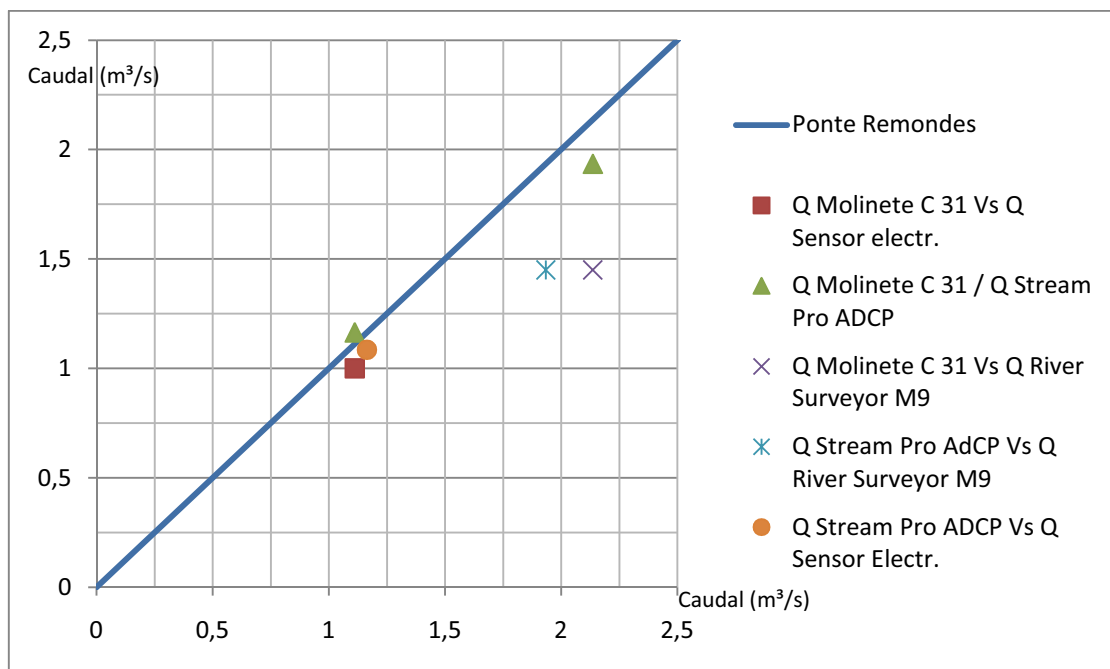


Figura 5.9 - Desvios relativos na estação hidrométrica de Ponte Remondes

Perante a análise realizada anteriormente dos resultados obtidos, dos quadros e figuras apresentadas, foi possível sintetizar as seguintes considerações:

- As medições efectuadas a vau revelam maior precisão na obtenção de velocidades e maior pormenorização na definição do fundo da secção em causa, do que as medições realizadas a cabo, para gamas de caudais reduzidas;
- A medição a cabo, a partir de uma ponte, provou ser funcional devendo ser considerada uma solução a adoptar na inexistência de um sistema de cabos (teleférico) previamente montado;
- Relativamente ao molinete hidráulico, a adopção de tempos de medição de 100 segundos para os pontos mais baixos da vertical e 50 segundos para todos os outros pertencentes à mesma, permite encontrar valores de velocidade mais próximos do real e consequente valor de caudal;
- O molinete hidráulico é um instrumento moroso para medições de caudal. No entanto, fornece bons resultados, revelando uma performance constante e um desempenho fiável, desde que o nível de água se mantenha constante;
- O molinete comparativamente ao sensor electromagnético possui um desempenho muito semelhante e uma performance razoável, pela semelhança de valores de caudais obtidos;
- O tempo que demora, em média, uma medição com o molinete hidráulico e o sensor electromagnético (equipamentos de medição de velocidades pontuais) é, sensivelmente, três vezes superior ao tempo que demora a completar uma medição com o ADCP (equipamento de medição de velocidades contínuas), dependendo da largura da secção (se for muito larga, então o tempo de medição dos equipamentos de medição de velocidades pontuais pode ser bastante superior);
- Os aparelhos acústicos revelam-se eficazes na medição de caudais em rios, se as especificações do aparelho forem adequadas para a gama de profundidades da secção a medir e a secção for relativamente apropriada para a sua utilização;

- Os aparelhos acústicos definem o perfil da secção com grande exactidão e quando correctamente utilizados, permitem obter caudais muito próximos do real. Porém, qualquer descuido no manuseio do equipamento, nomeadamente na inserção da distância às margens, pode originar erros significativos no caudal final;
- Considera-se que os perfiladores acústicos mais recentes, com GPS incorporado, calculam a largura efectiva da secção com maior precisão;
- Na inserção da distância às margens nos aparelhos acústicos, deve ser medida a distância desde o limite lateral da face do transdutor do lado da margem, até à margem propriamente dita.

Por último, é avaliada a necessidade de ajuste das curvas de vazão, nas secções objecto de estudo.

As curvas de vazão são obtidas a partir de uma nuvem de pontos, composta por valores de caudais obtidos para diferentes alturas. Assim sendo, não faz sentido tirar conclusões sobre uma possível necessidade de reajustamento da curva, a partir do afastamento dos valores dos caudais obtidos em relação à linha que a define, mas sim enquadrando os mesmos valores de caudais na nuvem de pontos que deu origem à curva.

Seguem-se as curvas de vazão dos rios Paiva, Corgo e Sabor e correspondentes nuvens de pontos que lhes deram origem.

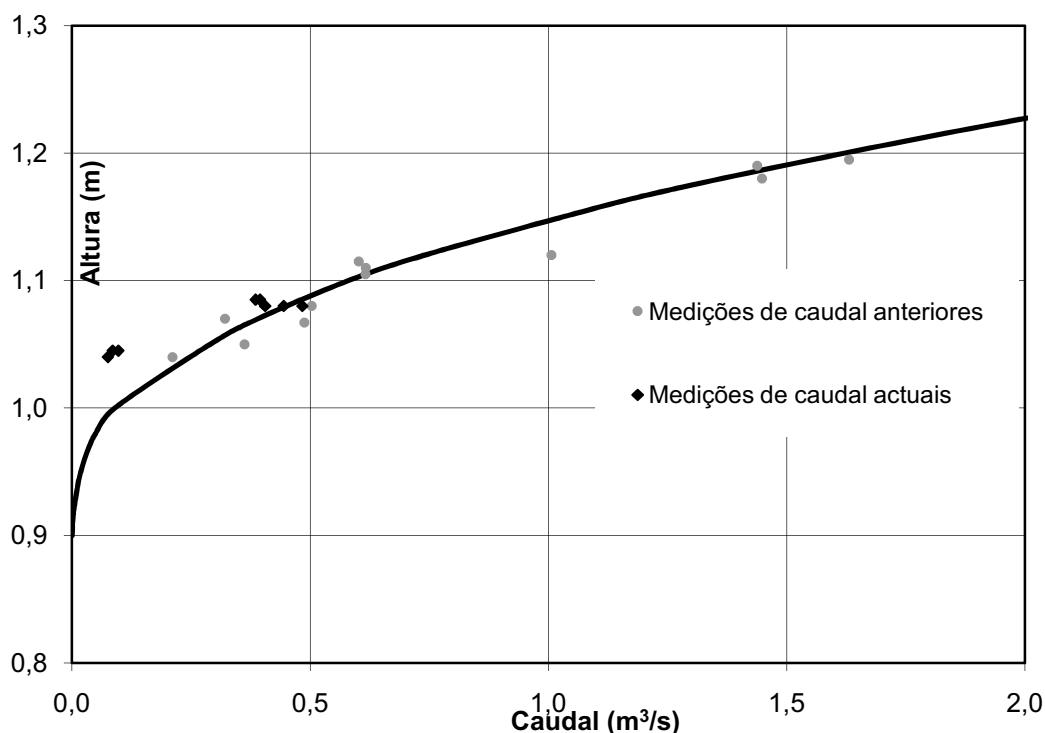


Figura 5.10 - Enquadramento dos valores de caudais obtidos na nuvem de pontos de pontos que deu origem à Curva de vazão da Estação hidrométrica de Castro Daire, no rio Paiva (escala definida para visualização dos caudais de reduzida ordem de grandeza)

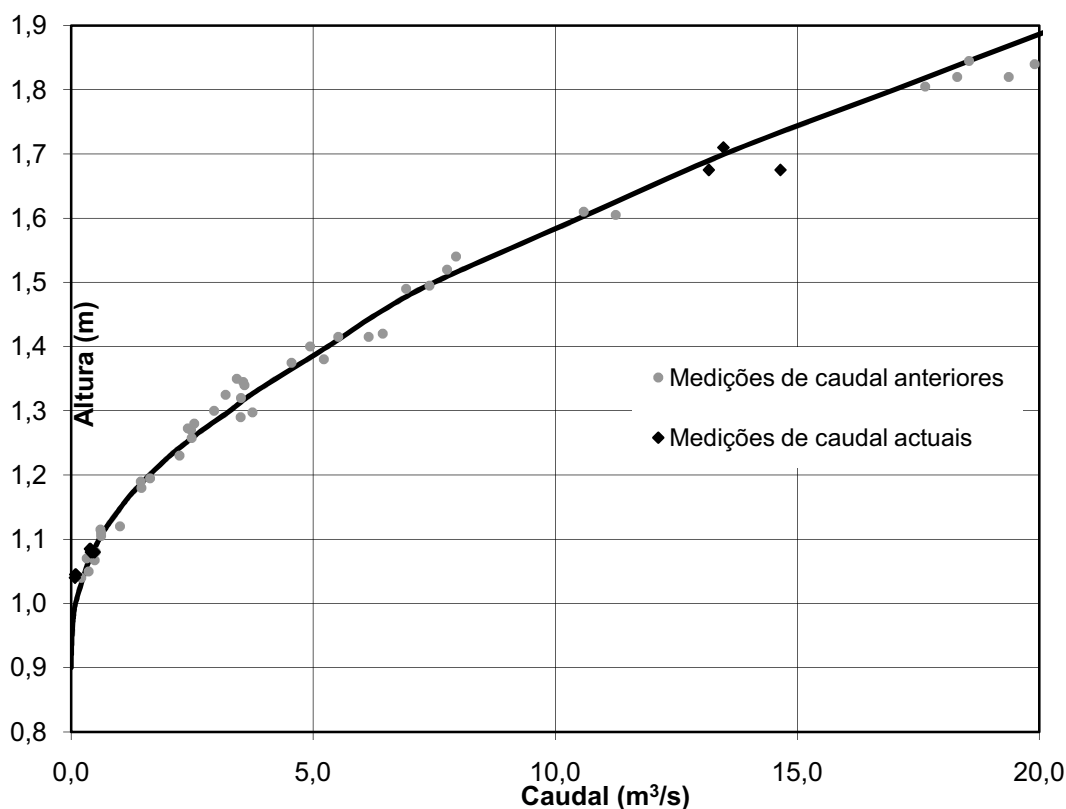


Figura 5.11 - Enquadramento dos valores de caudais obtidos na nuvem de pontos de pontos que deu origem à curva de vazão da estação hidrométrica de Castro Daire, no rio Paiva (escala definida para visualização dos caudais de elevada ordem de grandeza)

O distanciamento dos valores de caudais de ordem de grandeza reduzida, em relação à curva de vazão e correspondentes pontos que lhe deram origem, sugere uma possível necessidade de ajuste da curva de vazão. Considera-se que é necessário proceder a uma confirmação dos valores agora obtidos, mediante a realização de mais campanhas de medição de caudal para as alturas hidrométricas até 1,1 metros. Só após a análise desses resultados poderá concluir-se algo sobre a necessidade ou não, de proceder ao ajuste da curva de vazão.

Considera-se que os caudais mais elevados agora medidos não implicam o ajuste da curva de vazão.

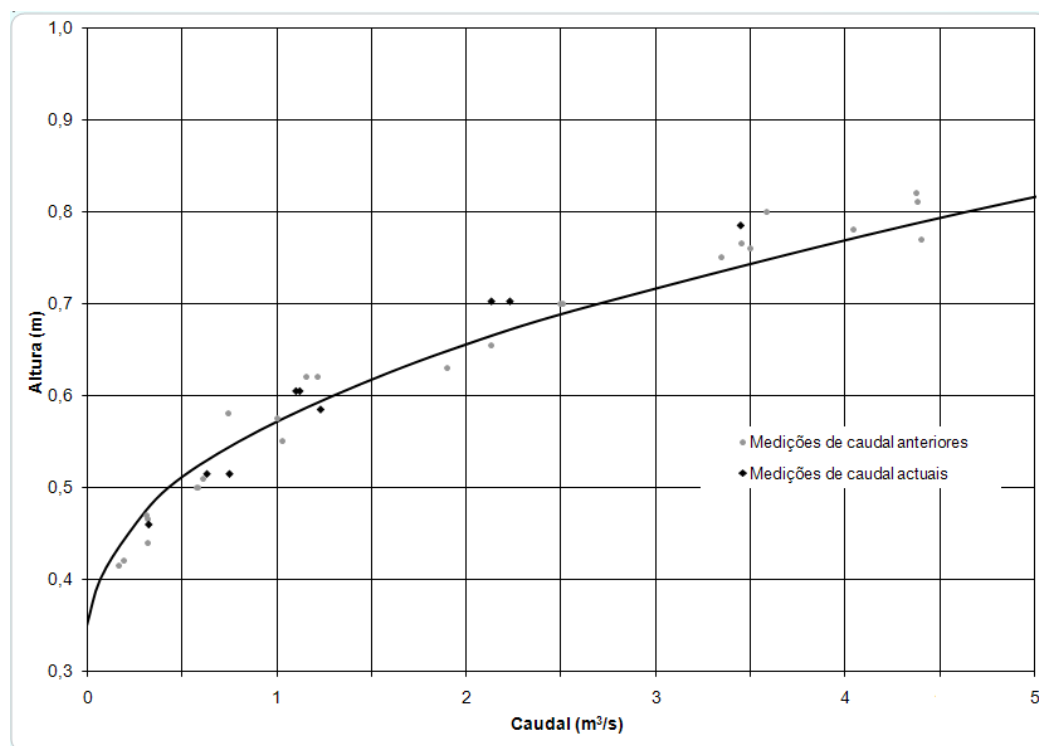


Figura 5.12 - Enquadramento dos valores de caudais obtidos na nuvem de pontos de pontos que deu origem à curva de vazão da estação hidrométrica de Ermida, no rio Corgo

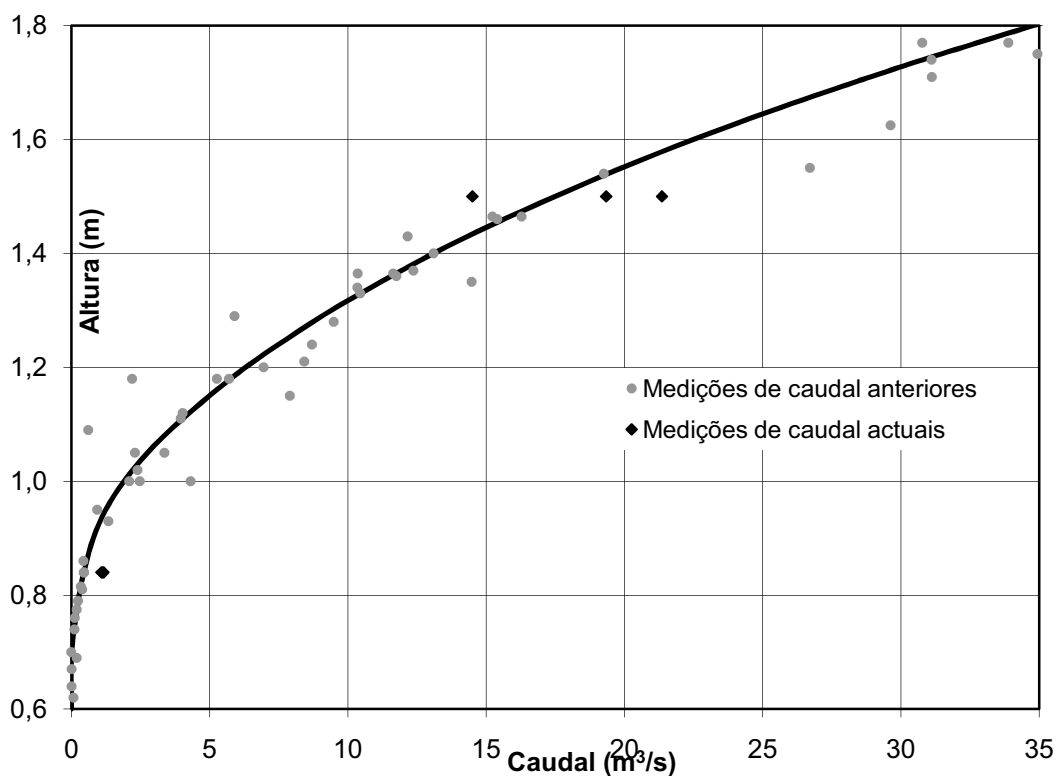


Figura 5.13 - Enquadramento dos valores de caudais obtidos na nuvem de pontos de pontos que deu origem à curva de vazão da estação hidrométrica de Ponte Remondes, no rio Sabor

Da análise das duas últimas curvas de vazão, verifica-se que os valores de caudais obtidos enquadram-se perfeitamente na nuvem de pontos, pelo que se considera que não é necessário proceder ao seu ajuste.

6

CONCLUSÕES

É importante começar por referir que a medição de caudais em rios, permitindo a definição das curvas de vazão em várias secções ao longo dos mesmos, constitui um procedimento base fundamental no âmbito da hidrologia das águas superficiais.

Com vista a uma melhor compreensão de toda a dinâmica associada ao processo de medição de caudais, nesta dissertação descreve-se de forma exaustiva, quer o método mais utilizado na prática para esse efeito (método secção – velocidade), quer os equipamentos (princípios físicos, tecnologia de suporte e procedimentos operacionais), a que foi possível recorrer para efectuar tal medição.

Foram realizadas 7 campanhas de medição de caudal, suportadas pela empresa EDP em parceria com o INAG, tendo sido, inclusive, convidada a participar numa das campanhas uma empresa fornecedora de equipamentos, de nome QUALITAS. As referidas campanhas foram realizadas com o objectivo de, por um lado, comparar o desempenho e performance dos diferentes equipamentos de medição utilizados pelas duas primeiras entidades e representados pela terceira, por outro, definir procedimentos adequados à utilização desses equipamentos.

Apresentam-se seguidamente as principais conclusões obtidas na sequência da experiência e resultados obtidos durante as campanhas de medição de caudal realizadas:

- a) Relativamente aos equipamentos que efectuem medições pontuais (molinetes hidráulicos e sensores electromagnéticos) e seus modos de suspensão, salientam-se os seguintes aspectos:
 - Quanto maior for o número de verticais, mais próximo do real será o caudal obtido. Contudo, a realização prévia de sondagens de profundidade na secção ou a análise de perfis transversais existentes da mesma (no caso de a secção não ser medida pela primeira vez), permite definir a melhor localização para as verticais e o número a adoptar;
 - A adopção de tempos de medição diferentes ao longo de cada vertical, superiores para os pontos mais profundos, permite obter valores mais precisos para a velocidade e consequentemente para o caudal;
 - As medições a vau revelam, não só, maior precisão na medição das velocidades, nomeadamente por permitirem manter o aparelho no sentido da corrente e controlar a verticalidade da haste, mas também permitirem maior pormenorização na definição do fundo da secção em causa (sondagem de profundidades). As medições realizadas a cabo revelam uma precisão inferior, não só em termos de medição de velocidades, mas também em termos de sondagem de profundidades, estando sujeitas a uma margem de erro superior. Para caudais

reduzidos, a medição realizada a cabo considera-se, genericamente, inadequada; para caudais elevados, dado que o erro relativo diminui, tornando este processo já aceitável na prática;

- Na inexistência de um teleférico previamente montado, a medição realizada a cabo através de uma ponte sobre o rio revela-se de toda a funcionalidade, podendo ser considerada como uma solução a adoptar;
- Os resultados obtidos durante as campanhas de medição de caudal efectuadas sugerem que o molinete C 31 e o sensor electromagnético possuem um desempenho muito semelhante e uma performance razoável, pela semelhança de valores de caudais obtidos. O sensor electromagnético possui a vantagem de permitir medir velocidades em locais onde existe vegetação aquática (que inibe o funcionamento da hélice do molinete) e em pontos muito próximos da superfície (onde a utilização do molinete é inibida pelo facto de a hélice ficar emersa, dada a sua dimensão). Porém, este equipamento é muito sensível à verticalidade.

b) Os perfiladores acústicos com efeito doppler (ADCP's) têm vindo a adquirir uma utilização cada vez mais generalizada na medição de caudais. No seguimento deste trabalho, através da análise das suas características, procedimentos de utilização, resultados obtidos e respectiva comparação com os métodos tradicionais para medição de velocidades, foi possível tirar algumas conclusões, que se apresentam de seguida:

b₁) As vantagens operacionais destes equipamentos, quando comparados com os anteriormente referidos, equipamentos convencionais, residem nos seguintes parâmetros:

- Tempo de medição
O tempo que demora a efectuar uma medição completa é muito reduzido. O ADCP flutua à superfície da água e move-se ao longo da secção transversal para efectuar uma medição. Cada travessia demora, em média, cerca de 5 minutos (para as situações analisadas, na realidade o tempo é dependente da largura da secção), o que permite efectuar 4 travessias por secção (medição completa, se forem válidas todas as travessias), em apenas 20 minutos, ao contrário dos molinetes hidráulicos que, na maioria dos casos, em correspondentes circunstâncias, necessitam de cerca de 2 horas para completar uma só medição, idêntica a uma travessia efectuada com os aparelhos acústicos;
- Repetitividade e consistência dos resultados
 - i. O facto de cada medição demorar muito pouco tempo permite efectuar várias travessias sucessivas, construindo conjuntos de resultados sólidos e fiáveis relativos à secção medida (desde que o aparelho seja correctamente manuseado), ao contrário do molinete que permite apenas efectuar uma/duas medições por dia na mesma secção;
 - ii. No caso de existirem situações em que o nível de água sobe rapidamente, o caudal obtido pelos equipamentos de medição pontual possui uma margem de erro elevada. Devido à morosidade do processo, as características de escoamento podem variar substancialmente ao longo da vertical. Os ADCP's, pelo facto de uma travessia demorar pouco tempo, possibilitam a atenuação deste problema;
- Informação recolhida – qualidade e quantidade
 - i. No invés de medir várias velocidades pontuais (consoante o método para cálculo da velocidade média utilizado) nas verticais seleccionadas, o ADCP mede, continuamente, as velocidades ao longo das diferentes colunas de água, subjacentes à posição do equipamento. Revela, portanto, a velocidade em grande detalhe,

mostrando como varia, em tempo real, da superfície até ao fundo e ao longo da secção;

- ii. Numa única travessia o ADCP recolhe entre 300 a 1000 “*ensembles*” (capítulo 3.5.1), enquanto os métodos tradicionais recolhem informações (velocidades pontuais e profundidade) apenas do número de verticais onde se efectuaram leituras;
 - iii. O ADCP efectua registo e traçado de batimetria da secção medida, definindo e traçando um perfil contínuo ao longo da mesma, ao contrário dos convencionais, em que, geralmente, a secção é definida através do respectivo levantamento topográfico ou por sondagens de profundidade com o aparelho utilizado, tal implica a medição das profundidades num número limitado de verticais, possuindo o perfil, portanto, um traçado com menor precisão;
 - iv. No final da medição, é possível, de imediato, verificar se o valor para o caudal obtido é coerente e se não for o caso, basta repetir a medição. Pelo contrário, os equipamentos convencionais apenas permitem a recolha de informação, e sem tratamento posterior dos dados obtidos, o que, frequentemente, impossibilita a repetição da medição;
- Segurança operacional e economia (a longo prazo):
 - i. Para a utilização do ADCP, o operador não necessita de entrar dentro de água, pois pode operar a partir de uma ponte, ou através das margens, com recurso a uma corda, desde que possua o apoio de um segundo operador, na margem oposta, ou ainda com recurso a um sistema de teleférico. O molinete exige, pelo menos, 2 operadores e no caso de ser possível efectuar a medição a vau, um dos operadores tem de entrar dentro de água, estando sujeito aos riscos inerentes à própria actividade (risco de queda do operador ou perda de equipamento, podendo ser levado pela corrente do rio). No caso de não ser possível realizar a medição a vau e na inexistência de uma ponte, a sua utilização exige a instalação de um teleférico, ou suporte idêntico;
 - ii. Económico, pois pode ser montado num sistema flutuante (catamaran ou trimaran ou barco, dependendo da largura e velocidade da secção a ser medida), evitando a instalação e a manutenção de um dispendioso sistema a cabo, principalmente para secções muito largas;
 - Evita a medição da distância entre margens, desde que o aparelho seja de tecnologia recente. Os equipamentos actuais possuem tecnologia GPS incorporada que permite medir distâncias com bastante precisão e, no caso de ocorrer desvio de rota (visto que é complicado para o ADCP manter o mesmo trajecto durante toda a travessia) efectua correcções da distância percorrida;
 - Capacidade de medir em correntes turbulentas, ao contrário dos aparelhos convencionais que se revelam incapazes de o fazer com a precisão exigida para o efeito.

b₂) As desvantagens operacionais destes equipamentos (ADCP's), quando comparados com os convencionais residem nos seguintes parâmetros:

- Nos custos iniciais muito elevados;
- A irregularidade das secções afecta a performance do equipamento na medição de velocidades e caudais. Este facto é comum na utilização de todos os aparelhos. No entanto, para este tipo de equipamento, a exigência de secções regulares (rectangular, trapezoidal, ou aproximadamente parabólica) na medição de caudais adquire uma relevância superior aos restantes equipamentos. No caso de uma secção de medição composta, com grande variação de profundidades e velocidades entre o leito maior e

menor (velocidades nulas), pode haver problemas nas medições com um único sistema de frequências, visto que cada equipamento possui características específicas e a configuração interna do sistema é diferente consoante as profundidades. Esta situação pode acrescentar incerteza à medição, apesar de actualmente já existirem aparelhos acústicos que permitem ajustar a frequência de modo a operar em profundidades inferiores. No entanto, não são tão precisos quanto os específicos para a mesma gama de profundidades;

- Secções com fundo topograficamente assimétrico e velocidades médias inferiores a 0,10 m/s podem também acrescentar incerteza à medição;
- Na incapacidade de medir velocidades nas margens, próximo da superfície e junto ao leito, apesar de o equipamento possuir algoritmos que permitem estimar os valores;
- Na necessidade de conhecimento (formação), e treino por parte do operador, pois, apesar ou por causa da facilidade inerente à sua utilização, qualquer descuido no manuseio do equipamento, nomeadamente no valor atribuído à distância às margens (inserido no programa de cálculo), ou na necessidade de manter o aparelho num percurso rectilíneo a uma velocidade obrigatoriamente inferior à da corrente, pode originar erros significativos no resultado do caudal;
- Revisões frequentes de *hardware*, *firmware* e *software* (upgrades) devido ao facto de esta tecnologia ser inovadora. Estas revisões geralmente resultam em melhoramentos na precisão dos resultados obtidos. Devido à complexidade do ADCP, ao software associado e à natureza dinâmica das suas aplicações, este equipamento deve ser utilizado apenas por técnicos qualificados e devem ser seguidos, rigorosamente, os procedimentos standard. Caso contrário, os valores de caudal obtidos podem diferir significativamente do real e o operador pode não ter consciência do erro que está a cometer.

Foi possível constatar que as características das secções número 2, 4, 5 e 6, referentes às estações hidrométricas de Castro Daire (rio Paiva), Ponte Remondes (rio Sabor) e Azibo (rio Azibo) respectivamente, não eram as mais adequadas para a realização de medições de caudal. Obtiveram-se, portanto, em algumas das secções, também fruto de outros condicionalismos presentes nos dias das referidas medições, desvios, sendo alguns significativos, entre os valores de caudais auferidos. Ao invés, as secções 1, 3, 7, 9 e 10 referentes a ainda a Castro Daire, Ermida (rio Corgo), Fábrica da Matrena (rio Nabão), Ponte Nova (rio Almonda) e ao canal artificial da Nossa Senhora do Porto, respectivamente, revelaram-se apropriadas. Contudo, outros condicionalismos, já descritos no capítulo 5, surgiram, afectando a qualidade dos dados e/ou impossibilitando a comparação dos valores obtidos. Nas secções de Ermida e Fábrica da Matrena não foi possível obter comparações entre os aparelhos acústicos e convencionais, mas a inserção dos caudais obtidos nas curvas de vazão existentes parece indiciar a aceitabilidade dos valores obtidos. A avaria de um equipamento inviabilizou a finalização das medições na secção de Ponte Nova, o que impediu a comparação de qualquer comparação, impedindo, portanto, a concretização das medições previstas para a secção 8, de Ponte Ribeira Pernes (rio Alviela), visto que as secções iam ser medidas consecutivamente.

A única secção onde foi possível tirar ilações mais consistentes foi a secção 10, devido às características definidas da secção (visto se tratar de um canal artificial) e níveis hidrométricos relativamente constantes. Os resultados obtidos sugerem que, para a definição do valor atribuído à distância às margens (e inserido no programa do aparelho), deve ser medida a distância desde o limite lateral da face do transdutor do lado da margem, até à margem propriamente dita.

Perante os resultados obtidos, comportamento e potencialidades dos equipamentos existentes observadas, é convicção do autor que as sugestões expressas seguidamente poderão ser vantajosas:

1) Relativamente à utilização de qualquer equipamento de medição, sugere-se a adopção das seguintes práticas operativas:

- Em cada uma das secções de medição, devem ser criados 2 pontos (M1 e M2, um em cada margem), garantidamente afastados do nível máximo expectável, a partir dos quais se deve referenciar a distância à linha de água, o que deve permitir verificar se existem alterações significativas do fundo da secção.

No caso de serem utilizados aparelhos de medição de velocidades pontuais, a criação dos referidos pontos deve ainda possibilitar a referência das verticais de medição, de modo que, para cada nova campanha de medições de caudais a realizar, seja possível manter as verticais anteriores;

- Criação de uma caderneta de medições (subcapítulo 4.2.1) que acompanhe o operador em todas as campanhas, permitindo identificar o nome e respectiva localização dos perfis periodicamente medidos, os caudais e correspondentes níveis de água.

A caderneta deve ainda conter o número e respectiva localização das verticais medidas em relação aos pontos M1 e M2 referidos anteriormente, no caso de serem utilizados aparelhos de medição de velocidades pontuais. Tal deve permitir, aquando da nova medição, identificar quais as distâncias a adoptar entre verticais para melhor caracterização da secção e, consequentemente, precisar o mais possível o caudal medido.

2) Quanto à utilização, especificamente, do molinete hidráulico, sugere-se ainda a adopção dos seguintes procedimentos operacionais:

- Se o tempo disponível para a medição não for problema, o número de verticais a adoptar em qualquer medição deve ser seleccionado de acordo com os procedimentos definidos no subcapítulo 4.2.2, para assegurar que a medição possua um erro reduzido. De qualquer forma deve existir sempre um número mínimo de verticais, já definidas, por secção (de acordo, ou com a caderneta de medições referida anteriormente, ou com uma sondagem prévia de profundidades);
- Deve ser adoptado um tempo de medição de 100 segundos para os pontos próximos do leito do rio e de 50 segundos para todos os outros;
- Relativamente ao número de pontos a medir, deve seguir-se o procedimento definido no subcapítulo 4.2.3;

Se o tempo não for um factor importante a ter em conta durante a medição, devem ser medidos o maior número de pontos possíveis, de modo a caracterizar da melhor forma o perfil de velocidades em cada vertical e calcular um caudal mais próximo do real;

Se o tempo for um factor limitativo na realização de uma medição cuidada, de modo a assegurar o mínimo de qualidade dos dados obtidos, devem ser sempre medidos, no mínimo, 3 pontos, desde que a vertical possua uma profundidade superior a 0,5 metros;

- Para qualquer um dos casos, o primeiro ponto a medir, deve ser o mais próximo possível da superfície, até onde a hélice o permitir, pois teoricamente é o ponto com velocidade mais elevada. Os outros pontos a medir devem ser igualmente espaçados (de acordo com o método de cálculo da velocidade média por vertical a utilizar).

3) É inegável o interesse da utilização de equipamentos acústicos, para gamas de profundidades distintas, superior e inferior a 2,25 metros (concretamente e porque foram testados no estudo), River Surveyor M9 e Stream Pro ADCP.

- O primeiro, respectivamente, possui a capacidade de medir velocidades até 40 metros de profundidade, revelando-se essencial na rápida medição de caudais para níveis muito elevados (caudais de cheias). Permite efectuar batimetria de canais até 80 metros de profundidade, podendo inclusive, ser utilizado para outros fins para além da medição de caudais. Mas a grande vantagem deste equipamento reside, sobretudo, na tecnologia GPS incorporada ao sistema, que permite efectuar correcções dos desvios nas rotas realizadas durante a travessia entre margens, o que permite definir com precisão os perfis transversais das secções medidas;
- O Stream Pro ADCP permite substituir, com vantagem, o sistema de suspensão de haste, podendo ainda ser utilizado para gamas de profundidades até 2,25 metros e evitando a utilização de sistemas de suspensão fixos (teleféricos).

Estes equipamentos permitem economias substanciais decorrentes da evolução de tempo e meios humanos envolvidos nas campanhas de medição de caudal a efectuar. Para além disso, poderão evitar ou simplificar a instalação de mais teleféricos, visto que estes equipamentos são suspensos ou montados em sistemas flutuantes (catamaran e barco respectivamente). Estes aparelhos revelam-se flexíveis e essenciais na medição de caudais de elevada ordem de grandeza, ou de variação significativa dos níveis de água, permitindo dinamizar os métodos e procedimentos de medição de caudais.

Em termos globais, os objectivos desta tese foram atingidos. Contudo, perante os condicionalismos existentes, já referidos, os resultados obtidos revelaram-se escassos para consolidação das conclusões atingidas. Neste sentido, propõe-se a continuação deste estudo, salientando a necessidade da realização de mais campanhas de medições de caudal, quer nas secções consideradas, quer até noutras, com distintas características (como por exemplo, de grandes rios como o Tejo), de modo a adquirir resultados suficientes para uma análise estatisticamente credível.

Por último, é de salientar o esforço permanente e incansável por parte da empresa EDP no sentido de suportar este trabalho e oferecer todas as condições necessárias à sua realização, sem esquecer a colaboração efectiva do INAG em todas as campanhas de medição de caudal realizadas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Boiten, W. 2000, Hydrometry, the Delft Lecture Note Series
- [2] ISO 11655: 1995 (E), Measurement of liquid flow in open channels – Method of specifying performance of hydrometric equipment
- [3] M. E. S., S. E. O. P., D.G.R.A.H. – Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Curso internacional de Hidrologia Operativa, Manual – Vol II, Edição comemorativa do Centenário dos Serviços Hidráulicos, 1884 – 1984.
- [4] ISO 2537: 2007 (E), Hydrometry – Rotating element current-meters
- [5] ISO/TR 9209: Determination of the wet-line correction
- [6] ISO/TS 15768: 2000 (E), Measurement of liquid velocity in open channels – Design, selection and use of electromagnetic current meters
- [7] Muste, M., Vermeyen, T., Hotchkiss, R., Oberg, K. Journal of Hydraulic Engineering ASCE / DECEMBER 2007 / 1297 – Editorial – Acoustic Velocimetry for Riverine Environments
- [8] Fulford, J., Pilon, P. J., Kopaliani, Z., McCurry, P. J. Caponi, C. Journal of Hydraulic Engineering ASCE / DECEMBER 2007 / 1439 – Forum – Call for collaboration in WMO Project for the Assessment of the Performance of flow Measurement Instruments and Techniques
- [9] ISO/TS 24154: 2005 (E), Hydrometry – Measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers
- [10] RD Instruments, Technical Manual, 1992 – Direct-Reading Broadband Acoustic Doppler Current Profiler
- [11] González, J. A. – Castro, Muste, M., A. M. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering ASCE / DECEMBER 2007 / 1393 – Framework for Estimating Uncertainty of ADCP Measurements from a Moving Boat by Standardized Uncertainty Analysis
- [12] Yorke, t. H., Oberg, K. A. / Flow Measurement and Instrumentation 13 (2002) 191 – 195 – Measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers
- [13] Shercliff, J. A./ 1962 – The theory of electromagnetic flow measurement
- [14] Simpson, M., R. / United States Geological Survey open-file report 01-1 – Discharge Measurements using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler. Sacramento, California, 2001
- [15] ISO 748: 2007 (E), Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current meters or floats
- [16] ISO /TR 8363: 1997 (E) – Measurement of liquid flow in open channels – General guidelines for selection of Method
- [17] ISO/TR 7178 – 1983 (E) – Liquid flow measurement in open channels – Velocity-area methods – Investigation of total errors
- [18] Procedimentos operacionais internos da empresa EDP para a medição de caudais
- [19] ISO 9213: 2004 (E) – Measurement of total discharge in open channels – Electromagnetic method using a full channel-width coil
- [20] ISO 9823: 1990 (E) – Liquid flow measurement in open channels – Velocity-area method using a restricted number of verticals

[21] ISO 1088: 2007 (E) – Hydrometry – Velocity-area methods using current meters – Collection and processing of data for determination of uncertainties in flow measurement

[22] ISO 4375: 2000 (E) – Hydrometric determinations – Cableway systems for stream gauging

[23] <http://snirh.pt> . Acesso em 13 de Janeiro de 2010

ANEXOS

ANEXO 1

ÍNDICE GERAL

1. NOTAS HISTÓRICAS	7
1.1. Medição de níveis de água.....	7
1.2. Medição de caudais.....	7
1.3. Equipamentos	8
1.3.1. Molinete hidráulico	8
1.3.2. Sensor electromagnético	9
1.3.3. ADV's e ADCP's.....	10
2. INSTRUMENTOS PARA A MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA.....	11
2.1. Limnímetros	11
3. MÉTODOS PARA A MEDIÇÃO DE CAUDAIS.....	14
3.1. Método da Área Inclinação	14
3.2. Método da Diluição	15
3.3. Método da Inclinação Caudal.....	16
3.4. Método Acústico	17
3.5. Método Electromagnético	18
3.6. Estações de Bombagem	19
4. SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL DIFERENCIAL (DGPS)	21
5. MÉTODOS PARA CÁLCULO DE VELOCIDADES MÉDIAS	22
5.1. Método de 1 ponto à superfície.....	22
5.2. Método gráfico.....	22
5.3. Método da integração.....	22
5.4. Método da vertical independente	23
6. METODOLOGIAS PARA CÁLCULO DE CAUDAIS	24

6.1.	Método da determinação do caudal a partir de medições da velocidade por flutuadores	24
6.2.	Método da determinação do caudal para variações do nível de água	25
6.3.	Método $d^{3/2}$ – número reduzido de verticais.....	26
7.	MÉTODO DO BARCO EM MOVIMENTO.....	29
8.	MÉTODO USANDO FLUTUADORES	31
9.	TABELA RESUMO COM ESPECIFICAÇÕES PARA CADA MÉTODO	31
10.	PROSPECTOS INFORMATIVOS DOS EQUIPAMENTOS	
	UTILIZADOS	36
10.1.	Molinete Universal C 31	36
10.2.	Sensor electromagnético – Flow Sensor Nautilus C 2000.....	44
10.3.	ADCP's	48
10.3.1.	Stream Pro ADCP	48
10.3.2.	Workhorse Rio Grande ADCP	50
10.3.3.	River Surveyor M9	52
10.4.	Flow Tracker Hand held ADV.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Planta, Alçado da secção do Nilómetro de Elefantina	7
Figura 2 - Molde de hélice – Troskolanski 1960 (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)	9
Figura 3 - Limnímetro de gancho (Davis 1974, adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)	11
Figura 4 - Limnímetro de corrente (Davis 1964, adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)	11
Figura 5 - Escala com tinta dissolvente (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)	12
Figura 6 - Escala de fita unidireccional (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)	12
Figura 7 - Escala de depósito (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)	13
Figura 8 - Método da Área Inclinação num canal não uniforme (adaptado de W. Boiten 2000)	15
Figura 9 - Método da Diluição (adaptado de W. Boiten 2000), sendo A o ponto de injeção e B o ponto medido	15
Figura 10 - Garrafa Mariotte no Método da Diluição (adaptado de W. Boiten 2000)	16
Figura 11 - Exemplo de Sistema de Medição Acústico (adaptado de Boiten, 2000)	18
Figura 12 - Estação electromagnética (adaptado de W. Boiten 2000)	19
Figura 13 - Bomba do tipo Arquimedes na sua forma primitiva (adaptado de W. Boiten 2000)	20
Figura 14 - Bomba do tipo Arquimedes na sua forma actual (adaptado de W. Boiten 2000)	20
Figura 15 - Esquema que demonstra o alcance de três satélites e triangularização da posição (adaptado de W. Boiten 2000)	21
Figura 16 - Método gráfico (adaptado de W. Boiten 2000)	22
Figura 17 - Verticais na secção transversal (adaptada da ISO 748: 2007)	23
Figura 18 - Curvas de vazão para cada vertical – no eixo X o nível de água em metros e no eixo Y o caudal em m ³ /s (adaptada da ISO 748: 2007)	23

Figura 19 - Secções medidas e caminhos percorridos por flutuadores – em que 1 representa a distribuição das velocidades à superfície, 2 a profundidade em metros e 3 a direcção da corrente (adaptada da ISO 748: 2007).....	24
Figura 20 - Curva da distribuição da velocidade média, obtida a partir de medições com recurso a flutuadores (adaptada da ISO 748: 2007)	24
Figura 21 - Caudal e respectivo nível médio para variações do nível de água, sendo 1 a linha correspondente ao nível médio e 2 o nível zero (adaptada da ISO 748: 2007)	26
Figura 22 - Curva $d^{3/2}$ e curva de caudal por unidade de largura (Hayes, 1978)	28
Figura 23 - Distribuição das velocidades nos limites do rio (adaptado de W. Boiten 2000)	28
Figura 24 - Princípio do Método do barco em movimento (adaptado de W. Boiten 2000)	29
Figura 25 - Tipos de flutuadores (adaptado de W. Boiten 2000).....	31
Figura 26 - Prospecto informativo Molinete Universal C 31	43
Figura 27 - Prospecto informativo Flow Sensor Nautilus C 2000.....	47
Figura 28 - Prospecto informativo Stream Pro ADCP	49
Figura 29 - Prospecto informativo Workhorse Rio Grande ADCP	51
Figura 30 - Prospecto informativo River Surveyor M9.....	52
Figura 31 - Prospecto informativo Flow Tracker hand held ADV.....	53

1. NOTAS HISTÓRICAS

1.1. MEDIÇÃO DE NÍVEIS DE ÁGUA

As primeiras observações de níveis de água foram realizadas no Egito no tempo do Faró Ménès (3100 a.c.). Este, desenvolveu um sistema de hidrologia aplicada que permitiu controlar o escoamento anual do Rio Nilo.

As observações faziam-se através de nilómetros – escalas gravadas no interior ou no exterior dos templos egípcios situados ao longo do rio. Apresentavam uma graduação em “cúbicos” ou “piks” árabes (≈ 50 cm) e cada “cúbico” dividido em 24 “kirats”. Como forma de controlar as leituras, eram os sacerdotes, pertencentes aos ritos religiosos, que supervisionavam as mesmas.

Existiram ao longo do rio Nilo (mais de trinta nilómetros), sendo o mais famoso o de El Mekyas, localizado na ilha de Roda, em frente de Gizeh perto do Cairo, que foi reconstruído no ano de 715 pelos árabes. E, quando as águas do rio atingiam um determinado nível, o supervisor do nilómetro anunciava o começo de 1 ano próspero. (Kolupaila 1961).

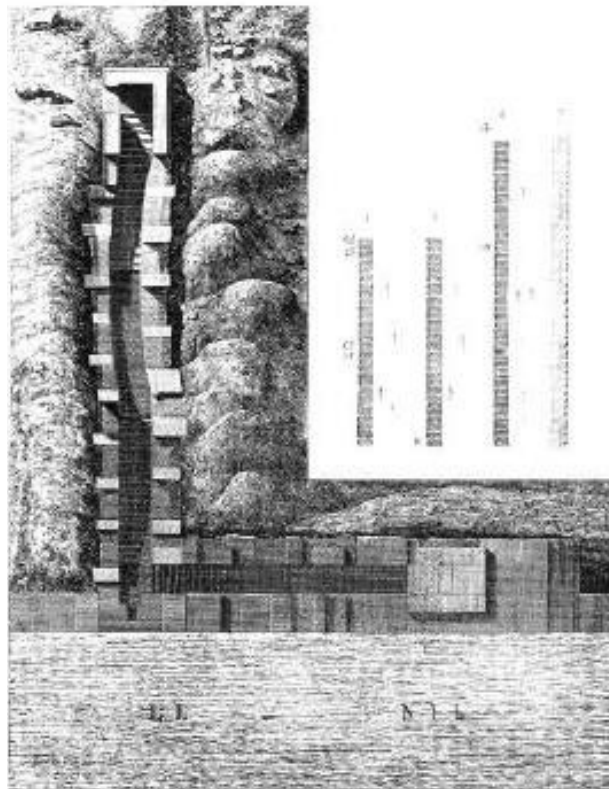


Figura 1 - Planta, Alçado da secção do Nilómetro de Elefantina
Planta, Alçado da secção do Nilómetro de Elefantina

1.2. MEDIÇÃO DE CAUDAIS

Heron de Alexandria, que viveu no século II a.c. foi o responsável pela primeira instrução escrita para a medição do caudal de um rio. Foi um génio no domínio da técnica e das ciências naturais, e cujos

escritos nos dão uma ideia do conhecimento que a antiguidade teve das leis naturais, e das realizações a que chegou no domínio da técnica.

No período romano, os aquedutos eram construídos com uma ideia pouco precisa das velocidades de escoamento. Os progressos tecnológicos dos séculos XVI e XVII contribuíram para um avanço considerável na determinação da expressão quantitativa do escoamento da água em rios e canais. Assim, Edmé Mariotte, em 1650, calculou o escoamento do rio Sena em Paris, medindo a velocidade por intermédio de flutuadores.

Em 1732, Henry Pitot descreve um instrumento – tubo de pitot – para medir a velocidade da corrente em diferentes pontos da secção de um rio.

Em 1790, Reinhard Woltman construiu o primeiro molinete hidráulico, o que possibilitou a medição da velocidade da água abaixo da superfície. [3]

1.3. EQUIPAMENTOS

1.3.1. MOLINETE HIDRÁULICO

O inglês, Robert Hooke, deu o primeiro passo para o aparecimento dos molinetes hidráulicos em 1683 ao inventar um instrumento de pás rotativas com duas ou mais lâminas girando em redor de um eixo horizontal, que utilizou na medição da velocidade do vento.

Em 1850, T. R. Robinson idealizou uma adaptação do anemómetro, capaz de medir a velocidade do vento, para medir velocidades em água. E em 1867, o americano D. F. Henry pôs em prática, sendo o molinete hidráulico de copos (eixo vertical) o aparelho utilizado, pela primeira vez, na medição dos cursos de água.

Em 1873, M. Ruhlmann introduziu os circuitos eléctricos no sistema operativo do aparelho, o que constitui a fase de transição/evolução mais importante desde o seu aparecimento. Este acontecimento ocasionou a construção de um molinete com contactos eléctricos, e um indicador operado por um electromagnético (Amsler-Laffon).

Estes aparelhos, possuíam um conta-rotações mecânico localizado no próprio aparelho, cujo andamento e paragem era coordenado por um travão ligado a um cabo de operação, sendo a medição do tempo feita por um cronómetro.

Actualmente, as pilhas alimentam o circuito eléctrico, que envia sinais luminosos ou acústicos ao operador correspondentes a um determinado número de rotações, ou então a um contador, conjugado com um cronómetro, que tem um sistema registador.

Após os anos 30, a marca A. OTT dominou o mercado durante um largo período com o molinete tipo V modelo Dakota, Oregon, Texas e Arkansas, tendo este último sido construído em Portugal, com pequenas modificações, por J. Cipriano.

Os modelos do tipo Universal A. OTT-C 31 e SEBA F.001 tornam-se os instrumentos mais utilizados a partir da década de 70.

A verificação da necessidade de reparação dos molinetes hidráulicos era efectuada através das hélices. No passado, as hélices eram de metal e aquando da venda, vinham acompanhadas de um molde, denominado de “gesso de Paris” (figura 2). Este molde estava perfeitamente ajustado à hélice, permitindo ver qualquer deformação adquirida pela hélice, por mais pequena que fosse. Era o sistema usado antigamente para verificar se as hélices precisavam de ser aferidas ou não. [3]

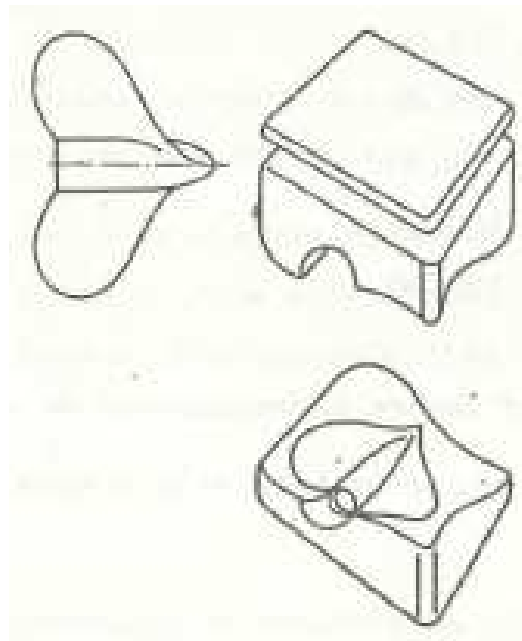


Figura 2 - Molde de hélice – Troskolanski 1960 (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

O atrito, contactos eléctricos, estanquidade, e equilíbrio das hélices eram os problemas que mais afectavam o funcionamento e precisão dos instrumentos. A introdução de novos materiais na produção de vários elementos, como as hélices de plástico e os últimos progressos tecnológicos permitiram resolver todos estes problemas.

O aparecimento dos micro molinetes de campo e de laboratório (aparelhos ultra-sensíveis), com hélices de dimensões reduzidas (1 a 5 cm) destinados a medir pequenas velocidades (menos de 0,20 m/s), vieram possibilitar, no campo operativo, actuar em situações em que era até à data impraticável. [3]

1.3.2. SENSOR ELECTROMAGNÉTICO

Faraday, foi o pai do princípio do electromagnetismo. Foi descoberto em 1832 e a lei enuncia que “um condutor em movimento num campo magnético produz voltagem”. Portanto, se a água (o condutor) move-se através de um campo magnético, a voltagem produzida é directamente proporcional à velocidade da corrente. Em 1851, Wollanston conseguiu efectivamente medir a voltagem induzida na água. E em 1917, Smith & Slepian patentaram o processo que permitia realizar as medições.

Os estudos em 1920 de Young, Gerrard & Jevons projectaram o electromagnetismo para outro patamar, que permitiu a outros cientistas estudar correntes, ondas, etc. E em 1930, Williams (a partir de um estudo académico), E. J. e 1932 Fabre, P. foi dado o grande passo na criação do primeiro medidor electromagnético, não apenas para água, mas para vários tipos de líquidos. Este conceito foi tornado prático em canais fechados e velocímetros para navios.

Thurlemann, B em 1941, Lynch, D. R em 1959 foram mais dois nomes que deram o seu importante contributo no desenvolvimento desta tecnologia.

Actualmente, o princípio da indução magnética é usado também em equipamentos sem partes móveis, capazes de medir velocidades em canais abertos, tornando-se uma alternativa aos equipamentos convencionais, nomeadamente o molinete. [13]

1.3.3. ADV's E ADCP's

A tecnologia acústica de Doppler é usada, na medição de velocidades, há 30 anos, inicialmente no estudo de correntes em oceanos e estuários. O rápido desenvolvimento desta tecnologia aconteceu ao longo dos anos 80, desde os primeiros trabalhos sobre ADCP's de Christensen e Herrick (1982), Simpson (1986) e Gordon (1989), passando a ser utilizados a partir de barcos em movimento. Estes instrumentos eram, inicialmente, de banda estreita, o que limitava a sua utilização a águas profundas e estuários (mais de 3 ou 4 metros).

Em 1992, foi criado o primeiro aparelho acústico de banda larga, que permitiu medir velocidades em águas pouco profundas (um metro) com elevado grau de resolução vertical (0,1 metro). Na década de 90 (kraus et al. 1994), o desenvolvimento dos ADV's (velocímetros acústicos de efeito Doppler) revolucionou as medições e os estudos relativamente ao comportamento das correntes, tanto em laboratório como no campo, permitindo obter as componentes da velocidade a duas e três dimensões e compreender as características de águas turbulentas. Para além de evoluírem em termos tecnológicos, evoluíram também fisicamente. Os equipamentos com 1 metro de comprimento e 50 kg desapareceram, dando lugar a novos com 14 centímetros de comprimento que pesavam 7 kg.

Actualmente os perfiladores acústicos possuem tecnologia específica para medições em rios, são dotados de software que opera em tempo real, processa dados de velocidades e mede caudais.

Estas tecnologias alteraram profundamente a forma como os dados hidrológicos são recolhidos pelos pesquisadores, engenheiros e técnicos, pela sua aplicação na medição de velocidades e como tal estimar velocidades importantes derivadas por quantidades hidrodinâmicas para suporte de pesquisa em rios, estuários, canais, simulações numéricas complementares e estudos em laboratório. [7] [8] [9]

2. INSTRUMENTOS PARA A MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE ÁGUA

2.1. LIMNÍMETROS

2.1.1. LIMNÍMETRO DE GANCHO

Empregam-se normalmente em laboratório e em medições de precisão com curta duração. A figura que se segue ilustra o aparelho.

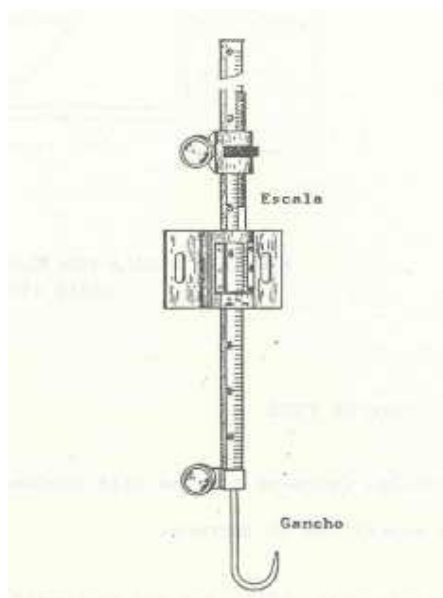


Figura 3 - Limnómetro de gancho (Davis 1974, adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

2.1.2. TELE-LIMNÍMETRO

Os primeiros tele-limnómetros (figura 4) são constituídos por uma corrente de aço ou bronze com um peso suspenso num dos seus extremos. A corrente estava assinalada metro a metro e corria junto a uma escala graduada. Baixava-se o peso até que tocasse na água e fazia-se a leitura correspondente sobre a escala.

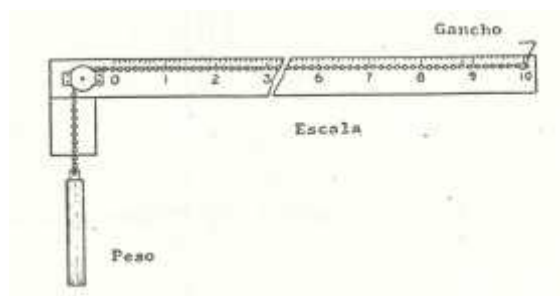


Figura 4 - Limnómetro de corrente (Davis 1964, adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

Outros modelos apresentam o peso substituído por um sistema flutuador/contrapeso.

2.1.3. LIMNÍMETRO PARA MEDIÇÃO DE NÍVEIS MÁXIMOS

2.1.3.1. ESCALA COM PINTURA DISSOLVENTE

Este limnómetro (figura 5) é constituído por uma escala pintada com uma tinta que em contacto com a água se dissolve. Para o proteger da chuva, é instalado dentro de um tubo de ferro tapado na parte superior.

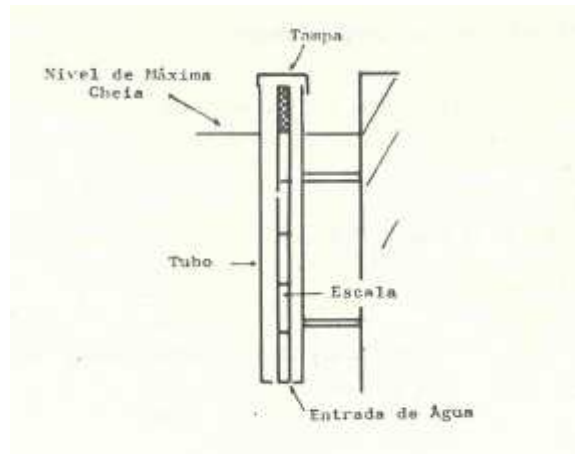


Figura 5 - Escala com tinta dissolvente (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

2.1.3.2. FLUTUADOR DE FITA UNIDIRECCIONAL

Neste tipo, como se pode ver na figura 6, a transmissão é realizada num só sentido, pois a roldana é uma engrenagem que trava na altura atingida pela água.

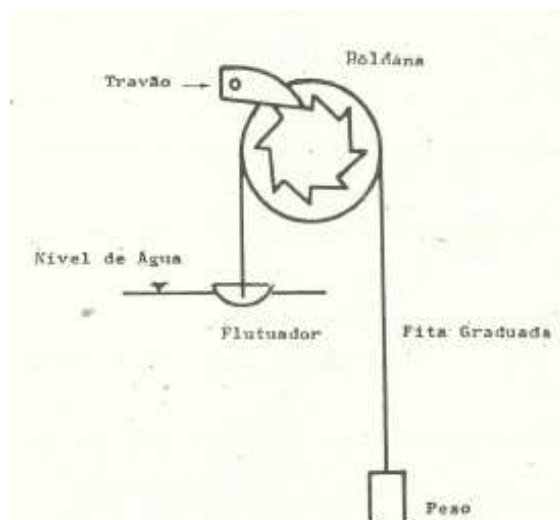


Figura 6 - Escala de fita unidireccional (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

2.1.3.3. ESCALA DE DEPÓSITO

Através da observação de depósitos, colocados num painel a determinadas alturas, é possível observar o nível máximo atingido pelas águas, pela sua presença nas diversas garrafas (figura 7). [3]

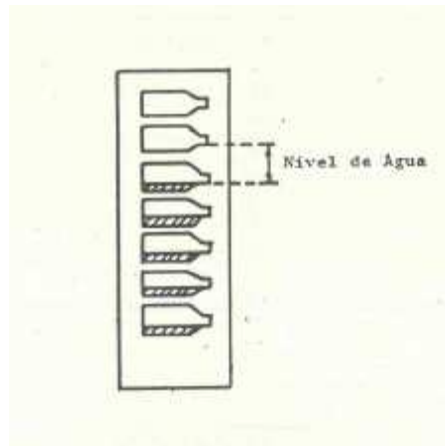


Figura 7 - Escala de depósito (adaptado de Curso Internacional de Hidrologia Operativa, manual – VOL II, 1984)

Para mais informações deve ser pesquisada a respectiva bibliografia.

3. MÉTODOS PARA A MEDIÇÃO DE CAUDAIS

3.1. MÉTODO DA ÁREA INCLINAÇÃO

A partir de medições da inclinação da superfície da água (S), da área da secção transversal (A em m^2), do raio hidráulico (R , sendo $R = A/P$ em metros) e estimando o coeficiente de rugosidade de Manning Strickler (n em $m^{-1/3}.s$) para as fronteiras do canal, o caudal (Q em m^3/s) pode ser calculado a partir da equação de Manning Strickler ou de Chezy.

A fórmula de Manning para canais uniformes é:

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times A \quad (1)$$

Sendo:

P o perímetro molhado da secção transversal (m).

A fórmula de Chezy é uma equação alternativa para o cálculo do caudal:

$$V_{média} = C \times \sqrt{R \times S} \quad (2)$$

E substituindo na equação 2.1, calcula-se o caudal pela seguinte fórmula:

$$Q = C \times R^{1/2} \times S^{1/2} \times A \quad (3)$$

Sendo:

C o coeficiente de Chezy ($m^{1/2}/s$),

$$C = 18 \times \log \frac{12R}{k} \quad (4)$$

Sendo:

k a rugosidade de Nikuradse (m).

Este método é pouco preciso mas pode ser usado para medir caudais de pico após inundações. Mesmo que as leituras das estações hidrométricas sejam insuficientes para o cálculo da inclinação (S), a marca que a cheia deixa após a passagem permite estimar este valor.

Este método pode também ser usado para obter caudais moderados e pode ser aplicado em canais não uniformes. A figura que se segue ilustra o método em questão:

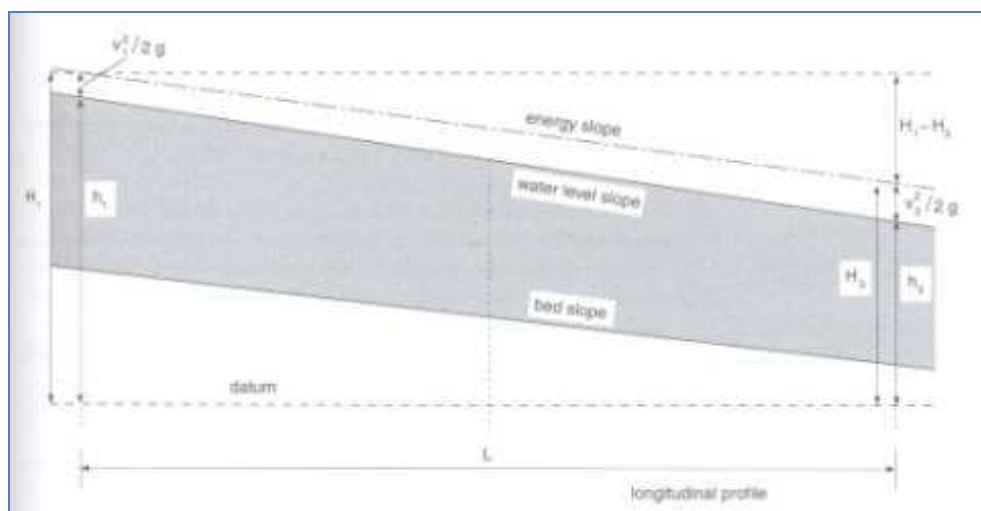


Figura 8 - Método da Área Inclinação num canal não uniforme (adaptado de W. Boiten 2000)

3.2. MÉTODO DA DILUIÇÃO

Este método calcula o caudal através da injeção de substâncias químicas (“tracer”) no escoamento com a garrafa “Mariotte”. O tracer é injectado a montante e a jusante são recolhidas amostras (figura 9), com intervalos regulares. O caudal pode ser calculado a partir da concentração do tracer injectado a montante e a concentração medida a jusante onde o tracer deverá estar distribuído uniformemente pela secção transversal. Geralmente, esta condição restringe a aplicabilidade do método da diluição para rios montanhosos e elevado grau de turbulência. Em certos casos, no entanto, resultados minimamente precisos podem ser obtidos. O caudal máximo calculado com uma garrafa Mariotte de 25 litros é de 0,5 m³/s (figura 10). Podem ser medidos caudais superiores com recurso a garrafas maiores, bombas volumétricas ou tanques de nível constante.

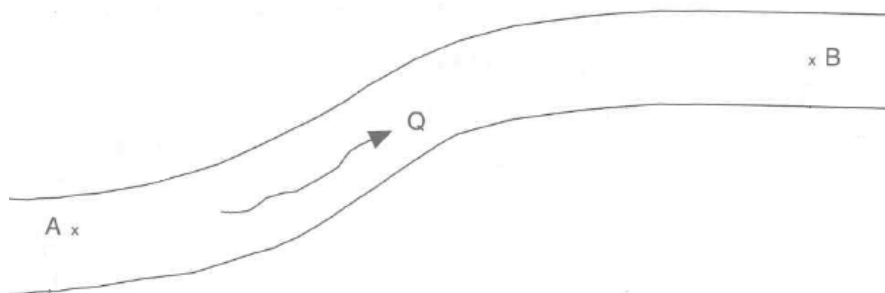


Figura 9 - Método da Diluição (adaptado de W. Boiten 2000), sendo A o ponto de injeção e B o ponto medido

Durante um período de tempo, um caudal constante de solução tracer com concentração C_1 é despejado no rio no ponto A. São constantemente recolhidas amostras a jusante, no ponto B, tendo em conta que uma dissolução total do tracer com água do rio já tenha decorrido. Estas amostras são recolhidas com o intuito de medir a concentração do tracer. Após algum tempo, a concentração do tracer C_2 , em B, permanece constante e a medição termina. A equação que se segue demonstra este processo:

$$Q \times C_n + q \times C_1 = (Q + q) \times C_2 \quad (5)$$

Sendo:

Q o caudal do rio em m³/s;

q o caudal injectado em m³/s;

C_n a concentração natural do tracer no rio.

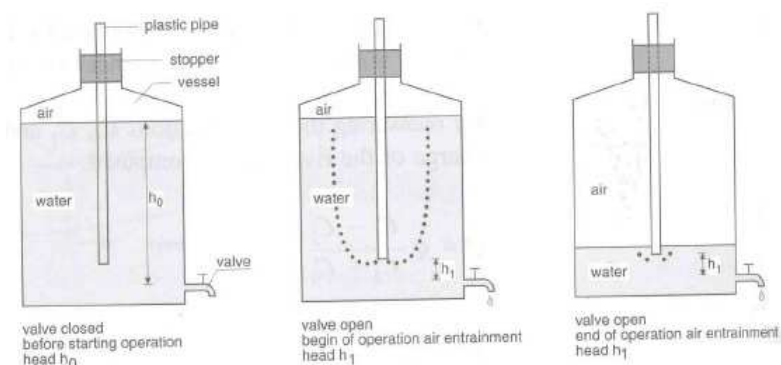


Figura 10 - Garrafa Mariotte no Método da Diluição (adaptado de W. Boiten 2000)

3.3. MÉTODO DA INCLINAÇÃO CAUDAL

Inicialmente uma relação entre o nível da água, inclinação da superfície da água e caudal, baseada na equação de Manning ou Chezy (equações 2 e 3), deve ser concretizada e calibrada por um dos métodos de medições isoladas. Posteriormente, o caudal é derivado de dois níveis de água que são medidos continuamente. A altura de água é medida por uma estação principal, e outra secundária a jusante da primeira. Assumindo uma sincronização precisa entre as duas, a inclinação da superfície da água pode ser calculada, a partir da qual se obtêm registos da energia da inclinação. A distância entre as estações com diferença de níveis medidos deve ser tal, que permita obter uma queda, no mínimo, de 0,15 metros.

3.4. MÉTODO ACÚSTICO

As descargas são calculadas a partir de medições da velocidade da corrente e nível de água. A velocidade é computadorizada a partir da diferença de tempo que uma onda de som que é transmitida diagonalmente através do canal na direcção jusante e montante.

O princípio do método acústico (ultra-sónico) consiste na medição da velocidade da água a uma certa profundidade do canal, transmitindo pulsos acústicos pela água através de transdutores localizados em ambas as margens do rio. Os transdutores são instalados em cada margem do curso de água debaixo da superfície a uma certa profundidade e são posicionados de forma a criar uma linha diagonal acústica de medição, formando um ângulo entre a passagem da pulsação e a direcção do curso de água de 30 a 60° (figura 11).

K é um factor correctivo que depende da profundidade, rugosidade do leito e forma da secção transversal. K assume uma distribuição de velocidades parabólica em cada vertical e varia entre $0,9 < K < 1,1$. Então a velocidade da corrente (v em m/s) pode ser calculada por:

$$v = K \times v_w \quad (6)$$

Sendo:

v_w a velocidade obtida pelo aparelho (m/s).

E consequentemente, o caudal da secção é (aplicando a equação $Q = v \times A$):

$$Q = K \times v_w \times A \quad (7)$$

$Q = K \times v_w \times A$ Sendo:

A a área da secção transversal (m²);

Q o caudal (m³/s).

Este método pode por vezes ser considerado como uma medição isolada, dependendo da forma como é aplicado.



Figura 11 - Exemplo de Sistema de Medição Acústico (adaptado de Boiten, 2000)

3.5. MÉTODO ELECTROMAGNÉTICO

A velocidade da corrente é determinada medindo a voltagem induzida por um condutor que se move num campo magnético.

O método electromagnético, com recurso a uma bobina com a largura da faixa do canal, é um método moderno para medir caudais em canais abertos. O método foi desenvolvido e tornou-se operacional pela primeira vez no Reino Unido, sendo apropriado para rios onde as ervas em crescimento são um problema sem solução.

O princípio de operação consiste: a movimentação da água que percorre um canal aberto corta um campo magnético vertical, que é gerado usando uma bobina larga enterrada debaixo do leito do rio, através do qual uma corrente eléctrica é enviada (figura 12). Uma força electromotriz é induzida na água e medida por sondas de sinais (eléctrodos) em cada uma das margens do canal. Esta pequena voltagem é directamente proporcional à velocidade média na secção transversal.

A fórmula (“Hence Equation”) que permite obter o valor do caudal é apresentada de seguida:

$$Q = K \times \left(\frac{E \times R_W}{I \times R_D} - C \right)^n \quad (8)$$

$$Q = K \times \left(\frac{E \times R_W}{I \times R_D} - C \right)^n \quad \text{Sendo:}$$

Q é o caudal (m³/s);

K uma constante dimensional;

E a força electromotriz (Volts); é calculada através da lei de Faraday (ver subcapítulo 3.4.2);

R_w é a resistividade da água (Ω/m);

R_b a resistência do leito (Ω);

I a bobina em curso (A);

C a constante da estação (V/mA);

n o expoente.

Os valores de K , C e n não são valores empíricos e provêm do sistema de calibração.

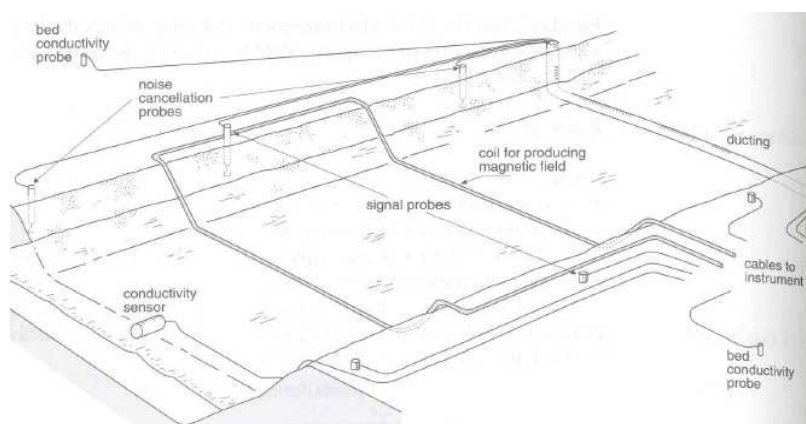


Figura 12 - Estação electromagnética (adaptado de W. Boiten 2000)

3.6. ESTAÇÕES DE BOMBAGEM

A determinação de volumes de água que passam por uma estação de bombagem pode ser feita pelo registo das horas de operação, medindo os níveis de água de oferta/fornecimento e os níveis que saem, e usando a curva de bombagem.

Podem-se distinguir duas famílias de estações de bombagem:

- Bomba parafuso do tipo Arquimedes;

Arquimedes foi considerado o inventor deste tipo de sistema de elevação de água, que usa uma espiral rotativa. A água é elevada a partir de um canal aberto.

O caudal é dado por:

$$Q = f \times q \times n \times D^3 \quad (9)$$

Sendo:

Q é o caudal (m^3/min);

a é o factor do parafuso (os valores são fornecidos pelo produtor ou literatura);

f é o factor de eficiência, normalmente entre $1,10 < f < 1,20$;

n é a velocidade (revoluções por minuto), normalmente entre $20 < n < 100$;

D é o Diâmetro do parafuso.



Figura 13 - Bomba do tipo Arquimedes na sua forma primitiva (adaptado de W. Boiten 2000)

- Bomba centrífuga;

Este tipo de bomba forma uma parte de sistema de transporte de água, por tubos fechados. O fornecimento de água tem início num tubo de sucção e a reposição por um tubo de entrega. A determinação do caudal através da bomba centrífuga é mais complicada. [1]

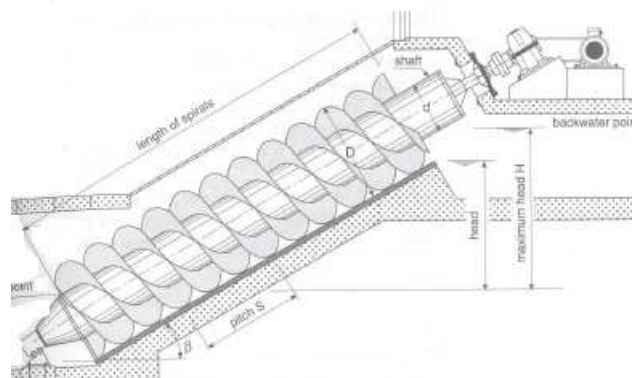


Figura 14 - Bomba do tipo Arquimedes na sua forma actual (adaptado de W. Boiten 2000)

4. SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL DIFERENCIAL (DGPS)

O GPS sistema foi desenvolvido pelo Departamento da Defesa dos Estados Unidos (DoD) como um recurso de posicionamento à escala mundial para uso civil e militar. É baseado num Sistema referencial a 3 dimensões e utiliza 24 satélites em órbita a 20.000 Km acima do nível do solo. Os satélites actuam como pontos de referência, pelos quais os receptores no solo triangularizam a sua posição, como mostra a figura que se segue:

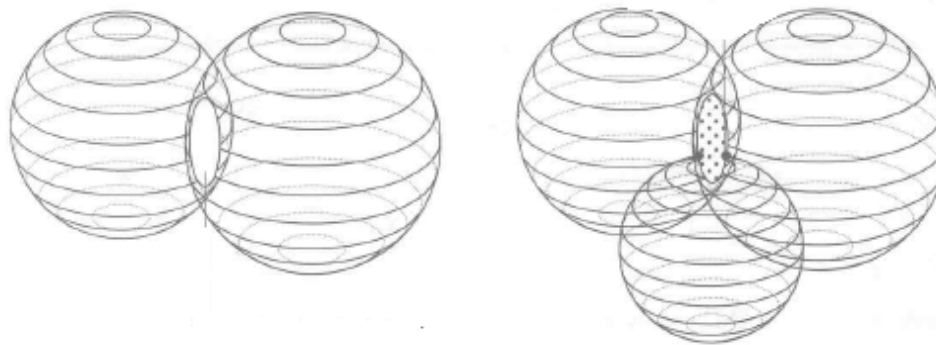


Figura 15 - Esquema que demonstra o alcance de três satélites e triangularização da posição (adaptado de W. Boiten 2000)

O sistema DGPS envolve cooperação entre dois receptores, um que vagueia e outro que está parado. A localização da posição do segundo receptor (estático) é um factor preponderante na redução do erro. Escolhendo uma localização para este receptor, que tenha sido obtida com muita precisão (coordenadas X, Y, Z) evitam-se os erros típicos do uso deste aparelho. É usado na guarda costeira, aviação e gestão de recursos naturais, etc. Permite também precisão na ordem dos milímetros.

Em levantamentos hidrométricos a instalação de uma rede de base é essencial. As medições cinemáticas DGPS precisam de ser iniciadas num ponto com posição previamente conhecida. Após o início do procedimento, um receptor serve como referência estática, e o segundo move-se de ponto em ponto. Em cada ponto de observação a antena tem de estar estática por algum tempo (tempo variável consoante o tipo de receptor). [1]

5. MÉTODOS PARA CÁLCULO DE VELOCIDADES MÉDIAS

5.1. MÉTODO DE 1 PONTO À SUPERFÍCIE

A velocidade pode ser medida apenas com um ponto. A profundidade a que o medidor está colocado deverá ser uniforme em todas as verticais. Devem existir cuidados relativamente às ondas à superfície e ao vento, de modo a não afectarem a medição. A velocidade medida deve ser convertida em velocidade média em cada vertical, multiplicando um coeficiente pré-determinado, específico para cada secção e para cada descarga.

O coeficiente deve ser obtido através de métodos computacionais para todos os diferentes níveis de água, estabelecendo uma correlação entre a velocidade medida e a obtida a 0,6 de profundidade. Se for pretendida maior precisão, deve efectuar-se a correlação com um dos outros métodos descritos acima, pois quanto maior for o número de pontos medidos, mais precisa será a velocidade média.

Em geral, o coeficiente varia entre 0,84 e 0,9, dependendo da forma do perfil de velocidades. Os valores mais elevados, entre 0,88 e 0,89, são utilizados para leitos suaves.

5.2. MÉTODO GRÁFICO

Através dos valores de velocidade obtidos, o perfil de velocidades em cada vertical é desenhado (figura 16). Acima do ponto mais alto e abaixo do ponto mais baixo realiza-se extrapolação até à superfície da água e linha de fundo, respectivamente.

Usando um planímetro, a área sombreada (interna do perfil) é determinada. O cálculo da velocidade média consiste em: [1]

$$V_{\text{média}} = \frac{\text{Área sombreada}(\text{cm}^2) \times \text{escala horizontal} \times \text{escala vertical}}{\text{Profundidade real total da água (m)}} \quad (10)$$

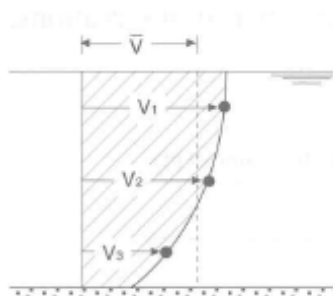


Figura 16 - Método gráfico (adaptado de W. Boiten 2000)

5.3. MÉTODO DA INTEGRAÇÃO

Neste método, o medidor é abaixado e levantado ao longo de toda a vertical a uma velocidade constante e muito baixa (menos que 5 % da velocidade média, o que nunca deverá exceder 0,04 m/s).

É recomendado usar dois ciclos: um para descer o aparelho e outro para subir. Se os resultados diferirem mais de 10 % entre os diferentes ciclos, então a operação deverá ser repetida. Este método

revela-se apropriado para aparelhos de medição de velocidades pontuais, com tempos de medição variável. A velocidade média na vertical é obtida a partir da curva de calibração do aparelho e número médio de revoluções do molinete (número total de voltas completas da hélice a dividir pelo tempo total do ciclo).

Este método fornece bons resultados, quando se opta por um tempo de medição suficientemente longo (de 60 a 100 segundos). [15]

5.4. MÉTODO DA VERTICAL INDEPENDENTE

Este método revela-se útil para medições de velocidade com mudanças rápidas de caudal. São escolhidas várias verticais e as suas distâncias são medidas a partir de um ponto de referência, como mostra a figura que se segue.

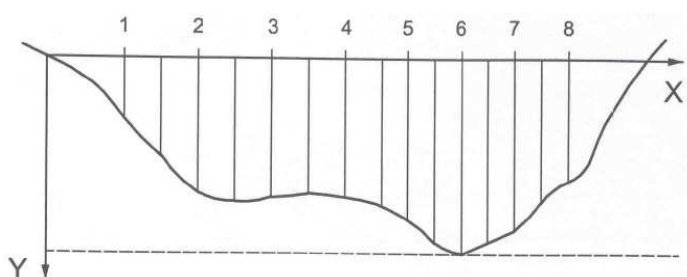


Figura 17 - Verticais na secção transversal (adaptada da ISO 748: 2007)

Para cada nível, a velocidade e profundidade são medidas em cada vertical, usando um dos métodos já descritos. O nível de água é medido no início e no final de cada série de medições em cada vertical, e para cada segmento, uma relação nível – caudal é preparada. Consequentemente, o caudal de uma dada secção, num determinado rio, a um dado nível, pode ser determinado, somando o caudal de cada segmento.

Aplicando esta técnica durante um período de tempo que permita cobrir um intervalo de valores suficientemente largo, será possível deduzir a relação entre o nível de água e o caudal para cada vertical (figura 18). Uma família de curvas pode então ser construída, na qual cada curva representa uma relação de vazão independente para cada segmento do canal. No entanto, é necessário que a geometria do canal permaneça constante e que não ocorra nenhuma alteração das posições das verticais relativamente ao ponto de referência pré-estabelecido. [15]

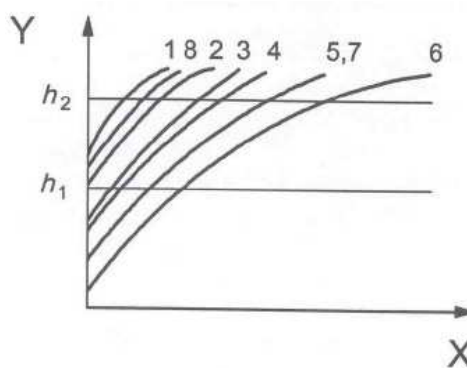


Figura 18 - Curvas de vazão para cada vertical – no eixo X o nível de água em metros e no eixo Y o caudal em m^3/s (adaptada da ISO 748: 2007)

6. METODOLOGIAS PARA CÁLCULO DE CAUDAIS

6.1. MÉTODO DA DETERMINAÇÃO DO CAUDAL A PARTIR DE MEDIÇÕES DA VELOCIDADE POR FLUTUADORES

Se as secções a montante e jusante forem desenhadas como demonstra a figura 19, e de seguida, divididas em um equidistante número de segmentos, a área da secção transversal para cada um dos segmentos pode ser determinada. Deve ser desenhada uma linha MN, a meia distância entre as linhas das duas secções transversais, e paralela às mesmas. Os pontos de início e fim de percurso do flutuador devem ser desenhados em linhas firmes, enquanto os pontos que separam os diversos painéis das duas secções transversais devem ser unidos com linhas tracejadas. Quando as linhas firmes cruzam a linha MN, a correspondente velocidade média (a velocidade do flutuador multiplicada pelo coeficiente apropriado) deve ser desenhada normal a MN e os pontos finais dos vectores de velocidade unidos, de modo a formar a curva de distribuição de velocidades (figura 20).

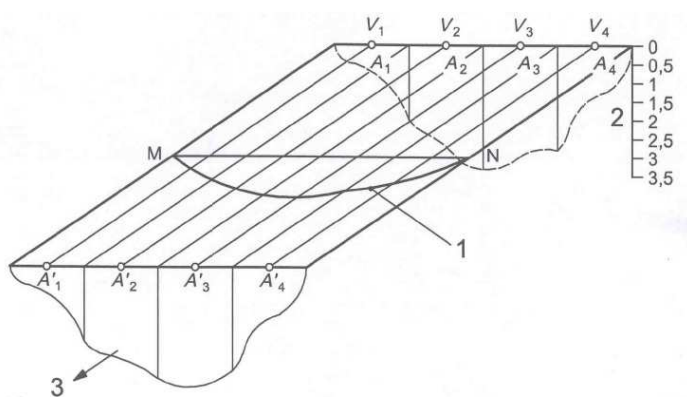


Figura 19 - Secções medidas e caminhos percorridos por flutuadores – em que 1 representa a distribuição das velocidades à superfície, 2 a profundidade em metros e 3 a direcção da corrente (adaptada da ISO 748: 2007)

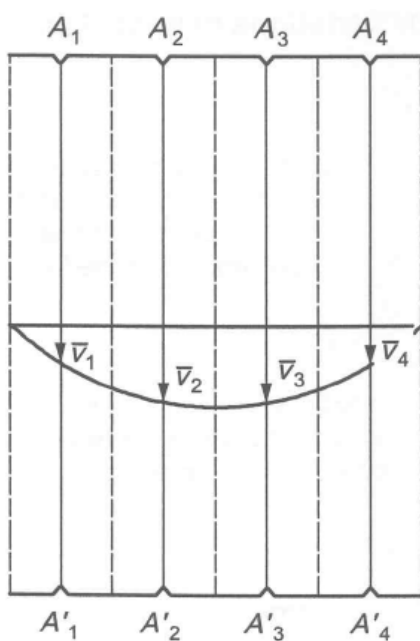


Figura 20 - Curva da distribuição da velocidade média, obtida a partir de medições com recurso a flutuadores (adaptada da ISO 748: 2007)

A área média correspondente aos segmentos a montante e jusante da secção transversal, quando multiplicados pela velocidade média para cada painel, como mostra a figura acima, representa o caudal que atravessa esse segmento. [15]

O caudal que atravessa toda a secção transversal é dado por:

$$Q = \sum_{i=1}^m V_i^{\text{média}} \times \frac{A_i + A'_i}{2} \quad (11)$$

6.2. MÉTODO DA DETERMINAÇÃO DO CAUDAL PARA VARIAÇÕES DO NÍVEL DE ÁGUA

Se a flutuação do nível de água durante um período de medições de velocidade é inferior a 5 % da profundidade média ou 0,005 metros (a menor das dimensões), o valor médio deverá ser adoptado para calcular o caudal.

Se a flutuação é maior que o valor de referência, então o nível médio de água ($Z_{\text{médio}}$ em metros) deve ser calculado pela fórmula que se segue:

$$Z_{\text{médio}} = \frac{\sum q_i \times z_i}{Q} \quad (12)$$

Na qual q_i é o caudal parcial em cada segmento i e é calculado pela expressão:

$$q_i = b_i \times d_i \times V_i^{\text{média}} \quad (13)$$

Sendo:

z_i o nível médio de água correspondente ao caudal parcial q_i ;

Q o caudal total, igual a $\sum q_i$ (m³/s);

d_i a profundidade no segmento i (m);

b_i a largura do segmento i ;

$V_i^{\text{média}}$ a velocidade média no segmento i (m/s).

O caudal é obtido da seguinte forma: o nível de água é desenhado em papel, para cada segmento, como mostra a figura 21. Os níveis deverão ser ligados por uma curva suave. A curva da velocidade média multiplicada pela profundidade deve ser desenhada acima da linha da superfície da água, sendo a área interna que se forma a representação do valor do caudal. [15]

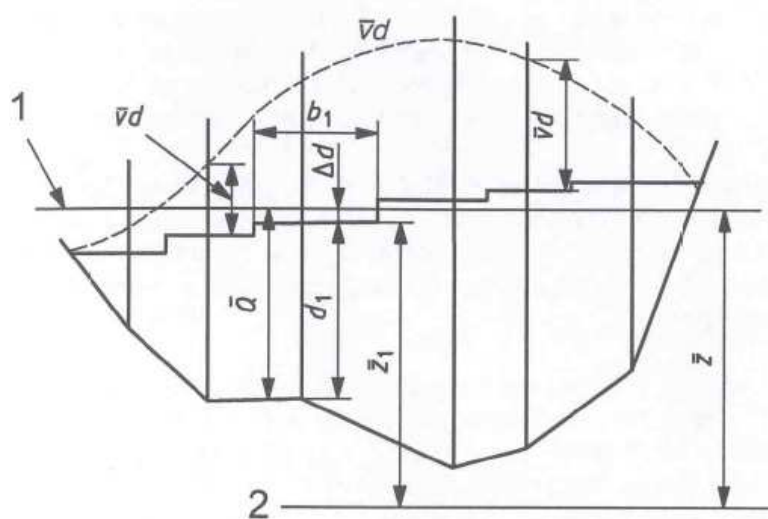


Figura 21 - Caudal e respectivo nível médio para variações do nível de água, sendo 1 a linha correspondente ao nível médio e 2 o nível zero (adaptada da ISO 748: 2007)

6.3. MÉTODO $d^{3/2}$ – NÚMERO REDUZIDO DE VERTICAIS

Este método é aplicável quando existe uma necessidade excepcional temporal de obter valores de caudal para uma determinada secção. Seguem-se exemplos de algumas aplicações:

- Secções onde medições nunca foram efectuadas, e existe uma necessidade de obter a relação entre a altura hidrométrica e a descarga para que potenciais estudos de projecto possam começar;
- Quando se está perante níveis de água muito elevados, ou cheias de inundações, em que o tempo disponível para a medição é reduzido;
- Medições em rios com maré.

Em algumas secções transversais, as velocidades podem ser medidas com recurso a um reduzido número de verticais, de modo que o caudal possa ser calculado a partir deste número. No entanto, esta consideração não pode ser aplicada indiscriminadamente.

A partir da equação de Chezy, é possível estimar um valor aceitável para o caudal. Se por algum motivo, o número de verticais é de tal maneira limitado que não é possível obter uma ideia acerca da distribuição da velocidade na secção transversal, e consequentemente o caudal, então de vez em quando é possível aplicar um “truque” que possibilita o cálculo numérico do caudal. Isto realiza-se a partir de uma relação numérica estabelecida entre as velocidades e profundidades nas verticais não medidas. O procedimento apresenta-se de seguida:

Para cada ponto na secção transversal o valor q ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) na vertical em cada ponto é:

$$q = V_{media} \times d \quad (14)$$

Para os pontos I, II, e III (posicionados a 1/4, 1/2 e 3/4 da largura da secção) são obtidos os melhores resultados:

$$q_1 = V_1^{média} \times d_1, \quad q_2 = V_2^{média} \times d_2, \quad q_3 = V_3^{média} \times d_3$$

O “truque” implica que, ao aplicar a equação de Chezy (equação 2), se assuma que C e S têm valores iguais em toda a secção transversal. Assim sendo:

$$(C \times \sqrt{S})_1 = (C \times \sqrt{S})_2 = (C \times \sqrt{S})_3 = (C \times \sqrt{S})^{média} \quad (15)$$

Os caudais em vários pontos da secção transversal estão relacionados entre si da seguinte forma:

$$q_1 : q_2 : q_3 = (C \times \sqrt{S})_1 \times d_1^{3/2} : (C \times \sqrt{S})_2 \times d_2^{3/2} : (C \times \sqrt{S})_3 \times d_3^{3/2} \quad (16)$$

Ou

$$q_1 : q_2 : q_3 = d_1^{3/2} : d_2^{3/2} : d_3^{3/2}$$

Por outras palavras, o caudal por unidade de largura é proporcional a $d^{3/2}$ (figura 21).

Quando a equação de Manning é usada, $V \propto d^{2/3}$ e assim $q \propto d^{5/3}$. O método torna-se então um método $d^{5/3}$ em vez de $d^{3/2}$ e o valor constante $C \times \sqrt{S}$ torna-se $\sqrt{S}/n$.

O procedimento consiste agora em calcular os valores q para vários pontos da secção, multiplicando os valores $d^{3/2}$ destes pontos pelos valores $C \times \sqrt{S}$ calculados a partir dos valores V_e , d das secções medidas I, II e III. Somando todos os valores, o caudal total (m³/s) é obtido por

$$Q_{total} = \sum q \times \Delta B \quad (17)$$

Sendo ΔB a distância entre os pontos medidos.

Graficamente, o caudal é obtido, pelo planimetro, através da área entre a “q-line” e a linha da superfície da água, tendo em conta as escalas do gráfico. É possível visualizar a partir da figura que se segue.

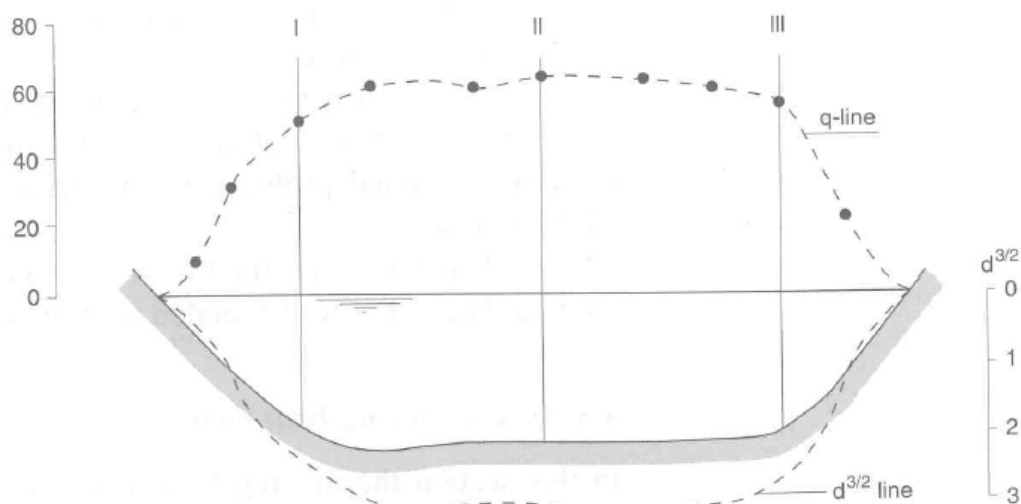


Figura 22 - Curva $d^{3/2}$ e curva de caudal por unidade de largura (Hayes, 1978)

Este método é baseado num fundamento inicial errado, pois visto que os valores de C e S da fórmula de Chezy são características da secção transversal, e o método considera que em todas as verticais o produto de ambos é igual. Estes parâmetros representam a rugosidade média e a inclinação longitudinal do alcance do rio. Como a distribuição de velocidades numa secção transversal é determinada, em primeira instância, pela curvatura da corrente a montante e jusante (figura 23), onde o perfil da secção transversal depende directamente se o fundo é aluvial ou não, um fundamento importante não é considerado no método.

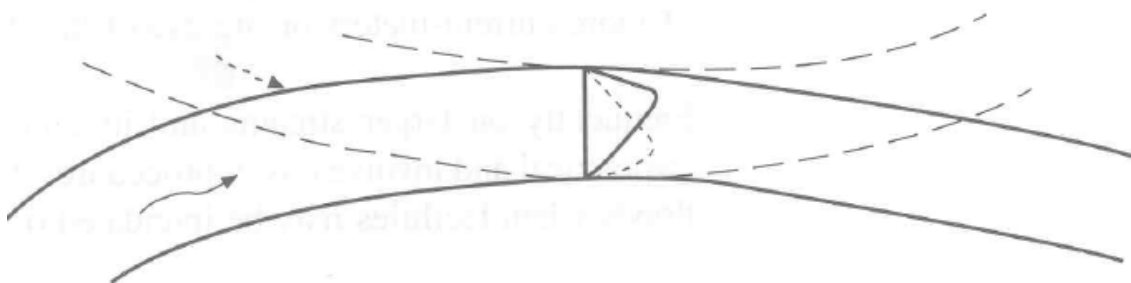


Figura 23 - Distribuição das velocidades nos limites do rio (adaptado de W. Boiten 2000)

Assim sendo, é necessário ter em conta, aquando da aplicação do método $d^{2/3}$, que existem riscos inerentes à sua utilização porque um importante fundamento teórico não é levado em conta. Este método resulta em valores sistematicamente mais baixos do que o real. [1] [20]

7. MÉTODO DO BARCO EM MOVIMENTO

Os métodos convencionais, revelam-se pouco práticos e com procedimentos dispendiosos, para rios muito largos e estuários, principalmente durante inundações, quando os acessos inundam e/ou tornam-se inacessíveis, para locais onde existem regimes de escoamento variado, e locais onde existem objectos flutuantes e tráfego (barcos) que exigem medições que não possam ser interrompidas devido a este tipo de eventos imprevisíveis. A técnica que se descreve agora é aplicável para medições a realizar o mais rapidamente possível (rios de maré).

O princípio deste método consiste na medição de apenas um ponto por vertical, o que torna este método atractivo para acelerar o processo medição e obtenção do caudal em rios largos em primeira instância.

Um medidor de velocidade é suspenso do barco a uma profundidade constante enquanto o barco atravessa a secção transversal do canal (figura 24). Durante a travessia são registadas, em intervalos definidos, a velocidade do escoamento, a profundidade do leito do rio e a distância à margem. As velocidades perto da superfície são corrigidas de modo a obter a velocidade média em cada posição ao longo da secção transversal. O caudal total é a soma do produto da velocidade, largura e profundidade de cada segmento em que a velocidade foi registada. Os aparelhos em questão poderão ser molinetes ou electromagnéticos.

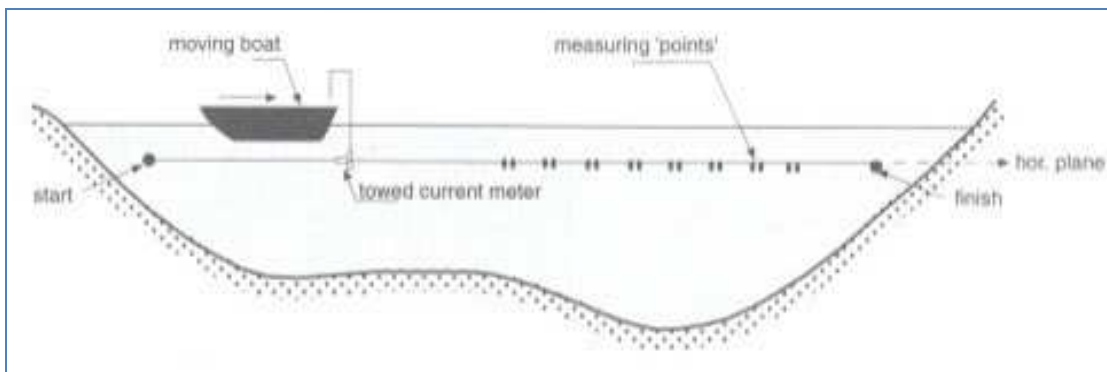


Figura 24 - Princípio do Método do barco em movimento (adaptado de W. Boiten 2000)

Para determinar o caudal, são necessários os seguintes dados:

- Velocidade da corrente num grande número de pontos observados;
- Localização e profundidade dos pontos observados;

A profundidade da água pode ser medida durante a travessia com um ecograma. A velocidade da corrente no ponto medido (V_w) é dada por:

$$V_w = \sqrt{V_r^2 - V_b^2} Q = v \times A \quad (18)$$

A velocidade registada pelo aparelho representa a velocidade relativa da água (V_r) e a velocidade do barco é dado por V_b .

Durante as travessias, devem ser realizadas observações da velocidade em intervalos regulares de 20 ou 30 segundos. A velocidade V_w , é posteriormente multiplicada por um factor k_v para definir a velocidade média na secção.

$$V_{média} = k_v \times V_w \times Q = v \times A \quad (19)$$

Quando o aparelho de medição não está muito distante da superfície da água, deve ser aplicado o valor de $k_v = 0,9$.

Este método possui algumas recomendações que devem ser levadas em conta, aquando da sua aplicação:

- O método deve ser apenas aplicado em correntes, em que o sentido é claramente numa só direcção;
- Este método possui a vantagem de especificar um procedimento simples e de rápida utilização, mas exige um operador extremamente experiente;
- O posicionamento também pode ser efectuado com recurso a GPS. [1]

8. MÉTODO USANDO FLUTUADORES

Quando as medições com recurso a outros instrumentos não são possíveis, a velocidade pode ser estimada anotando o tempo que um flutuador demora a viajar uma distância conhecida. É recomendado um tempo mínimo de 20 segundos.

Dado o pouco rigor que proporcionam, a utilização dos flutuadores está hoje em dia reduzida a casos muito particulares. As medições com o flutuador devem incidir sobre as velocidades superficiais pois são as únicas fáceis de medir com este instrumento. No entanto, pode ser utilizado para se adquirir uma ideia prévia da velocidade da água numa corrente, ou numa grande cheia e em rios com grande declive onde os meios convencionais de medição são difíceis de utilizar.

O flutuador deverá ser libertado a montante da secção onde se pretende iniciar a medição, para permitir ao instrumento adquirir uma velocidade constante, aquando da passagem da secção inicial. Se forem utilizados vários flutuadores, será obtido um resultado mais preciso.

Os flutuadores podem ser de superfície ou submersos (figura 25)

- Flutuador de superfície;
- Flutuador lastrado [1] [15] [16]

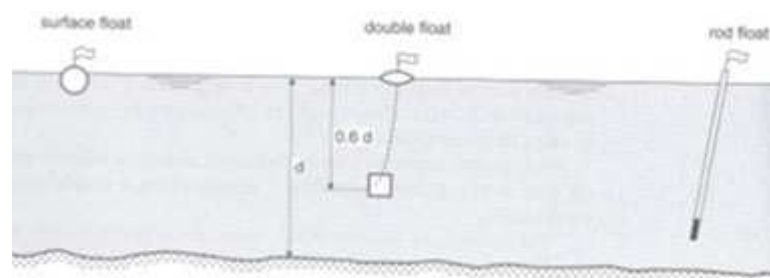


Figura 25 - Tipos de flutuadores (adaptado de W. Boiten 2000)

9. TABELA RESUMO COM ESPECIFICAÇÕES PARA CADA MÉTODO

Apresenta-se de seguida, um resumo das especificações e aplicações de cada um dos métodos descritos anteriormente

Método		Critérios						Incerteza	
Descrição	ISO	Largura	Profundidade	Velocidade	Sedimentos	Condições do canal	Tempo	Mínimo	Comentários
Secção-velocidade, a vau	748	L, M, S	S	S		b, c, d	J, K	+/- 5	A, B
Secção-velocidade, de ponte	748	L, M, S	L, M, S	L, M, S		b, c, d	J, K	+/- 5	A, B, C, D
Secção-velocidade, teleférico	748	L, M, S	L, M, S	L, M, S		b, c, d	J, K	+/- 5	A, B, C
Secção-velocidade, barco parado	748	L, M, S	L, M	L, M, S		b, c, d	J, K	+/- 5	A, B, C, E
Secção-velocidade, barco em movimento	4369	L	L, M	L, M, S		b, c, d	J	+/- 10	A, B, E
Área-velocidade, flutuadores	748	L, M, S	L, M, S	L, M, S		b, c, d	J, K	+/- 10	F
Acústico	6416	L, M, S	L, M	L, M, S	R	b, c, d	G, J	+/- 5	H, U

Electromagnético	9213	M, S	L, M, S	L, M, S		b, d	G, J	+/- 5	H, I
Área-inclinação	1070	L, M	L, M	L, M		b, c, d	K, N	+/- 10	Q
Diluição	9555	M, S	M, S	M, S		c, g, k	K, N	+/- 3	
Volumétrico	2425						K	+/- 10	H
Descarregador permanente (parede degada; parede espessa; perfil trinagular; perfil trapezoidal;...)	1438-1;	M, S	M, S	M, S	I	a, b, e, f, h, i, j	J, G	+/- 1, 3,5	
	3846;								
	4374;								
	4360;								
	9827;								
	4377;								
	8333;								
	4362								
Descarregador portátil	4359; 9826	M, S	M, S	M, S	I	a, b, e, i, j	J, G	+/- 5	

Simbologia usada na tabela:

- a – O regime do escoamento deve ser lento;
- b – O escoamento não deve ter correntes cruzadas;
- c – O canal deve estar relativamente livre de vegetação;
- d – O canal deve ser aproximadamente rectilíneo e de secção uniforme;
- e – O canal deve ser aproximadamente rectilíneo e de secção uniforme num comprimento de cerca de 10 vezes a largura do canal para montante;
- f – O canal deve ter paredes verticais e fundo nivelado ao longo de uma distância para montante não inferior a 10 vezes a altura máxima sobre o descarregador;
- g – O escoamento deve ser turbulento (mesmo incluindo um ressalto hidráulico) de modo a assegurar a diluição;
- h – O canal deve ser rectangular ao longo de uma distância, para montante, de pelo menos 2 vezes a altura máxima sobre o descarregador;
- i – O canal deve ser, aproximadamente, em forma de U;
- j – A distribuição de velocidades deve ser aproximadamente uniforme;
- k – O canal não deve fazer retenção do escoamento nas margens nem apresentar depressões no leito;
- A – No método área velocidade, com velocidades observadas a 60% da profundidade (método de 1 ponto) ou a 20 e a 80% da profundidade (método dos 2 pontos), a incerteza mínima pode ser superior a 5%;
- B – No método secção-velocidade, com a velocidade observada à superfície, a incerteza mínima pode ser superior a 10%;
- C – Pode ser necessário introduzir correcções devido a alterações no nível da água durante a medição;
- D – Um erro maior pode ser causado pelo efeito dos pilares;
- E – Um erro maior pode ser causado pela obstrução do barco, pelos desvios na trajectória e pelo arrastamento do equipamento;
- F – Este método é recomendado apenas quando o efeito do vento é pequeno e quando não é possível usar outro método. Como as condições podem ser tão variáveis não é possível quantificar o erro típico associado a este método. No entanto, este tipo de medições são menos precisas que as medições feitas com molinetes, mas mais precisas do que as que recorrem ao método área-inclinação;
- G – Método apropriado para medições de caudal frequentes;
- H – Método apropriado para caudais nos dois sentidos;
- I – Não é permitido uma grande concentração de sedimentos;

J – Método rápido (menos de 1 h);

K – Método lento (entre 1 e 6 h);

L – Grandes larguras (mais de 50 m) ou grandes profundidades (mais de 5 m) ou velocidades altas (mais de 3 m/s);

M – Larguras médias (entre 5 e 50 m) ou profundidades médias (entre 1 e 5 m) ou velocidades médias (entre 1 e 3 m/s);

N – Método muito lento;

Q – Método aproximado usado quando não é possível recorrer ao método secção-velocidade e quando o declive é determinável com precisão suficiente;

R – A concentração de material suspenso deve ser baixa de modo a evitar grandes perdas de sinal acústico; pela mesma razão o escoamento não deve conter bolhas de ar;

S – Pequenas larguras (menos de 5 m) ou profundidades baixas (menos de 1 m) ou velocidades baixas (menos de 1 m/s);

T – Pode ser usado em rios com vegetação e leito móvel;

U – A secção de medição deve ter um fundo estável. [16]

10. PROSPECTOS INFORMATIVOS DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

10.1. MOLINETE UNIVERSAL C 31

Molinete universal C 31





- Para test de eficacia de turbinas en plantas eléctricas (cruz de medida)
- Para calibracion y controles ciclicos de caudales de descarga (venturis, canales, ...)
- Para medida de velocidad de flujos entre 0,025 m/s y 10 m/s.
- Aplicación universal con diferentes sistemas de fijación con barra o suspendido.
- El autentico instrumento probado por muchos años bajo las mas duras condiciones en todo el mundo

C 31 – El auténtico - marca OTT -

● Aplicación

El molinete universal C 31 sirve para determinar la velocidad de la corriente en canales abiertos, arroyos, ríos, mares y tuberías de circulación forzada.

Su construcción robusta y el empleo de materiales de alta calidad permiten emplearlo incluso bajo condiciones extremas.

De robuste diseño y construido con los materiales de la más alta calidad el molinete puede ser usado bajo las más extremas condiciones.

El auténtico instrumento probado por muchos años de experiencia bajo las más duras condiciones, en todo el mundo.

Para medir la velocidad de corrientes de agua desde 0,025 m/s hasta 10 m/s.

De aplicación universal con distintos tipos de sujeción, como molinete de barra o flotante.



● Funcionamiento

La corriente hace girar la hélice. En cada vuelta, un imán que gira con la hélice, actúa una vez un contacto Reed incorporado hermético, a prueba de la presión. La sucesión de los contactos es casi proporcional a la velocidad del agua en el punto de medición.

La relación exacta entre el número de revoluciones de la hélice por segundo y la velocidad del agua se expresa por la ecuación:

$$v = k \cdot n + \Delta$$

Siendo: n = revoluciones de la hélice por segundo.
 k = asc. hidráulico (m), determinado mediante ensayos de arrastre en el canal de medición.
 Δ = constante de la hélice (m/s), determinada mediante ensayos de arrastre en el canal de medición.

Dado que existen diferencias mecánicas en las hélices y los cojinetes de los distintos molinetes, las constantes k y Δ se determinan individualmente en cada caso, en nuestro canal de medición (certificado de calibrado BARGO).

A petición, calculamos la ecuación de calibrado (relación entre las revoluciones por unidad de tiempo " n " y la velocidad " v ") y suministramos el resultado en forma de tabla, (tabla de velocidades BAREL).

Para detalles de la prueba de molinetes, véase el folleto H/Ls 120/14.

Si la exactitud requerida no es muy grande, puede suministrarse una ecuación de promedio para las hélices de plástico, que se determina a base de varias ecuaciones individuales de calibrado.



Alcance de medición

Según sea el paso de la hélice empleada, resultan distintos márgenes de medición de la velocidad.

Para corrientes oblicuas puede medirse la componente de la corriente en un margen angular dependiente del tipo de hélice (véase la tabla).

Número grabado de la hélice	Dimensiones de la hélice	Velocidad máxima del agua (m/s)	Velocidad de arranque (m/s)	Margen de acción de la componente	Materia
1	125 mm Ø; paso 0,25 m	5,0	0,025	5°	latón
1	125 mm Ø; paso 0,25 m	5,0	0,035	5°	plástico
2	125 mm Ø; paso 0,50 m	6,0	0,040	5°	latón
2	125 mm Ø; paso 0,50 m	6,0	0,060	5°	plástico
3	125 mm Ø; paso 1,00 m	10,0	0,055	5°	latón
4	80 mm Ø; paso 0,125 m	3,0	0,040	5°	latón
A	100 mm Ø; paso 0,125 m	2,5	0,030	45°	latón
R	100 mm Ø; paso 0,25 m	5,0	0,035	15°	aluminio

Aplicaciones

Molinete de barra

Para mediciones en pequeños arroyos y aguas poco profundas con corriente de reducida velocidad se emplea el molinete C 31 en combinación con una barra. Las dos posibilidades normales de sujetar el molinete a la barra son las siguientes:

Sujeción directa en la barra.



Figura 1: Molinete C 31 en barra de 20 mm Ø



Figura 2: Caja del molinete de barra

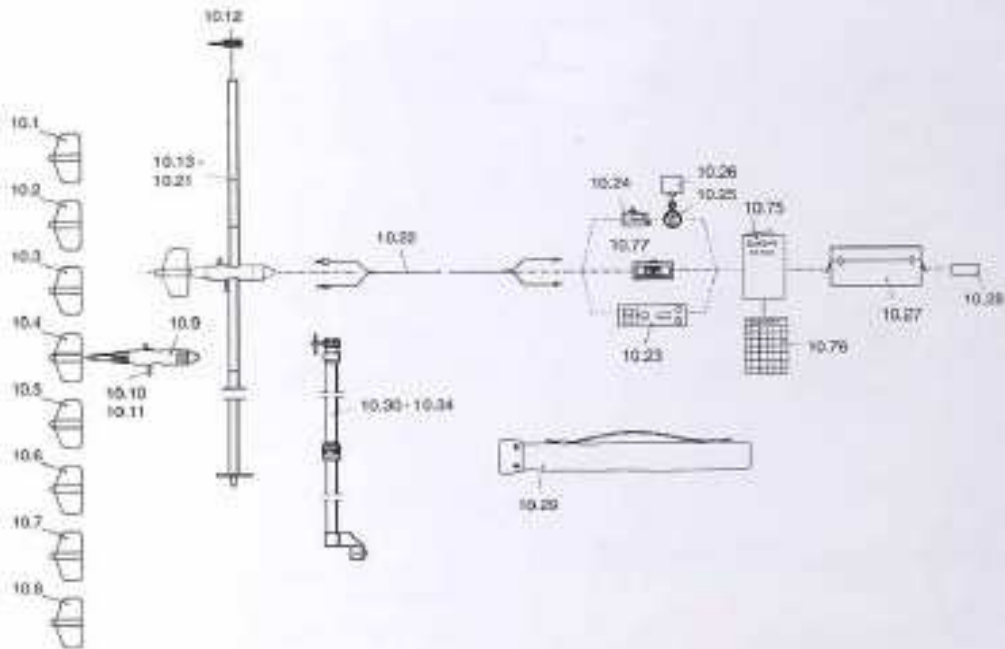
Sujeción a la barra mediante el dispositivo de desplazamiento HERES.

El empleo de este dispositivo ofrece la ventaja de que el molinete puede posicionarse en una perpendicular de medición sin sacarlo del agua.



Figura 3: Molinete C 31 en barra de 20 mm Ø con dispositivo de desplazamiento HERES

● Combinaciones de equipos de molinete en barras



Pos. No.	Designación	Ident. No.	Pos. No.	Designación	Ident. No.
1	Helice No. 4, 80 mm Ø; paso 0,125 m	10.1		Barra de 20 mm Ø con placa de base y punta	
2	Helice No. 1, 125 mm Ø; paso 0,25 m	10.2		Barra de 3 m, 3-piezas, division cm	10.18
3	Helice No. 2, 125 mm Ø; paso 0,5 m	10.3		Barra de 4 m, 4-piezas, division cm	10.19
4	Helice No. 3, 125 mm Ø; paso 1,0 m	10.4		Barra de 5 m, 5-piezas, division cm	10.20
5	Helice A, de componente de 100 mm Ø; paso 0,125 m	10.5		Barra de 6 m, 6-piezas, division cm	10.21
6	Helice R, de componente de 100 mm Ø; paso 0,25 m	10.6	14	Cable de conexión 115/110	10.22
7	Helice No. 1, de plástico de 125 mm Ø; paso 0,25 m	10.7	15	Contador Z 215	10.23
8	Helice No. 2, de plástico de 125 mm Ø; paso 0,5 m	10.8	15.1	Contador Z 30	10.27
9	Molinete C 31	10.9	16	Contador Z 21	10.24
10	Clavija de fondo corta (para helice 80 mm Ø)	10.10	17	Cronómetro	10.25
11	Clavija de fondo larga (para helice 125 mm Ø)	10.11	18	Estuche para cronómetro	10.26
12	Indicador de dirección (opcional)	10.12	19	Certificado de calibrado BARGO	10.25
13	Barra de 20 mm Ø con placa de base y punta		20	Tabla de velocidades BAREL (opcional)	10.26
	Barra de 3 m, 3-piezas, division dm	10.13	21	Caja de instrumento 17.601	10.27
	Barra de 3 m, 3-piezas, division dm	10.14	22	Herramientas	10.28
	Barra de 4 m, 4-piezas, division dm	10.15	23	Funda para barras a HERES	10.29
	Barra de 4 m, 4-piezas, division dm	10.16	24	Dispositivo de desplazamiento HERES	
	Barra de 5 m, 5-piezas, division dm	10.18		2 m, 2-piezas	10.30
	Barra de 5 m, 5-piezas, division dm	10.19		2 m, 4-piezas	10.31
	Barra de 6 m, 6-piezas, division dm	10.20		3 m, 3-piezas	10.32
				4 m, 4-piezas	10.33
				5 m, 5-piezas	10.34

Molinete Rotante

Para mediciones en aguas más profundas y corrientes de mayor velocidad se emplea el molinete 30 21, 100cm. Rotante.

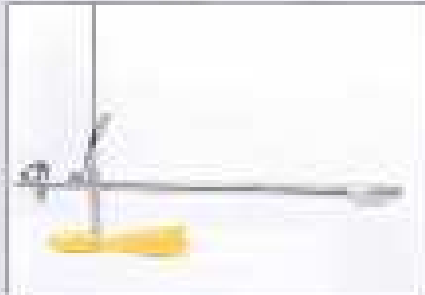


Figura 4: Molinete Rotante con cable.

Se suministran dos tipos de cables: 80 y 100 y de 10 kg. Si se requieren cables, se los puede usar con sensores fijos. En todas las partes, también pueden hacerse mediciones en forma normal.



Figura 5: Caja del molinete Rotante con cable.

Figura 6: Caja del molinete Rotante con placa control de 10, 30 o 100 kg.

Para más detalles sobre nuestros tipos de cable para los equipos de medición por el método de integración, véase el libro PL-1 (2008).



Figura 8: Molinete Rotante con pluma. Toros simple de 10 kg, control 2 y 10 y placa control de 10 kg.



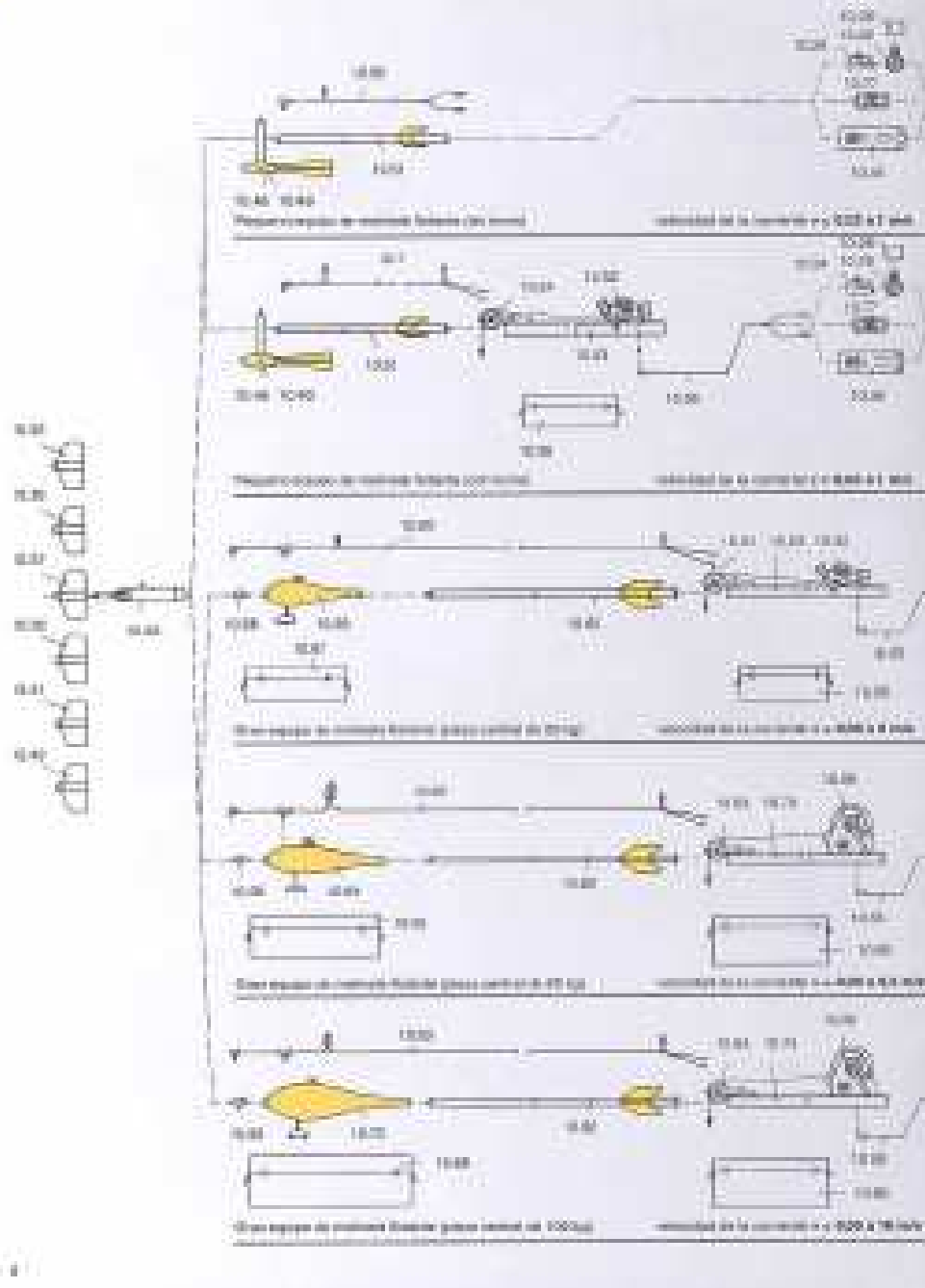
Figura 9: Molinete Rotante con pluma. Toros simple de 10 kg, control 2 y 10 y placa control de 10 kg.

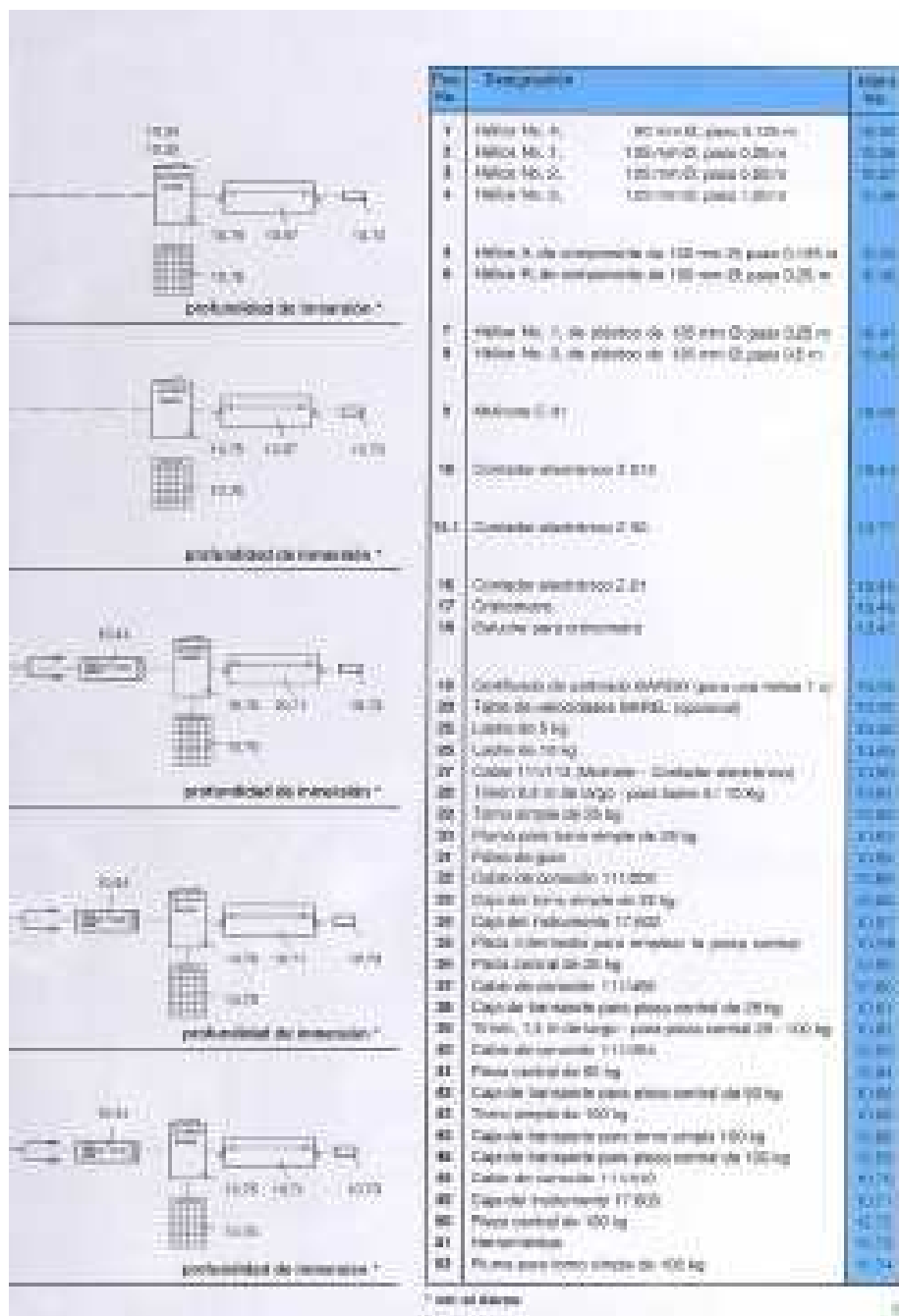
Se suministran dos tipos de cables de pesos controlados de 10 kg, de 30 kg y de 100 kg. Todos los equipos de sensores eléctricos de fondo.

Para mediciones con placa control se requiere un cable más en forma de una instalación de cable-galá apropiada para la zona correspondiente.



Combinaciones de equipos de molinete flotante





10.2. SENSOR ELECTROMAGNÉTICO – FLOW SENSOR NAUTILUS C 2000

Flow Sensor NAUTILUS C 2000





- For very slow velocities 0.000 m/sec. and shallow water as from 3 cm
- Registration of flow-profile, e.g. in waste water channels, basins and reservoirs
- Extremely robust and impact proof sensor
- Averaging intervals programmable
- Direct velocity readout in m/sec. (0 ... 60 sec.).
- For the check and cyclical control of waste-water measuring devices (Venturi, MID, a.o.) independent of any parameters, such as temperature, sediment concentration, salinity, etc., ...

● Application

Flow measurements in shallow water and minimum velocities - complicated by plant growth - such problems may be mastered by the NAUTILUS C 2000 Flow Sensor.

The ideal help for site conditions where the conventional current meter can no longer be used for:

- plant-loaded water
- marginal zones of river and sea banks
- polluted water
- very slow velocities as from 0.000 m/sec.
- shallow water as from 3 cm

The degree of accuracy, viz 1 % of measured value, becomes especially effective in the lowest velocity range. Every sensor is calibrated individually in the new designed OTT rating tank for the velocity range 0.000 m/sec. to 1.500 m/sec. (standard) or 2.500 m/sec. (optional).

The measured value is directly indicated in metres/sec. on the clear display of the SENSE Z 300 Velocity Indicator.

The system is also designed for long-term measurements: e.g. by connection of a PC/Laptop (via RS 232 C interface) it is possible to record flow diagrams and by this, to represent flow behaviour.

Averaging intervals are selectable by steps between 0 and 60 seconds.



NAUTILUS velocity sensor, fixed on wading rod 20 mm dia. and HERES relocating device.

● Technical Features

- Measurement of lowest velocities as from 0.000 m/sec.
- no moving parts, thus well-resistant and maintenance-free.
- extremely robust and impact-proof
- independent of any parameters, such as temperature, suspended sediment concentration, salinity, etc.



● Function

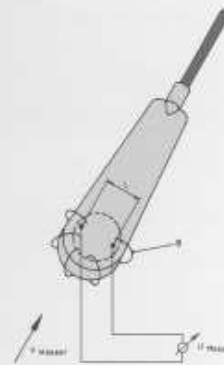
The magnetic induction principle according to Faraday offers the possibility to measure lowest velocities without any mechanically moved parts: If an electroconductive medium moves in a magnetic field, then a voltage is induced in this conductor.

$$U = B \cdot L \cdot v$$

U = measuring voltage B = magnetic field
L = length of the conductor v = velocity

Thus the output voltage is linearly proportional to the velocity of the electric conductor (in this case: the water). This is obtained in the NAUTILUS Sensor by a constant distance of electrodes and by the defined magnetic field produced by a coil. The induced voltage is tapped-off from the two special electrodes, it is pre-amplified and is directly displayed in the physical unit (m/sec.) by the SENSE Z 300 Velocity Indicator.

Depending on the principle, the measurement in each case only covers the axial component of the flow velocity, that means by this you always get a 100 % component effect.



○ Technical Details:

NAUTILUS C 2000 Sensor

Operating temperature: $-5^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$

Material of probe: impact-proof epoxyresin

Material of electrodes: Titanium (easy to clean)

Minimum conductivity of the measuring medium: $5 \mu\text{S}$
(exceeding fluctuations do not influence the measurement.)

Power supply: via SENSE Z 300 Velocity Indicator

Dimensions: approx. $18 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$

Weight: approx. $0,5 \text{ kg}$
(incl. 3 m connecting-cable)



○ SENSE Z 300 Velocity Indicator

Polycarbonat-case incl. shoulderstrap, front panel with operating keyboard and LC-display, direct readout in m/sec.

Dimensions: $22,5 \text{ cm} \times 14 \text{ cm} \times 10,5 \text{ cm}$

Type of protection: IP 67

Operating temperature: $-5^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$

Power supply: 10 pos. of Baby-cells of $1,5 \text{ V}$ ea. sufficient for approx. 32 operating hours
RS 232 C

Output:

Calibrated $0,000 \dots 1,500 \text{ m/sec.}$
(standard)

Velocity range: $0,000 \dots 2,500 \text{ m/sec.}$ (option)

Averaging intervals: selectable without or 2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, or 60 sec.

Accuracy: 1% of measured value

Zero stability: $\pm 2 \text{ mm/sec.}$

Weight: approx. $1,8 \text{ kg}$ (with batteries)

Specification of ordering

Item No.	Designation	Ident. No.
Basic unit		
1	NAUTILUS C 2000 sensor incl. 3m cable, fixed installed, incl. plug to SENSE Z 300 velocity indicator, incl. tools - without batteries Other cable lengths (max. 20m) upon request	400.10 ...3... m
2	SENSE Z 300 Velocity Indicator incl. shoulder strap language version (language of the LC-display) English - French - Spanish - German	400.20
3	Adapter for mounting the sensor to a 20 mm dia. wading rod	
4	Calibration up to 1,500m/sec. incl. EPROM (Standard) in the OTT rating tank	400.25
4.1	Calibration up to 2,500m/sec. incl. EPROM (Option) in the OTT rating tank	400.30
5	Instrument case for the accommodation of the complete measuring device (without rod and HERES)	400.80
Accessories		
6	Battery Baby cell 1,5 V (10 pcs. required)	400.60
7	Rod 20 mm dia., 3m long, 3-sections, dm-graduation, with base plate and point (other lengths and graduations - see our OTT-price list)	10.14
8	HERES relocating device for 20 mm dia. rod 2 m long, 2 selections (other lengths and selections - see our OTT-price list)	10.30
9	Canvas bag for 20 mm dia. rod and the HERES relocating device	10.29
10	Data transmission cable for the direct readout from the SENSE Z 300 to a Laptop/PC, 3 m long incl. 9-pin plug incl. 25-pin plug	400.92 400.94

Small design details may be changed without notice

**Delivery program e.g.:**

Water Level Recorders
Current Meters, Winches
Pressure Probes
Shaft Encoders
Data Loggers, Smart Sens.
Data Transmission

Ask for our price list!

OTT
MESSTECHNIK

OTT MESSTECHNIK GmbH & Co. KG
Postfach 2140 D-87411 Kempten
Ludwigstraße 16 D-87437 Kempten
Tel. 0831-5617-0 GERMANY
Fax 0831-5617-209
Telex 54796



DI 11/1 1094/03

10.400.000 P.E.

Figura 27 - Prospecto informativo Flow Sensor Nautilus C 2000

10.3. ADCP's

10.3.1. STREAM PRO ADCP

TELEDYNE RD INSTRUMENTS WATER RESOURCES

StreamPro ADCP

REVOLUTIONARY TOOL FOR VELOCITY AND DISCHARGE MEASUREMENT IN SHALLOW STREAMS

Your Shallow Water Solution!

Save time and money: Teledyne RDI's new StreamPro ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) represents a revolutionary advancement in velocity and discharge measurement. Now you can accurately measure discharge in shallow streams in a matter of minutes—a fraction of the time required using traditional hand-held devices. With StreamPro there's no need to move from station to station to obtain single-point velocity data or compute the discharge by hand; discharge measurements are obtained in real-time.

Get out of the water: StreamPro can be tethered to be pulled from a bridge, cableway, or tagline pulley system. This greatly improves operator safety when compared to traditional wading techniques.

Collect high-accuracy data: This dramatic advancement in stream flow measurement is made possible by Teledyne RD Instruments' patented BroadBand Doppler signal-processing technology, which achieves superior accuracy over an extended range.

Go right to work: StreamPro has been designed to allow any level of user to immediately begin collecting high-quality, accurate data. The simple and highly intuitive user interface has been designed to ensure proper operation.

Teledyne RDI's StreamPro ADCP can simply be pulled across the stream as you walk across a bridge, or attached to a tagline to collect real-time data.



The StreamPro's transducer can be towed from different points on board the platform, or can be removed and hand-held in the water for applications such as under ice flow measurements.

StreamPro ADCP Highlights

- **Quick:** Collect complete velocity and discharge measurements in streams from 15–225cm deep in a matter of minutes.
- **Convenient:** No need to move from station to station. Simply wade across the stream or cross a bridge to collect data.
- **Easy to Operate:** Data is conveniently acquired using a PocketPC equipped with a highly intuitive user interface.
- **Affordable:** Value-priced system designed to suit your budget.
- **Bottom Tracking:** Reliable bottom-tracking in ~10cm water depth.
- **Wireless:** Bluetooth communications utilized between electronics and PocketPC.
- **Reduced Disturbance:** Small transducer head, 3.5cm in diameter, for minimal flow disturbance.
- **Low Power Consumption:** Full day of operation on 8 AA batteries.
- **Versatile:** Minimum cell size 2cm with up to 20 cells. Standard profiling range of up to 2m (4m with upgrade).
- **Flexible Data Format:** All acquired data is compatible with Teledyne RDI's WinRiver software for detailed data playback and processing.

 **TELEDYNE RD INSTRUMENTS**
A Teledyne Technologies Company

StreamPro ADCP

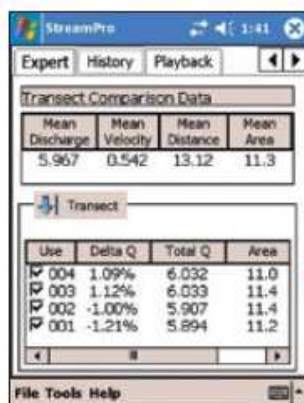
VELOCITY AND DISCHARGE MEASUREMENT IN SHALLOW STREAMS



Technical Specifications

Velocity Profiling	
# cells	1-20
Min. cell size	2cm
Max. cell size	10cm standard, 20cm with upgrade
Max. range	2m standard, 4m with upgrade
1st cell start	7-30cm (from transducer); depends on cell size
Accuracy (cell = 1/2 max.)	$\pm 1.0\% \pm 0.2 \text{ cm/s}$
Resolution	0.1 cm/sec
Velocity range	$\pm 5 \text{ m/sec}$ ($\pm 2 \text{ m/sec}$ on standard float)
Physical Properties	
Weight in air	5 kg including electronics, transducer, float, and batteries
Dimensions	Electronics housing: 15 x 20 x 10 cm Transducer: 3.5cm diam. x 15cm length Float: 44 x 70 x 11 cm
Transducer	
Frequency	2.0MHz
Geometry	4 beams, 20° beam angle
Beam width	3°
Material	Polyurethane

Sample data using StreamPro's standard software.



Standard Sensors

Temperature: Range -4° to 40°C
Accuracy $\pm 0.5^\circ\text{C}$
Resolution 0.01°

Thermistor in metallic housing in direct contact with water

Communications

Bluetooth wireless
Baud rates: 115,200 bps

Construction

Cast polyurethane with stainless hardware.

System Components

- Small transducer head
- Electronics case
- Small float
- PocketPC: IPAQ
- Bluetooth wireless
- Data collection software

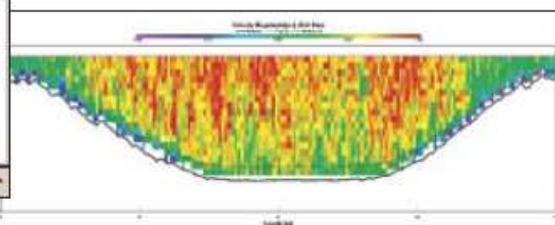
Power

Voltage: 10-13.5VDC (8 AA batteries, alkaline or rechargeable NiMH)

Electronics energy consumption: 10 hours continuous with 8 AA alkaline batteries
12 hours continuous with 8 AA NiMH rechargeable batteries

Upgrades Available

- Firmware to extend profiling range to 4 meters
- Software to add Section-by-Section method



**TELEDYNE
RD INSTRUMENTS**

A Teledyne Technologies Company
www.rdinstruments.com



Free online product training



Free 24/7 emergency support

Teledyne RD Instruments

14020 Stowe Drive, Poway, CA 92064 USA

Tel. +1-858-842-2600 • Fax +1-858-842-2822 • E-mail: rdlsales@teledyne.com

Les Nertieres 5 Avenue Hector PINTUS 06610 La Gaude France

Tel. +33-49-211-0930 • Fax +33-49-211-0931 • E-mail: rdle@teledyne.com



Specifications subject to change without notice.
© 2006 Teledyne RD Instruments, Inc. All rights reserved. WR-1001, Rev. 07/06

Figura 28 - Prospecto informativo Stream Pro ADCP

10.3.2. WORKHORSE RIO GRANDE ADCP

TELEDYNE RD INSTRUMENTS WATER RESOURCES 

Workhorse Rio Grande ADCP

HIGHLY ACCURATE RIVER DISCHARGE MEASUREMENT TOOL

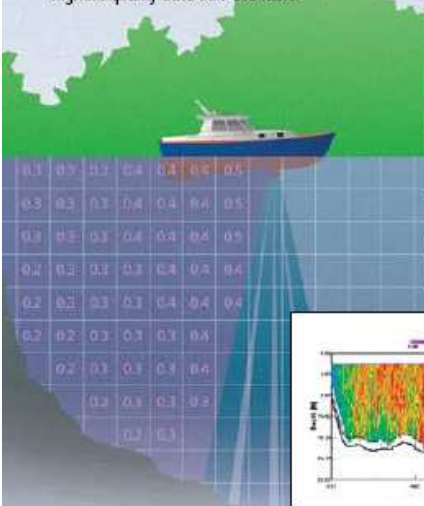
Versatile River Discharge Measurement System

The Workhorse Rio Grande ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) is an accurate, rapid-sampling current profiling system designed to operate from a moving boat. The result is the fastest, safest, and most flexible method for measuring discharge.

The Rio Grande can be used for a wide range of river conditions, from shallow 75cm deep streams to rushing rivers and tidal estuaries where no prior discharge data exists.

The advantages will revolutionize the way you collect data, resulting in more productive, diverse, and cost-effective river surveys; reduced lifetime equipment costs; and the highest-quality data sets available.

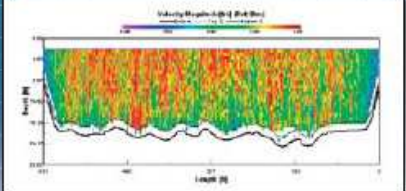




Teledyne RD's Rio Grande ADCP allows you to collect real-time discharge measurements from any moving platform—from small tethered boats to inland survey vessels.

Rio Grande ADCP Highlights:

- Teledyne RD's patented BroadBand technology that allows small depth cells and fast transects for velocity and discharge measurements
- Fast, accurate, and repeatable discharge measurement
- Integration capability with external sensors: GPS, depth sounder, and external compass through Windows software (WinRiver)
- Low flow or weak current measurement capability with high-precision modes (equipped as standard)
- Large depth range profiling capability that allows one unit to be used in both dry season (shallow and low flow) and flood season (high stage and strong flow) for the same site
- Windows-based data acquisition and playback software with standard discharge summary table



Sample data using WinRiver software.



**TELEDYNE
RD INSTRUMENTS**
A Teledyne Technologies Company



Workhorse Rio Grande ADCP

HIGHLY ACCURATE RIVER DISCHARGE MEASUREMENT TOOL



Technical Specifications

Standard Mode Water Profiling				
1200kHz ZedHed	Bin Size (m)	Std. Dev. (cm/s) ¹	Min. Range (m) ²	Typical Range (m) ²
	0.25	14.0	1.2	20
	0.5	7.0	1.7	22
	1.0	3.5	2.7	24
	2.0	1.8	4.8	26
600kHz	Bin Size (m)	Std. Dev. (cm/s) ¹	Min. Range (m) ²	Typical Range (m) ²
	0.5	14.0	1.8	70
	1.0	7.0	2.9	80
	2.0	3.4	5	90
	4.0	1.9	9.2	100

Special Features

Rio Grande comes complete with high-resolution modes used in special river conditions

1200kHz ZedHed: shallow water, slow flow mode (Mode 11)

Bin Size (m)	Std. Dev. (cm/s) ¹	Min. Range (m) ²	Max. Range (m) ²
0.05	1.0	0.3	4
0.1	0.7	0.5	4
0.25	0.4	1	4

600kHz: shallow water, slow flow mode (Mode 11)

Bin Size (m)	Std. Dev. (cm/s) ¹	Min. Range (m) ²	Max. Range (m) ²
0.1	0.8	0.7	8
0.25	0.5	1	8
0.5	0.4	1.6	8

Bottom tracking (included)

	Max. altitude (m)	Min. altitude (m)
1200kHz	30	0.75
600kHz	100	0.75

¹Standard deviation for default setup, 15°C, typical sediment load.

²Ranges are for fresh water, 15°C, typical sediment load.

Standard Software

RDI's Windows™-based WinRiver

Power

DC input: 10.5–18V DC

Upgrades Available

- Memory: 2 PCMCIA slots, total 2GB

New Options Available

- Shallow water bottom tracking from 30cm depth – Bottom Mode 7
- Fast sampling mode: selectable 10Hz, 20Hz, 40Hz – Water Mode 12

Standard Sensors

Temperature (mounted on transducer):

Range: -5° to 45°C

Precision: ±0.4°C

Resolution: 0.01°

Tilt:

Range: ±15°

Accuracy: ±0.5°

Precision: ±0.5°

Resolution: 0.01°

Compass (fluxgate type, includes built-in field calibration feature):

Accuracy: ±2°³

Precision: ±0.5°³

Resolution: 0.01°

Maximum tilt: ±15°

³ @ 60° magnetic dip angle, 0.5G total field

Transducer and Hardware

Beam angle: 20°

Configuration: 4-beam, transducer

Communications: Serial port selectable by switch for RS-232 or RS-422, ASCII or binary output at 1,200–115,400 baud

Internal memory: Optional flash PC card

Velocity accuracy: ±0.25% of the

(water + boat) velocity ±0.25cm/s

Velocity resolution: 0.1cm/s

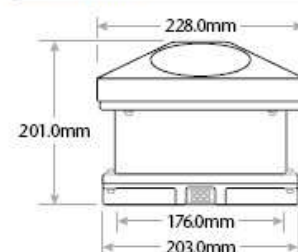
Velocity range: ±5m/s default;

±20m/s maximum

Number of depth cells: 1–128

Ping rate: 2Hz (typical)

Dimensions



TELEDYNE
RD INSTRUMENTS

A Teledyne Technologies Company
www.rdinstruments.com



Free online product training



Free 24/7 emergency support

Teledyne RD Instruments

14020 Stowe Drive, Poway, CA 92064 USA

Tel. +1-858-842-2600 • Fax +1-858-842-2822 • E-mail: rdlsales@teledyne.com

Les Nertieres 5 Avenue Hector Pintus 06610 La Gaude France

Tel. +33-49-211-0930 • Fax +33-49-211-0931 • E-mail: rdlie@teledyne.com



Specifications subject to change without notice.
© 2006 Teledyne RD Instruments, Inc. All rights reserved. WRS-1003, Rev. 09/00

Figura 29 - Prospecto informativo Workhorse Rio Grande ADCP

10.3.3. RIVER SURVEYOR M9

RiverSurveyor

Instant Discharge Measurements

Useful options and accessories make the RiverSurveyor a complete, turn-key solution!



RiverSurveyor runs on both PC and mobile phone platforms making system operation simple without any risk of losing data.



The RiverSurveyor Power/Communication module supports both the S1 and the M9. Featuring independent battery packs, it can be located and functioned with either a laptop or a mobile phone.



Available exclusively from SonTek, the optional RTK GPS system is used to locate and offset the system's position, fully integrated position solution that can be used to be as accurate as surveying with a total station.



The flexible design of the S1 and M9 systems enables use either from the side of a boat, or on a small floating hydrographic platform such as the SonTek Hydrobot or the S1 TriStar.

Specifications	RiverSurveyor S1	RiverSurveyor M9
Acoustic Measurement	0.06m to 5m 100 kHz Virtual 120° beam Accuracy: ±0.005m 1000 m/s Up to 120° 0.02m to 0.5m	0.06m to 40m 200 kHz Up to 120° beam Accuracy: ±0.005m 1000 m/s Up to 120° 0.02m to 0.5m
Depth Measurement	0.06m to 15m 100 kHz Virtual 120° beam Accuracy: ±0.005m	0.06m to 80m 100 kHz Virtual 120° beam Accuracy: ±0.005m
Velocity Measurement	0.06m to 15m 100 kHz Virtual 120° beam Accuracy: ±0.005m	0.06m to 80m 100 kHz Virtual 120° beam Accuracy: ±0.005m

Optional Specifications

- Temperature Sensor
 - Resolution: ±0.01°C
 - Accuracy: ±0.1°C
 - Compass (S1 only)
 - Range: 360°
 - Heading Accuracy: ±2°
 - Roll/Air: ±1°
- Power/Communication Module
 - Li-Ion 3.6V DC
 - RS-232 Communications
 - RS-232 Serial GPS Input
 - Auto Data Output Rate: 2 Hz
 - Internal Sampling Rate: Up to 70 Hz
- Physical Dimensions
 - Depth Rating: 50m
 - Operating Temperature: -10°C to 40°C
 - Storage Temperature: -10°C to 70°C
- Power/Communication Module Specifications
 - Batteries
 - Type: Rechargeable
 - Capacity: 6 hours of continuous operation at 100m with RTK GPS enabled
 - Memory Options
 - Bluetooth (Phone): 60m
 - Bluetooth (Laptop): 200m
 - Serial Spectrum Radio: 200m
 - GPS Options
 - Accuracy: 1m
 - RTK Accuracy: 0.02m
 - Flotation Options
 - SonTek Hydrobot
 - S1 TriStar

SonTek
YSI Incorporated

For more information, contact SonTek at 1-800-451-7829 or visit our website at www.sonetek.com.
SonTek is a leader in the development of innovative solutions for water resources measurement and monitoring. Our products are used by water resource professionals worldwide to measure and monitor water resources. SonTek is a leader in the development of innovative solutions for water resources measurement and monitoring. Our products are used by water resource professionals worldwide to measure and monitor water resources.

RiverSurveyor

Instant Discharge Measurements

Taken to Incredible Extremes.

It's an inherent goal - to build a river discharge measurement system without the traditional limitations. It had to be small, portable and so easy to use that anyone could make a measurement. It had to be so robust that it could be used just about anywhere in the world under extreme conditions. The results had to be immediately recognizable. Combined to advance measurement practice, the RiverSurveyor S1 and M9 systems give a whole new perspective to the notion of open channel hydraulic measurements.

It's a SonTek attribute - multiple accuracy frequencies fused with precise bandwidth control make for the most robust and continuous (shadow-free) measurements ever. A deterministic microcontroller expertly apportions the proper acoustic, pulse scheme, and call size so you can focus on the measurement - not the instrument setup. The system even has a vertical beam for precise channel definition - and it's all designed to work reliably.

Leading edge technologies such as Bluetooth®, spread spectrum radio, mobile phones, and RTK (Real-Time Kinematic) GPS are all incorporated to elevate performance and expand utility.




RiverSurveyor

Instant Discharge Measurements

Sound Principles. Good Advice.

Display. Process. Analyze.

Exceed your expectations both during and after the measurement with RiverSurveyor Live software, a Windows XP/Vista compatible package with the latest advancements for open channel hydraulics visualization.

- Just, view, and analyze multiple data sets simultaneously
- Collect data and download to your PC or mobile phone
- Automatic profiling and data storage
- View multiple data results (bottom track, GPS/GPS, and GPS-VTU) simultaneously
- Quality statistics, statistics, and color coded graphical display for flow conditions in the field
- Customizable interface, graphs, and tabular data
- Reports in ASCII or PDF format

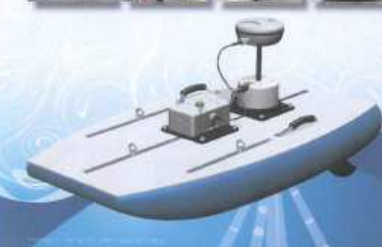


Figura 30 - Prospecto informativo River Surveyor M9

10.4. FLOW TRACKER HAND HELD ADV

FlowTracker. Handheld ADV.

No other reading discharge device on the market comes with more useful options and accessories, making the FlowTracker a complete, turn-key solution.



The SonTek, ADV wading rod wading net battery, a sturdy job and a subtle hint.



Aggregated provided with a wading rod wading net.



FlowTracker, Mobility, Accuracy, and a wading net.

Standard Features

- Low-profile 2-D ADV water velocity sensor on 2m flexible cable (measures in depths down to 2cm (1 inch))
- Automatic discharge calculation protocols (ISO/USGS mid-section, mean-section, and Japanese)
- Handheld keypad interface with real-time display
- Velocity methods: ISO, USGS, under ice, kgo, 5-point, and multipoint
- Languages supported: English, Spanish, German, Italian, and French
- Recorder space: up to 64 discharge measurements or over 150,000 individual velocity samples
- Data Set Documentation: up to 20 values or time-stamped user comments including gauge height and rated flow
- GAO/USGS automated data review and discharge uncertainty calculations
- Communication protocols: RS232
- Software: Windows software with diagnostic beam-check, recorder access, data visualization and customizable reports
- Compatible with FlowPack Velocity Indexing software
- Temperature sensor
- Hard plastic case

Optional Features

- 2-D/3-D ADV side-looking probe
- 3m flexible cable
- Deluxe SonTek two piece, top-loading wading rod kit (1.2m Metric or 4 ft. English) including case and mounting brackets
- Wading rod mounting bracket for controller/heppad
- Offset mounting bracket for ADV probe

Specifications

- Velocity range: ± 0.001 to 4.0 m/s (± 0.003 to 13 ft/s)
- Velocity resolution: 0.0001 m/s
- Velocity accuracy: $\pm 1\%$ of measured velocity, ± 0.25 cm/s
- Sampling volume: 10 cm from center transducer
- Power supply: 8 AA batteries
- Typical battery life: 25+ hours continuous operation (at 100% battery)
- Weight: 1.5 kg (4.0 lbs)
- Probe width: 130 mm (5.1 inch)
- Handheld control keypad: temporarily submersible to 1m
- Operating temperature: -20° to 50° C
- Storage temperature: -20° to 50° C

FlowTracker. Handheld ADV.

SmartQC is a built-in quality control feature that gives you the added assurance your FlowTracker data is correct. With each measurement, data is compared to a variety of adaptive QC criteria to ensure the best measurement possible.

SmartQC is our exclusive promise your SonTek/VS system is performing at optimum standards and that your data is precise, reliable and exceeds your service expectations.

SonTek/VS, founded in 1982 and pioneering environmental science in over 100 countries, manufactures affordable, reliable acoustic Doppler instrumentation for water velocity measurement in oceans, rivers, lakes, canals, streams, and estuaries. Headquarters are located in San Diego, California. Additional information can be found at: www.sontek.com. SonTek/VS is an employee-owned company.

SonTek, ADV and FlowTracker are trademarks of SonTek/VS Inc., San Diego, CA USA. The FlowTracker is made in the USA. © December 1998, Rev. 4.1 - Global Group.

FlowTracker. Handheld ADV.

Portable, Precise, Practical.

Designed with the field user in mind, this handheld ADV® (Acoustic Doppler Velocimeter) measures 2D or 3D currents, attaches easily to wading rods, and features an automatic discharge computation using a variety of international methods, including ISO and USGS standards. At the end of the data run, just press a button and the FlowTracker calculates the discharge for you!

The FlowTracker is the ideal solution if you're looking for:

- Help in challenging outdoor conditions
- A way to avoid recurring calibration/maintenance
- Tough equipment that doesn't break down all the time
- Unmatched performance in shallow water and low flows
- An easy-to-use interface
- Fewer steps to follow
- Built-in quality checks (SmartQC) so you know your data is right.

The handy FlowTracker keypad is custom-designed for both discharge measurements and general purpose water velocity. Featuring provisions for starting edges, multiple channels, and even bio-covered water, it is ready for any environmental situation. In addition, the FlowTracker's intelligent algorithm automatically prompts you for the proper measurement method based on your previous measurement stations.

FlowTracker Software Speaks Your Language

The FlowTracker comes with user-friendly, data analysis software that helps you produce attractive, customizable and professional reports in minutes. FlowTracker software also supports several languages, making it an ideal solution for international applications.



Example of FlowTracker discharge software and reports

FlowTracker in the Field

With rugged construction for any climate and a backlit display easily read during both day and night, the FlowTracker goes wherever you need it to go.

- Natural Streams
- Irrigation Canals
- Mining Channels
- Water Treatment
- Wells/Pumes
- Storm Water
- Open Channels
- Lakes

The FlowTracker Advantage

It doesn't matter if you are new to acoustic Doppler technology, or an old familiar friend, the FlowTracker provides unparalleled benefits you will only find with SonTek/VS systems. Here is some of what sets the FlowTracker apart:

- Multi-language instrument and software (English, Spanish, French, Italian, and German)
- Proven velocity precision - accurate to as low as 0.001 m/s (0.003 ft/s) and up to 4.0 m/s (13 ft/s)
- Automatic discharge calculation - international techniques, including ISO and USGS standards
- Record changing gauge heights and rated flows, with comments in each measurement
- Automatic discharge uncertainty calculation to ISO standard. A FlowTracker First!
- Measure velocities in water as shallow as 2 cm (less than an 1 inch)
- Keypad interface with real-time velocity and flow display
- Automatic quality control for accurate data collection
- Two- or three dimensional velocity measurement
- Recorded data is shielded from power loss
- Lightweight, rugged, and waterproof
- No calibration required - never!
- Built-in temperature sensor






Example of typical ADV and FlowTracker data using the FlowTracker

Wading Discharge Measurement Device



Figura 31 - Prospecto informativo Flow Tracker hand held ADV

ANEXO 2
(RELATÓRIOS DAS CAMPANHAS DE
MEDIÇÃO DE CAUDAL)

ÍNDICE GERAL

1. Descrição dos locais objecto de estudo (rios e canal artificial).....	13
2. Campanha de medições de caudal número 1.....	14
3. Campanha de medições de caudal número 2.....	22
4. Campanha de medições de caudal número 3.....	29
4.1. Secção 5.....	29
4.2. Secção 3.....	42
4.3. Secção 2.....	67
5. Campanha de medições de caudal número 4.....	79
5.1. Secção 1.....	79
5.2. Secção 4.....	86
5.3. Secção 6.....	96
6. Campanha de medições de caudal número 5.....	111
7. Campanha de medições de caudal número 6.....	124
8. Campanha de medições de caudal número 7.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Perfis Transversais (1ª Campanha).....	16
Figura 2 -Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (1ª Campanha).....	16
Figura 3 - Perfil Transversal (2ª Campanha).....	22
Figura 4 - Perfis de velocidade em cada vertical (2ª Campanha)	24
Figura 5 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (2ª Campanha).....	25
Figura 6 – Perfil Transversal (3ª Campanha, secção 5)	29
Figura 7 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (3ª Campanha, secção 5).....	32
Figura 8 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 3, secção 5).....	33
Figura 9 - Perfis Transversais (3ª Campanha, secção 3)	42
Figura 10 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (3ª Campanha, secção 3)	46
Figura 11 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 3, secção 3).....	47
Figura 12 - Perfil Transversal (3ª Campanha, secção 2)	67
Figura 13 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (3ª Campanha, secção 2)	68
Figura 14 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 3, secção 2).....	69
Figura 15 - Perfil Transversal (4ª Campanha, secção 1)	79
Figura 16 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (4ª Campanha, secção 1)	80
Figura 17 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 4, secção 1).....	81
Figura 18 - Perfil Transversal (4ª Campanha, secção 4)	87
Figura 19 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (4ª Campanha, secção 4)	88
Figura 20 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 4, secção 4).....	88
Figura 21 - Perfil Transversal (4ª Campanha, secção 6)	96
Figura 22 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do descarregador (3ª Campanha 4, secção 6)	97
Figura 23 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 4, secção 6).....	98
Figura 24 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio Nabão (5ª Campanha)	111
Figura 25 - Representação gráfica do desvio (5ª Campanha)	112
Figura 26 - Perfil Transversal (6ª Campanha).....	125
Figura 27 - Perfil Transversal (7ª Campanha).....	133
Figura 28 - Representação gráfica dos desvios (7ª Campanha).....	134

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Registos de medição (1ª Campanha)	14
Tabela 2 - Caudais, áreas e velocidades médias (1ª Campanha)	16
Tabela 3 - Registos de medição (2ª Campanha)	22
Tabela 4 - Registos de velocidades (2ª Campanha).....	23
Tabela 5 - Caudais, áreas e velocidades médias (2ª Campanha)	25
Tabela 6 - Teste preliminar do Sensor electromagnético.....	29
Tabela 7 - Registos de medição (2ª Campanha, secção 5)	30
Tabela 8 - Velocidades obtidas pelo Molinete hidráulico e Sensor electromagnético (3ª Campanha, secção 5) ..	30
Tabela 9 - Caudais, áreas e velocidades médias (3ª Campanha, secção 5)	32
Tabela 10 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (Campanha 3, secção 5)	32
Tabela 11 - Registos de medição (3ª Campanha, secção 3)	42
Tabela 12 - Caudais, áreas e velocidades médias (3ª Campanha, secção 3)	45
Tabela 13 - Desvios entre os caudais obtidos pelo Molinete C 31 e Sensor electromagnético (Campanha 3, secção3)	46
Tabela 14 - Registos de medição (3ª Campanha, secção 2)	67
Tabela 15 - Caudais, áreas e velocidades médias (3ª Campanha, secção 2)	68
Tabela 16 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (Campanha 3, secção 2)	68
Tabela 17 - Registos de medição (4ª Campanha, secção 1)	79
Tabela 18 - Caudais, áreas e velocidades médias (4ª Campanha, secção 1)	80
Tabela 19 - Desvio entre os caudais obtidos pelos equipamentos (Campanha 4, secção 1)	80
Tabela 20 - Registos de medição (4ª Campanha, secção 4)	86
Tabela 21 - Caudais, áreas e velocidades médias (4ª Campanha, secção 4)	87
Tabela 22 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (Campanha 4, secção 4)	88
Tabela 23 - Registos de medição (4ª Campanha, secção 6)	96
Tabela 24 - Caudais, áreas e velocidades médias (4ª Campanha, secção 6)	97
Tabela 25 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (Campanha 4, secção 6)	97
Tabela 26 - Desvios entre o caudal devolvido pela Curva de vazão do descarregador e os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (Campanha 4, secção 6)	98
Tabela 27 - Caudais, áreas e velocidades médias (5ª Campanha)	111
Tabela 28 - Desvio entre o caudal obtido pelos diversos equipamentos (5ª Campanha)	112

Tabela 29 - Registos de medição (6ª Campanha)	124
Tabela 30 - Caudais, áreas e velocidades médias (7ª Campanha)	133
Tabela 31 - Caudais parciais obtidos pelos equipamentos acústicos (7ª Campanha)	134
Tabela 32 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (7ª Campanha)	134
Tabela 33 - Caudais, áreas e velocidades médias (7ª Campanha)	135
Tabela 34 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (7ª Campanha)	135
Tabela 35 - Desvios entre as áreas obtidas pelos diversos equipamentos (7ª Campanha)	135
Tabela 36 - Desvios entre as velocidades obtidas pelos diversos equipamentos (7ª Campanha)	135

ÍNDICE DE FOLHAS DE CÁLCULO DE CAUDAIS

Folha de cálculo 1 - Molinete C 31 (1ª Medição, 1ª Campanha).....	18
Folha de cálculo 2 - Molinete C 31 (2ª Medição, 1ª Campanha).....	19
Folha de cálculo 3 - Molinete C 31 (3ª Medição, 1ª Campanha).....	20
Folha de cálculo 4 - Molinete C 31 (1ª Medição, 2ª Campanha).....	26
Folha de cálculo 5 - Molinete C 31 (2ª Medição, 2ª Campanha).....	27
Folha de cálculo 6 - Molinete C 31 (Campanha 3, secção 5)	35
Folha de cálculo 7 - Sensor electromagnético (Campanha 3, secção 5)	36
Folha de cálculo 8 - Stream Pro ADCP (Campanha 3, secção 5).....	40
Folha de cálculo 9 - Primeira passagem do Molinete C 31 (Campanha 3, secção 3).....	48
Folha de cálculo 10 - Segunda passagem do Molinete C 31 (Campanha 3, secção 3).....	49
Folha de cálculo 11 - Terceira passagem do Molinete C 31 (Campanha 3, secção 3).....	50
Folha de cálculo 12 - Primeira passagem do Sensor electromagnético (Campanha 3, secção 3)	51
Folha de cálculo 13 - Primeira passagem do Stream Pro ADCP (Campanha 3, secção 3).....	55
Folha de cálculo 14 - Segunda passagem do Stream Pro ADCP (Campanha 3, secção 3).....	60
Folha de cálculo 15 - Terceira passagem do Stream Pro ADCP (Campanha 3, secção 3).....	65
Folha de cálculo 16 - Molinete C 31 (Campanha 3, secção 2)	70
Folha de cálculo 17 - Molinete C 31 (Campanha 3, secção 2)	77
Folha de cálculo 18 - Molinete C 31 (Campanha 4, secção 1)	82
Folha de cálculo 19 - River Surveyor M9, manhã (Campanha 4, secção 1)	83
Folha de cálculo 20 - River Surveyor M9, tarde (Campanha 4, secção 1).....	84
Folha de cálculo 21 - Molinete C 31 (Campanha 4, secção 4)	90
Folha de cálculo 22 - River Surveyor M9 (Campanha 4, secção 4).....	91
Folha de cálculo 23 - Stream Pro ADCP (Campanha 4, secção 4).....	94
Folha de cálculo 24 - Molinete C 31 (Campanha 4, secção 6)	99
Folha de cálculo 25 - Sensor electromagnético (Campanha 4, secção 6).....	100
Folha de cálculo 26 - Flow Tracker ADV (Campanha 4, secção 6).....	105
Folha de cálculo 27 - Stream Pro ADCP (Campanha 4, secção 6).....	109
Folha de cálculo 28 - Rio Grande ADCP (5ª Campanha)	117
Folha de cálculo 29 - Stream Pro ADCP (5ª Campanha)	121

Folha de cálculo 30 - Molinete C 31 (6ª Campanha)	127
Folha de cálculo 31 - Rio Grande ADCP (6ª Campanha)	130
Folha de cálculo 32 - Molinete C 31 (7ª Campanha)	136
Folha de cálculo 33 - Rio Grande (7ª Campanha)	143
Folha de cálculo 34 - Stream Pro ADCP (7ª Campanha)	148

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS ALUSIVAS ÀS CAMPANHAS

Álbum 1 - Primeira Campanha.....	21
Álbum 2 - Segunda Campanha.....	28
Álbum 3 - Terceira Campanha (secção 5)	41
Álbum 4 - Terceira Campanha (secção 3)	66
Álbum 5 - Terceira Campanha (secção 2)	78
Álbum 6 - Quarta Campanha (secção 1)	85
Álbum 7 - Quarta Campanha (secção 4)	95
Álbum 8 - Quarta Campanha (secção 6)	110
Álbum 9 - Quinta Campanha	123
Álbum 10 - Sexta Campanha	132
Álbum 11 - Sétima Campanha.....	151

1. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS OBJECTO DE ESTUDO (RIOS E CANAL ARTIFICIAL)

O rio Paiva é um dos afluentes do rio Douro, nasce na Serra da Nave, mais especificamente na freguesia de Pêra Velha, pertencente ao concelho de Moimenta da Beira e desagua no rio Douro em Castelo de Paiva.

O rio Corgo é um dos afluentes da margem direita do rio Douro. Nasce no concelho de Vila Pouca de Aguiar e desagua junto à cidade de Peso da Régua. Antes, passa por Vila Real, onde recebe como afluente o rio Cabril (que tem nascente na Serra do Alvão) e pelo concelho de Santa Marta de Penaguião.

O rio Sabor nasce na “Sierra de la Culebra”, província de Zamora (Espanha). Já em Portugal, atravessa a Serra de Montesinho, no distrito de Bragança. É um afluente da margem direita do rio Douro e passa perto da cidade de Bragança, de onde recebe as águas do rio Fervença. Desagua perto de Torre de Moncorvo a jusante da barragem do Pocinho, junto à povoação de Foz do Sabor.

O rio Azibo é um afluente da margem direita do rio Sabor, que nasce na Serra da Nogueira, no concelho de Bragança, perto de Rebordainhos. Atravessa o concelho de Macedo de Cavaleiros, onde foi construída a barragem do Azibo, perto de Santa Combinha e vai desaguar no rio Sabor, perto de Castro Vicente, no concelho de Mogadouro.

O rio Nabão é um afluente do rio Zêzere que passa na cidade de Tomar. Nasce em Ansião (vila portuguesa pertencente ao distrito de Leiria) da união de várias ribeiras, e a ele junta-se, a cerca de 10 km de Tomar, a nascente do Agroal. Desagua na margem direita do Rio Zêzere, depois de um percurso de 66 km.

O Alviela é um rio que nasce na Gruta do Alviela, junto à confluência com a Ribeira dos Amiais, no concelho de Alcanena, freguesia da Louriceira. Atravessa as freguesias de Vaqueiros, Pernes e São Vicente do Paul até desaguar no Tejo, perto do Vale de Figueira, no concelho de Santarém, após percorrer os seus cerca de 100 km de comprimento.

O Almonda nasce na Serra de Aire, a 5 km a noroeste de Torres Novas, na vertente da Serra de Aire, perto de Almonda, a que deu o nome, e de Casais Martanes. No seu percurso de 30 km, atravessa os municípios de Torres Novas e da Golegã, onde desagua na margem direita do Tejo.

O canal artificial tem cerca de 2500 metros de extensão e secção transversal trapezoidal, com largura constante no fundo de 4,1 metros nos primeiros 1900 e de 5,1 metros nos últimos 550, fazendo-se a transição num troço de aproximadamente 50 metros. O muro direito tem uma inclinação aproximadamente constante, de cerca de 1:10, em praticamente toda a sua extensão. A soleira é constituída por um massame de betão e os hasteais por muros de alvenaria de granito argamassada. O canal apresenta ainda três descarregadores laterais: o primeiro situa-se imediatamente a jusante da tomada de água e tem aproximadamente 61 metros de comprimento, o segundo, com cerca de 29 metros, localiza-se, aproximadamente, a 520 metros da tomada de água e o terceiro, com cerca de 37, situa-se a cerca de 1830 metros da tomada de água.

2. CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE CAUDAL NÚMERO 1

A partir dos valores registados no local foi possível preparar a tabela que se segue:

Tabela 1 - Registos de medição (1ª Campanha)

1ª Medição (Altura Hidrométrica = 1,045 m)

Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)	Altura (m)	Número de Toques (Máximo)
Esquerda	0	0,0	0,00	1,045	
	1	1,0	0,42	0,625	0
	2	1,5	0,48	0,565	0
	3	2,0	0,54	0,505	0
	4	2,5	0,55	0,495	0
	5	3,0	0,67	0,375	3
	6	3,5	0,75	0,295	3
	7	4,0	0,83	0,215	0
	8	4,5	0,88	0,165	0
	9	5,0	0,89	0,155	0
	10	5,5	0,91	0,135	0
	11	6,0	0,78	0,265	4
	12	6,5	0,82	0,225	6
	13	7,0	0,82	0,225	5
	14	7,5	0,80	0,245	7
	15	8,0	0,83	0,215	5
	16	8,5	0,81	0,235	4
	17	9,0	0,80	0,245	3
	18	9,5	0,73	0,315	0
	19	10,0	0,71	0,335	0
	20	10,5	0,71	0,335	0
	21	11,0	0,73	0,315	0
	22	11,5	0,72	0,325	0
	23	12,0	0,63	0,415	0
	24	12,5	0,56	0,485	0
	25	13,0	0,42	0,625	0
	26	13,5	0,32	0,725	0
Direita	27	13,8	0,00	1,045	

2ª Medição (Altura Hidrométrica = 1,045 m)

Direita	0	0,0	0,00	1,045	
	1	3,8	0,71	0,335	0
	2	4,8	0,81	0,235	0
	3	5,8	0,87	0,175	5
	4	6,8	0,83	0,215	7
	5	7,8	0,91	0,135	7
	6	8,8	0,94	0,105	0
	7	9,8	0,82	0,225	1
	8	10,8	0,68	0,365	0

	9	11,8	0,53	0,515	0
	10	12,8	0,45	0,595	0
Esquerda	11	13,8	0,00	1,045	
3ª Medição (Altura Hidrométrica = 1,04 m)					
Poste	0	0,00	0,00	1,04	
Esquerda	1	32,45	0,00	1,04	0
	2	34,00	0,55	0,49	0
	3	35,45	0,55	0,49	0
	4	36,45	0,75	0,29	0
	5	37,45	0,95	0,09	0
	6	38,45	0,80	0,24	0
	7	39,45	0,86	0,18	5
	8	40,45	0,84	0,20	8
	9	41,45	0,87	0,17	7
	10	42,45	0,70	0,34	0
	11	43,45	0,67	0,37	0
	12	44,45	0,58	0,46	0
	13	45,45	0,59	0,45	0
	14	46,45	0,44	0,60	0
	15	47,45	0,30	0,74	0
Direita	16	48,30	0,00	1,04	

A quarta medição definida no plano de ensaios não foi realizada, visto que o caudal a ser medido não era o suficiente para permitir medir a velocidade dos pontos com a exactidão pretendida. Considerando que uma velocidade significativa exige um mínimo de 10 toques e não foi possível obter esse valor em nenhum ponto medido de nenhuma vertical, tornar-se-ia impossível estabelecer qualquer tipo de comparação entre medições e, posteriormente, tirar conclusões. O número de toques máximo obtido foi 8.

Para além disso, o número de pontos medidos em cada vertical não está indicado nos registos de medição apresentados (estes estão apresentados nas folhas de cálculo de caudal), apenas se indicam as verticais que apresentam velocidades diferentes de zero (número de toques diferente de zero). Tal seria importante para precisar valores diferentes de velocidade e definir uma distribuição mais correcta da mesma, mas mais uma vez, devido à presença de caudal bastante reduzido, tornou-se irrelevante a definição de todos os pontos medidos.

As respectivas secções transversais, são apresentadas de seguida:

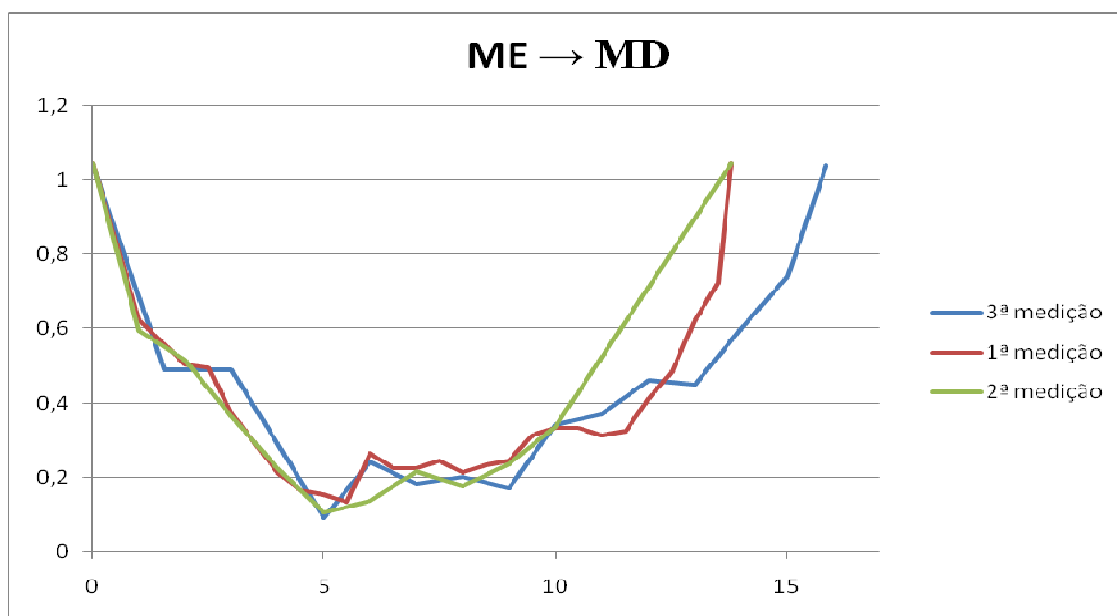


Figura 1 - Perfis Transversais (1ª Campanha)

Obtiveram-se os seguintes caudais, áreas e correspondentes velocidades médias por secção:

Medições	H (m)	Q médio (m ³ /s)	Área (m ²)	V=Q/A (m/s)
1ª	1,045	0,098	9,128	0,0107
2ª	1,045	0,086	8,544	0,0101
3ª	1,040	0,076	9,826	0,0077

De seguida, apresenta-se a Curva de Vazão do rio Paiva, cedida pela Empresa EDP:

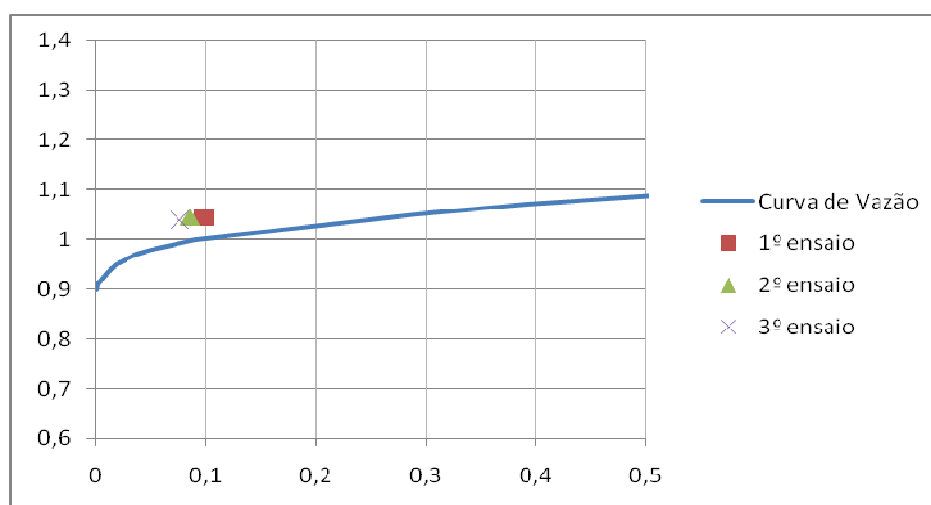


Figura 2 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (1ª Campanha)

Folhas de cálculo de caudais:

RIO- Paiva					EST.HIDROL.- Castro Daire									
MOLINETE NO.-116099					DATA-16-10-09									
HELICE NO.- 1					HIDROMETRISTA-Castro									
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1					ALT. ESCALA INIC.- 1.045									
SUSP.-Haste					FIM- 1.045									
EQUACAO 41					CAUDAL= .098									
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	10.15	.00	.00										
2	.00	.00	1.00	.00	.00	.22	.00	.22	.00	.22	0	50.00	.00	.00
					.00	.42	.00	.42	.00	.42	0	50.00	.00	.00
3	.00	.00	1.50	.00	.00	.28	.00	.28	.00	.28	0	50.00	.00	.00
					.00	.48	.00	.48	.00	.48	0	50.00	.00	.00
4	.00	.00	2.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.34	.00	.34	.00	.34	0	50.00	.00	.00
					.00	.54	.00	.54	.00	.54	0	50.00	.00	.00
5	.00	.00	2.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	0	50.00	.00	.00
					.00	.55	.00	.55	.00	.55	0	50.00	.00	.00
6	.00	.00	3.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	3	50.00	.06	.03
					.00	.47	.00	.47	.00	.47	0	50.00	.00	.00
					.00	.67	.00	.67	.00	.67	0	50.00	.00	.00
7	.00	.00	3.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	3	50.00	.06	.03
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	2	50.00	.04	.02
					.00	.55	.00	.55	.00	.55	1	50.00	.02	.02
					.00	.75	.00	.75	.00	.75	0	50.00	.00	.00
8	.00	.00	4.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.63	.00	.63	.00	.63	0	50.00	.00	.00
					.00	.83	.00	.83	.00	.83	0	50.00	.00	.00
9	.00	.00	4.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
					.00	.68	.00	.68	.00	.68	0	50.00	.00	.00
					.00	.88	.00	.88	.00	.88	0	50.00	.00	.00
10	.00	.00	5.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
					.00	.69	.00	.69	.00	.69	0	50.00	.00	.00
					.00	.89	.00	.89	.00	.89	0	50.00	.00	.00
11	.00	.00	5.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	0	50.00	.00	.00
					.00	.71	.00	.71	.00	.71	0	50.00	.00	.00
					.00	.91	.00	.91	.00	.91	0	50.00	.00	.00
12	.00	.00	6.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	4	50.00	.08	.03
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	3	50.00	.06	.03
					.00	.59	.00	.59	.00	.59	0	50.00	.00	.00
					.00	.79	.00	.79	.00	.79	0	50.00	.00	.00
13	.00	.00	6.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	6	50.00	.12	.04
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	6	50.00	.12	.04
					.00	.62	.00	.62	.00	.62	5	50.00	.10	.04
					.00	.82	.00	.82	.00	.82	0	50.00	.00	.00

14	.00	11.30	7.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	5	50.00	.10	.04
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	4	50.00	.08	.03
					.00	.62	.00	.62	.00	.62	1	50.00	.02	.02
					.00	.82	.00	.82	.00	.82	0	50.00	.00	.00
15	.00	.00	7.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	6	50.00	.12	.04
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	7	50.00	.14	.05
					.00	.60	.00	.60	.00	.60	3	50.00	.06	.03
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	0	50.00	.00	.00
16	.00	.00	8.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	4	50.00	.08	.03
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	4	50.00	.08	.03
					.00	.63	.00	.63	.00	.63	5	50.00	.10	.04
					.00	.83	.00	.83	.00	.83	0	50.00	.00	.00
17	.00	.00	8.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	4	50.00	.08	.03
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	3	50.00	.06	.03
					.00	.61	.00	.61	.00	.61	4	50.00	.08	.03
					.00	.81	.00	.81	.00	.81	0	50.00	.00	.00
18	.00	.00	9.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	3	50.00	.06	.03
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.60	.00	.60	.00	.60	0	50.00	.00	.00
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	0	50.00	.00	.00
19	.00	.00	9.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.53	.00	.53	.00	.53	0	50.00	.00	.00
					.00	.73	.00	.73	.00	.73	0	50.00	.00	.00
20	.00	.00	10.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.51	.00	.51	.00	.51	0	50.00	.00	.00
					.00	.71	.00	.71	.00	.71	0	50.00	.00	.00
21	.00	.00	10.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.51	.00	.51	.00	.51	0	50.00	.00	.00
					.00	.71	.00	.71	.00	.71	0	50.00	.00	.00
22	.00	.00	11.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.53	.00	.53	.00	.53	0	50.00	.00	.00
					.00	.73	.00	.73	.00	.73	0	50.00	.00	.00
23	.00	.00	11.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.52	.00	.52	.00	.52	0	50.00	.00	.00
					.00	.72	.00	.72	.00	.72	0	50.00	.00	.00
24	.00	.00	12.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.43	.00	.43	.00	.43	0	50.00	.00	.00
					.00	.63	.00	.63	.00	.63	0	50.00	.00	.00
25	.00	.00	12.50	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.36	.00	.36	.00	.36	0	50.00	.00	.00
					.00	.56	.00	.56	.00	.56	0	50.00	.00	.00
26	.00	.00	13.00	.00	.00	.22	.00	.22	.00	.22	0	50.00	.00	.00
					.00	.42	.00	.42	.00	.42	0	50.00	.00	.00
27	.00	.00	13.50	.00	.00	.12	.00	.12	.00	.12	0	50.00	.00	.00
					.00	.32	.00	.32	.00	.32	0	50.00	.00	.00
28	.00	.00	13.80	.00	.00	.15	.00	.15	.00	.15	0	50.00	.00	.00
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	0	50.00	.00	.00
29	.00	12.15	14.00	.00										

Folha de cálculo 1 - Molinete C 31 (1ª Medição, 1ª Campanha)

RIO- Paiva					EST.HIDROL.- Castro Daire									
MOLINETE NO.-116099					DATA-16-10-09									
HELICE NO.- 1					HIDROMETRISTA-Castro									
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1					ALT. ESCALA INIC.- 1.045									
					FIM - 1.045									
SUSP.-Haste					EQUACAO 41					CAUDAL= .086				
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	12.23	.00	.00										
2	.00	.00	3.80	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	0	50.00	.00	.00
					.00	.51	.00	.51	.00	.51	0	50.00	.00	.00
					.00	.71	.00	.71	.00	.71	0	50.00	.00	.00
3	.00	.00	4.80	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.61	.00	.61	.00	.61	0	50.00	.00	.00
					.00	.81	.00	.81	.00	.81	0	50.00	.00	.00
4	.00	.00	5.80	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	1	50.00	.02	.02
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	5	50.00	.10	.04
					.00	.67	.00	.67	.00	.67	0	50.00	.00	.00
					.00	.87	.00	.87	.00	.87	0	50.00	.00	.00
5	.00	.00	6.80	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	7	50.00	.14	.05
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	1	50.00	.02	.02
					.00	.63	.00	.63	.00	.63	6	50.00	.12	.04
					.00	.83	.00	.83	.00	.83	0	50.00	.00	.00
6	.00	.00	7.80	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	7	50.00	.14	.05
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
					.00	.71	.00	.71	.00	.71	0	50.00	.00	.00
					.00	.91	.00	.91	.00	.91	0	50.00	.00	.00
7	.00	.00	8.80	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.47	.00	.47	.00	.47	0	50.00	.00	.00
					.00	.74	.00	.74	.00	.74	0	50.00	.00	.00
					.00	.94	.00	.94	.00	.94	0	50.00	.00	.00
8	.00	.00	9.80	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	1	50.00	.02	.02
					.00	.62	.00	.62	.00	.62	0	50.00	.00	.00
					.00	.82	.00	.82	.00	.82	0	50.00	.00	.00
9	.00	.00	10.80	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.48	.00	.48	.00	.48	0	50.00	.00	.00
					.00	.68	.00	.68	.00	.68	0	50.00	.00	.00
10	.00	.00	11.80	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.33	.00	.33	.00	.33	0	50.00	.00	.00
					.00	.53	.00	.53	.00	.53	0	50.00	.00	.00
11	.00	.00	12.80	.00	.00	.25	.00	.25	.00	.25	0	50.00	.00	.00
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
12	.00	13.00	13.80	.00										

Folha de cálculo 2 - Molinete C 31 (2ª Medição, 1ª Campanha)

RIO- Paiva														
MOLINETE NO.-116099														
HELICE NO.- 1														
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1														
PESO- 25 kg														
SUSP.-Cabo														
EQUACAO 42														
EST.HIDROL.- Castro Daire														
DATA-16-10-09														
HIDROMETRISTA-Castro														
ALT. ESCALA INIC.- 1.040														
FIM- 1.040														
CAUDAL= .076														
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	16.00	32.45	.00										
2	.00	.00	34.00	.00										
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	0	50.00	.00	.00
					.00	.55	.00	.55	.00	.55	0	50.00	.00	.00
3	.00	.00	35.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	0	50.00	.00	.00
					.00	.55	.00	.55	.00	.55	0	50.00	.00	.00
4	.00	.00	36.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
					.00	.75	.00	.75	.00	.75	0	50.00	.00	.00
5	.00	.00	37.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.65	.00	.65	.00	.65	0	50.00	.00	.00
					.00	.95	.00	.95	.00	.95	0	50.00	.00	.00
6	.00	.00	38.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	0	50.00	.00	.00
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	0	50.00	.00	.00
7	.00	.00	39.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	5	50.00	.10	.04
					.00	.56	.00	.56	.00	.56	0	50.00	.00	.00
					.00	.86	.00	.86	.00	.86	0	50.00	.00	.00
8	.00	.00	40.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	8	50.00	.16	.05
					.00	.54	.00	.54	.00	.54	0	50.00	.00	.00
					.00	.84	.00	.84	.00	.84	0	50.00	.00	.00
9	.00	.00	41.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	4	50.00	.08	.03
					.00	.57	.00	.57	.00	.57	7	50.00	.14	.05
					.00	.87	.00	.87	.00	.87	0	50.00	.00	.00
10	.00	.00	42.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	0	50.00	.00	.00
11	.00	.00	43.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.37	.00	.37	.00	.37	0	50.00	.00	.00
					.00	.67	.00	.67	.00	.67	0	50.00	.00	.00
12	.00	.00	44.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.28	.00	.28	.00	.28	0	50.00	.00	.00
					.00	.58	.00	.58	.00	.58	0	50.00	.00	.00
13	.00	.00	45.45	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
					.00	.29	.00	.29	.00	.29	0	50.00	.00	.00
					.00	.59	.00	.59	.00	.59	0	50.00	.00	.00
14	.00	.00	46.45	.00										
					.00	.14	.00	.14	.00	.14	0	50.00	.00	.00
					.00	.44	.00	.44	.00	.44	0	50.00	.00	.00
15	.00	.00	47.45	.00										
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	0	50.00	.00	.00
16	.00	17.00	48.30	.00										

Folha de cálculo 3 - Molinete C 31 (3ª Medição, 1ª Campanha)

É então apresentado um conjunto de fotografias descritivas da Campanha realizada:



Álbum 1 - Primeira Campanha

3. CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE CAUDAL NÚMERO 2

Após a chegada ao local, foi possível perceber que a secção correspondente ao local 1 possuiria valores de velocidades muito reduzidos. Assim sendo, não seria possível analisar os objectivos previamente definidos. Como tal, optou-se por escolher outra secção, mais estreita, menos profunda, mais inclinada e com velocidades visivelmente mais elevadas.

A primeira medição efectuou-se da margem direita para a margem esquerda e a segunda no sentido inverso, sendo a altura hidrométrica média 1,085 metros. Visto que primou-se em fazer as medições dos pontos nas mesmas verticais, às mesmas profundidades, optou-se por descrever apenas um dos ensaios, visto que o perfil transversal é coincidente, independentemente da direcção escolhida para proceder à medição.

A partir dos valores registados no local foi possível preparar a tabela que se segue.

Tabela 3 - Registos de medição (2ª Campanha)

Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)	Altura (m)
Esquerda	0	0,0	0,00	1,085
	1	1,1	0,10	0,985
	2	1,6	0,26	0,825
	3	2,1	0,25	0,835
	4	2,6	0,32	0,765
	5	3,1	0,40	0,685
	6	3,6	0,45	0,635
	7	4,1	0,45	0,635
	8	4,6	0,34	0,745
	9	5,1	0,58	0,505
	10	5,6	0,51	0,575
	11	6,1	0,53	0,555
Direita	12	6,6	0,00	1,085

A respectiva secção transversal é apresentada de seguida, juntamente com as verticais medidas:

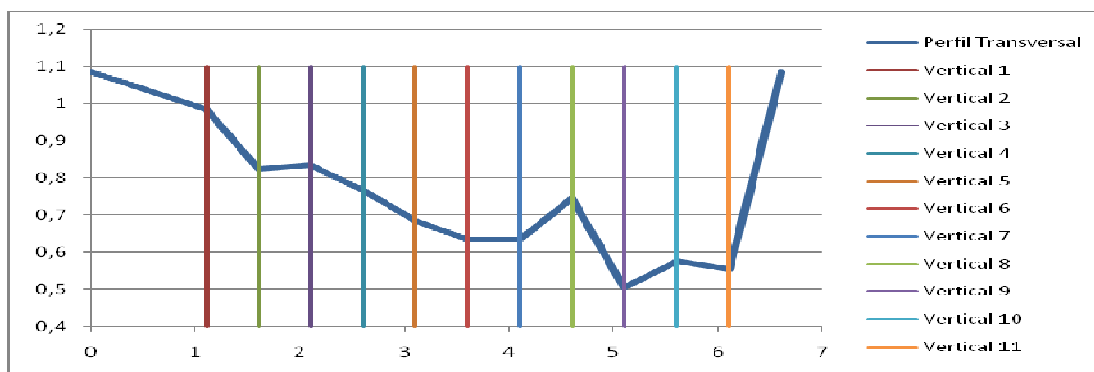


Figura 3 - Perfil Transversal (2ª Campanha)

Obtiveram-se os diferentes valores de velocidades para os pontos medidos com diferentes tempos de medição (tabela 4).

No final, acabou por se medir os mesmos pontos, com variados tempos de medição, ao longo de todas as verticais, fugindo ao que foi inicialmente planeado, mas com o objectivo de adquirir mais informação, de modo a complementar conclusões. No entanto, os mesmos valores não foram utilizados para efeitos de cálculo de caudais, logo possuem, somente, carácter meramente informativo.

Tabela 4 - Registos de velocidades (2ª Campanha)				
Verticais	Profundidades	Velocidades (m/s)		
		V (40 s)	V (100 s)	V (50 s)
11	0,10	0,26		0,22
	0,15	0,25		0,23
	0,30	0,17		0,17
	0,45		0,10	0,14
10	0,10	0,21		0,24
	0,15	0,24		0,23
	0,30	0,10		0,13
	0,41		0,08	0,06
9	0,10	0,15		0,14
	0,30	0,14		0,15
	0,45		0,13	0,16
8	0,10	0,34		0,34
	0,24	0,27	0,28	0,25
7	0,10	0,39		0,37
	0,30	0,07		0,14
	0,35		0,07	0,18
6	0,10	0,36		0,34
	0,30	0,21		0,26
	0,35		0,12	0,14
5	0,10	0,32		0,32
	0,30	0,17	0,18	0,16
4	0,10	0,23		0,23
	0,22	0,15	0,14	0,15
3	0,10	0,20		0,22
	0,15	0,15	0,17	0,21
2	0,10	0,16	0,14	0,13
	0,16	0,13	0,13	0,11
1	0,08	0,08	0,08	0,07

Sentido: Margem Direita - Margem Esquerda

Com o intuito de entender objectivamente os resultados referentes às velocidades obtidas, utilizou-se o programa Autocad para representar os perfis de velocidades em cada vertical, sendo a profundidade e velocidade representada no eixo das ordenadas e abcissas, respectivamente (figura 4). Como os pontos foram medidos com tempos variados, 40, 50 e 100 segundos, foram representados com cores igualmente distintas, vermelho, amarelo e verde, respectivamente:

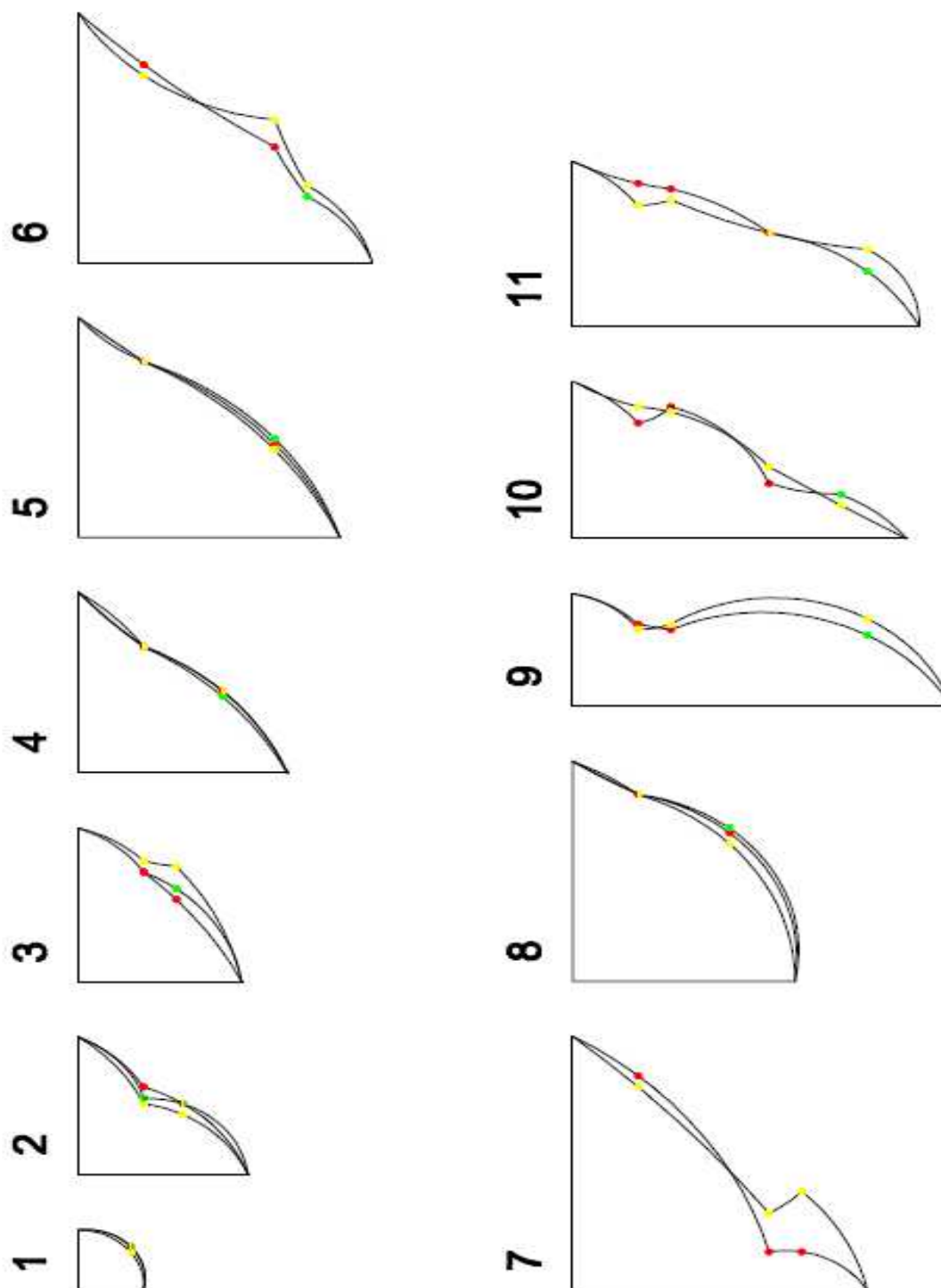


Figura 4 - Perfis de velocidade em cada vertical (2ª Campanha)

Obtiveram-se os seguintes caudais, áreas e correspondentes velocidades médias por secção:

Tabela 5 - Caudais, áreas e velocidades médias (2ª Campanha)

Medições	H (m)	Q médio (m³/s)	Área (m²)	V=Q/A (m/s)
1ª (≠ tempo de medição)	1,085	0,386	2,125	0,182
2ª (= tempo de medição)	1,085	0,395	2,125	0,186

De seguida, apresenta-se a Curva de Vazão do rio Paiva, cedida pela Empresa EDP:

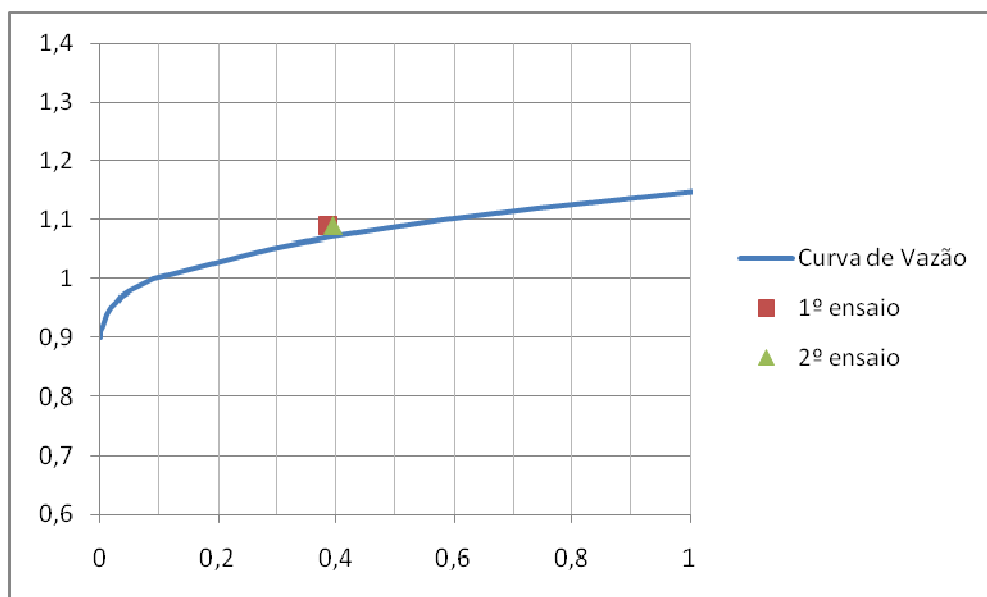


Figura 5 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (2ª Campanha)

Folhas de cálculo de caudais:

RIO- paiva										EST.HIDROL.- Castro Daire				
MOLINETE NO.-116099										DATA-04-11-09				
HELICE NO.- 1										HIDROMETRISTA-Castro				
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1										ALT. ESCALA INIC.- 1.09				
SUSP.-haste										FIM- 1.09				
EQUACAO 41										CAUDAL= .386				
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	11.10	.00	.00										
2	.00	.00	.50	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	41	40.00	1.02	.26
					.00	.15	.00	.15	.00	.15	40	40.00	1.00	.25
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	27	40.00	.68	.17
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	36	100.00	.36	.10
					.00	.53	.00	.53	.00	.53	01	00.00	.00	.00
3	.00	.00	1.00	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	34	40.00	.85	.21
					.00	.15	.00	.15	.00	.15	39	40.00	.98	.24
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	14	40.00	.35	.10
					.00	.41	.00	.41	.00	.41	27	100.00	.27	.08
					.00	.51	.00	.51	.00	.51	01	00.00	.00	.00
4	.00	.00	1.50	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	24	40.00	.60	.15
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	21	40.00	.52	.14
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	49	100.00	.49	.13
					.00	.58	.00	.58	.00	.58	01	00.00	.00	.00
5	.00	.00	2.00	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	54	40.00	1.35	.34
					.00	.24	.00	.24	.00	.24	43	40.00	1.08	.27
					.00	.34	.00	.34	.00	.34	01	00.00	.00	.00
6	.00	.00	2.50	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	63	40.00	1.58	.39
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	9	40.00	.22	.07
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	22	100.00	.22	.07
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	01	00.00	.00	.00
7	.00	.00	3.00	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	57	40.00	1.42	.36
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	34	40.00	.85	.21
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	45	100.00	.45	.12
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	01	00.00	.00	.00
8	.00	.00	3.50	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	51	40.00	1.27	.32
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	27	40.00	.68	.17
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	01	00.00	.00	.00
9	.00	.00	4.00	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	36	40.00	.90	.23
					.00	.22	.00	.22	.00	.22	23	40.00	.57	.15
					.00	.32	.00	.32	.00	.32	01	00.00	.00	.00
10	.00	.00	4.50	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	31	40.00	.77	.20
					.00	.15	.00	.15	.00	.15	24	40.00	.60	.15
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	0	40.00	.00	.00
11	.00	.00	5.00	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	25	40.00	.63	.16
					.00	.16	.00	.16	.00	.16	19	40.00	.47	.13
					.00	.26	.00	.26	.00	.26	0	40.00	.00	.00
12	.00	.00	5.50	.00										
					.00	.05	.00	.05	.00	.05	11	40.00	.28	.08
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	0	40.00	.00	.00
13	.00	12.24	6.60	.00										

Folha de cálculo 4 - Molinete C 31 (1ª Medição, 2ª Campanha)

RIO- paiva					EST.HIDROL.- Castro Daire									
MOLINETE NO.-116099					DATA-04-11-09									
HELICE NO.- 1					HIDROMETRISTA-Castro									
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1					ALT. ESCALA INIC.- 1.09									
SUSP.-haste					FIM- 1.09									
EQUACAO 41					CAUDAL= .395									
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	12.25	.00	.00										
2	.00	.00	1.10	.00	.00	.05	.00	.05	.00	.05	12	50.00	.24	.07
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	0	50.00	.00	.00
3	.00	.00	1.60	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	24	50.00	.48	.13
					.00	.16	.00	.16	.00	.16	21	50.00	.42	.11
					.00	.26	.00	.26	.00	.26	0	50.00	.00	.00
4	.00	.00	2.10	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	43	50.00	.86	.22
					.00	.15	.00	.15	.00	.15	42	50.00	.84	.21
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	0	50.00	.00	.00
5	.00	.00	2.60	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	45	50.00	.90	.23
					.00	.22	.00	.22	.00	.22	29	50.00	.58	.15
					.00	.32	.00	.32	.00	.32	0	50.00	.00	.00
6	.00	.00	3.10	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	64	50.00	1.28	.32
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	32	50.00	.64	.16
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
7	.00	.00	3.60	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	68	50.00	1.36	.34
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	51	50.00	1.02	.26
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	28	50.00	.56	.14
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
8	.00	.00	4.10	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	75	50.00	1.50	.37
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	28	50.00	.56	.14
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	15	50.00	.30	.08
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
9	.00	.00	4.60	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	67	50.00	1.34	.34
					.00	.24	.00	.24	.00	.24	49	50.00	.98	.25
					.00	.34	.00	.34	.00	.34	0	50.00	.00	.00
10	.00	.00	5.10	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	27	50.00	.54	.14
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	29	50.00	.58	.15
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	32	50.00	.64	.16
					.00	.58	.00	.58	.00	.58	0	50.00	.00	.00
11	.00	.00	5.60	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	48	50.00	.96	.24
					.00	.15	.00	.15	.00	.15	45	50.00	.90	.23
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	24	50.00	.48	.13
					.00	.41	.00	.41	.00	.41	9	50.00	.18	.06
					.00	.51	.00	.51	.00	.51	0	50.00	.00	.00
12	.00	.00	6.10	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	44	50.00	.88	.22
					.00	.15	.00	.15	.00	.15	46	50.00	.92	.23
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	34	50.00	.68	.17
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	26	50.00	.52	.14
					.00	.53	.00	.53	.00	.53	0	50.00	.00	.00
13	.00	13.10	6.60	.00										

Folha de cálculo 5 - Molinete C 31 (2ª Medição, 2ª Campanha)

É apresentado um conjunto de fotografias descritivas da Campanha realizada:



Álbum 2 - Segunda Campanha

4. CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE CAUDAL NÚMERO 3

4.1. SECÇÃO 5

A primeira secção escolhida para efectuar medições foi a secção 5.

Previamente à medição foi efectuado um teste preliminar (referido no subcapítulo 4.3.1.), que consiste numa série consecutiva de 20 leituras com 10 segundos cada, no mesmo ponto, a meia profundidade e a meio da secção. Este teste deve ser efectuado em canais artificiais, sob regime permanente, para evitar valores muito discrepantes e verificar a performance do aparelho, logo não é adequado para a secção em causa. Contudo, foi realizado a título informativo para perceber as discrepâncias de valores de acordo com a turbulência existente e o tipo de regime de escoamento. Os valores obtidos apresentam-se na tabela que se segue:

Tabela 6 - Teste preliminar do Sensor electromagnético

Teste Preliminar (ISO/TS 15768)

Posto Terminal (03713-10700)			
Localização (Eixo)	Abcissas	9,3 metros	
	Ordenadas	0,165 metros de profundidade (Hmáx=0,33 m)	
Velocidades Registadas			
0,152	0,123	0,122	0,157
0,154	0,148	0,134	0,128
0,13	0,142	0,127	0,160
0,119	0,163	0,104	0,144
0,14	0,156	0,138	0,132
Média			0,139

A sondagem de profundidades feita a haste, aquando das medições com o molinete C 31 e o Sensor electromagnético, para uma altura hidrométrica de 0,84 metros, permitiram definir o seguinte perfil transversal, a partir da tabela 7:

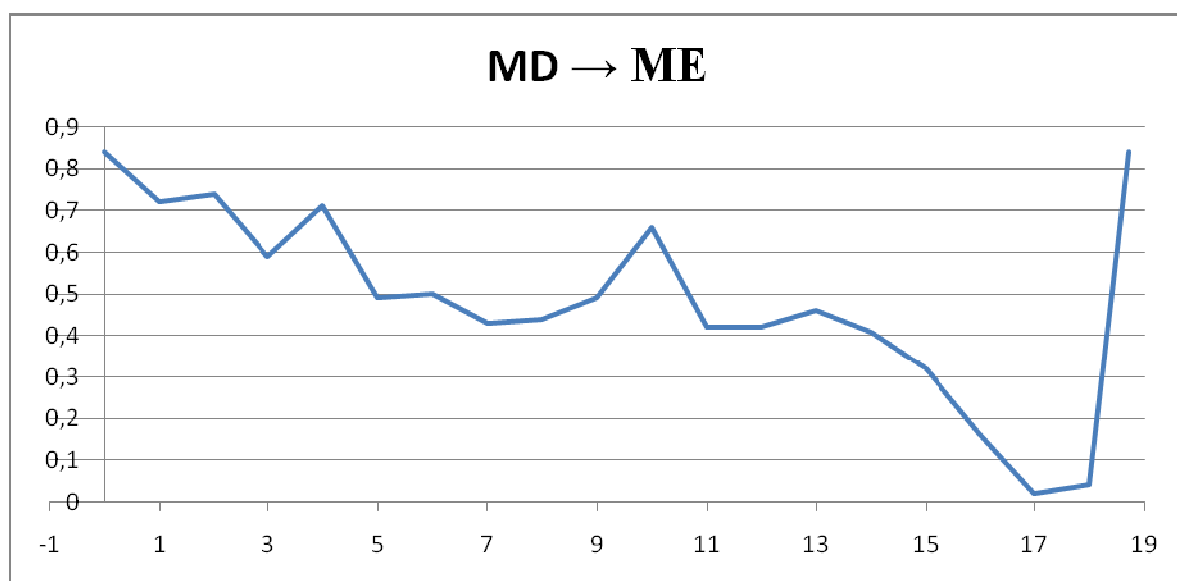


Figura 6 – Perfil Transversal (3ª Campanha, secção 5)

Tabela 7 - Registos de medição (2ª Campanha, secção 5)

Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)	Altura (m)
Direita	0	0	0,00	0,84
	1	1	0,12	0,72
	2	2	0,10	0,74
	3	3	0,25	0,59
	4	4	0,13	0,71
	5	5	0,35	0,49
	6	6	0,34	0,50
	7	7	0,41	0,43
	8	8	0,40	0,44
	9	9	0,35	0,49
	10	10	0,18	0,66
	11	11	0,42	0,42
	12	12	0,42	0,42
	13	13	0,38	0,46
	14	14	0,43	0,41
	15	15	0,52	0,32
	16	16	0,68	0,16
	17	17	0,82	0,02
	18	18	0,80	0,04
Esquerda	19	18,72	0,00	0,84

O molinete e o sensor electromagnético foram utilizados consecutivamente nas mesmas verticais e nos mesmos pontos. As velocidades obtidas pelo molinete (a partir do programa de cálculo do caudal da EDP) e pelo sensor electromagnético aparecem na tabela que se segue:

Tabela 8 - Velocidades obtidas pelo Molinete hidráulico e Sensor electromagnético (3ª Campanha, secção 5)

Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)	Velocidades (m/s)	
				Electromagnético	Molinete
Direita	0	0	0,00		
	1	1	0,12		
	2	2	0,06	0,078	0,06
			0,10		
	3	3	0,10	0,093	0,10
			0,25		
	4	4	0,10	0,159	0,14
			0,13		
	5	5	0,10	0,178	0,19
			0,30	0,143	0,10
			0,35		
	6	6	0,10	0,172	0,17
			0,30	0,094	0,13

			0,34		
7	7		0,10	0,201	0,21
			0,30	0,134	0,16
			0,41		
8	8		0,10	0,203	0,19
			0,30	0,034	0,12
			0,40		
9	9		0,10	0,223	0,21
			0,30	0,137	0,16
			0,35		
10	10		0,08	0,166	0,18
			0,18		
11	11		0,10	0,225	0,22
			0,30	0,192	0,17
			0,42		
12	12		0,10	0,225	0,20
			0,30	0,043	0,11
			0,42		
13	13		0,10	0,222	0,23
			0,30	0,058	0,12
			0,43		
14	14		0,10	0,208	0,23
			0,30	0,126	0,09
			0,43		
15	15		0,10	0,227	0,24
			0,30	0,179	0,19
			0,52		
16	16		0,10	0,216	0,22
			0,30	0,205	0,22
			0,50	0,158	0,18
			0,68		
17	17		0,10	0,242	0,18
			0,30	0,171	0,20
			0,50	0,143	0,17
			0,70	0,118	0,12
			0,82		
18	18		0,10	0,151	0,16
			0,30	0,173	0,18
			0,50	0,157	0,16
			0,70	0,085	0,11
			0,80		
Esquerda	19	18,72	0,00		

Obtiveram-se os seguintes caudais, áreas e correspondentes velocidades médias por secção:

Tabela 9 - Caudais, áreas e velocidades médias (3ª Campanha, secção 5)

Equipamento	H (m)	Q (m³/s)	Área (m²)	V=Q/A (m/s)
Molinete C 31	0,84	1,111	6,988	0,159
Sensor electromagnético	0,84	1,085	7,038	0,154
Stream Pro ADCP	0,84	1,164	6,444	0,181

De seguida, apresenta-se a Curva de vazão do rio Sabor, cedida pela Empresa EDP:

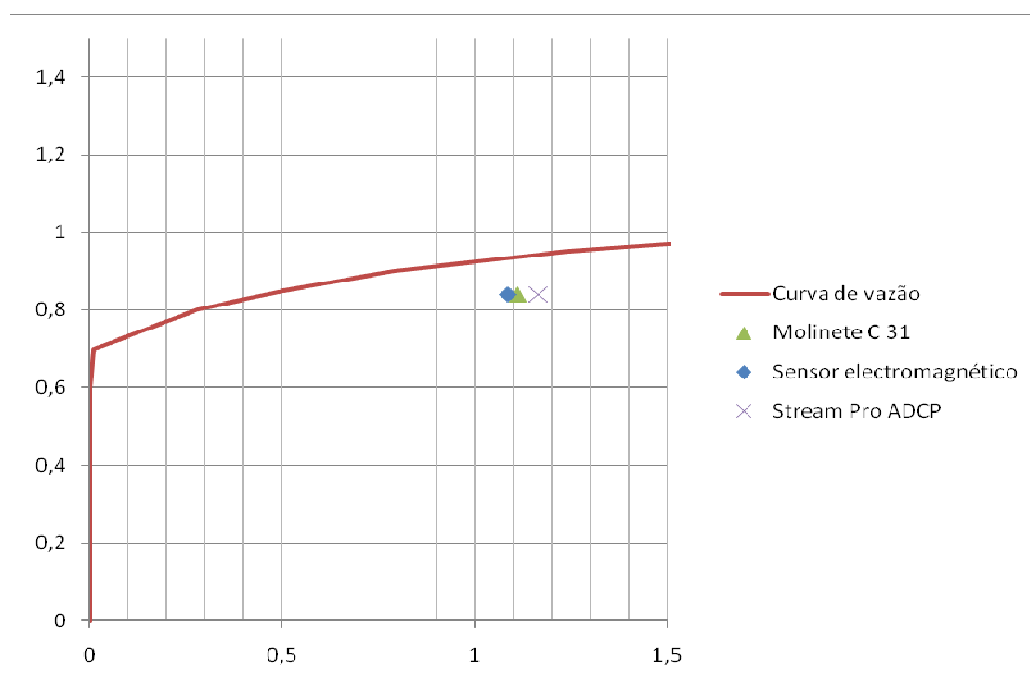


Figura 7 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (3ª Campanha, secção 5)

Para comparar o desempenho dos equipamentos foi calculado o desvio relativo entre os valores obtidos por cada equipamento (tabela 10). A representação gráfica dos desvios pode ser visualizada através da figura 8.

Tabela 10 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (Campanha 3, secção 5)

Equipamentos	Q Molinete / Q Sensor Electromagnético	Q Molinete / Q Stream Pro ADCP	Q Sensor electromagnético / Q Stream Pro
Desvio (%)	2,40	4,55	6,79

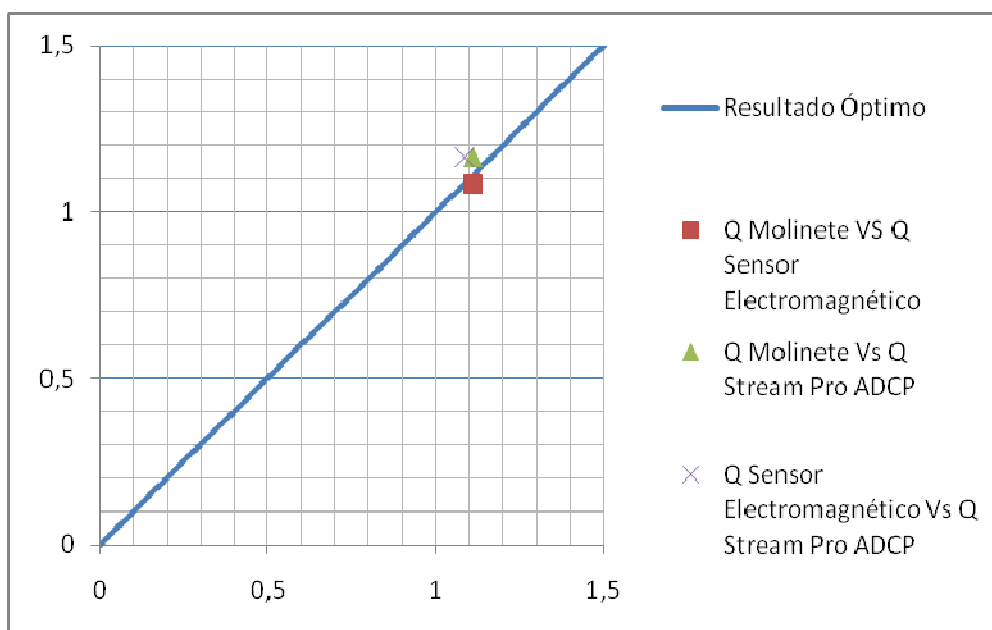


Figura 8 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 3, secção 5)

Folhas de cálculo de caudais:

RIO- Sabor					EST.HIDROL.- Ponte Remondes									
MOLINETE NO.-116099					DATA-11-11-09									
HELICE NO.- 1					HIDROMETRISTA-Castro									
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1					ALT. ESCALA INIC.- .84									
					FIM - .84									
SUSP.-haste					EQUACAO 41					CAUDAL= 1.111				
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	10.35	.00	.00										
2	.00	.00	1.00	.00										
3	.00	.00	2.00	.00	.00	.12	.00	.12	.00	.12	0	50.00	.00	.00
					.00	.06	.00	.06	.00	.06	9	50.00	.18	.06
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	0	50.00	.00	.00
4	.00	.00	3.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	19	50.00	.38	.10
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	0	50.00	.00	.00
5	.00	.00	4.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	28	50.00	.56	.14
					.00	.13	.00	.13	.00	.13	0	50.00	.00	.00
6	.00	.00	5.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	38	50.00	.76	.19
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	18	50.00	.36	.10
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	0	50.00	.00	.00
7	.00	.00	6.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	34	50.00	.68	.17
					.00	.24	.00	.24	.00	.24	25	50.00	.50	.13
					.00	.34	.00	.34	.00	.34	0	50.00	.00	.00
8	.00	11.00	7.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	41	50.00	.82	.21
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	31	50.00	.62	.16
					.00	.41	.00	.41	.00	.41	0	50.00	.00	.00
9	.00	.00	8.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	38	50.00	.76	.19
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	23	50.00	.46	.12
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
10	.00	.00	9.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	41	50.00	.82	.21
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	32	50.00	.64	.16
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	0	50.00	.00	.00
11	.00	11.15	10.00	.00	.00	.08	.00	.08	.00	.08	35	50.00	.70	.18
					.00	.18	.00	.18	.00	.18	0	50.00	.00	.00
12	.00	.00	11.20	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	43	50.00	.86	.22
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	34	50.00	.68	.17
					.00	.42	.00	.42	.00	.42	0	50.00	.00	.00
13	.00	.00	12.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	40	50.00	.80	.20
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	21	50.00	.42	.11
					.00	.42	.00	.42	.00	.42	0	50.00	.00	.00

14	.00	.00	13.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	46	50.00	.92	.23
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	23	50.00	.46	.12
					.00	.38	.00	.38	.00	.38	0	50.00	.00	.00
15	.00	11.30	14.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	45	50.00	.90	.23
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	16	50.00	.32	.09
					.00	.43	.00	.43	.00	.43	0	50.00	.00	.00
16	.00	.00	15.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	47	50.00	.94	.24
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	37	50.00	.74	.19
					.00	.52	.00	.52	.00	.52	0	50.00	.00	.00
17	.00	.00	16.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	44	50.00	.88	.22
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	44	50.00	.88	.22
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	36	50.00	.72	.18
					.00	.68	.00	.68	.00	.68	0	50.00	.00	.00
18	.00	11.40	17.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	35	50.00	.70	.18
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	39	50.00	.78	.20
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	34	50.00	.68	.17
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	22	50.00	.44	.12
					.00	.82	.00	.82	.00	.82	0	50.00	.00	.00
19	.00	.00	18.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	32	50.00	.64	.16
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	35	50.00	.70	.18
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	32	50.00	.64	.16
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	20	50.00	.40	.11
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	0	50.00	.00	.00
20	.00	11.50	18.72	.00										

Folha de cálculo 6 - Molinete C 31 (Campanha 3, secção 5)

CALCULO DO CAUDAL LIQUIDO

ESTACAO/CURSO DE AGUA=P.Remondes(Electromagnético)
 DATA=11.11.09
 HORA DE INICIO=15.30
 HORA DE FIM=16.20
 ESCALA DE INICIO= .84
 ESCALA DE FIM= .84

M.D.

VERT.	DIST. (m)	SONDA (m)	SECCAO (m2)	VEL 0.20 (m/s)	VEL 0.80 (m/s)	V.MEDIA (m/s)	CAUDAL (m3/s)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	1.000	0.120	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.100	0.110	0.078	0.078	0.078	0.004
3	1.000	0.250	0.170	0.093	0.093	0.093	0.015
4	1.000	0.130	0.190	0.159	0.159	0.159	0.024
5	1.000	0.350	0.240	0.178	0.143	0.161	0.038
6	1.000	0.340	0.340	0.172	0.094	0.133	0.051
7	1.000	0.410	0.380	0.201	0.134	0.168	0.056
8	1.000	0.400	0.410	0.203	0.034	0.118	0.058
9	1.000	0.350	0.380	0.223	0.137	0.180	0.056
10	1.000	0.180	0.260	0.166	0.166	0.166	0.046
11	1.000	0.420	0.300	0.225	0.192	0.208	0.056
12	1.000	0.420	0.420	0.225	0.043	0.134	0.072
13	1.000	0.430	0.430	0.222	0.058	0.140	0.058
14	1.000	0.430	0.430	0.208	0.126	0.167	0.066
15	1.000	0.520	0.470	0.227	0.179	0.203	0.088
16	1.000	0.680	0.600	0.216	0.158	0.187	0.117
17	1.000	0.820	0.750	0.206	0.131	0.169	0.133
18	1.000	0.800	0.810	0.162	0.121	0.141	0.126
19	0.720	0.000	0.290	0.000	0.000	0.000	0.020

ESCALA= .84 m
 CAUDAL= 1.085 m3/s
 SECCAO= 7.038 m2
 VELOC. MEDIA= .154 m/s

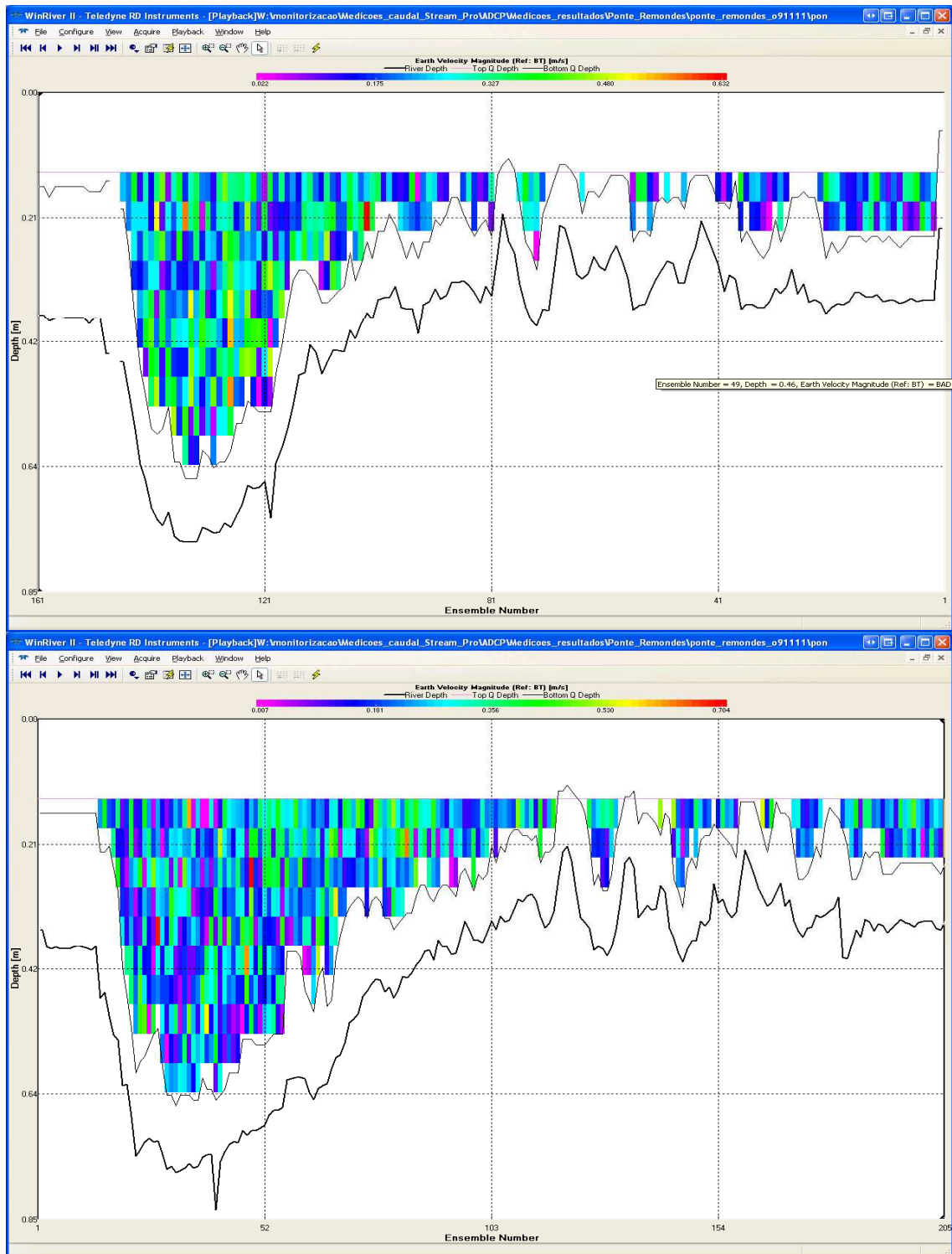
LARGURA SUPERFICIAL= 18.72 m
 PERIMETRO MOLHADO= 19.199 m
 RAO HIDRAULICO= .367 m
 ALTURA MEDIA= .376 m

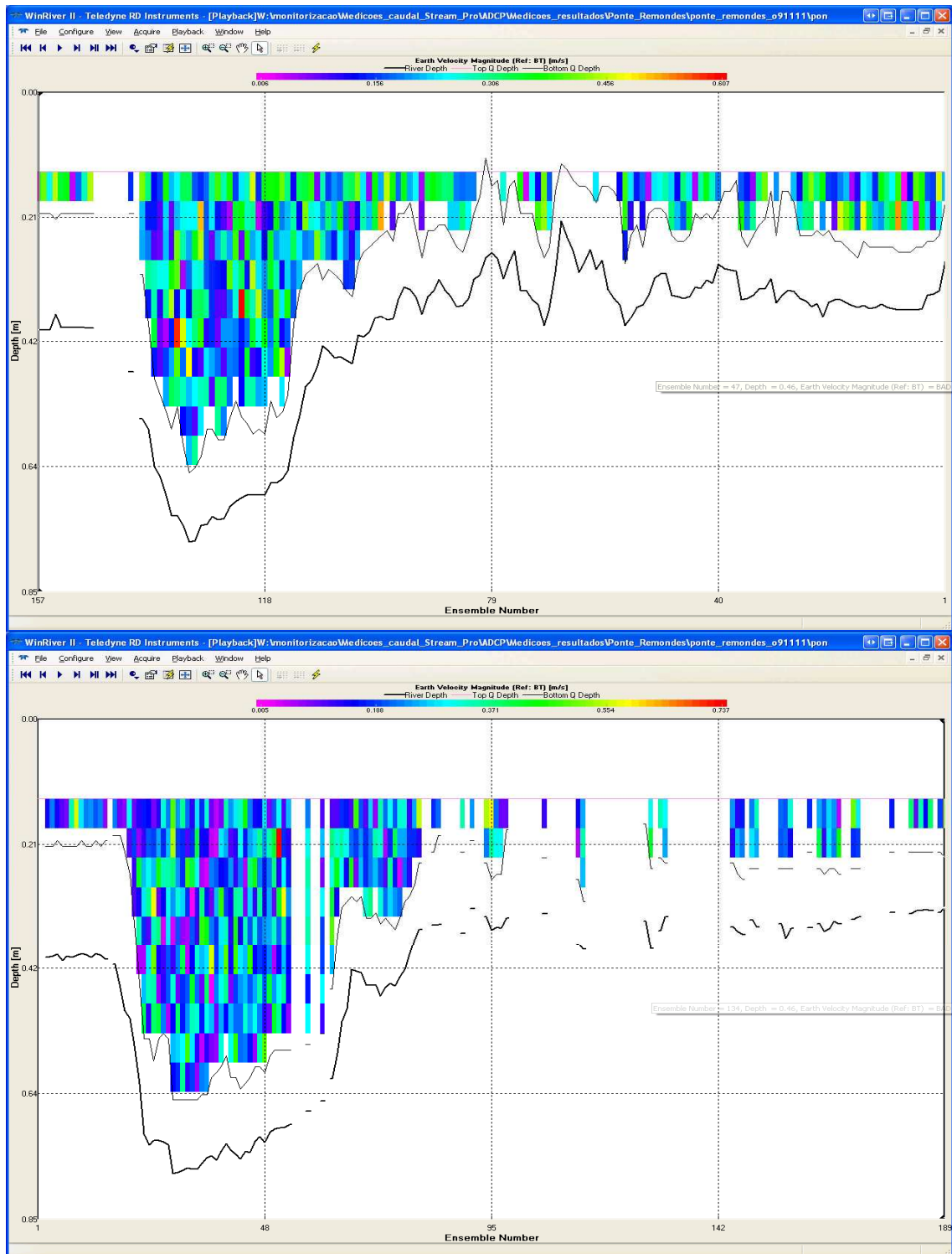
Folha de cálculo 7 - Sensor electromagnético (Campanha 3, secção 5)

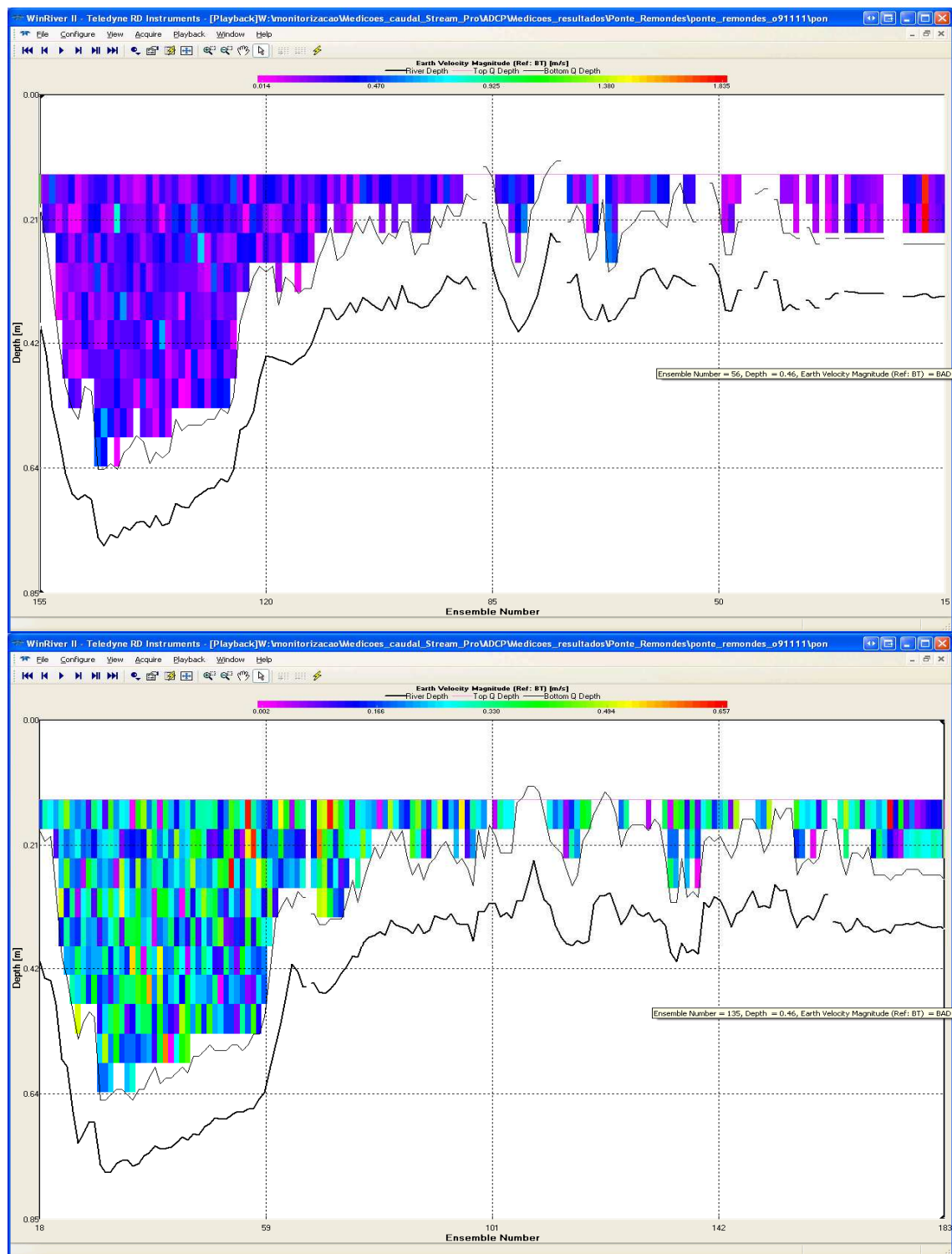
Secção de medição de Ponte Remondes (EDP)

data	12-11-2009 11:49
altura hidrométrica (m)	0,84

Transect	Start Bank	# En s.	Start Time	Total Q m³/s	Delta Q %	To p Q m³/s	Mea s. Q m³/s	Botto m Q m³/s	Lef t Q m³/s	Left Dist. m	Rig ht Q Dist. m	Wi dth m	Total Area m²	Q/A rea m/s	Boat Speed m/s	Flow Speed m/s	Flow Dir. °	End Time	Dura tion s	Start Ens.	End Ens.	Velo city	De pth Ref.
ponte005	Right	161	12:18:22	1,009	13,3 4	0,2 95	0,35 8	0,24 4	0	0	0,11 2	6	17, 85	6,34	0,1 59	0,082	0,185 51	292, 51	12:21 :02	160	1	161	Ref: AD BT CP
ponte006	Left	205	12:21:19	1,193	2,45 93	0,3 93	0,37 1	0,30 6	0	0	0,12 3	6	17, 29	6,01	0,1 99	0,066	0,172 27	325, 27	12:24 :43	204	1	205	Ref: AD BT CP
ponte007	Right	157	12:25:05	1,142	- 1,92	0,3 52	0,35 5	0,29 1	0	0	0,14 4	6	18, 72	6,620	0,1 72	0,084	0,182 98	279, 98	12:27 :41	156	1	157	Ref: AD BT CP
ponte008	Left	189	12:27:57	1,12	- 3,84	0,3 33	0,37 6	0,26 9	0	0	0,14 1	6	18, 83	6,640	0,1 69	0,075	0,174 15	317, 15	12:31 :05	188	1	189	Ref: AD BT CP
ponte009	Right	141	12:31:36	1,408	20,9 6	0,4 28	0,41 6	0,33 1	0	0	0,23 3	6	19, 02	6,680	0,2 11	0,104	0,199 89	306, 89	12:33 :56	140	15	155	Ref: AD BT CP
ponte010	Left	166	12:34:50	1,114	- 4,31	0,3 53	0,37 4	0,28 5	0	0	0,10 3	6	18, 12	6,360	0,1 75	0,078	0,186 85	319, 85	12:37 :35	165	18	183	Ref: AD BT CP
Average		169		1,164	0 59	0,3 59	0,37 5	0,28 8	0	0	0,14 3	6	18, 31	6,440	0,1 81	0,081	0,183						
Std Dev.		23 0,1		0,134	11,4 9	0,0 46	0,02 2	0,03 0	0	0	0,04 7	0	0,6 7	0,260	0,0	0,013	0,01						
Std./ Avg.		4		0,11	0 3	0,1 3	0,06 0,1	0 0	0	0	0,33 0	4	0,04	1	0,15	0,05							

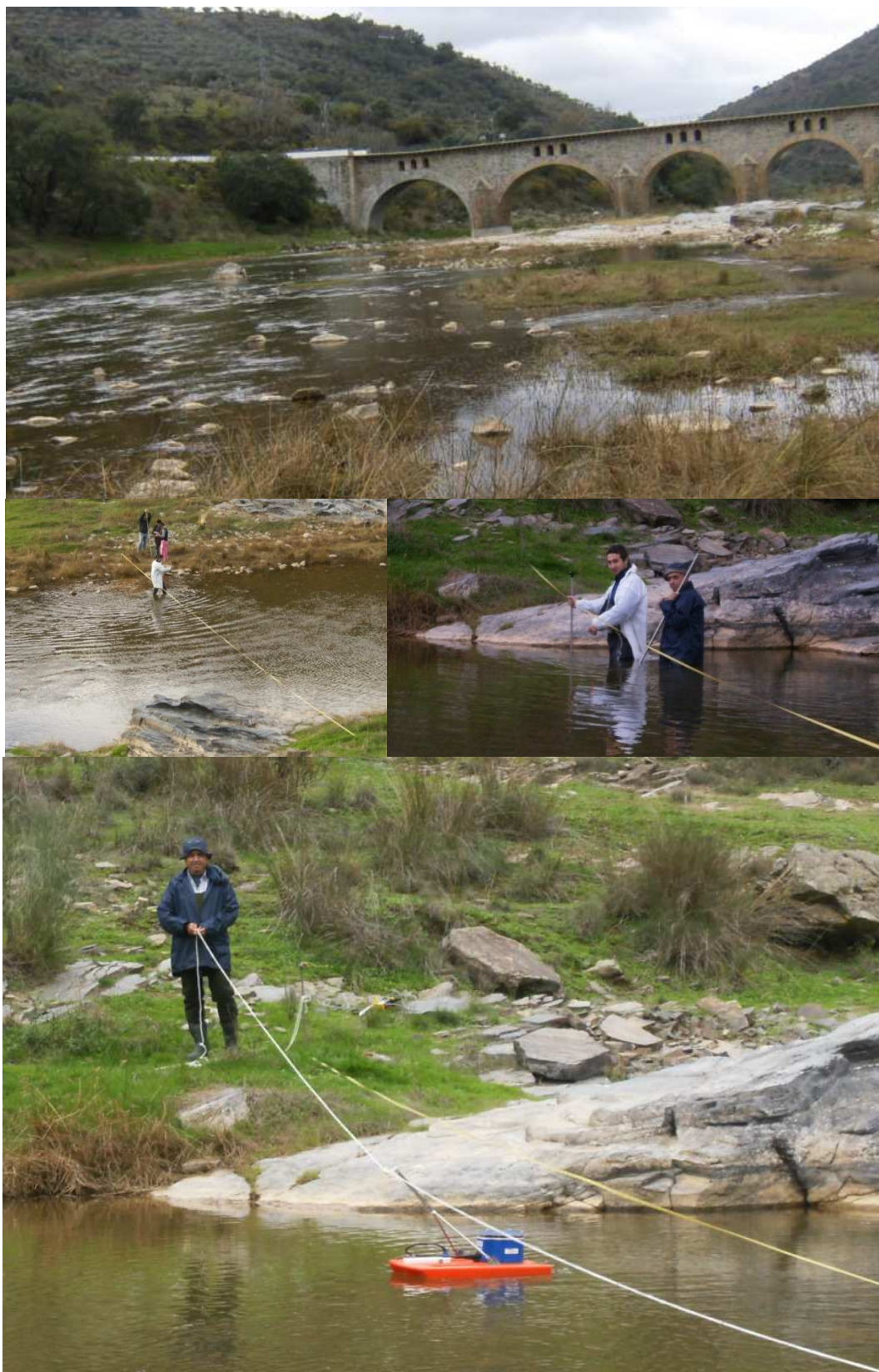






Folha de cálculo 8 - Stream Pro ADCP (Campanha 3, secção 5)

Segue-se um conjunto de fotografias descritivas das medições realizadas na secção 5:



Álbum 3 - Terceira Campanha (secção 5)

4.2. SECÇÃO 3

O segundo local escolhido para efectuar medições foi a secção 3.

Os registos das sondagens de profundidades feitas a haste, aquando das medições consecutivas com o molinete C 31 e o sensor electromagnético, para alturas hidrométricas médias de 0,515, 0,605 e 0,7025 metros, permitiram definir os perfis transversais da figura 9 e são acompanhados pelas velocidades correspondentes a cada um dos equipamentos, horas em que foram medidos e escala correspondente, para melhor compreensão da velocidade de aumento do nível de água (tabela 11).

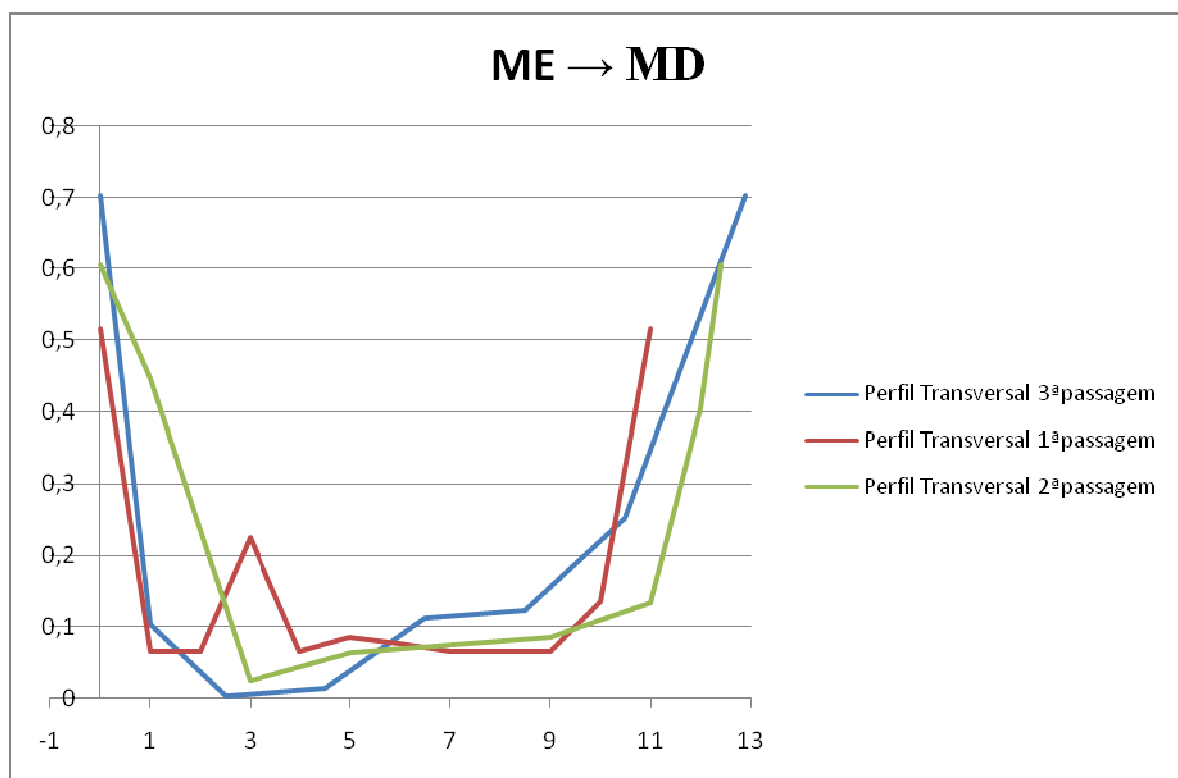


Figura 9 - Perfis Transversais (3ª Campanha, secção 3)

Tabela 11 - Registos de medição (3ª Campanha, secção 3)							
Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)	Velocidades (m/s)		Hora (hh:mm)	Escala (m)
				Sensor Electr.	Molinete C 31		
Esquerda	0	0	0,00			09:40	0,46
	1	1	0,10	0,038	0		
			0,30	0,034	0		
			0,45				
1ª Passagem	2	2	0,10	0,070	0,06	09:45	0,47
			0,30	0,059	0,06		
			0,45				
	3	3	0,10	0,107	0,09		

			0,20	0,111	0,09		
			0,29				
	4	4	0,10	0,133	0,11	09:49	0,48
			0,30	0,106	0,09	09:51	0,49
			0,45				
	5	5	0,10	0,200	0,18	09:54	0,50
			0,30	0,162	0,15		
			0,43				
	6	6	0,10	0,242	0,21	09:57	0,51
			0,30	0,173	0,14	09:59	0,52
			0,44				
	7	7	0,10	0,294	0,26	10:01	0,53
			0,30	0,206	0,21		
			0,45				
	8	8	0,10	0,322	0,31	10:03	0,54
			0,30	0,267	0,23		
			0,45				
	9	9	0,10	0,335	0,32	10:06	0,55
			0,30	0,255	0,23		
			0,45				
	10	10	0,10	0,354	0,33	10:10	0,56
			0,30	0,187	0,20		
			0,38				
Direita	11	11	0,00			10:15	0,57
Esquerda	0	0,0	0,00			10:45	0,59
	1	1,0	0,06	0,111	0,09		
			0,16				
	2	3,0	0,10	0,156	0,16		
			0,30	0,136	0,14		
			0,50	0,074	0,00		
			0,58				
	3	5,0	0,10	0,313	0,31		
			0,30	0,289	0,26		
			0,50	0,021	0,00		
			0,54				
	4	7,0	0,10	0,412	0,40		
			0,30	0,395	0,32		
			0,53				
	5	9,0	0,10	0,392	0,39	11:00	0,60
			0,30	0,327	0,27		
			0,52				
	6	11,0	0,10	0,208	0,19	11:04	0,61
			0,30	0,189	0,19		

2ª
Passagem

			0,47				
	7	12,0	0,10	0,189	0,00	11:07	0,62
			0,20				
Direita	8	12,4	0,00				
Direita	0	0	0,00			11:10	0,63
	1	2,4	0,10	0,490	0,44		
			0,30	0,430	0,32	11:12	0,64
			0,45				
	2	4,4	0,10	0,570	0,55	11:14	0,65
			0,30	0,490	0,46	11:15	0,66
			0,50	0,324	0,26	11:17	0,68
			0,58				
	3	6,4	0,10	0,540	0,47	11:18	0,69
			0,30	0,403	0,39	11:19	0,70
			0,50	0,312	0,34	11:21	0,71
			0,59			11:22	0,72
3ª	4	8,4	0,10	0,280	0,31	11:24	0,73
Passagem			0,30	0,291	0,30	11:26	0,74
			0,50	0,262	0,26	11:27	0,75
			0,60	0,216	0,00		
			0,69				
	5	10,4	0,10	0,316	0,29	11:31	0,76
			0,30	0,330	0,34		
			0,50	0,358	0,37		
			0,70				
	6	11,9	0,10	0,156	0,16	11:34	0,77
			0,30	0,175	0,16		
			0,50	0,141	0,14		
			0,60				
Esquerda	7	12,9	0,00			11:39	0,775

Os valores de caudal obtidos permitiram construir uma tabela resumo com os seguintes dados:

Tabela 12 - Caudais, áreas e velocidades médias (3ª Campanha, secção 3)

H (m)	Equipamentos		
	Molinete C 31	Sensor electromagnético	Stream Pro ADCP
0,460	Q (m ³ /s)		0,326
	Área (m ²)		3,650
	V=Q/A (m/s)		0,089
0,515	Q (m ³ /s)	0,633	0,752
	Área (m ²)	4,240	4,240
	V=Q/A (m/s)	0,149	0,177
0,585	Q (m ³ /s)		1,233
	Área (m ²)		5,130
	V=Q/A (m/s)		0,241
0,605	Q (m ³ /s)	1,103	1,123
	Área (m ²)	5,425	5,385
	V=Q/A (m/s)	0,203	0,209
0,7025	Q (m ³ /s)	2,134	2,232
	Área (m ²)	6,685	6,685
	V=Q/A (m/s)	0,319	0,334
0,785	Q (m ³ /s)		3,449
	Área (m ²)		7,800
	V=Q/A (m/s)		0,442

Foi impossível comparar os valores do Stream Pro com os valores do molinete e do electromagnético, pois as alturas hidrométricas correspondentes aos valores de caudais obtidos são diferentes, logo incomparáveis. Contudo, todos os valores são susceptíveis de serem inseridos na Curva da Vazão do rio de modo a avaliar o distanciamento dos valores obtidos à Curva.

De seguida, apresenta-se a Curva de Vazão do rio Corgo, cedida pela Empresa EDP:

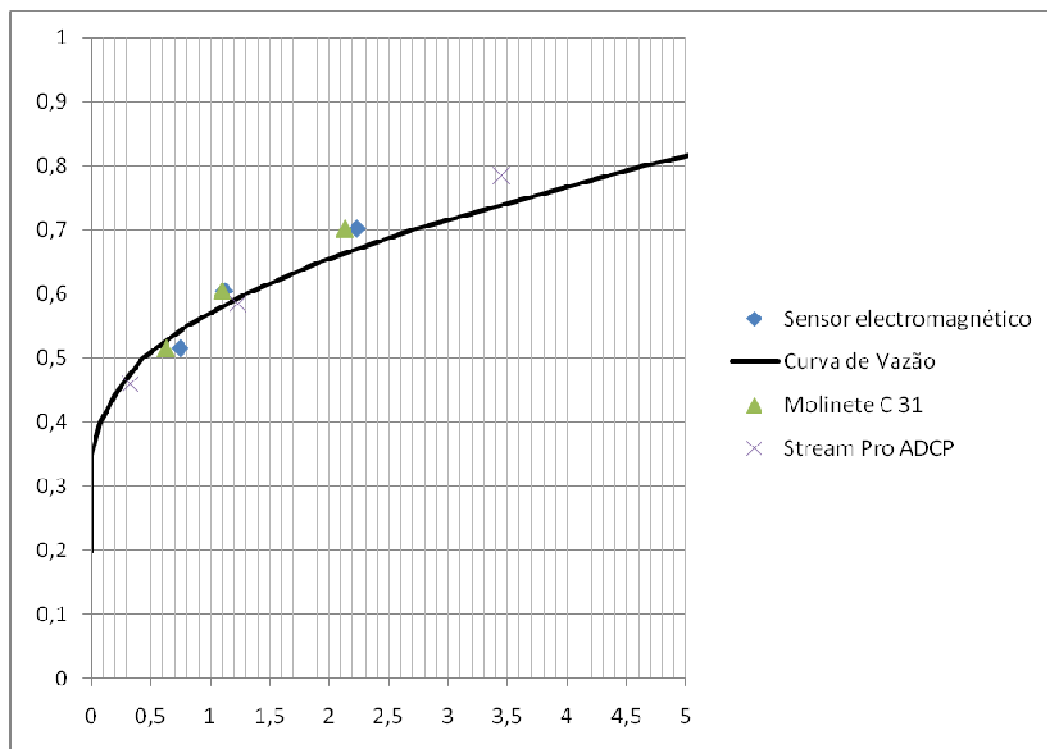


Figura 10 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (3ª Campanha, secção 3)

Para comparar o desempenho dos equipamentos, foi calculado o desvio relativo entre os valores obtidos por cada equipamento (tabela 13). A representação gráfica dos desvios pode ser visualizada através da figura 11.

Comparando os valores do molinete C 31 com o sensor electromagnético obtêm-se os seguintes desvios:

Tabela 13 - Desvios entre os caudais obtidos pelo Molinete C 31 e Sensor electromagnético (Campanha 3, secção3)

Q Molinete / Q Electromagnético	1ª Passagem	2ª Passagem	3ª Passagem	Média dos desvios
Desvio (%)	15,82	1,78	4,39	5,77

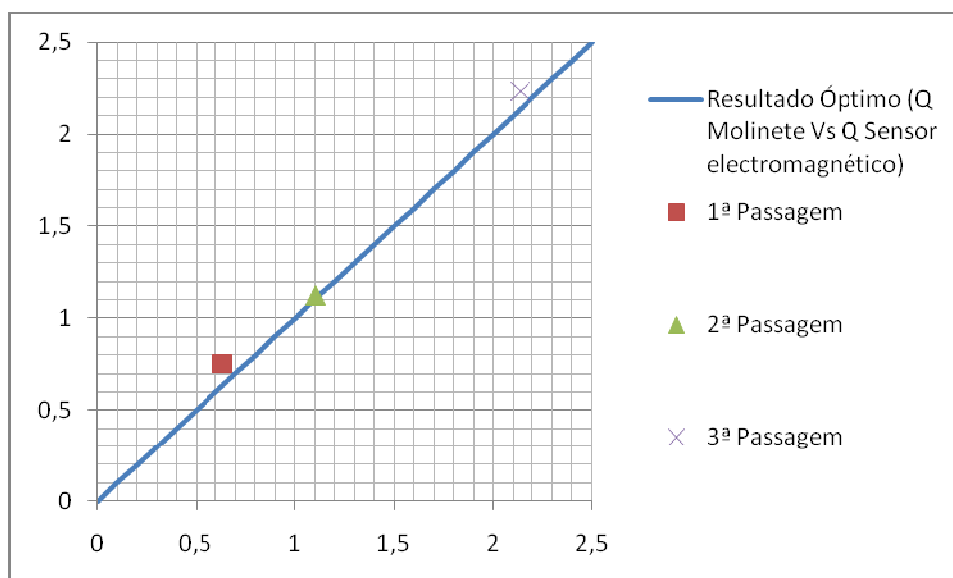


Figura 11 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 3, secção 3)

Folhas de cálculo de caudais:

RIO- Congo														
EST. HIDROL. - Ermida														
MOLINETE NO.-116099														
DATA-12-11-09														
HELICE NO.- 1														
HIDROMETRISTA-Castro														
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1														
ALT. ESCALA INIC.- .46														
FIM- .57														
SUSP.-haste EQUACAO 41 CAUDAL= .633														
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	9.40	.00	.00										
2	.00	.00	1.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	0	50.00	.00	.00
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	0	50.00	.00	.00
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
3	.47	9.45	2.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	9	50.00	.18	.06
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	10	50.00	.20	.06
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
4	.00	.00	3.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	16	50.00	.32	.09
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	16	50.00	.32	.09
					.00	.29	.00	.29	.00	.29	0	50.00	.00	.00
5	.48	9.49	4.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	21	50.00	.42	.11
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	17	50.00	.34	.09
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
6	.50	9.54	5.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	35	50.00	.70	.18
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	29	50.00	.58	.15
					.00	.43	.00	.43	.00	.43	0	50.00	.00	.00
7	.52	9.59	6.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	42	50.00	.84	.21
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	28	50.00	.56	.14
					.00	.44	.00	.44	.00	.44	0	50.00	.00	.00
8	.53	10.01	7.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	52	50.00	1.04	.26
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	41	50.00	.82	.21
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
9	.54	10.03	8.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	62	50.00	1.24	.31
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	46	50.00	.92	.23
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
10	.55	10.06	9.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	63	50.00	1.26	.32
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	46	50.00	.92	.23
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
11	.56	10.10	10.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	65	50.00	1.30	.33
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	40	50.00	.80	.20
					.00	.38	.00	.38	.00	.38	0	50.00	.00	.00
12	.57	10.15	11.00	.00										

Folha de cálculo 9 - Primeira passagem do Molinete C 31 (Campanha 3, secção 3)

RIO- Corgo EST.HIDROL.- Ermida MOLINETE NO.-116099 DATA-12-11-09 HELICE NO.- 1 HIDROMETRISTA-Castro NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1 ALT. ESCALA INIC.- .59 FIM- .62 SUSP.-haste EQUACAO 41 CAUDAL= 1.103														
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.59	10.45	.00	.00										
2	.00	.00	1.00	.00	.00	.06	.00	.06	.00	.06	17	50.00	.34	.09
					.00	.16	.00	.16	.00	.16	0	50.00	.00	.00
3	.00	.00	3.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	32	50.00	.64	.16
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	27	50.00	.54	.14
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	0	50.00	.00	.00
					.00	.58	.00	.58	.00	.58	0	50.00	.00	.00
4	.00	.00	5.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	61	50.00	1.22	.31
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	51	50.00	1.02	.26
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	0	50.00	.00	.00
					.00	.54	.00	.54	.00	.54	0	50.00	.00	.00
5	.00	.00	7.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	80	50.00	1.60	.40
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	64	50.00	1.28	.32
					.00	.53	.00	.53	.00	.53	0	50.00	.00	.00
6	.60	11.00	9.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	79	50.00	1.58	.39
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	54	50.00	1.08	.27
					.00	.52	.00	.52	.00	.52	0	50.00	.00	.00
7	.61	11.04	11.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	38	50.00	.76	.19
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	38	50.00	.76	.19
					.00	.47	.00	.47	.00	.47	0	50.00	.00	.00
8	.00	.00	12.00	.00	.00	.10	.00	.10	.00	.10	0	50.00	.00	.00
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
9	.62	11.07	12.40	.00										

Folha de cálculo 10 - Segunda passagem do Molinete C 31 (Campanha 3, secção 3)

RIO- Congo EST. HIDROL.- Ermida														
MOLINETE NO.-116099 DATA-12-11-09														
HELICE NO.- 1 HIDROMETRISTA-Castro														
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1 ALT. ESCALA INIC.- .63														
SUSP.-haste FIM- .775														
EQUACAO 41 CAUDAL= 2.134														
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.63	11.10	.00	.00										
2	.00	.00	2.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	89	50.00	1.78	.44
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	64	50.00	1.28	.32
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
3	.65	11.14	4.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	111	50.00	2.22	.55
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	92	50.00	1.84	.46
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	52	50.00	1.04	.26
					.00	.58	.00	.58	.00	.58	0	50.00	.00	.00
4	.69	11.18	6.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	94	50.00	1.88	.47
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	78	50.00	1.56	.39
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	69	50.00	1.38	.34
					.00	.59	.00	.59	.00	.59	0	50.00	.00	.00
5	.73	11.24	8.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	61	50.00	1.22	.31
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	59	50.00	1.18	.30
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	52	50.00	1.04	.26
					.00	.60	.00	.60	.00	.60	0	50.00	.00	.00
					.00	.69	.00	.69	.00	.69	0	50.00	.00	.00
6	.76	11.31	10.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	58	50.00	1.16	.29
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	67	50.00	1.34	.34
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	75	50.00	1.50	.37
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	0	50.00	.00	.00
7	.77	11.39	11.90	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	31	50.00	.62	.16
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	31	50.00	.62	.16
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	28	50.00	.56	.14
					.00	.60	.00	.60	.00	.60	0	50.00	.00	.00
8	.78	11.39	12.90	.00										

Folha de cálculo 11 - Terceira passagem do Molinete C 31 (Campanha 3, secção 3)

CALCULO DO CAUDAL LIQUIDO

ESTACAO/CURSO DE AGUA=Ermidia/Corgo (electromagnético)
 DATA=12.11.09
 HORA DE INICIO=09.40
 HORA DE FIM=10.15
 ESCALA DE INICIO= .46
 ESCALA DE FIM= .57

M.E.

VERT.	DIST. (m)	SONDA (m)	SECCAO (m2)	VEL 0.20 (m/s)	VEL 0.80 (m/s)	V.MEDIA (m/s)	CAUDAL (m3/s)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	1.000	0.450	0.220	0.038	0.034	0.036	0.004
2	1.000	0.450	0.450	0.070	0.059	0.065	0.023
3	1.000	0.290	0.370	0.107	0.111	0.109	0.032
4	1.000	0.450	0.370	0.133	0.106	0.119	0.042
5	1.000	0.430	0.440	0.200	0.162	0.181	0.066
6	1.000	0.440	0.440	0.242	0.173	0.207	0.084
7	1.000	0.450	0.440	0.294	0.206	0.250	0.102
8	1.000	0.450	0.450	0.322	0.267	0.294	0.123
9	1.000	0.450	0.450	0.335	0.255	0.295	0.133
10	1.000	0.380	0.410	0.354	0.187	0.271	0.117
11	1.000	0.000	0.190	0.000	0.000	0.000	0.026

ESCALA= .515 m
 CAUDAL= .752 m3/s
 SECCAO= 4.24 m2
 VELOC. MEDIA= .177 m/s

LARGURA SUPERFICIAL= 11 m
 PERIMETRO MOLHADO= 11.195 m
 RAO HIDRAULICO= .379 m
 ALTURA MEDIA= .385 m

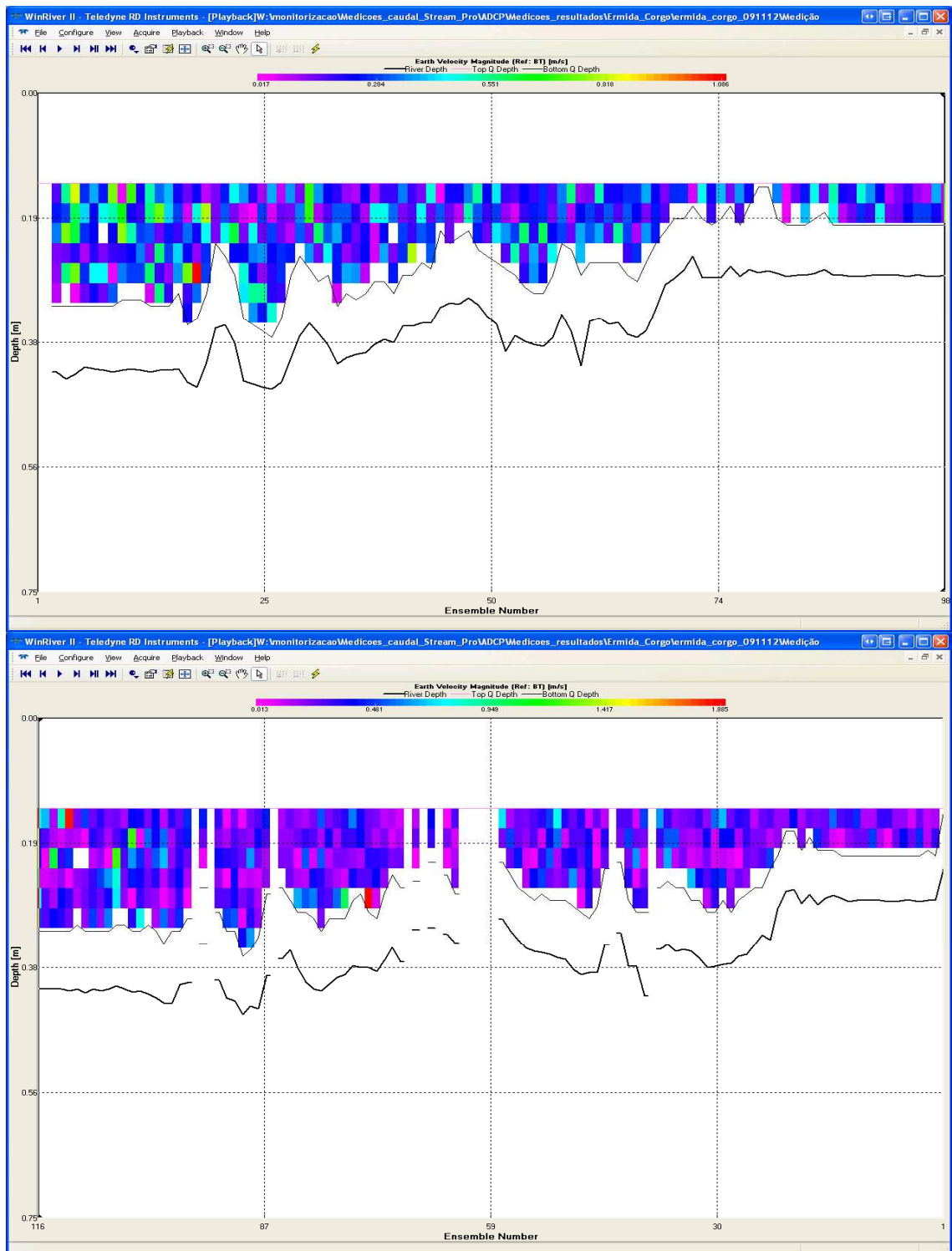
Folha de cálculo 12 - Primeira passagem do Sensor electromagnético (Campanha 3, secção 3)

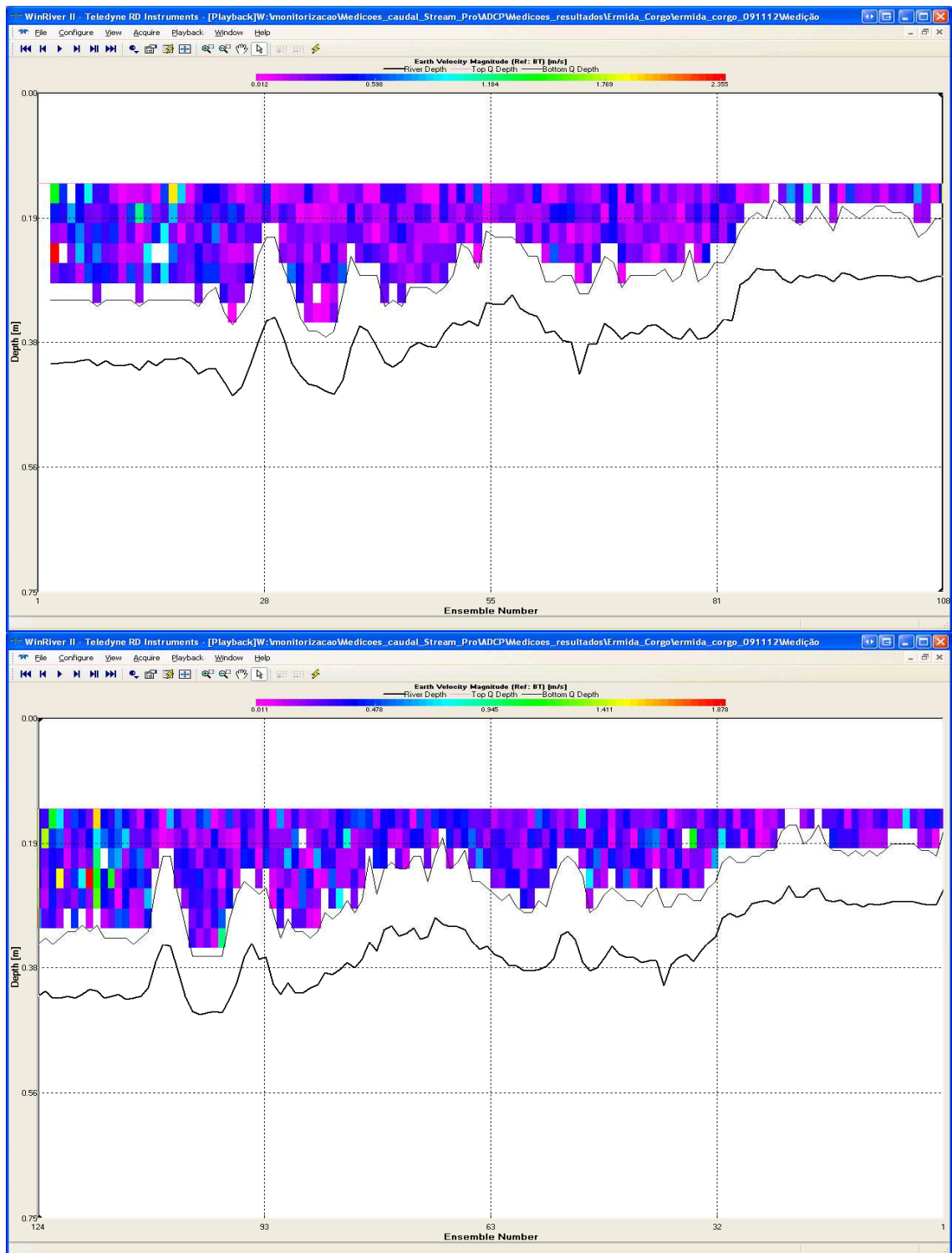
Secção de medição de Ermida
Corgo (EDP)

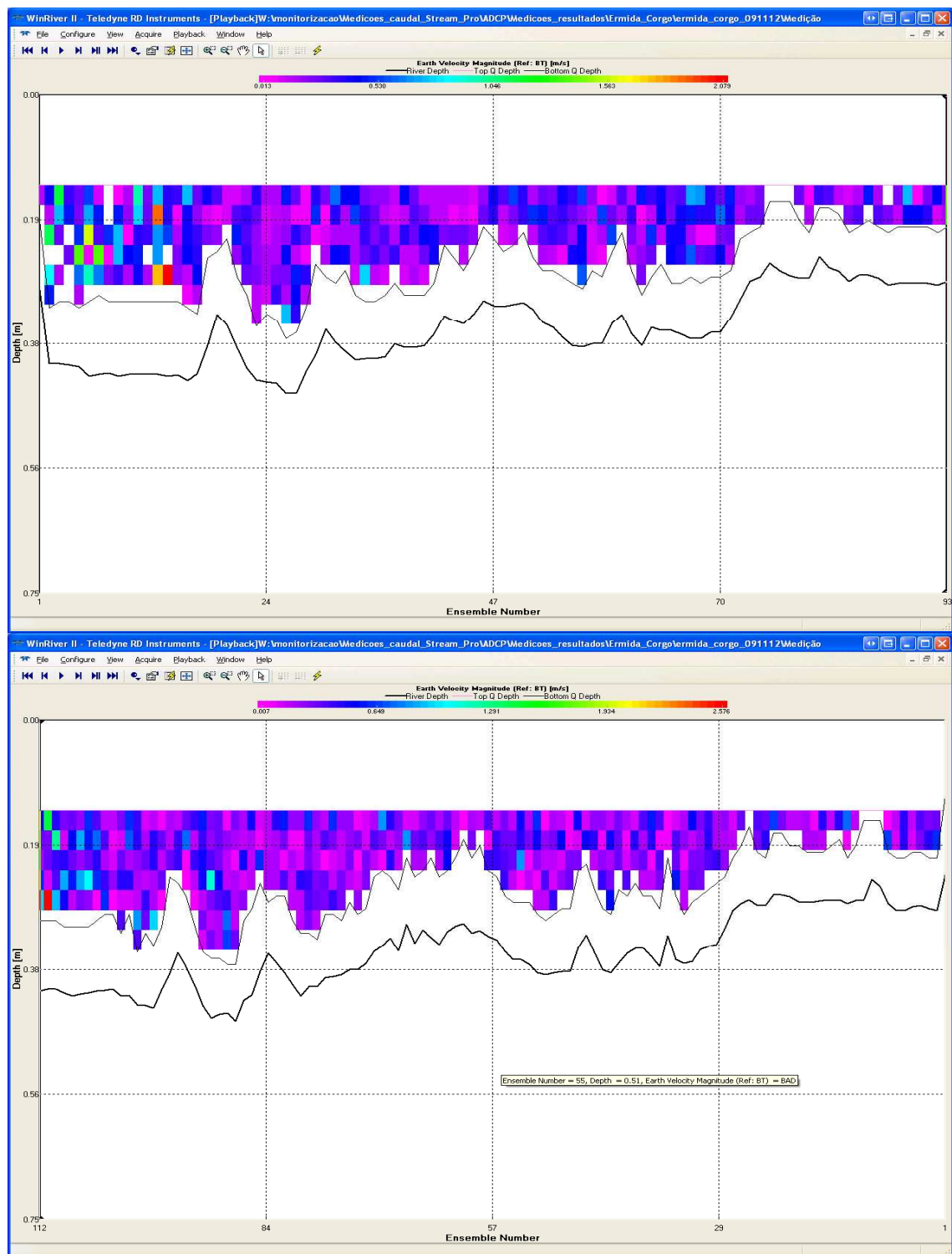
data	12-11-2009 09:30

altura hidrométrica (m)	0,46

Transect	Start Bank	# En s.	Start Time	Total Q	Delta a Q	To p Q	Mea s. Q	Botto m Q	Lef t Q	Left Dist.	Rig ht Q	Right Dist.	Wi dth	Total Area	Q/A rea	Boat Speed	Flow Speed	Flow Dir.	End Time	Dura tion	Start Ens.	End Ens.	Velo city	De pth
				m³/s	%	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m	m³/s	m	m	m²	m/s	m/s	m/s	°		s			Ref.	Ref.
ermida002	Left	98	09:24:15	0,314	-3,71	0,134	0,089	0,083	0	0	0,008	1,35	10,82	3,59	0,088	0,109	0,044	330,24	09:25:52	97	1	98	Ref: BT	AD CP
ermida003	Right	116	09:26:08	0,32	-2,1	0,136	0,096	0,077	0	0	0,01	1,35	11,41	3,81	0,084	0,096	0,064	280,42	09:28:03	115	1	116	Ref: BT	AD CP
ermida004	Left	108	09:28:19	0,274	-15,94	0,124	0,078	0,076	0	0	0	0	9,95	3,610	0,076	0,1	0,061	300,87	09:30:06	107	1	108	Ref: BT	AD CP
ermida005	Right	124	09:30:24	0,358	9,71	0,156	0,102	0,1	0	0	0	0	10,19	3,640	0,098	0,087	0,087	306,65	09:32:27	123	1	124	Ref: BT	AD CP
ermida006	Left	93	09:32:42	0,311	-4,83	0,137	0,091	0,083	0	0	0	0	8,8	3,550	0,087	0,114	0,075	334,41	09:34:14	92	1	93	Ref: BT	AD CP
ermida007	Right	112	09:34:29	0,381	16,86	0,168	0,115	0,098	0	0	0	0	10,29	3,700	0,103	0,099	0,1	281,4	09:36:20	111	1	112	Ref: BT	AD CP
Average		108		0,326	0	0,142	0,095	0,086	0	0	0,003	0,45	10,42	3,650	0,089	0,101	0,072							
Std Dev.		11		0,038	11,61	0,017	0,012	0,01	0	0	0,005	0,7	0,59	0,090	0,0	0,01	0,02							
Std./ Avg.		0,1		0,12	0	0,12	0,13	0,12	0	0	1,57	1,55	0,06	0,03	0,1	0,09	0,28							







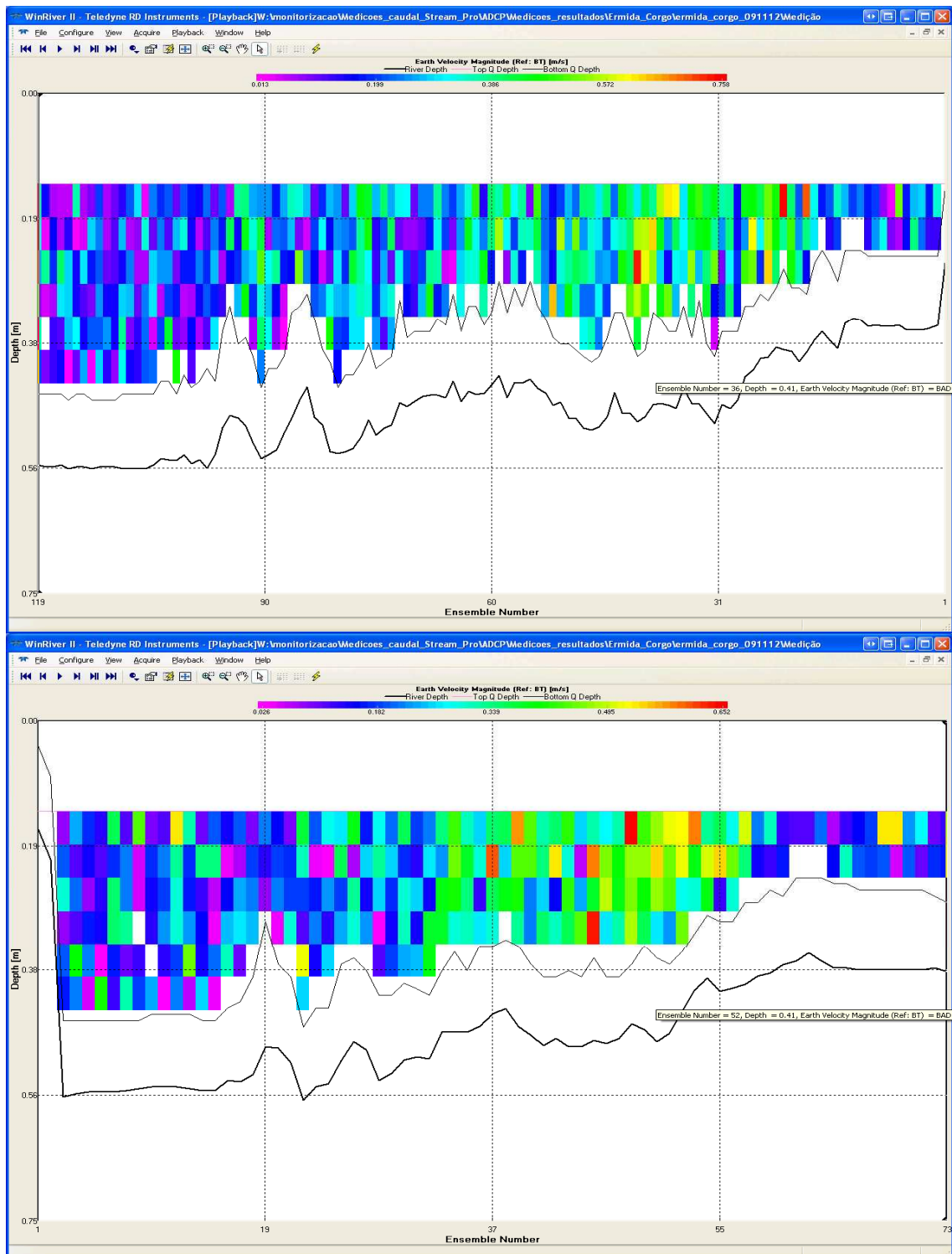
Folha de cálculo 13 - Primeira passagem do Stream Pro ADCP (Campanha 3, secção 3)

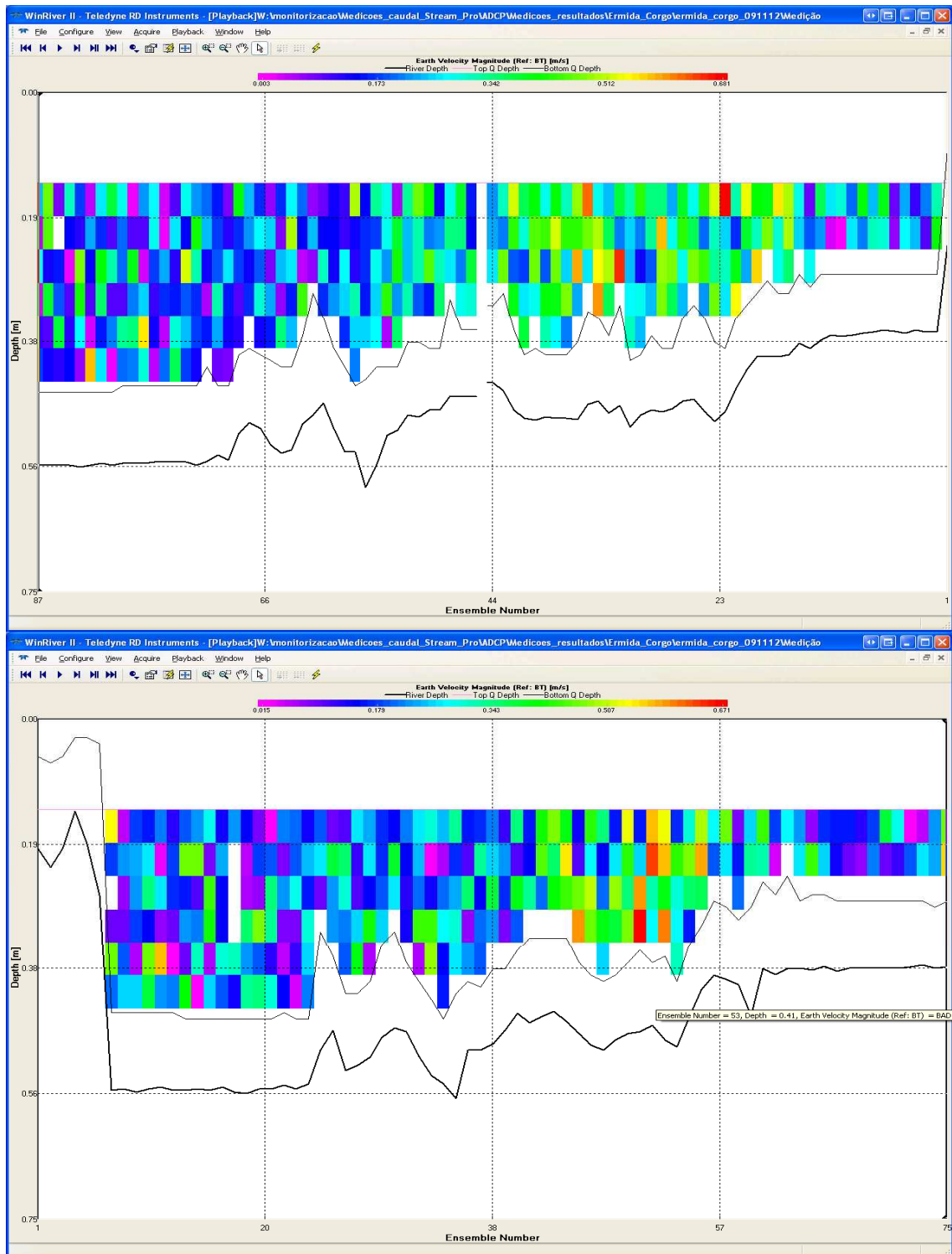
Secção de medição de Ermida
Corgo (EDP)

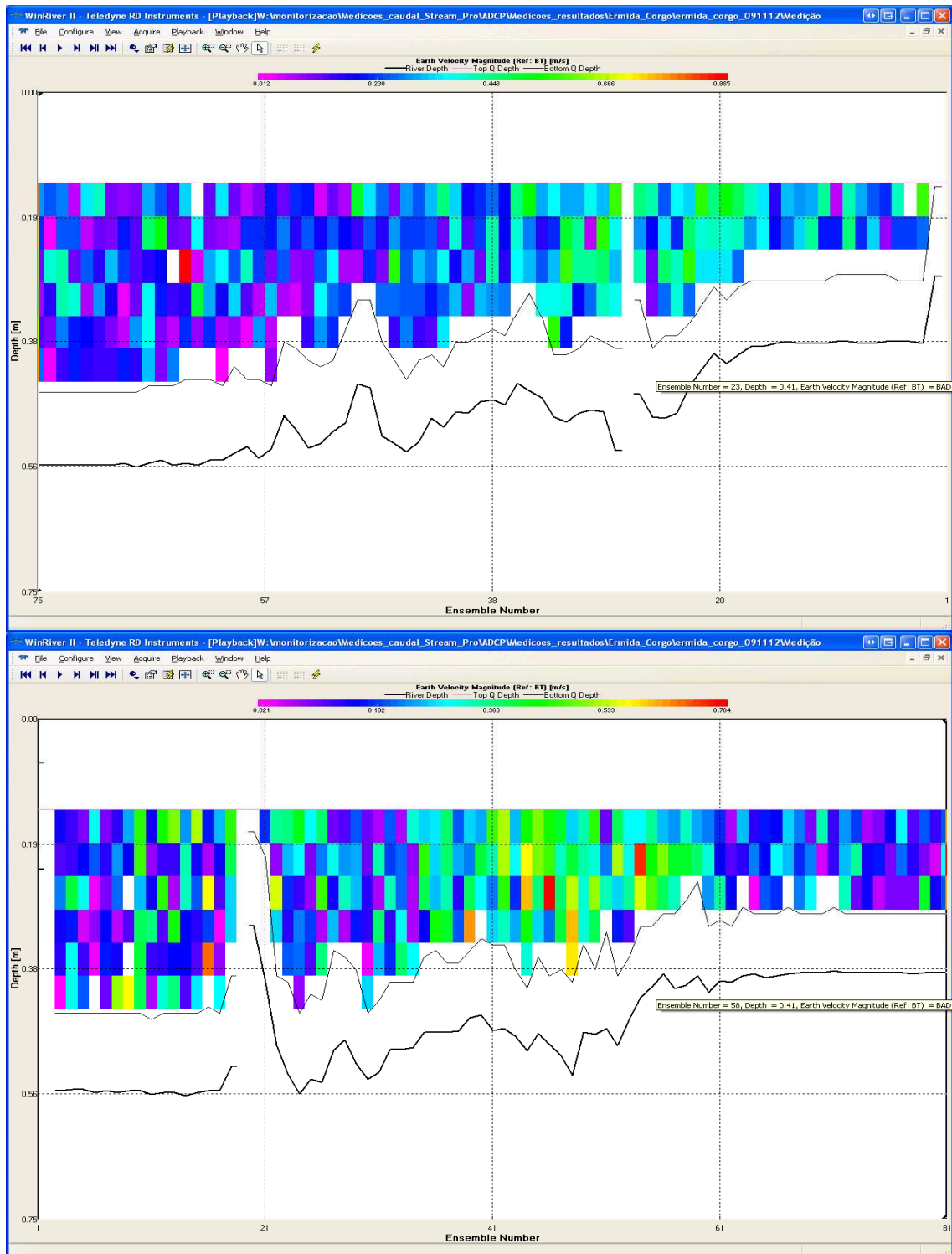
	início	final
data	12-11-2009	12-11-2009
	10:20	10:38

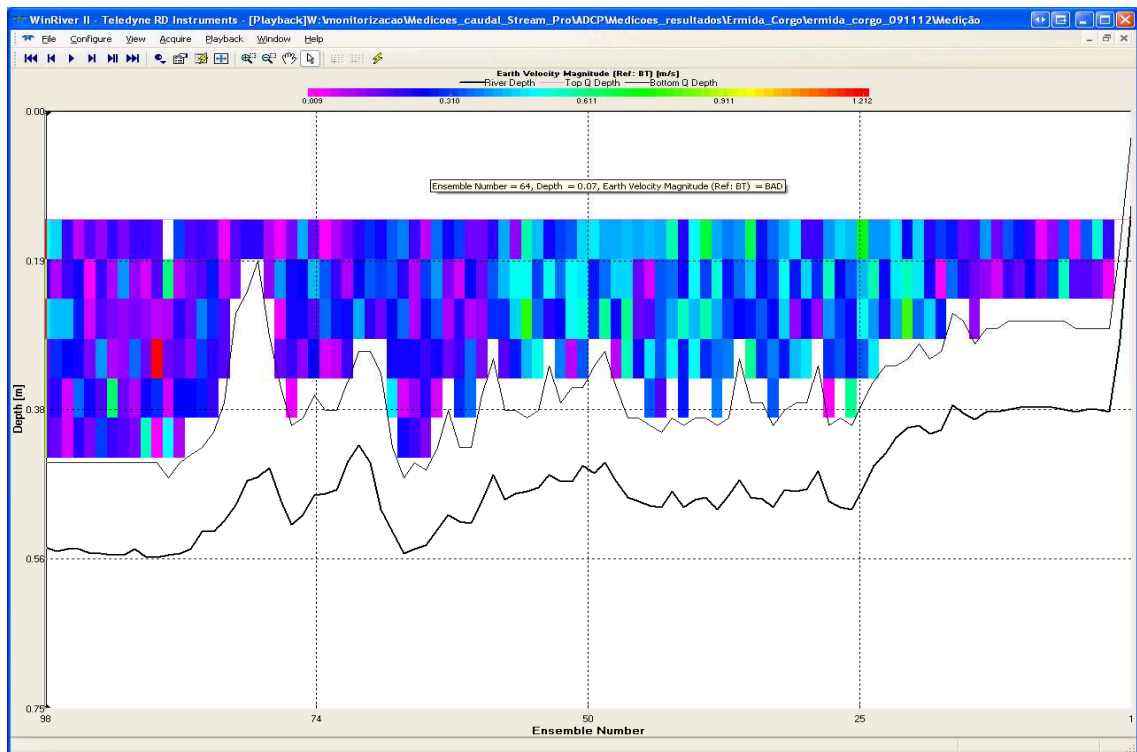
altura hidrométrica (m)	0,58	0,59

Transect	Start Bank	# En S.	Start Time	Total Q	Delta Q	To p Q	Mea s. Q	Botto m Q	Lef t Q	Left Dist.	Rig ht Q	Right Dist.	Wi dth	Total Area	Q/A rea	Boat Speed	Flow Speed	Flow Dir.	End Time	Dur ation	Start Ens.	End Ens.	Vel ocity	De pth	Ref.
ermida001	Right	119	10:27:32	1,282	3,99	0,417	0,529	0,317	0	0	0,02	1,15	11,91	5,32	0,241	0,099	0,195	290,07	10:29:30	118	1	119	Ref: BT	AD	
ermida002	Left	73	10:29:45	1,249	1,31	0,404	0,535	0,296	0	0	0,015	1,15	11,6	5,21	0,24	0,161	0,155	349,37	10:30:57	72	1	73	Ref: BT	AD	
ermida003	Right	87	10:31:14	1,205	-2,25	0,384	0,509	0,285	0	0	0,028	1,15	11,45	5,210	0,231	0,131	0,17	285,56	10:32:40	86	1	87	Ref: BT	AD	
ermida004	Left	75	10:32:59	1,169	-5,17	0,376	0,487	0,283	0	0	0,023	1,15	10,9	4,800	0,243	0,156	0,134	356,83	10:33:43	74	1	75	Ref: BT	AD	
ermida005	Right	75	10:34:28	1,226	-0,61	0,387	0,504	0,296	0	0	0,038	1,15	11,45	5,180	0,237	0,151	0,166	284,03	10:35:42	74	1	75	Ref: BT	AD	
ermida006	Left	81	10:35:59	1,206	-2,19	0,387	0,515	0,288	0	0	0,017	1,15	11,34	5,000	0,241	0,144	0,158	345,31	10:37:19	80	1	81	Ref: BT	AD	
ermida007	Right	98	10:37:37	1,294	4,91	0,414	0,542	0,312	0	0	0,026	1,15	11,6	5,170	0,25	0,12	0,2	292,53	10:39:14	97	1	98	Ref: BT	AD	
Average		86		1,233	0	0,395	0,517	0,297	0	0	0,024	1,15	11,47	5,130	0,241	0,137	0,168								
Std Dev.		17		0,045	3,62	0,016	0,019	0,013	0	0	0,008	0	0,31	0,17	0,06	0,022	0,023								
Std./ Avg.		0,2		0,04	0	0,04	0,04	0,04	0	0	0,3	0	0,3	0,03	0,2	0,16	0,14								









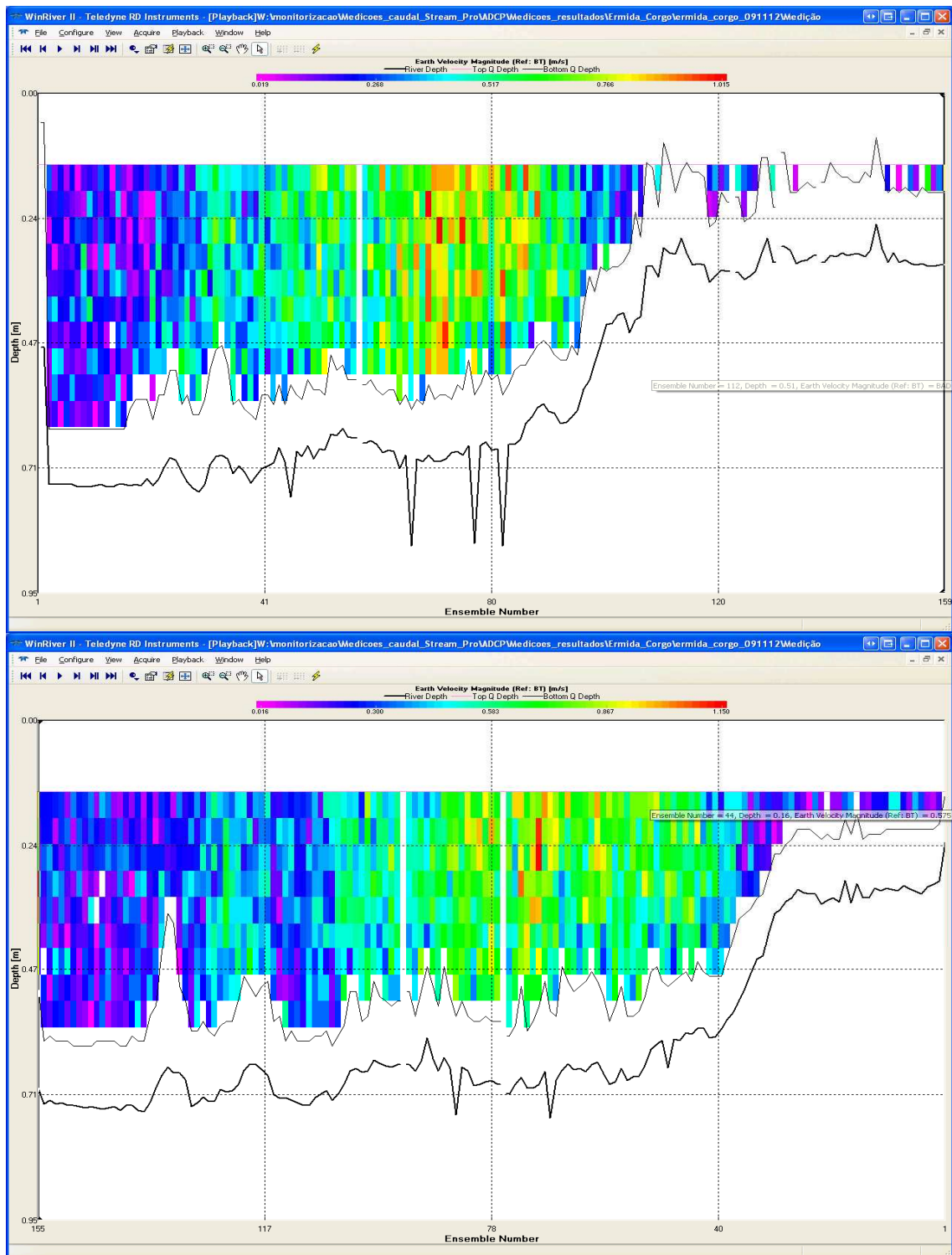
Folha de cálculo 14 - Segunda passagem do Stream Pro ADCP (Campanha 3, secção 3)

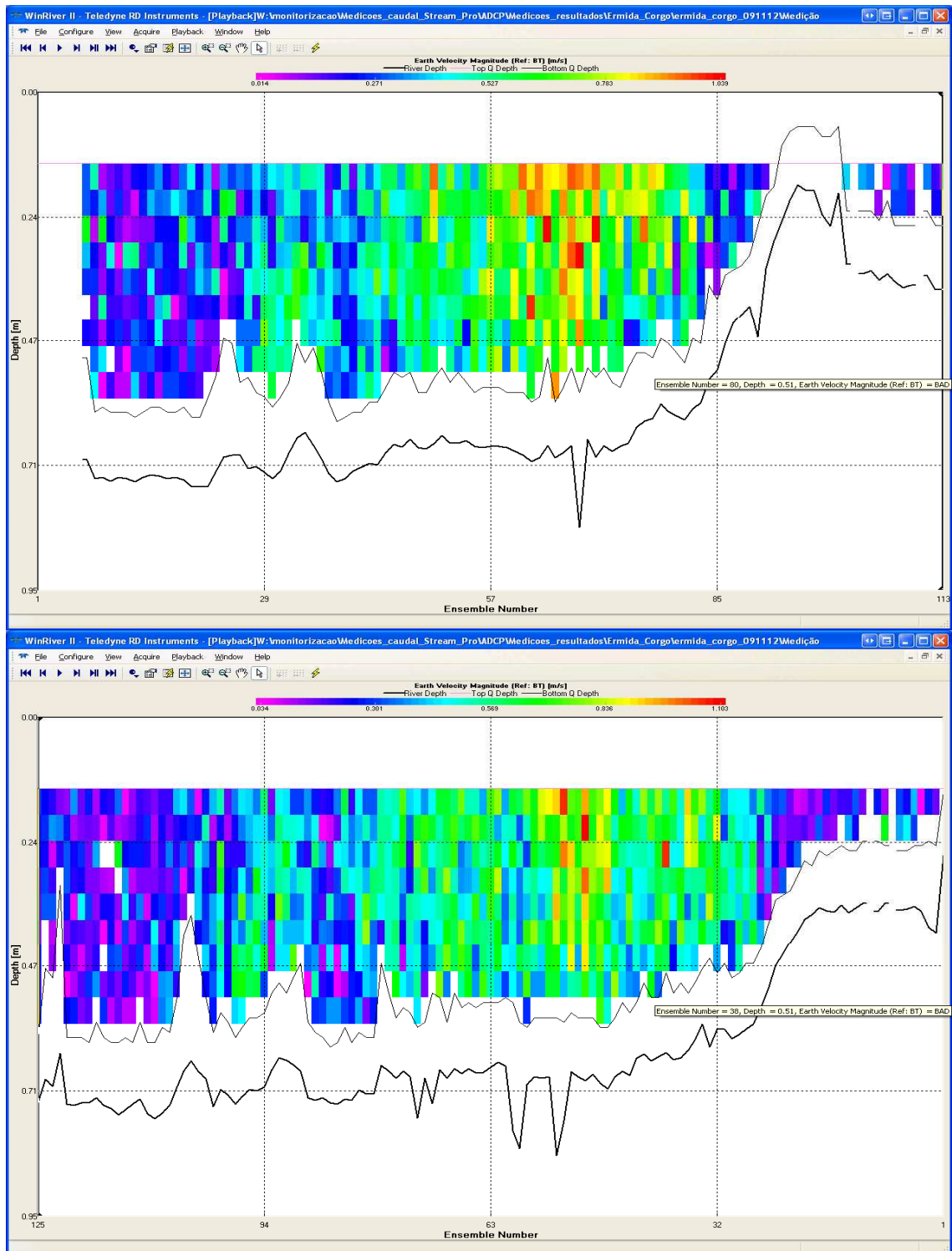
Secção de medição de Ermida
Corgo (EDP)

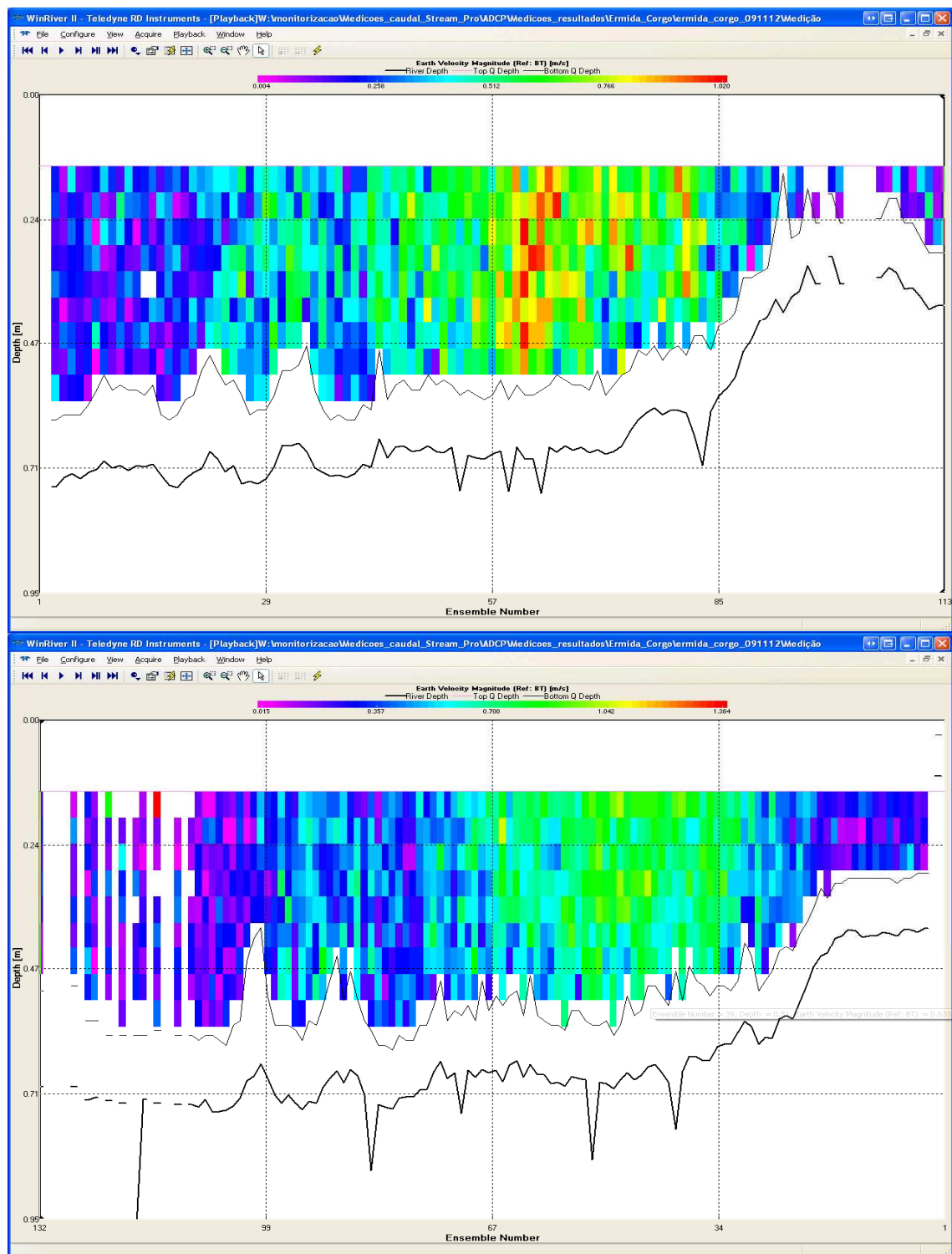
data	início	
	12-11-2009 11:49	12-11-2009 12:05

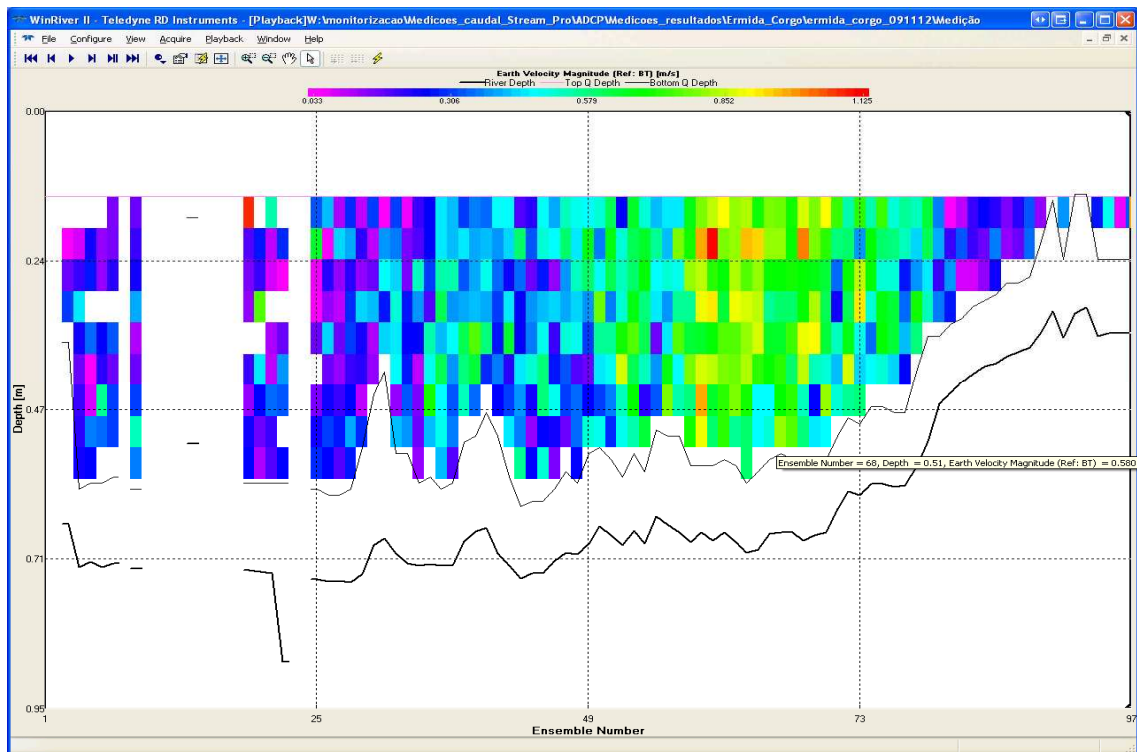
altura hidrométrica (m)	0,78	0,79

Transect	Start Bank	# En s.	Start Time	Total Q	Delta Q	To p Q	Mea s. Q	Botto m Q	Lef t Q	Left Dist.	Rig ht Q	Right Dist.	Wi dth	Total Area	Q/A rea	Boat Speed	Flow Speed	Flow Dir.	End Time	Dur ation	Start Ens.	End Ens.	Vel ocity	De pth	Ref.
ermida000	Left	159	11:49:24	3,546	2,8	0,817	2,029	0,697	0	0	0,004	1	12,58	7,97	0,445	0,088	0,391	325,21	11:52:02	158	1	159	Ref: BT	AD CP	
ermida001	Right	155	11:52:19	3,347	-2,95	0,776	1,926	0,626	0	0	0,019	1	12,55	7,74	0,433	0,087	0,408	302,82	11:54:53	154	1	155	Ref: BT	AD CP	
ermida002	Left	113	11:55:08	3,432	-0,5	0,773	2,012	0,629	0	0	0,018	1	12,4	7,830	0,438	0,116	0,398	329,72	11:57:00	112	1	113	Ref: BT	AD CP	
ermida003	Right	125	11:57:15	3,335	-3,31	0,76	1,936	0,620	0	0	0,019	1	12,45	7,830	0,426	0,106	0,382	297,29	11:59:19	124	1	125	Ref: BT	AD CP	
ermida004	Left	113	11:59:35	3,411	-1,11	0,779	1,983	0,630	0	0	0,019	1	12,34	7,810	0,437	0,111	0,385	329,3	12:01:27	112	1	113	Ref: BT	AD CP	
ermida005	Right	132	12:01:42	3,534	2,46	0,807	2,009	0,691	0	0	0,028	1	11,9	7,500	0,471	0,099	0,42	300,43	12:03:53	131	1	132	Ref: BT	AD CP	
ermida006	Left	97	12:04:10	3,54	2,62	0,818	2,073	0,633	0	0	0,015	1	12,75	7,910	0,447	0,136	0,399	333,11	12:05:46	96	1	97	Ref: BT	AD CP	
Average		127		3,449	0	0,79	1,995	0,647	0	0	0,017	1	12,42	7,800	0,442	0,106	0,398								
Std Dev.		23		0,091	2,64	0,023	0,052	0,032	0	0	0,007	0	0,27	0,15	0,0	0,017	0,013								
Std./ Avg.		0,18		0,03	0	0,03	0,03	0,05	0	0	0,41	0	0,02	0,02	0,0	0,16	0,03								









Folha de cálculo 15 - Terceira passagem do Stream Pro ADCP (Campanha 3, secção 3)

É então apresentado um conjunto de fotografias descritivas das medições realizadas na secção 3:



Álbum 4 - Terceira Campanha (secção 3)

4.3. SECÇÃO 2

O terceiro local escolhido para efectuar medições foi a secção 2.

A sondagem feita a haste, aquando das medições com o molinete C 31 e o sensor electromagnético, para uma altura hidrométrica de 1,08 metros, permitiram definir, a partir da tabela 14, o perfil transversal da figura 12.

Tabela 14 - Registos de medição (3ª Campanha, secção 2)

Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)	Altura (m)
Esquerda	0	0,0	0,00	1,08
	1	0,9	0,17	0,91
	2	1,4	0,27	0,81
	3	1,9	0,25	0,83
	4	2,4	0,33	0,75
	5	2,9	0,58	0,50
	6	3,4	0,30	0,78
	7	3,9	0,45	0,63
	8	4,4	0,37	0,71
	9	4,9	0,42	0,66
	10	5,4	0,56	0,52
	11	5,9	0,59	0,49
Direita	12	6,3	0,49	0,59
	13	6,4	0,00	1,08

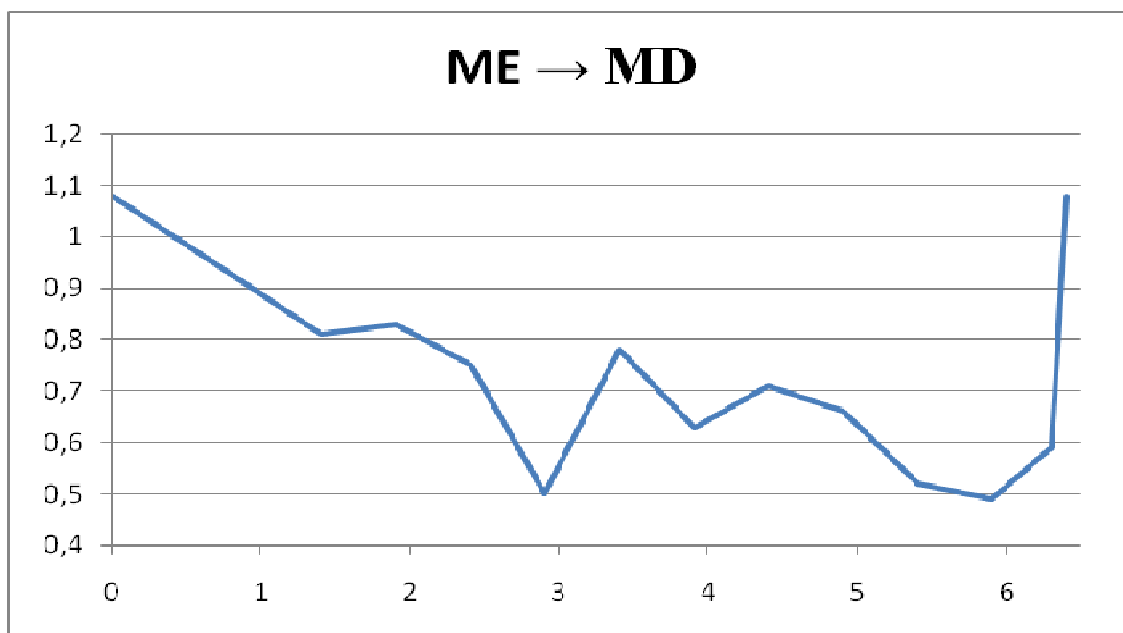


Figura 12 - Perfil Transversal (3ª Campanha, secção 2)

Obtiveram-se os seguintes caudais, áreas e correspondentes velocidades médias por secção:

Tabela 15 - Caudais, áreas e velocidades médias (3ª Campanha, secção 2)

Equipamento	H (m)	Q (m³/s)	Área (m²)	V=Q/A (m/s)
Molinete C 31	1,08	0,406	2,272	0,179
Sensor electromagnético	1,08	0,445	2,119	0,212
Stream Pro ADCP	1,08	0,484	2,210	0,220

De seguida, apresenta-se a Curva de Vazão do rio Paiva, cedida pela Empresa:

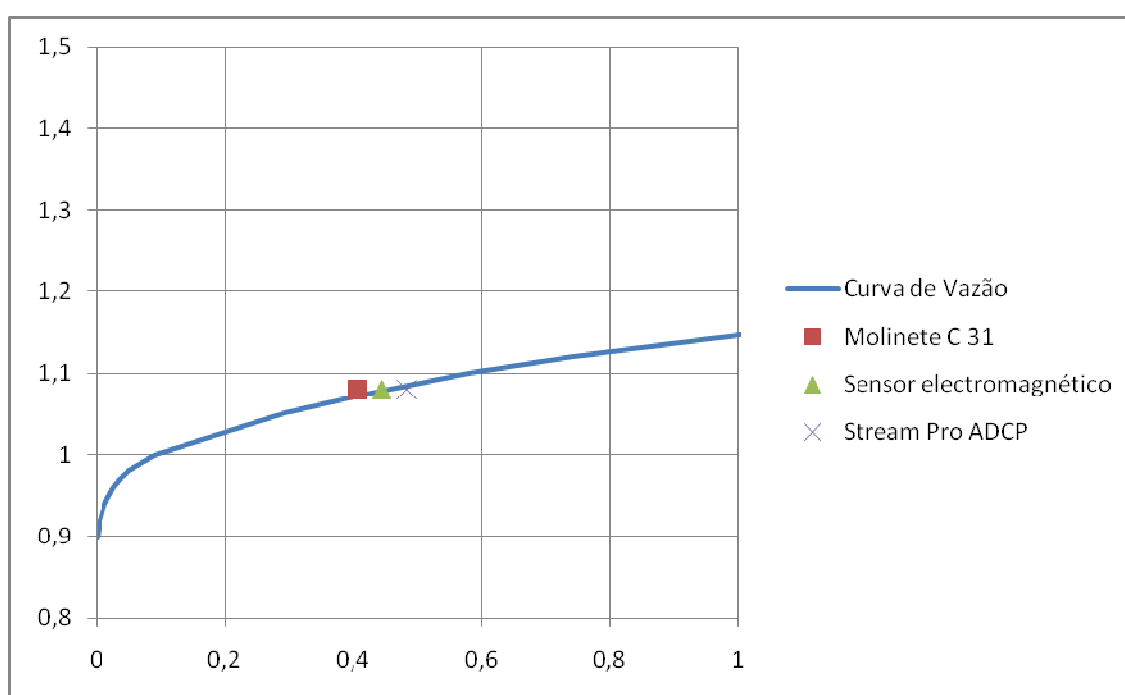


Figura 13 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (3ª Campanha, secção 2)

Para comparar o desempenho dos equipamentos, foi calculado o desvio relativo entre os valores obtidos por cada equipamento (tabela 16). A representação gráfica dos desvios pode ser visualizada através da figura 14.

Tabela 16 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (Campanha 3, secção 2)

	Q Molinete / Q Electromagnético	Q Molinete / Q Stream Pro ADCP	Q electromagnético / Q Stream Pro ADCP
Desvio (%)	8,76	16,12	8,06

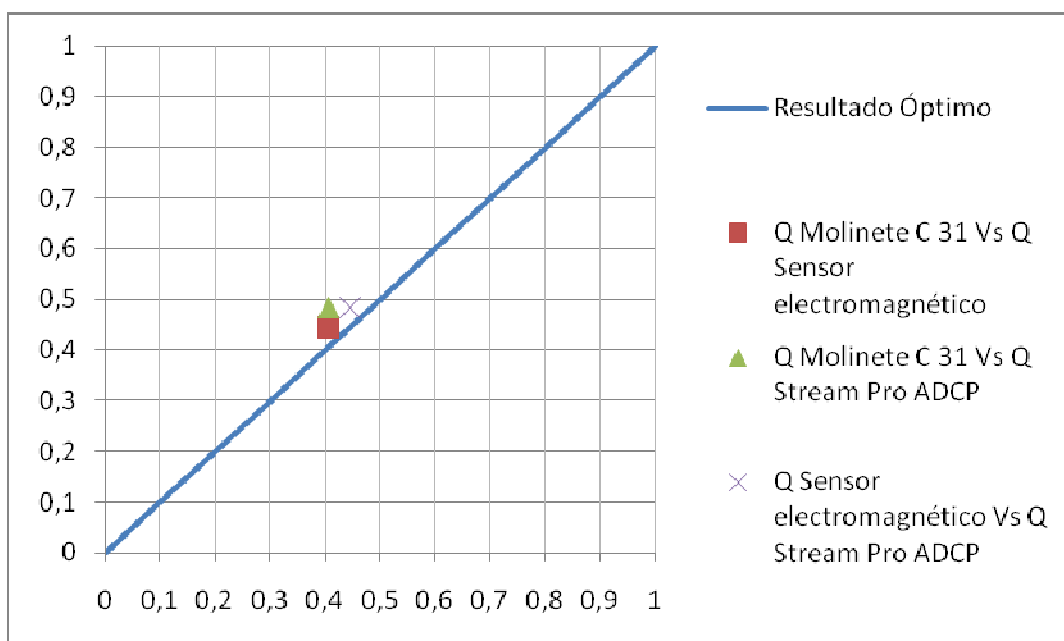


Figura 14 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 3, secção 2)

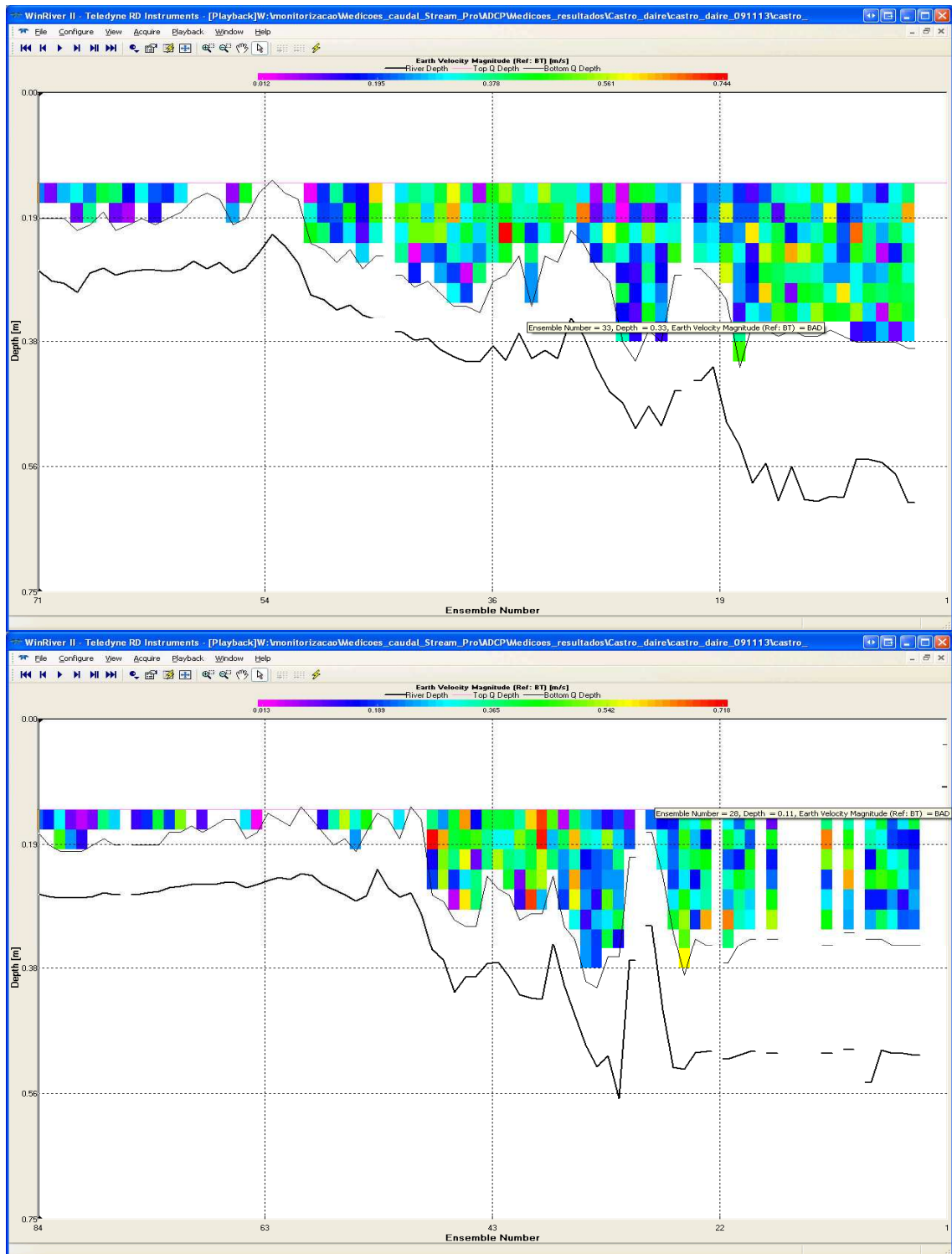
Folhas de cálculo de caudais:

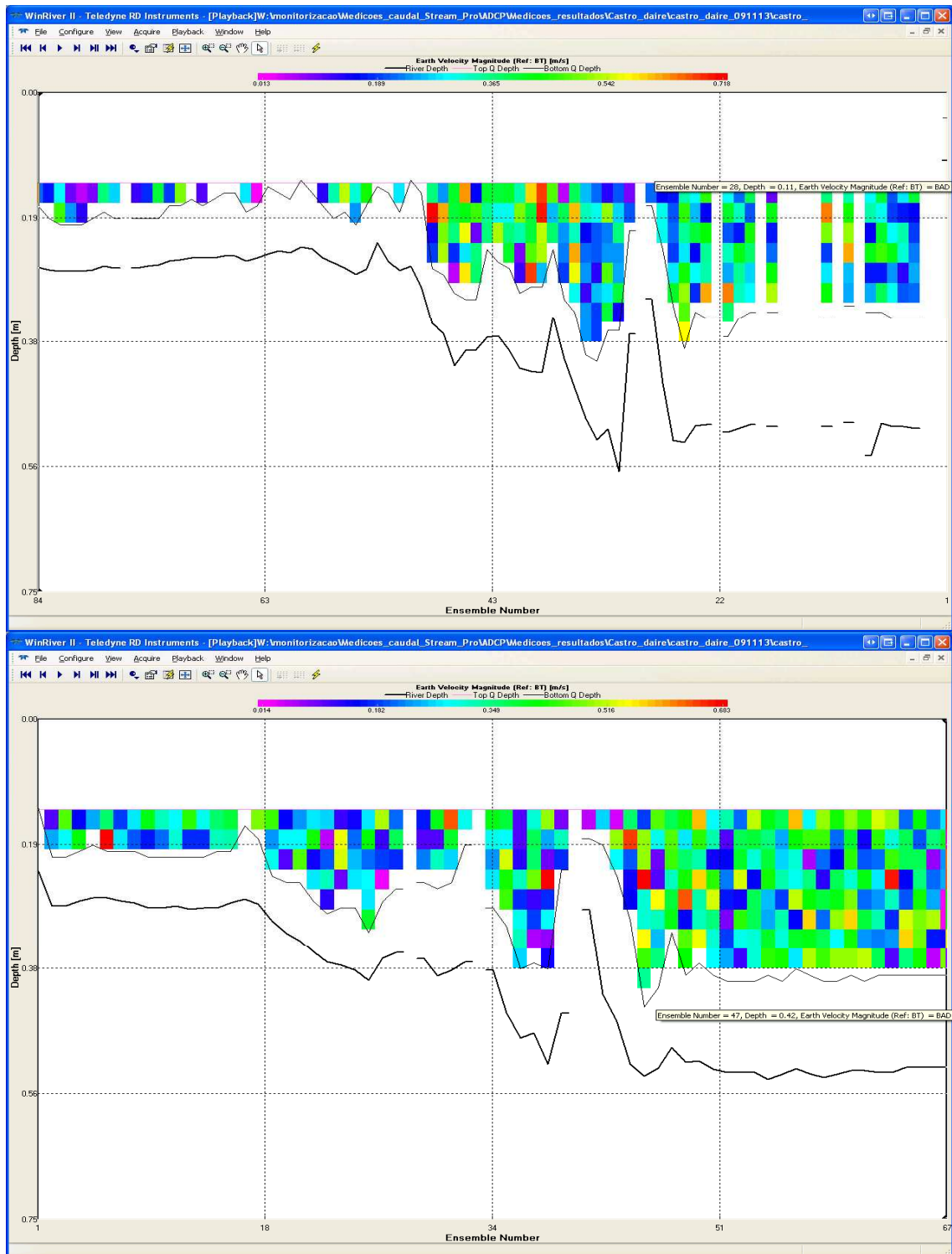
RIO- paiva					EST.HIDROL.- Castro Daire									
MOLINETE NO.-116099					DATA-12-11-08									
HELICE NO.- 1					HIDROMETRISTA-Castro									
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1					ALT. ESCALA INIC.- 1.08									
					FIM- 1.08									
SUSP.-haste					EQUACAO 41					CAUDAL= .406				
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	15.30	.00	.00										
2	.00	.00	.90	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	14	50.00	.28	.08
					.00	.17	.00	.17	.00	.17	0	50.00	.00	.00
3	.00	.00	1.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	27	50.00	.54	.14
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	17	50.00	.34	.09
					.00	.27	.00	.27	.00	.27	0	50.00	.00	.00
4	.00	.00	1.90	.00										
					.00	.15	.00	.15	.00	.15	47	50.00	.94	.24
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	0	50.00	.00	.00
5	.00	.00	2.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	38	50.00	.76	.19
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	40	50.00	.80	.20
					.00	.33	.00	.33	.00	.33	0	50.00	.00	.00
6	.00	.00	2.90	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	62	50.00	1.24	.31
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	54	50.00	1.08	.27
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	40	50.00	.80	.20
					.00	.38	.00	.38	.00	.38	0	.00	.00	.00
7	.00	.00	3.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	63	50.00	1.26	.32
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	57	50.00	1.14	.29
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	0	50.00	.00	.00
8	.00	16.00	3.90	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	75	50.00	1.50	.37
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	60	50.00	1.20	.30
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	37	50.00	.74	.19
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	17	50.00	.34	.09
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	0	50.00	.00	.00
9	.00	.00	4.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	59	50.00	1.18	.30
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	51	50.00	1.02	.26
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	34	50.00	.68	.17
					.00	.37	.00	.37	.00	.37	0	50.00	.00	.00
10	.00	.00	4.90	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	27	50.00	.54	.14
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	32	50.00	.64	.16
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	36	50.00	.72	.18
					.00	.42	.00	.42	.00	.42	0	50.00	.00	.00
11	.00	16.15	5.40	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	51	50.00	1.02	.26
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	41	50.00	.82	.21
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	11	50.00	.22	.07
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	5	50.00	.10	.04
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	0	50.00	.00	.00
					.00	.56	.00	.56	.00	.56	0	50.00	.00	.00
12	.00	.00	5.90	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	50	50.00	1.00	.25
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	47	50.00	.94	.24
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	41	50.00	.82	.21
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	32	50.00	.64	.16
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	29	50.00	.58	.15
					.00	.59	.00	.59	.00	.59	0	50.00	.00	.00
13	.00	.00	6.30	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	53	50.00	1.06	.27
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	45	50.00	.90	.23
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	23	50.00	.46	.12
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	22	50.00	.44	.12
					.00	.49	.00	.49	.00	.49	0	50.00	.00	.00
14	.00	16.30	6.40	.00										

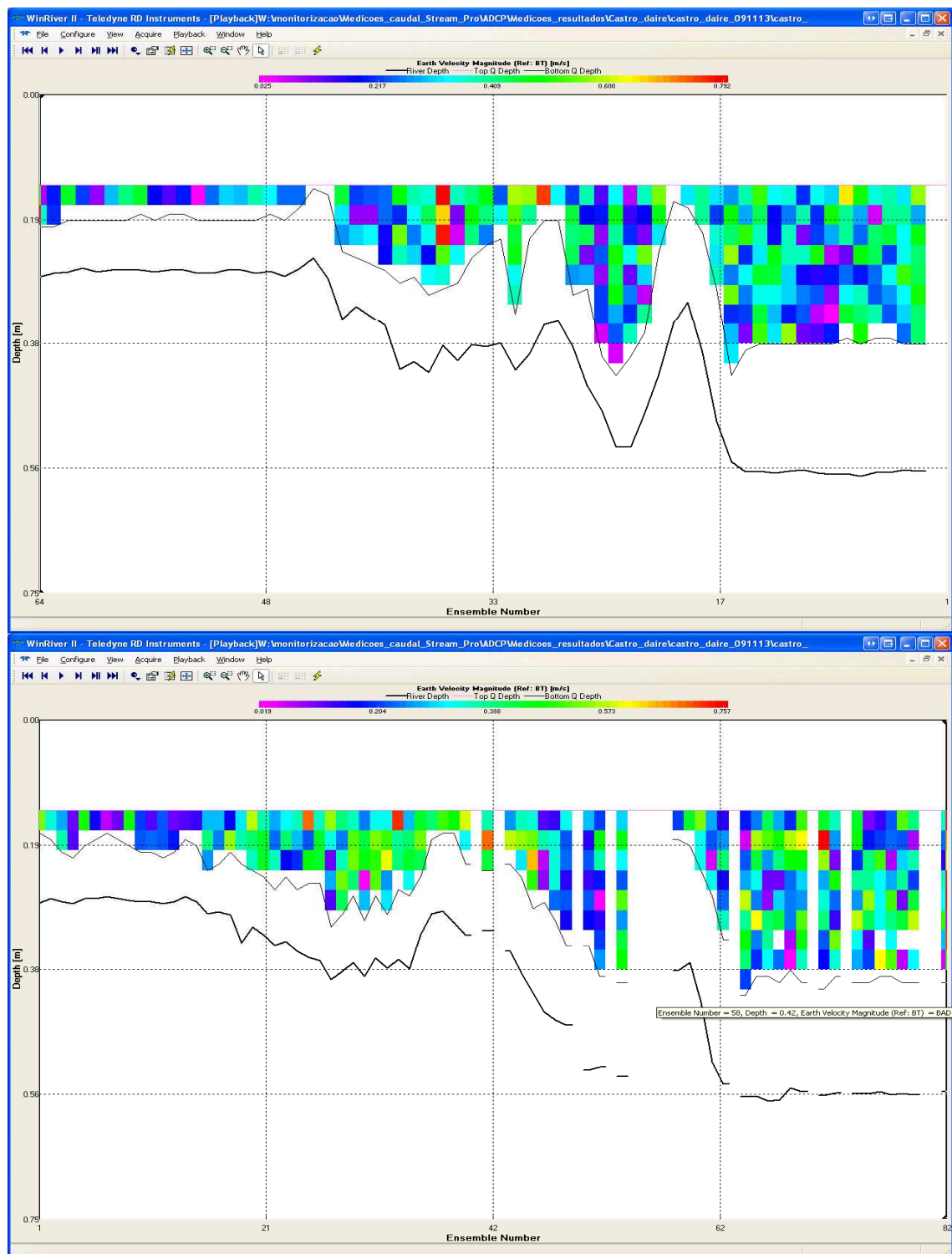
Folha de cálculo 16 - Molinete C 31 (Campanha 3, secção 2)

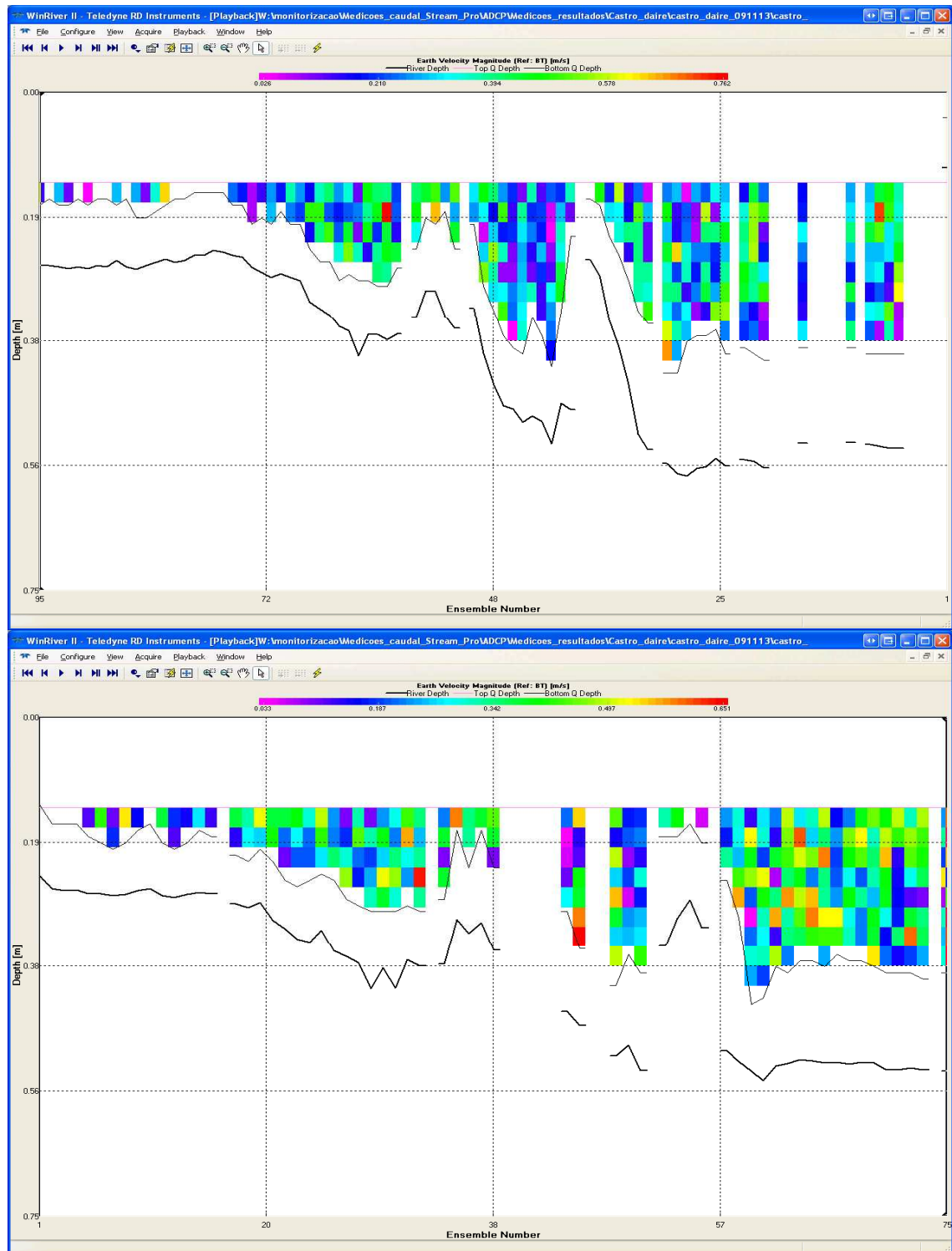
Secção de medição de Castro Daire
(EDP)

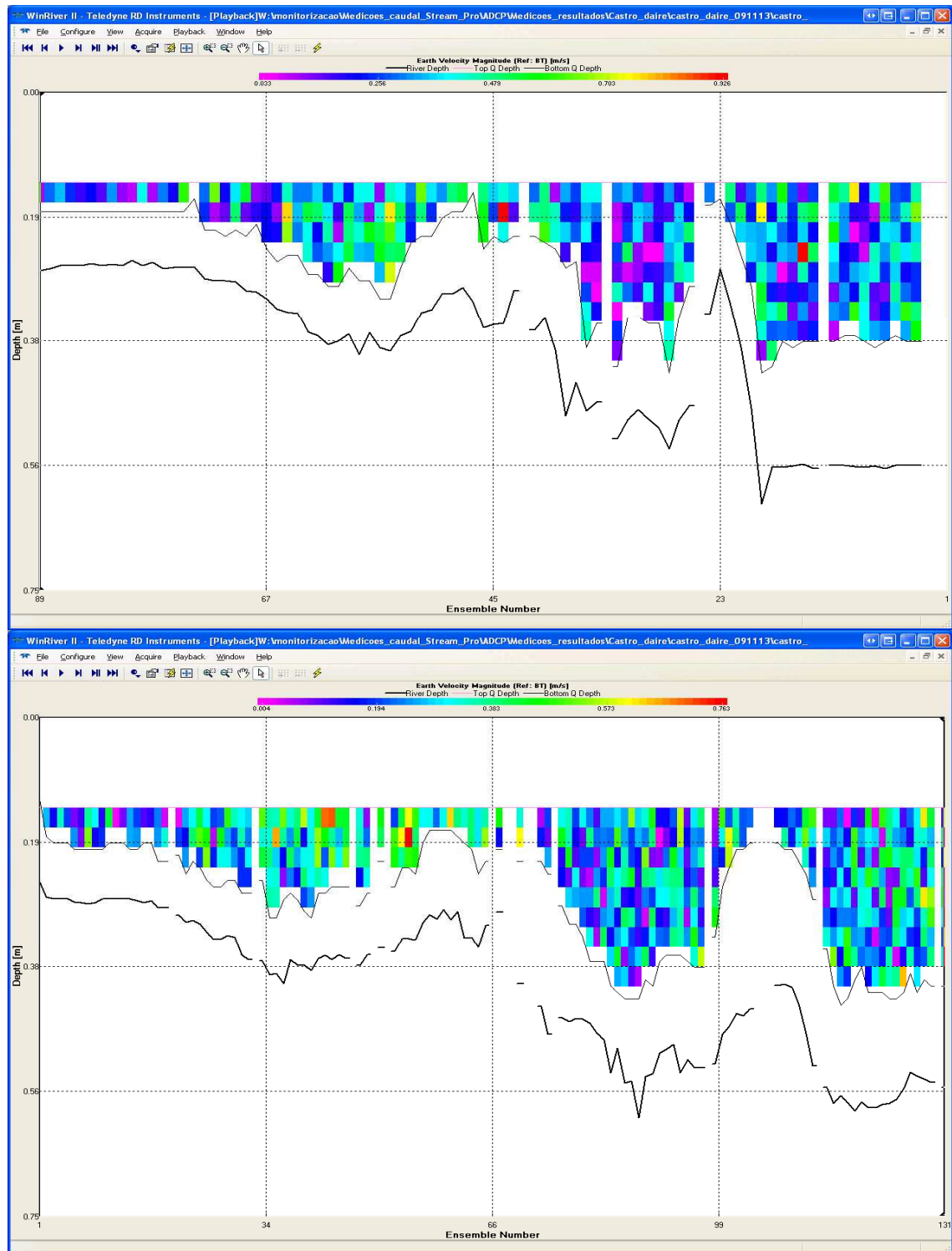
data		12-11-2009																					
altura hidrométrica (m)		1,08																					
Transect	Start Bank	# En s.	Start Time	Total Q	Delta Q	To p Q	Mea s. Q	Bottom Q	Left Dist.	Right Dist.	Width	Total Area	Q/Area	Boat Speed	Flow Speed	Flow Dir.	End Time	Duration	Start Ens.	End Ens.	Velocity	Depth	Ref.
				m³/s	%	m³/s	m³/s	m³/s	m	m³/s	m	m²	m/s	m/s	m/s	°		s			Ref.		Ref.
castro002	Right	71	16:45:36	0,464	-4,2	82	0,134	0,124	1,5	0	0	2,23	0,208	0,087	0,222	310,24	16:46:46	70	1	71		AD CP	
castro003	Left	66	16:47:09	0,513	5,84	02	0,131	0,159	2	0	0	2,03	0,252	0,079	0,264	332,78	16:48:14	65	1	66		AD CP	
castro004	Right	84	16:48:31	0,511	5,53	93	0,165	0,142	2	0	0	2,310	0,221	0,077	0,238	305,01	16:49:54	83	1	84		AD CP	
castro005	Left	67	16:50:19	0,411	15,13	46	0,116	0,106	2	0	0	2,120	0,194	0,081	0,254	333,22	16:51:25	66	1	67		AD CP	
castro006	Right	64	16:51:41	0,579	19,49	08	0,23	0,173	2	0	0	2,260	0,256	0,088	0,246	308,98	16:52:44	63	1	64		AD CP	
castro007	Left	82	16:55:30	0,544	12,44	06	0,23	0,158	2	0	0	2,240	0,243	0,07	0,259	325,4	16:56:51	81	1	82		AD CP	
castro008	Right	95	16:57:09	0,437	-9,7	67	0,16	0,104	2	0	0	2,220	0,197	0,063	0,22	308,23	16:58:43	94	1	95		AD CP	
castro009	Left	75	16:59:00	0,42	13,19	56	0,119	0,114	2	0	0	2,180	0,193	0,072	0,254	327,36	17:00:14	74	1	75		AD CP	
castro010	Right	89	17:00:29	0,51	5,22	99	0,17	0,144	2	0	0	2,09	0,243	0,063	0,245	305,76	17:01:57	88	1	89		AD CP	
castro011	Left	131	17:02:24	0,445	-	66	0,16	0,138	2	0	0	2,38	0,187	0,049	0,206	317,34	17:04:34	130	1	131		AD CP	
castro012	Right	73	17:04:49	0,493	1,88	9	0,19	0,135	2	0	0	2,19	0,225	0,077	0,254	305,4	17:06:01	72	1	73		AD CP	
Average		81		0,484	0	83	0,135	0,136	1,95	0	0	2,21	0,22	0,073	0,242								
Std Dev.		19		0,053	11,01	21	0,016	0,022	0,15	0	0	0,1	0,026	0,012	0,018								
Std./ Avg.		0,23		0,11	0	2	0,12	0,16	0,08	0	0	0,04	0,12	0,16	0,08								

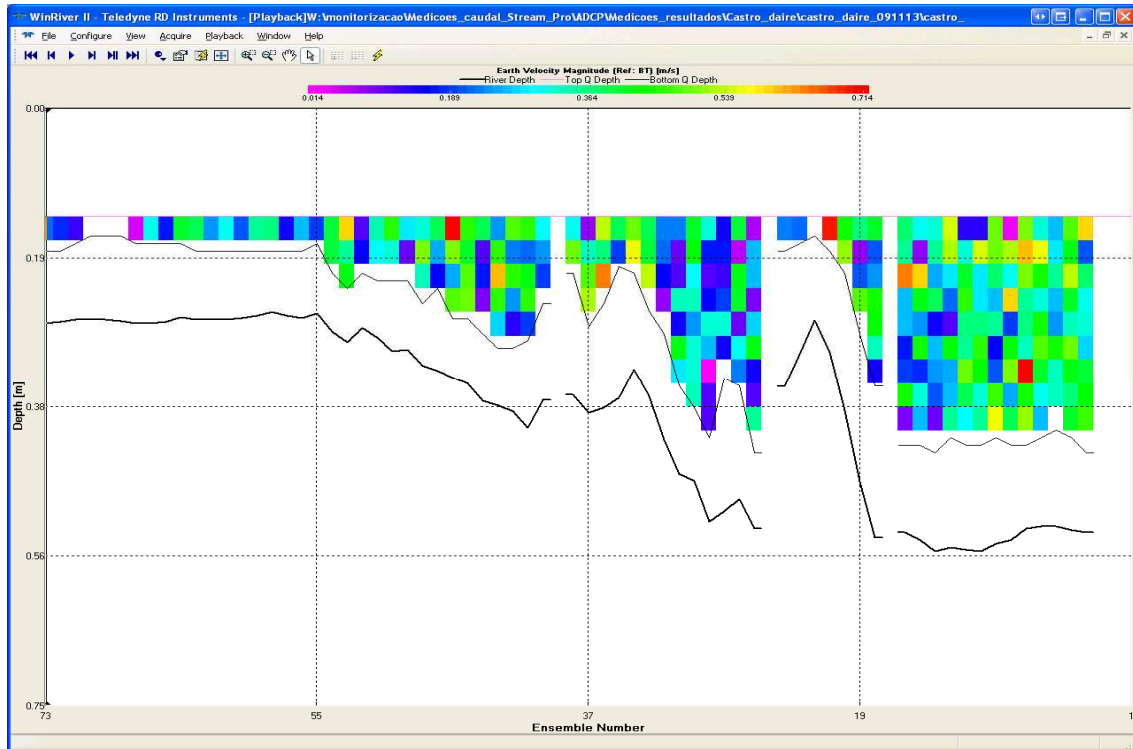












Folha de cálculo 17 - Molinete C 31 (Campanha 3, secção 2)

É então apresentado um conjunto de fotografias descritivas das medições realizadas na secção 2:



Álbum 5 - Terceira Campanha (secção 2)

5. CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE CAUDAL NÚMERO 4

5.1. SECÇÃO 1

O primeiro local escolhido para efectuar medições foi a secção 1.

A sondagem de profundidades feita a cabo, aquando das medições com o molinete C 31, para uma altura hidrométrica de 1,675 metros, permitiram definir o perfil transversal representado na figura 15, a partir da tabela que se segue:

Tabela 17 - Registos de medição (4ª Campanha, secção 1)

Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)	Altura (m)
Esquerda	0	0	0,00	1,675
	1	2	0,82	0,855
	2	3	1,07	0,605
	3	4	1,17	0,505
	4	6	1,57	0,105
	5	8	1,67	0,005
	6	10	1,57	0,105
	7	12	1,47	0,205
	8	14	1,47	0,205
	9	15	1,42	0,255
	10	16	1,07	0,605
Direita	11	17	0,00	1,675

A respectiva secção transversal, é apresentada de seguida:

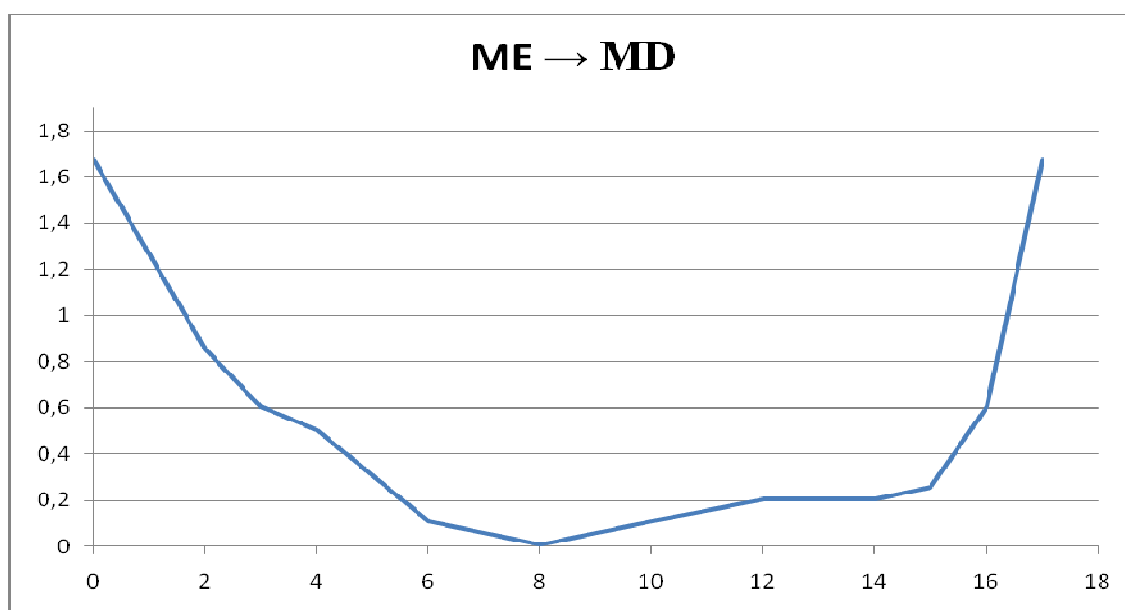


Figura 15 - Perfil Transversal (4ª Campanha, secção 1)

Obtiveram-se os seguintes caudais, áreas e correspondentes velocidades médias por secção:

Equipamento	H (m)	Q (m ³ /s)	Área (m ²)	Largura efectiva	V=Q/A (m/s)
Molinete C 31	1,675	14,65	21,31	14,0	0,688
River Surveyor M9	1,675	13,17	18,10	15,7	0,728
	1,710	13,47	17,50	15,4	0,770

De seguida, apresenta-se a Curva de Vazão do rio Paiva, cedida pela Empresa EDP:

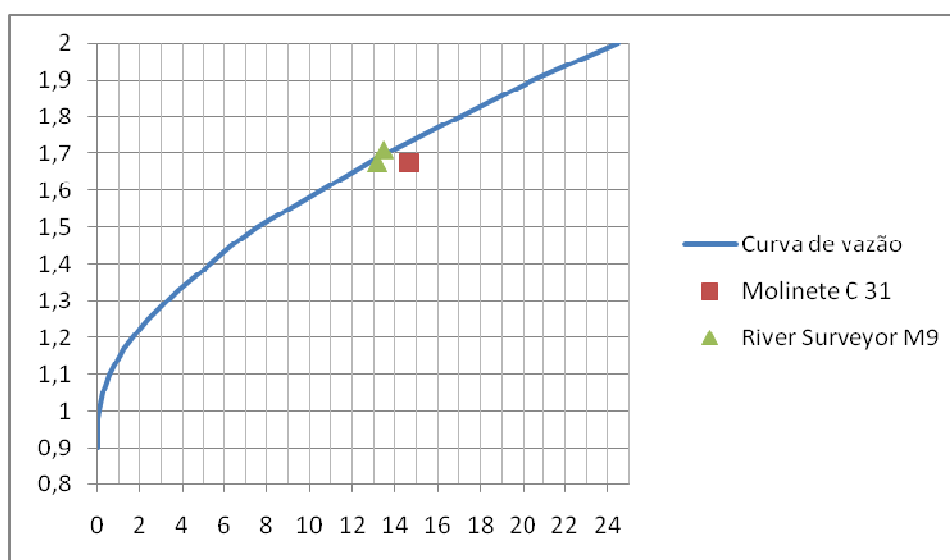


Figura 16 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (4ª Campanha, secção 1)

Para comparar o desempenho dos equipamentos, foi calculado o desvio relativo entre os valores obtidos por cada equipamento (tabela 19). A representação gráfica dos desvios pode ser visualizada através da figura 17.

Tabela 19 - Desvio entre os caudais obtidos pelos equipamentos (Campanha 4, secção 1)

Q Molinete C 31 / Q river Surveyor M9	
Desvio (%)	11,27

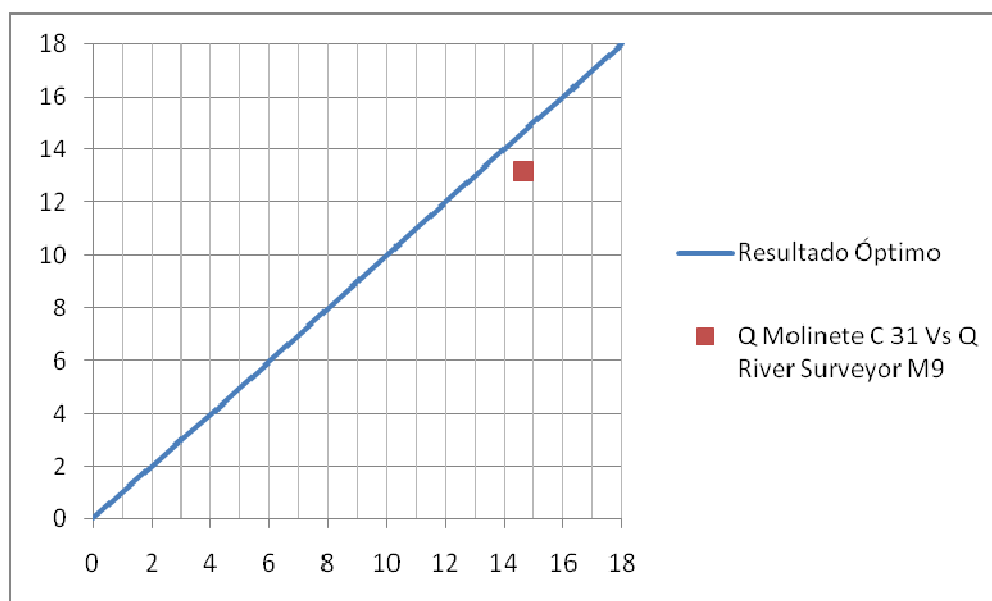


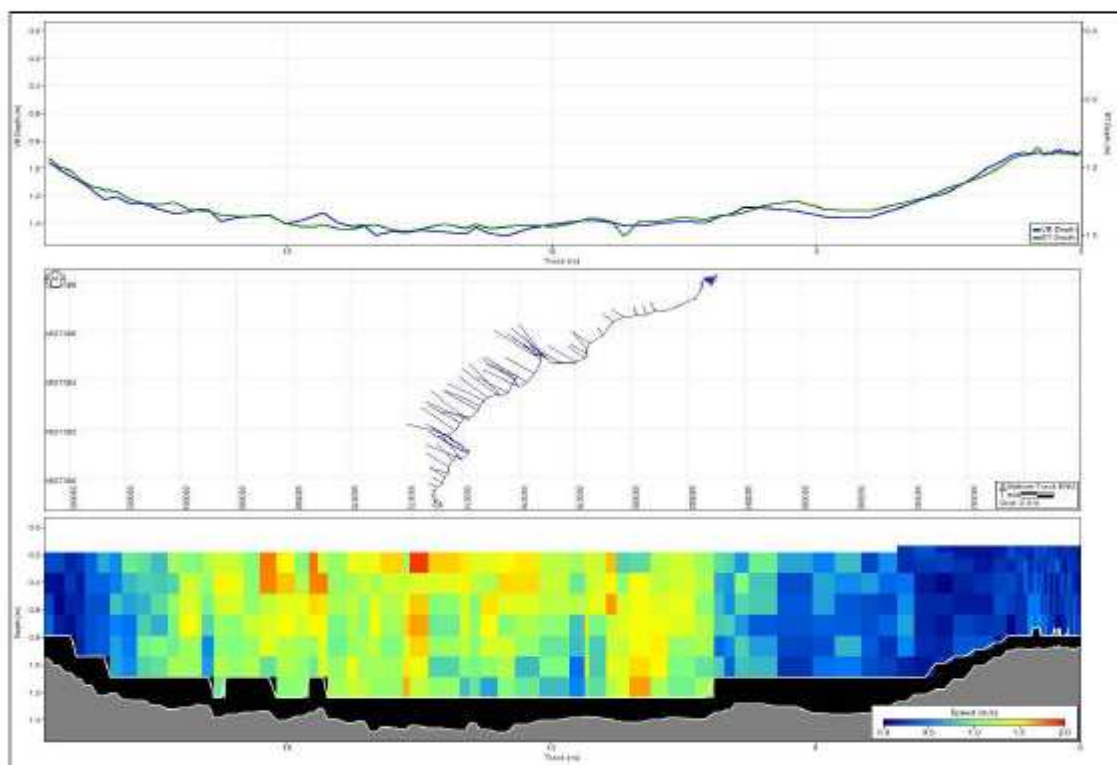
Figura 17 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 4, secção 1)

Folhas de cálculo de caudais:

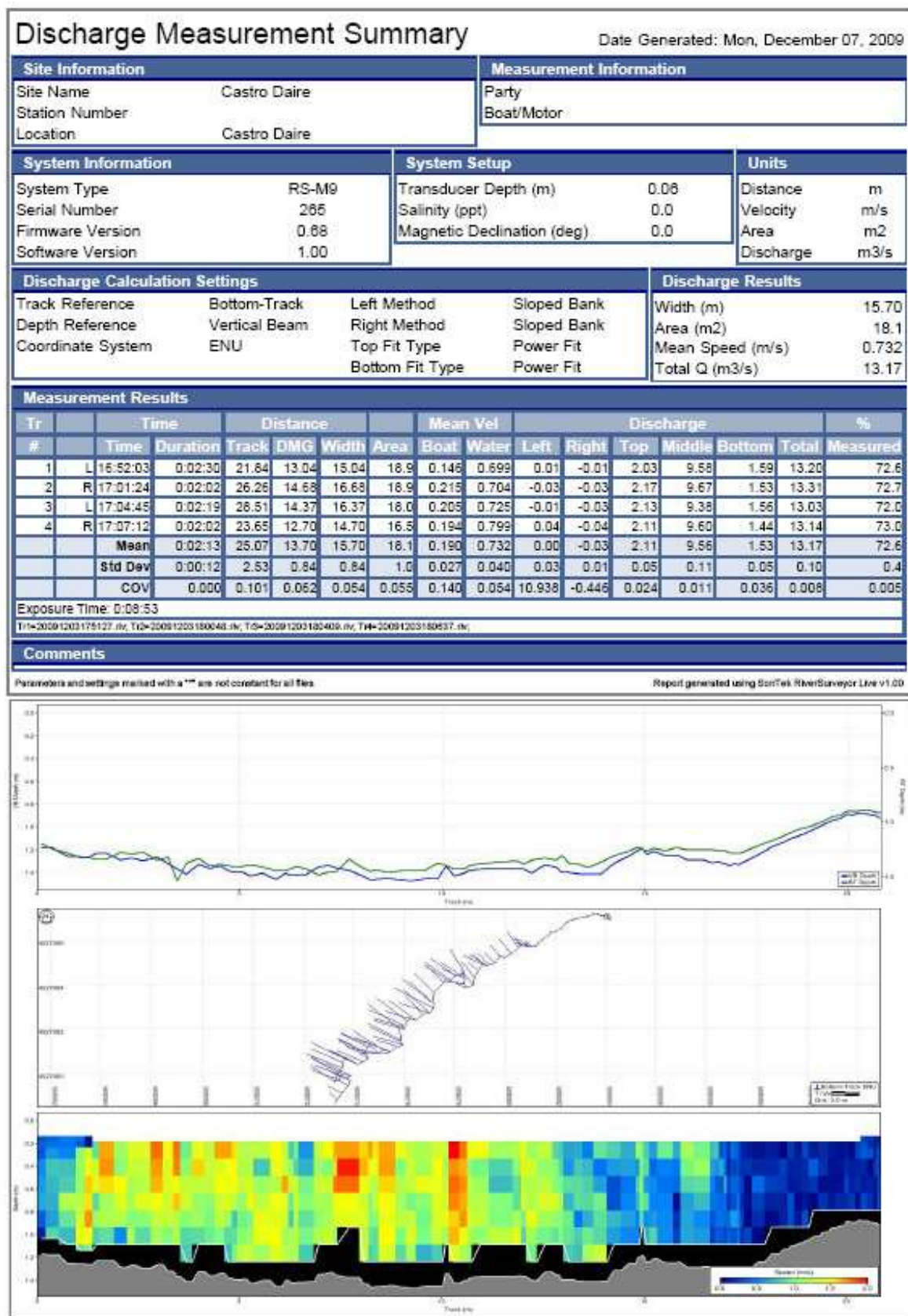
RIO- paiva										EST.HIDROL.- Casto Daire					
MOLINETE NO.-116099										DATA-03-12-09					
HELICE NO.- 2										HIDROMETRISTA-Pcunha					
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1										ALT. ESCALA INIC.- 1.68					
PESO- 50 kg										FIM - 1.67					
SUSP.-cabo										CAUDAL= 14.654					
EQUACAO 46															
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL	
1	.00	15.25	.00	.00											
2	.00	.00	30.97	.00											
3	.00	.00	32.97	.00											
4	.00	.00	33.97	.00	.00	.82	.00	.82	.00	.82	0	50.00	.00	.00	
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	7	50.00	.14	.09	
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	5	50.00	.10	.07	
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	3	50.00	.06	.06	
					.00	.90	.00	.90	.00	.90	9	50.00	.18	.10	
					.00	1.07	.00	1.07	.00	1.07	0	50.00	.00	.00	
5	.00	.00	34.97	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	65	50.00	1.30	.63	
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	74	50.00	1.48	.72	
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	77	50.00	1.54	.74	
					.00	1.00	.00	1.00	.00	1.00	54	50.00	1.08	.52	
					.00	1.17	.00	1.17	.00	1.17	0	50.00	.00	.00	
6	.00	15.55	36.97	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	169	50.00	3.38	1.63	
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	163	50.00	3.26	1.57	
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	139	50.00	2.78	1.34	
					.00	1.10	.00	1.10	.00	1.10	105	50.00	2.10	1.01	
					.00	1.40	.00	1.40	.00	1.40	62	50.00	1.24	.60	
					.00	1.57	.00	1.57	.00	1.57	0	50.00	.00	.00	
7	.00	.00	38.97	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	156	50.00	3.12	1.51	
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	130	50.00	2.60	1.26	
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	103	50.00	2.06	1.00	
					.00	1.20	.00	1.20	.00	1.20	96	50.00	1.92	.93	
					.00	1.50	.00	1.50	.00	1.50	89	50.00	1.78	.86	
					.00	1.67	.00	1.67	.00	1.67	0	50.00	.00	.00	
8	.00	.00	40.97	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	136	50.00	2.72	1.31	
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	130	50.00	2.60	1.26	
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	124	50.00	2.48	1.20	
					.00	1.10	.00	1.10	.00	1.10	96	50.00	1.92	.93	
					.00	1.40	.00	1.40	.00	1.40	93	50.00	1.86	.90	
					.00	1.57	.00	1.57	.00	1.57	0	50.00	.00	.00	
9	.00	.00	42.97	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	75	50.00	1.50	.73	
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	46	50.00	.92	.45	
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	39	50.00	.78	.38	
					.00	1.00	.00	1.00	.00	1.00	48	50.00	.96	.47	
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	70	50.00	1.40	.68	
					.00	1.47	.00	1.47	.00	1.47	0	50.00	.00	.00	
10	.00	16.20	44.97	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	55	50.00	1.10	.53	
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	15	50.00	.30	.15	
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	23	50.00	.46	.22	
					.00	1.10	.00	1.10	.00	1.10	26	50.00	.52	.24	
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	14	50.00	.28	.14	
					.00	1.47	.00	1.47	.00	1.47	0	50.00	.00	.00	
11	.00	16.25	45.97	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	10	50.00	.20	.11	
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	9	50.00	.18	.10	
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	10	50.00	.20	.11	
					.00	1.10	.00	1.10	.00	1.10	13	50.00	.26	.14	
					.00	1.25	.00	1.25	.00	1.25	16	50.00	.32	.16	
					.00	1.42	.00	1.42	.00	1.42	0	50.00	.00	.00	
12	.00	16.33	46.97	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	7	50.00	.14	.09	
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	8	50.00	.16	.10	
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	7	50.00	.14	.09	
					.00	.90	.00	.90	.00	.90	9	50.00	.18	.10	
					.00	1.07	.00	1.07	.00	1.07	0	50.00	.00	.00	
13	.00	16.35	47.97	.00											

Folha de cálculo 18 - Molinete C 31 (Campanha 4, secção 1)

Discharge Measurement Summary										Date Generated: Mon, December 07, 2009									
Site Information								Measurement Information											
Site Name		Castro Daire						Party											
Station Number								Boat/Motor											
Location		Castro Daire																	
System Information								System Setup						Units					
System Type		RS-M9						Transducer Depth (m)		0.08		Distance		m					
Serial Number		265						Salinity (ppt)		0.0		Velocity		m/s					
Firmware Version		0.68						Magnetic Declination (deg)		0.0°		Area		m2					
Software Version		1.00										Discharge		m3/s					
Discharge Calculation Settings										Discharge Results									
Track Reference		Bottom-Track		Left Method		Sloped Bank		Width (m)		15.40									
Depth Reference		Vertical Beam		Right Method		Sloped Bank		Area (m2)		17.5									
Coordinate System		ENU		Top Fit Type		Power Fit		Mean Speed (m/s)		0.771									
				Bottom Fit Type		Power Fit		Total Q (m3/s)		13.47									
Measurement Results																			
Tr		Time		Distance				Mean Vel		Discharge						%			
#		Time	Duration	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	Measured			
1	R	12:41:25	0:02:26	23.90	12.52	14.52	16.9	0.164	0.780	-0.02	-0.04	2.04	9.83	1.38	13.19	74.5			
2	L	16:29:51	0:04:08	37.65	13.82	15.82	18.2	0.152	0.733	-0.02	-0.02	2.03	9.94	1.43	13.37	74.3			
3	R	16:34:09	0:03:25	34.10	13.86	15.86	17.3	0.166	0.800	-0.04	-0.04	2.19	10.13	1.61	13.84	73.2			
		Mean	0:03:20	31.88	13.40	15.40	17.5	0.161	0.771	-0.03	-0.03	2.09	9.97	1.47	13.47	74.0			
		Std Dev	0:00:42	5.83	0.62	0.62	0.6	0.006	0.028	0.01	0.01	0.07	0.13	0.10	0.28	0.6			
		COV	0.000	0.183	0.046	0.040	0.032	0.039	0.036	-0.465	-0.317	0.034	0.013	0.067	0.020	0.008			
Exposure Time: 0:09:59																			
Trk=20091203134050.rv; Tq=20091203131456.rv; Td=20091203131914.rv																			
Comments																			
Parameters and settings marked with a "*" are not constant for all files.																			
Report generated using SonTek RiverSurveyor Live v1.00																			



Folha de cálculo 19 - River Surveyor M9, manhã (Campanha 4, secção 1)



Folha de cálculo 20 - River Surveyor M9, tarde (Campanha 4, secção 1)

Segue-se um conjunto de fotografias descritivas das medições realizadas na secção 1:



Álbum 6 - Quarta Campanha (secção 1)

5.2. SECÇÃO 4

O segundo local escolhido para efectuar medições foi a secção 4.

A sondagem de profundidades feita a cabo, aquando das medições com o molinete C 31, para uma altura hidrométrica de 1,5 metros, permitiram definir o perfil transversal da figura 18, a partir da tabela que se segue:

Tabela 20 - Registos de medição (4ª Campanha, secção 4)

Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)	Altura (m)
Direita	0	54,13	0,00	1,50
	1	56	0,20	1,30
	2	59	0,35	1,15
	3	62	0,60	0,90
	4	65	1,00	0,50
	5	68	0,72	0,78
	6	70	0,69	0,81
	7	72	0,69	0,81
	8	74	0,71	0,79
	9	76	0,73	0,77
	10	78	0,75	0,75
	11	80	0,70	0,80
	12	82	0,71	0,79
	13	84	0,79	0,71
	14	86	0,81	0,69
	15	88	0,95	0,55
	16	90	0,90	0,60
	17	92	0,82	0,68
	18	94	0,92	0,58
	19	96	0,78	0,72
	20	98	0,62	0,88
	21	100	0,18	1,32
Esquerda	22	103,2	0,00	1,50

A respectiva secção transversal é apresentada de seguida:

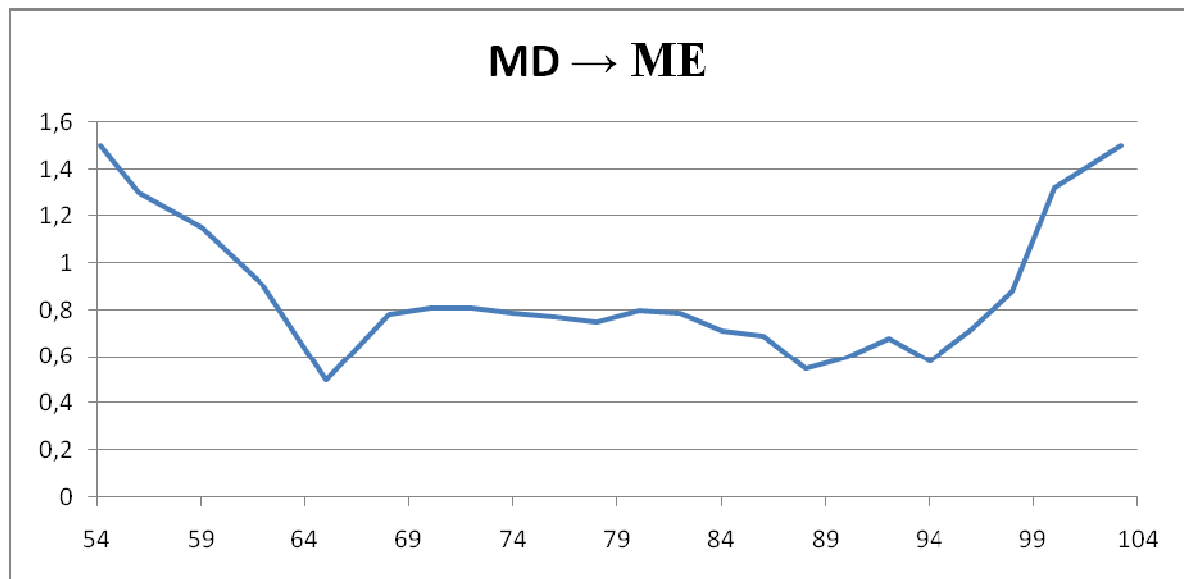


Figura 18 - Perfil Transversal (4ª Campanha, secção 4)

Obtiveram-se os seguintes caudais, áreas e correspondentes velocidades médias por secção:

Tabela 21 - Caudais, áreas e velocidades médias (4ª Campanha, secção 4)

Equipamento	H (m)	Q (m³/s)	Área (m²)	Largura efectiva	V=Q/A (m/s)
Molinete C 31	1,50	21,355	31,745	49,70	0,673
River Surveyor M9	1,50	14,500	27,500	44,19	0,527
Stream Pro ADCP	1,50	19,339	25,640	38,48	0,754

De seguida, apresenta-se a Curva de Vazão do rio Sabor, cedida pela Empresa EDP:

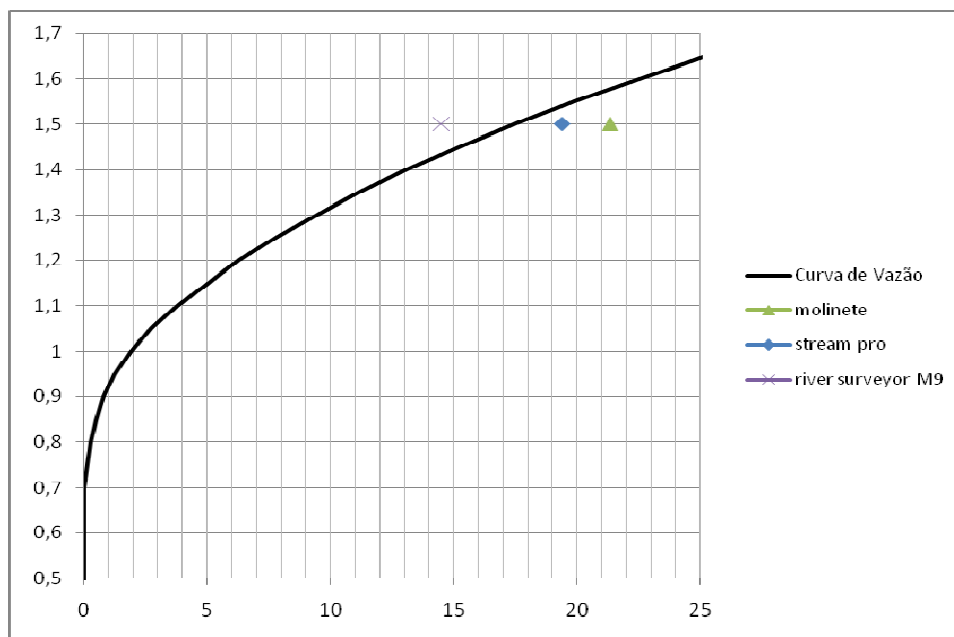


Figura 19 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio (4ª Campanha, secção 4)

Para comparar o desempenho dos equipamentos, foi calculado o desvio relativo entre os valores obtidos por cada equipamento (tabela 22). A representação gráfica dos desvios pode ser visualizada através da figura 20.

	Q Molinete C 31 / Q River Surveyor M9	Q Molinete / Q Stream Pro ADCP	Q Stream Pro ADCP / Q River Surveyor M9
Desvio (%)	32,10	9,44	25,02

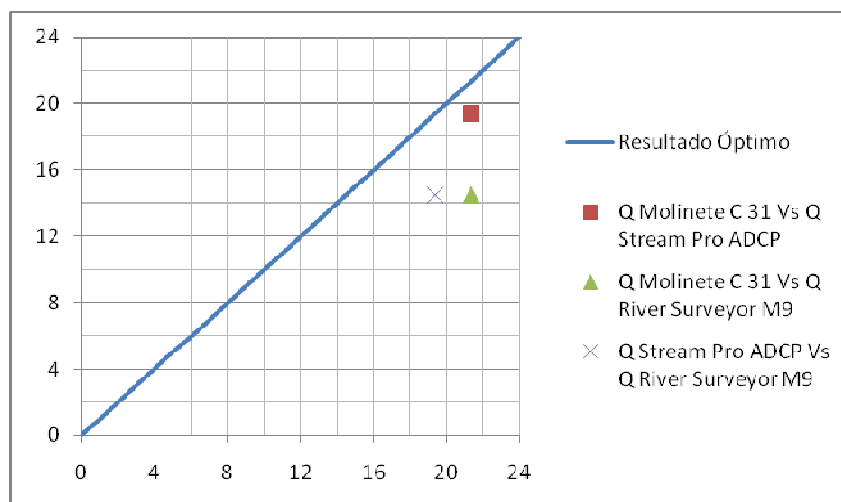


Figura 20 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 4, secção 4)

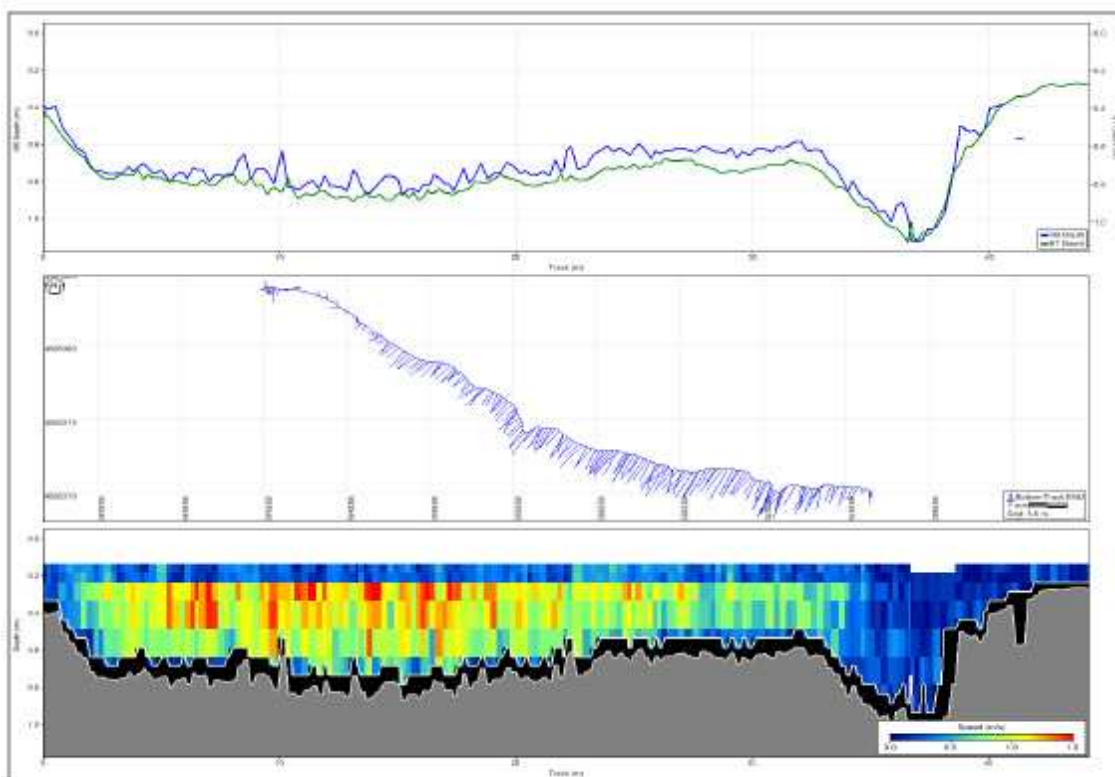
Folhas de cálculo de caudais:

RIO- Sabor					EST.HIDROL.- Ponte Remondes									
MOLINETE NO.-116099					DATA-04-12-09									
HELICE NO.- 2					HIDROMETRISTA-Pcunha									
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1					ALT. ESCALA INIC.- 1.50									
PESO- 25.0 Kg					FIM - 1.50									
SUSP.-cabo					EQUACAO 45					CAUDAL= 21.355				
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	9.00	.00	.00										
2	.00	.00	54.13	.00										
3	.00	.00	56.00	.00										
4	.00	.00	59.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	0	50.00	.00	.00
5	.00	9.25	62.00	.00	.00	.35	.00	.35	.00	.35	0	50.00	.00	.00
6	.00	.00	65.00	.00	.00	.60	.00	.60	.00	.60	0	50.00	.00	.00
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	1	50.00	.02	.04
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	0	50.00	.00	.00
					.00	.75	.00	.75	.00	.75	0	50.00	.00	.00
					.00	1.00	.00	1.00	.00	1.00	0	50.00	.00	.00
7	.00	.00	68.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	43	50.00	.86	.42
					.00	.47	.00	.47	.00	.47	31	50.00	.62	.30
					.00	.72	.00	.72	.00	.72	0	50.00	.00	.00
8	.00	.00	70.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	67	50.00	1.34	.64
					.00	.44	.00	.44	.00	.44	54	50.00	1.08	.52
					.00	.69	.00	.69	.00	.69	0	50.00	.00	.00
9	.00	.00	72.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	88	50.00	1.76	.85
					.00	.44	.00	.44	.00	.44	70	50.00	1.40	.67
					.00	.69	.00	.69	.00	.69	0	50.00	.00	.00
10	.00	.00	74.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	103	50.00	2.06	.99
					.00	.46	.00	.46	.00	.46	84	50.00	1.68	.81
					.00	.71	.00	.71	.00	.71	0	50.00	.00	.00
11	.00	.00	76.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	112	50.00	2.24	1.08
					.00	.48	.00	.48	.00	.48	93	50.00	1.86	.89
					.00	.73	.00	.73	.00	.73	0	50.00	.00	.00
12	.00	.00	78.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	113	50.00	2.26	1.09
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	90	50.00	1.80	.87
					.00	.75	.00	.75	.00	.75	0	50.00	.00	.00
13	.00	.00	80.00	.00										
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	125	50.00	2.50	1.20
					.00	.45	.00	.45	.00	.45	114	50.00	2.28	1.10
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	0	50.00	.00	.00
14	.00	.00	82.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	124	50.00	2.48	1.19
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	112	50.00	2.24	1.08
					.00	.56	.00	.56	.00	.56	90	50.00	1.80	.87
					.00	.81	.00	.81	.00	.81	0	50.00	.00	.00
15	.00	10.05	84.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	135	50.00	2.70	1.30
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	124	50.00	2.48	1.19
					.00	.54	.00	.54	.00	.54	105	50.00	2.10	1.01
					.00	.79	.00	.79	.00	.79	0	50.00	.00	.00
16	.00	.00	86.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	141	50.00	2.82	1.35
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	121	50.00	2.42	1.16
					.00	.56	.00	.56	.00	.56	116	50.00	2.32	1.11
					.00	.81	.00	.81	.00	.81	0	50.00	.00	.00
17	.00	.00	88.00	.00										
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	147	50.00	2.94	1.41
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	109	50.00	2.18	1.05
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	78	50.00	1.56	.75
					.00	.95	.00	.95	.00	.95	0	50.00	.00	.00

18	.00	.00	90.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	139	50.00	2.78	1.33
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	102	50.00	2.04	.98
					.00	.65	.00	.65	.00	.65	88	50.00	1.76	.85
					.00	.90	.00	.90	.00	.90	0	50.00	.00	.00
19	.00	10.30	92.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	140	50.00	2.80	1.34
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	122	50.00	2.44	1.17
					.00	.57	.00	.57	.00	.57	87	50.00	1.74	.84
					.00	.82	.00	.82	.00	.82	0	50.00	.00	.00
20	.00	11.12	94.00	.00	.00	.22	.00	.22	.00	.22	138	50.00	2.76	1.33
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	120	50.00	2.40	1.15
					.00	.67	.00	.67	.00	.67	86	50.00	1.72	.83
					.00	.92	.00	.92	.00	.92	0	50.00	.00	.00
21	.00	.00	96.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	103	50.00	2.06	.99
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	108	50.00	2.16	1.04
					.00	.53	.00	.53	.00	.53	92	50.00	1.84	.88
					.00	.78	.00	.78	.00	.78	0	50.00	.00	.00
22	.00	.00	98.00	.00	.00	.20	.00	.20	.00	.20	55	50.00	1.10	.53
					.00	.37	.00	.37	.00	.37	40	50.00	.80	.39
					.00	.62	.00	.62	.00	.62	0	50.00	.00	.00
23	.00	.00	100.00	.00	.00	.08	.00	.08	.00	.08	24	50.00	.48	.23
					.00	.18	.00	.18	.00	.18	0	50.00	.00	.00
24	.00	11.30	103.20	.00										

Folha de cálculo 21 - Molinete C 31 (Campanha 4, secção 4)

Discharge Measurement Summary													Date Generated: Mon, December 07, 2009				
Site Information								Measurement Information									
Site Name				Ponte Remondes				Party									
Station Number								Boat/Motor									
Location				Remondes													
System Information						System Setup						Units					
System Type		RS-M9		Transducer Depth (m)		0.08		Distance		m							
Serial Number		265		Salinity (ppt)		0.0		Velocity		m/s							
Firmware Version		0.68		Magnetic Declination (deg)		2.9		Area		m2							
Software Version		1.00						Discharge		m3/s							
Discharge Calculation Settings											Discharge Results						
Track Reference		Bottom-Track		Left Method		Sloped Bank		Width (m)		44.19							
Depth Reference		Vertical Beam		Right Method		Sloped Bank		Area (m2)		27.5							
Coordinate System		ENU		Top Fit Type		Power Fit		Mean Speed (m/s)		0.527							
				Bottom Fit Type		Power Fit		Total Q (m3/s)		14.50							
Measurement Results																	
Tr		Time		Distance				Mean Vel		Discharge					%		
#		Time	Duration	Track	DMG	Width	Area	Boat	Water	Left	Right	Top	Middle	Bottom	Total	Measured	
1	R	10:21:48	0:05:11	55.21	40.51	43.51	27.1	0.178	0.534	0.00	0.00	3.10	9.99	1.37	14.46	69.1	
2	L	10:27:44	0:04:32	46.95	38.10	43.10	27.6	0.173	0.520	0.05	0.01	3.03	9.93	1.35	14.36	69.1	
3	L	10:37:05	0:03:35	49.56	40.53	45.53	27.5	0.230	0.535	0.06	0.00	3.19	10.03	1.40	14.69	68.3	
4	L	10:46:20	0:03:31	48.55	39.64	44.64	27.8	0.230	0.520	0.04	-0.00	3.04	10.07	1.33	14.47	69.6	
		Mean	0:04:12	50.07	39.69	44.19	27.5	0.203	0.527	0.04	0.00	3.09	10.01	1.36	14.50	69.0	
		Std Dev	0:00:42	3.11	0.99	0.95	0.3	0.028	0.007	0.02	0.00	0.07	0.05	0.03	0.12	0.5	
		COV	0.000	0.062	0.025	0.022	0.010	0.137	0.014	0.612	2.275	0.021	0.005	0.020	0.008	0.007	
Exposure Time: 0:16:49																	
Tr1=20091204102148.rv; Tr2=20091204102744.rv; Tr3=20091204103705.rv; Tr4=20091204104620.rv;																	
Comments																	
Parameters and settings marked with a "*" are not constant for all files.																	
Report generated using SonTek RiverSurveyor Live v1.00																	



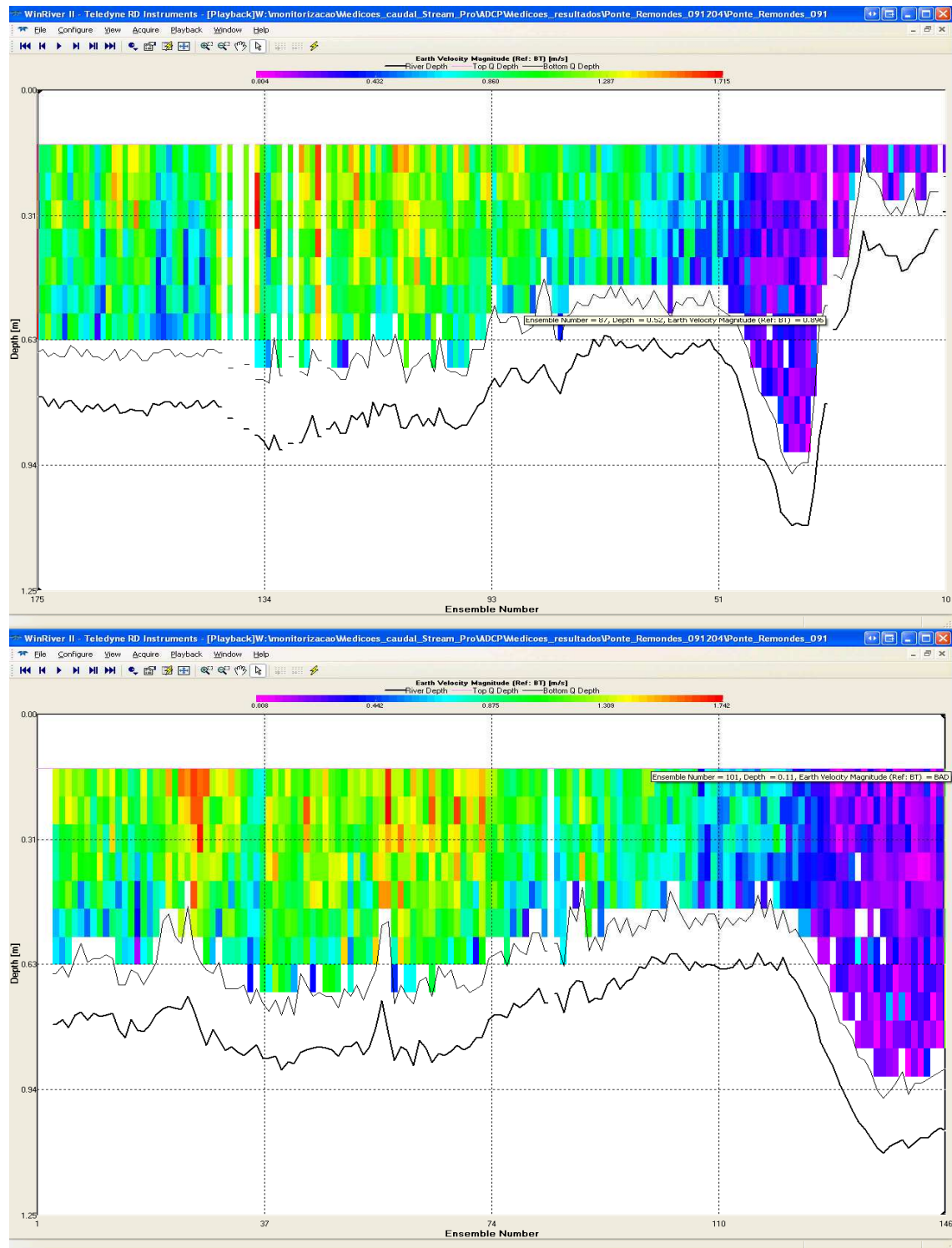
Folha de cálculo 22 - River Surveyor M9 (Campanha 4, secção 4)

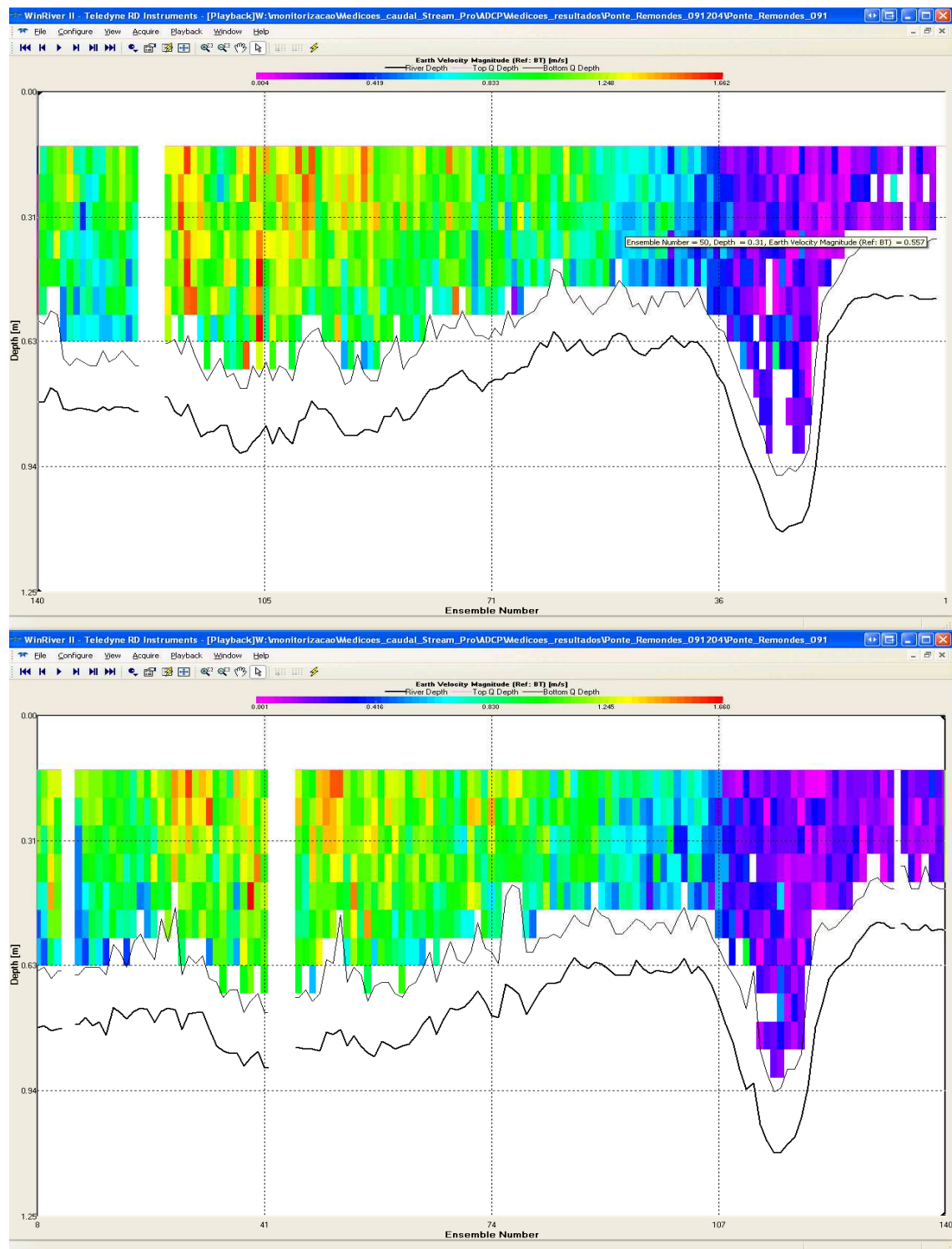
Secção de medição de Ponte
Remondes (EDP)

data	04-12-2009 00:00

altura hidrométrica (m)	??

Transect	Start Bank	# En S.	Start Time	Total Q	Delta a Q	To p Q	Mea s.Q	Botto m Q	Lef tQ	Left Dist.	Rig ht Q	Wid th	Total Area	Q/A rea	Boat Speed	Flow Speed	Flow Dir.	End Time	Dura tion	Start Ens.	End Ens.	Velo city	De pth	Ref.
				m³/s	%	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m	m³/s	m	m²	m/s	m/s	m/s	°	s	s			Ref.		
Ponte003	Right	159	11:08:51	19,575	1,22	3,676	11,037	3,406	1,48	6	0,024	3	40,32	0,7	0,243	0,742	307,71	11:11:36	165	10	175		AD CP	Ref: BT
Ponte004	Left	146	11:11:55	19,207	-	3,628	10,585	3,418	1,543	6	0,033	3	38,410	0,7	0,255	0,749	328,92	11:14:20	145	1	146		AD CP	Ref: BT
Ponte008	Right	136	11:20:05	19,449	0,57	3,652	10,873	3,445	1,446	6	0,032	3	37,60	0,7	0,253	0,738	304,63	11:22:24	139	1	140		AD CP	Ref: BT
Ponte009	Left	127	11:22:52	19,122	-	3,643	10,587	3,425	1,487	6	0,019	3	37,57	0,7	0,274	0,708	330,61	11:25:04	132	8	140		AD CP	Ref: BT
Average		142		19,339	0	3,657	10,73	3,423	1,489	6	0,006	3	38,48	0,7	0,256	0,734								
Std Dev.		14		0,21	1,09	0,02	0,22	0,01	0,04	0	0,031	0	1,29	0,0	0,013	0,018								
Std./ Avg.		0,1		0,01	0	0,01	0,02	0	0,03	0	5,56	0	0,040	0,0	0,05	0,02								





Folha de cálculo 23 - Stream Pro ADCP (Campanha 4, secção 4)

Segue-se um conjunto de fotografias descritivas das medições realizadas na secção 4:



Álbum 7 - Quarta Campanha (secção 4)

5.3. SECÇÃO 6

O terceiro local escolhido para efectuar medições foi a secção 6.

A sondagem de profundidades feita a haste, aquando das medições com o molinete C 31 e o Sensor electromagnético, para uma altura hidrométrica de 0,49 metros, permitiram definir o seguinte perfil transversal, a partir da tabela 23:

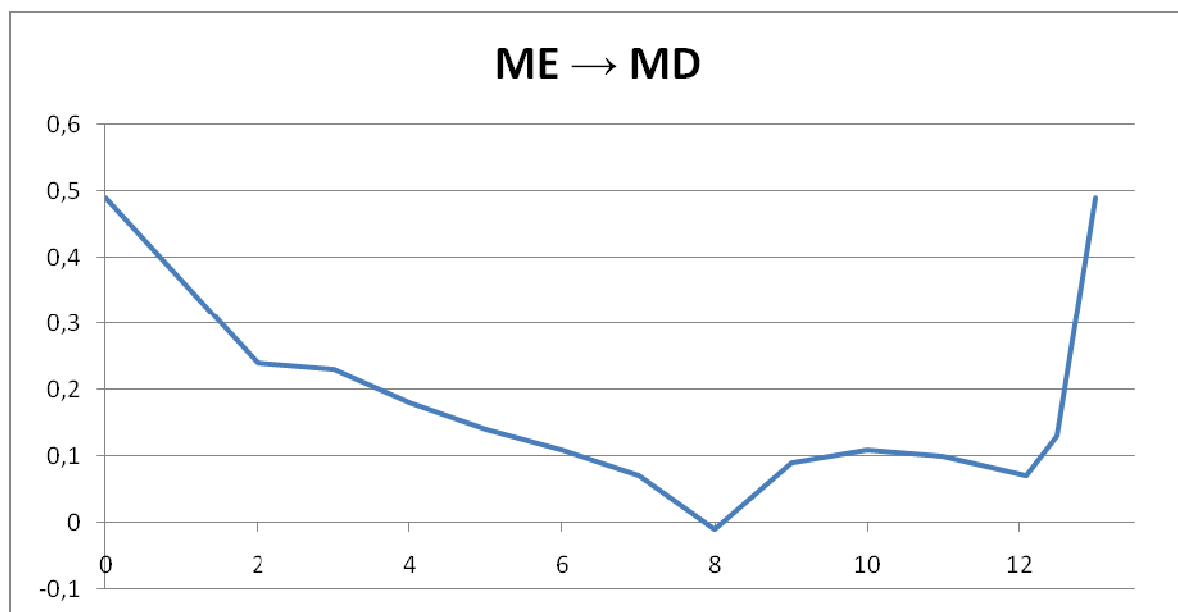


Figura 21 - Perfil Transversal (4ª Campanha, secção 6)

Tabela 23 - Registos de medição (4ª Campanha, secção 6)

Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)	Altura (m)
Esquerda	0	0,0	0,00	0,49
	1	2,0	0,25	0,24
	2	3,0	0,26	0,23
	3	4,0	0,31	0,18
	4	5,0	0,35	0,14
	5	6,0	0,38	0,11
	6	7,0	0,42	0,07
	7	8,0	0,50	-0,01
	8	9,0	0,40	0,09
	9	10,0	0,38	0,11
	10	11,0	0,39	0,10
	11	12,1	0,42	0,07
	12	12,5	0,36	0,13
Direita	13	13,0	0,00	0,49

Obtiveram-se os seguintes caudais, áreas e correspondentes velocidades médias por secção:

Tabela 24 - Caudais, áreas e velocidades médias (4ª Campanha, secção 6)

Equipamento	Q (m³/s)	Área (m²)	Largura efectiva	V=Q/A (m/s)
Molinete C 31	0,687	4,26	10,50	0,161
Sensor electromagnético	0,721	4,27	10,50	0,169
Flow Tracker ADV	0,8002	4,51	10,50	0,177
Stream Pro ADCP	0,574	3,21	10,49	0,179

De seguida, apresenta-se a Curva de vazão do rio descarregador de Azibo, cedida pela Empresa EDP:

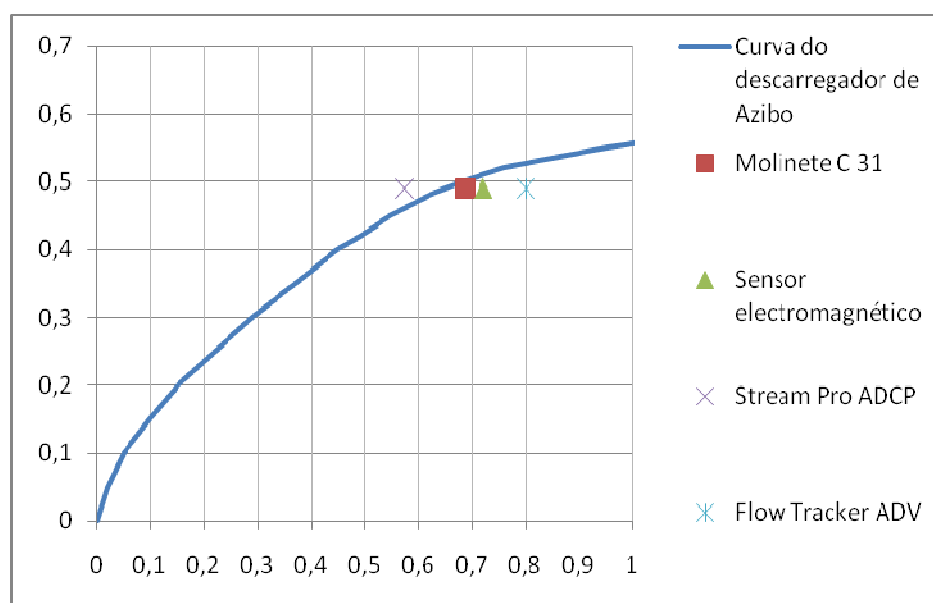


Figura 22 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do descarregador (3ª Campanha 4, secção 6)

Para comparar o desempenho dos equipamentos, foi calculado o desvio relativo entre os valores obtidos por cada equipamento (tabela 25). A representação gráfica dos desvios pode ser visualizada através da figura 23.

Tabela 25 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (Campanha 4, secção 6)

	Q Molinete C 31 / Q Sensor electromagnético	Q Molinete / Q Stream Pro ADCP	Q Molinete C 31 / Q Flow Tracker ADV	Q Sensor electromagnético / Q Stream Pro ADCP	Q Sensor electromagnético / Q Flow Tracker ADV	Q Stream Pro ADCP / Q Flow Tracker ADV
Desvio (%)	4,72	19,69	14,15	25,61	9,90	28,27

A Curva de vazão do descarregador, para uma altura hidrométrica de 0,49 metros retribui um caudal de 0,65 m³/s.

Tabela 26 - Desvios entre o caudal devolvido pela Curva de vazão do descarregador e os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (Campanha 4, secção 6)

	Q Descarregador / Q Molinete C 31	Q Descarregador / Q Sensor electromagnético	Q Descarregador / Q Stream Pro ADCP	Q Descarregador / Q Flow Tracker ADV
Desvio (%)	5,39	9,85	13,24	18,77

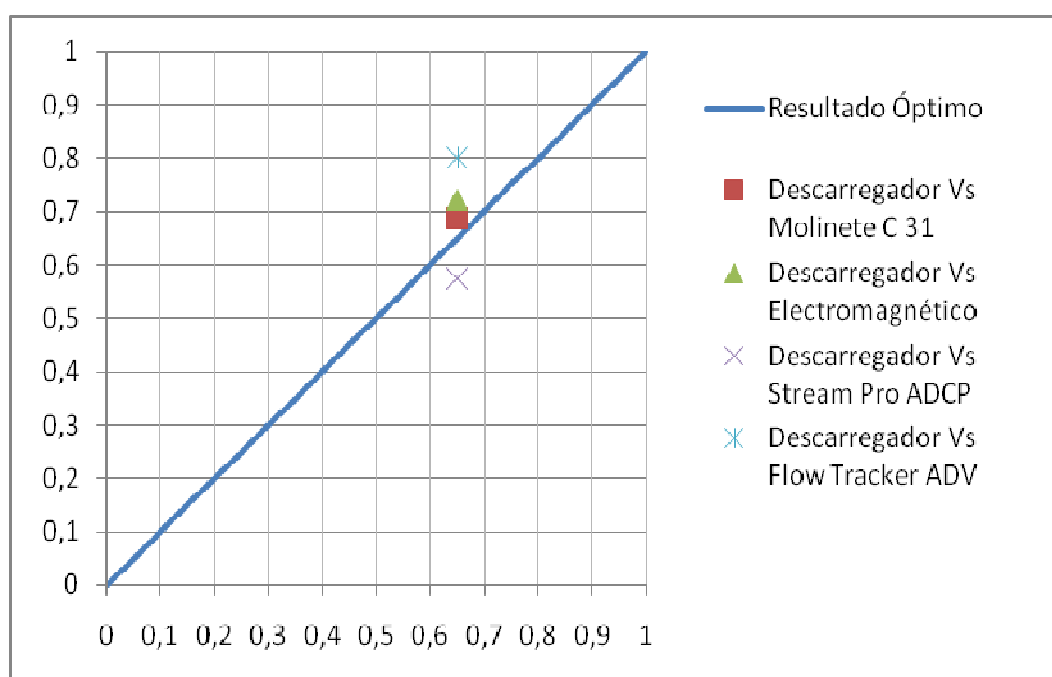


Figura 23 - Representação gráfica dos desvios (Campanha 4, secção 6)

Folhas de cálculo de caudais:

RIO- Azibo					EST.HIDROL.- 42m a Jusante da Ponte (Jusante do descarregador)									
MOLINETE NO.-116099					DATA-04-12-09									
HELICE NO.- 1					HIDROMETRISTA-Pcunha									
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1					ALT. ESCALA INIC.- .49									
					FIM - .49									
SUSP.-haste					EQUACAO 41					CAUDAL= .687				
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	12.25	.00	.00										
2	.00	.00	2.00	.00										
					.00	.06	.00	.06	.00	.06	42	50.00	.84	.21
					.00	.15	.00	.15	.00	.15	24	50.00	.48	.13
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	0	50.00	.00	.00
3	.00	.00	3.00	.00										
					.00	.06	.00	.06	.00	.06	55	50.00	1.10	.28
					.00	.16	.00	.16	.00	.16	41	50.00	.82	.21
					.26	.26	.00	.26	.00	.26	0	50.00	.00	.00
4	.00	.00	4.00	.00										
					.00	.11	.00	.11	.00	.11	55	50.00	1.10	.28
					.00	.21	.00	.21	.00	.21	43	50.00	.86	.22
					.00	.31	.00	.31	.00	.31	0	50.00	.00	.00
5	.00	.00	5.00	.00										
					.00	.05	.00	.05	.00	.05	60	50.00	1.20	.30
					.00	.15	.00	.15	.00	.15	50	50.00	1.00	.25
					.00	.25	.00	.25	.00	.25	32	50.00	.64	.16
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	0	50.00	.00	.00
6	.00	.00	6.00	.00										
					.00	.08	.00	.08	.00	.08	56	50.00	1.12	.28
					.00	.18	.00	.18	.00	.18	46	50.00	.92	.23
					.00	.28	.00	.28	.00	.28	34	50.00	.68	.17
					.00	.38	.00	.38	.00	.38	0	50.00	.00	.00
7	.00	.00	7.00	.00										
					.00	.12	.00	.12	.00	.12	36	50.00	.72	.18
					.00	.22	.00	.22	.00	.22	34	50.00	.68	.17
					.00	.32	.00	.32	.00	.32	26	50.00	.52	.14
					.00	.42	.00	.42	.00	.42	0	50.00	.00	.00
8	.00	.00	8.00	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	15	50.00	.30	.08
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	11	50.00	.22	.07
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	12	50.00	.24	.07
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	20	50.00	.40	.11
					.00	.50	.00	.50	.00	.50	0	50.00	.00	.00
9	.00	.00	9.00	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	45	50.00	.90	.23
					.00	.20	.00	.20	.00	.20	26	50.00	.52	.14
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	0	50.00	.00	.00
					.00	.40	.00	.40	.00	.40	0	50.00	.00	.00
10	.00	.00	10.00	.00										
					.00	.08	.00	.08	.00	.08	58	50.00	1.16	.29
					.00	.18	.00	.18	.00	.18	53	50.00	1.06	.27
					.00	.28	.00	.28	.00	.28	32	50.00	.64	.16
					.00	.38	.00	.38	.00	.38	0	50.00	.00	.00
11	.00	.00	11.00	.00										
					.00	.09	.00	.09	.00	.09	35	50.00	.70	.18
					.00	.19	.00	.19	.00	.19	37	50.00	.74	.19
					.00	.29	.00	.29	.00	.29	18	50.00	.36	.10
					.00	.39	.00	.39	.00	.39	0	50.00	.00	.00
12	.00	.00	12.10	.00										
					.00	.12	.00	.12	.00	.12	37	50.00	.74	.19
					.00	.22	.00	.22	.00	.22	54	50.00	1.08	.27
					.00	.32	.00	.32	.00	.32	10	50.00	.20	.06
					.00	.42	.00	.42	.00	.42	0	50.00	.00	.00
13	.00	.00	12.50	.00										
					.00	.07	.00	.07	.00	.07	17	50.00	.34	.09
					.00	.16	.00	.16	.00	.16	33	50.00	.66	.17
					.00	.26	.00	.26	.00	.26	43	50.00	.86	.22
					.00	.36	.00	.36	.00	.36	0	50.00	.00	.00
14	.00	13.12	13.00	.00										

Folha de cálculo 24 - Molinete C 31 (Campanha 4, secção 6)

CALCULO DO CAUDAL LIQUIDO

ESTACAO/CURSO DE AGUA=Rio Azibo

DATA=04.12.09

HORA DE INICIO=11.05

HORA DE FIM=11.50

ESCALA DE INICIO= 1

ESCALA DE FIM= 1

M.E.

VERT.	DIST. (m)	SONDA (m)	SECCAO (m2)	VEL 0.20 (m/s)	VEL 0.80 (m/s)	V.MEDIA (m/s)	CAUDAL (m3/s)
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	2.000	0.250	0.250	0.081	0.168	0.124	0.016
2	1.000	0.260	0.250	0.189	0.245	0.217	0.044
3	1.000	0.310	0.280	0.168	0.264	0.216	0.062
4	1.000	0.350	0.330	0.116	0.274	0.195	0.068
5	1.000	0.380	0.370	0.139	0.238	0.189	0.070
6	1.000	0.420	0.400	0.148	0.203	0.176	0.073
7	1.000	0.500	0.460	0.099	0.098	0.098	0.063
8	1.000	0.400	0.450	0.066	0.182	0.124	0.050
9	1.000	0.380	0.390	0.252	0.319	0.285	0.080
10	1.000	0.390	0.380	0.101	0.100	0.101	0.074
11	1.000	0.420	0.400	0.252	0.247	0.250	0.071
12	0.500	0.380	0.200	0.234	0.132	0.183	0.043
13	0.500	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000	0.009

ESCALA= 1 m

CAUDAL= .721 m3/s

SECCAO= 4.27 m2

VELOC. MEDIA= .169 m/s

LARGURA SUPERFICIAL= 13 m

PERIMETRO MOLHADO= 13.157 m

RAIO HIDRAULICO= .325 m

ALTURA MEDIA= .328 m



Qualifex Instruments

Relatório da Medição

Feito em: Mon Dec 7 2009

Informação do Arquivo Nome do Arquivo: AZIBO.001.WAD Data e Hora Iniciais: 2009/12/04 14:16:33				Detalhes do Local Nome do Local: PONTE AZIBO Operador(es): AG PA																											
Informação do Sistema Tipo de Equipamento: FlowTracker Número de Série: P1410 Versão firmware CPU: 3.7 Versão do Programa: 2.30 Correção para suporte: 1.0%				Unidade (Medidas Métricas) Distância: m Velocidade: m/s Área: m ² Vazão: m ³ /s		Incerteza da Vazão <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Categoria</th> <th>ISO</th> <th>Estatística</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Acurácia</td> <td>1.0%</td> <td>1.0%</td> </tr> <tr> <td>Profundidade</td> <td>0.2%</td> <td>1.4%</td> </tr> <tr> <td>Velocidade</td> <td>0.7%</td> <td>2.1%</td> </tr> <tr> <td>Largura</td> <td>0.1%</td> <td>0.1%</td> </tr> <tr> <td>Método</td> <td>0.9%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Nº de Estações</td> <td>2.4%</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>2.9%</td> <td>2.7%</td> </tr> </tbody> </table>		Categoria	ISO	Estatística	Acurácia	1.0%	1.0%	Profundidade	0.2%	1.4%	Velocidade	0.7%	2.1%	Largura	0.1%	0.1%	Método	0.9%	-	Nº de Estações	2.4%	-	Total	2.9%	2.7%
Categoria	ISO	Estatística																													
Acurácia	1.0%	1.0%																													
Profundidade	0.2%	1.4%																													
Velocidade	0.7%	2.1%																													
Largura	0.1%	0.1%																													
Método	0.9%	-																													
Nº de Estações	2.4%	-																													
Total	2.9%	2.7%																													
Resumo <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Int de Amostragem</th> <th>Variável</th> <th>Nº de Estações</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Margem Inicial</td> <td>Margem Esquerda</td> <td>Largura Total</td> <td>13.000</td> </tr> <tr> <td>SNR Médio</td> <td>24.3 dB</td> <td>Área Total</td> <td>4.510</td> </tr> <tr> <td>Temp Média</td> <td>9.20 °C</td> <td>Prof Média</td> <td>0.347</td> </tr> <tr> <td>Eq. de Vaz.</td> <td>Secção-Média</td> <td>Velocidade Média</td> <td>0.1775</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Vazão Total</td> <td>0.8002</td> </tr> </tbody> </table>						Int de Amostragem	Variável	Nº de Estações		Margem Inicial	Margem Esquerda	Largura Total	13.000	SNR Médio	24.3 dB	Área Total	4.510	Temp Média	9.20 °C	Prof Média	0.347	Eq. de Vaz.	Secção-Média	Velocidade Média	0.1775			Vazão Total	0.8002		
Int de Amostragem	Variável	Nº de Estações																													
Margem Inicial	Margem Esquerda	Largura Total	13.000																												
SNR Médio	24.3 dB	Área Total	4.510																												
Temp Média	9.20 °C	Prof Média	0.347																												
Eq. de Vaz.	Secção-Média	Velocidade Média	0.1775																												
		Vazão Total	0.8002																												



Relatório da Medição

Feito em: Mon Dec 7 2009

Informação do Arquivo

Nome do Arquivo: AZIBO.001.WAD
Data e Hora Iniciais: 2009/12/04 14:16:33

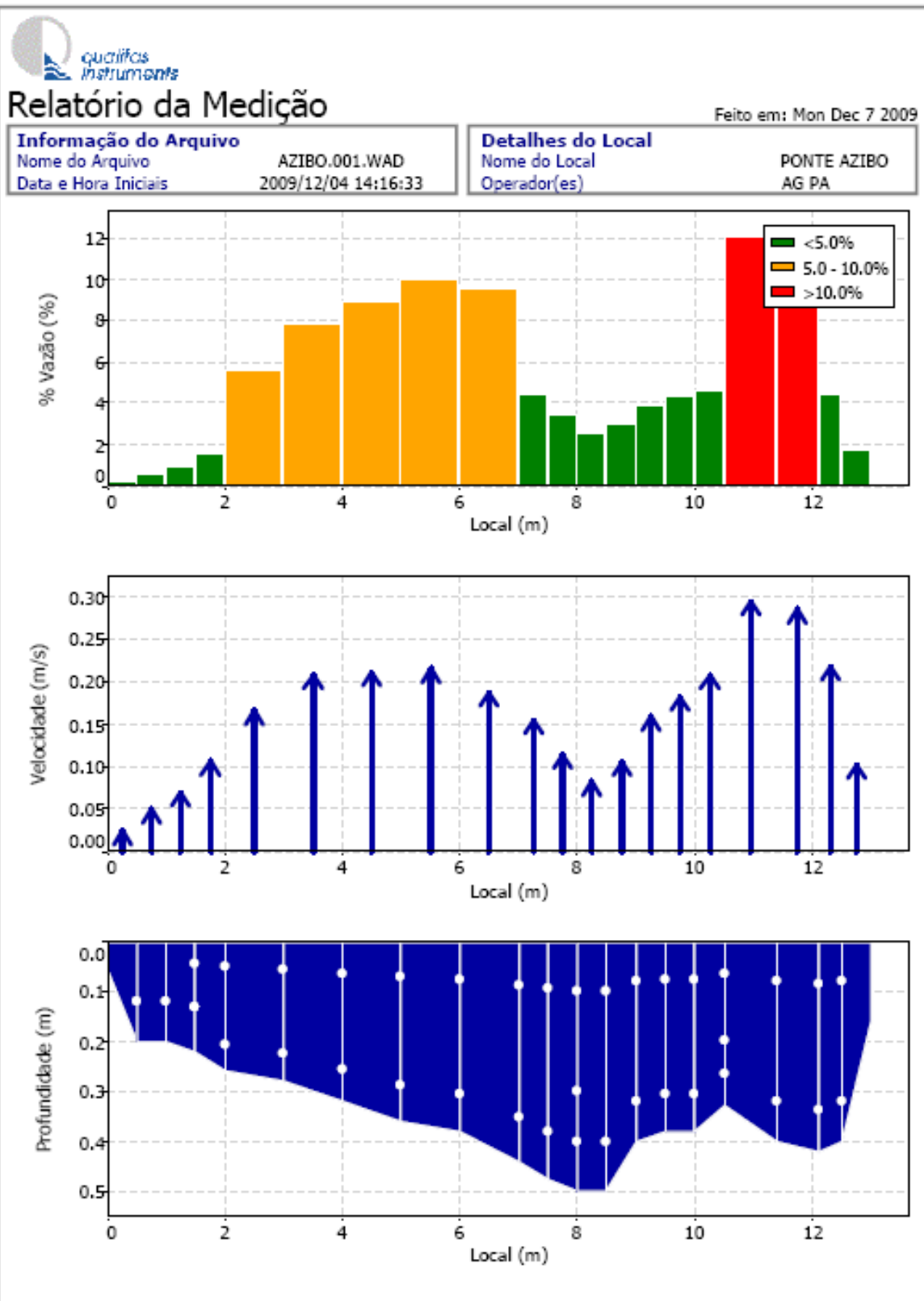
Detalhes do Local

Nome do Local: PONTE AZIBO
Operador(es): AG PA

Resultados da Medição

Est	Hora	Loc	Mét	Prof	%Prof	PMedid	NºPts	Vel	FatCor	VMédia	Area	Vazão	%Vazão
0	14:16	0.00	Nenhum	0.060	0.0	0.0	0	0.0000	0.00	0.0000	0.000	0.0000	0.0
1	14:16	0.50	0.6	0.200	0.6	0.080	40	0.0484	1.00	0.0242	0.065	0.0016	0.2
2	14:17	1.00	0.6	0.200	0.6	0.080	40	0.0512	1.00	0.0498	0.100	0.0050	0.6
3	14:21	1.50	0.2/0.6/0.8	0.220	0.2	0.088	20	0.0615	1.00	0.0697	0.105	0.0073	0.9
3	14:22	1.50	0.2/0.6/0.8	0.220	0.6	0.088	40	0.0698					
3	14:19	1.50	0.2/0.6/0.8	0.220	0.8	0.176	40	0.1520					
4	14:24	2.00	0.2/0.8	0.260	0.2	0.208	40	0.1849	1.00	0.1061	0.120	0.0127	1.6
4	14:26	2.00	0.2/0.8	0.260	0.8	0.052	40	0.0630					
5	14:28	3.00	0.8/0.2	0.280	0.2	0.224	40	0.1163	1.00	0.1656	0.270	0.0447	5.6
5	14:27	3.00	0.8/0.2	0.280	0.8	0.056	40	0.2983					
6	14:29	4.00	0.2/0.8	0.320	0.2	0.256	40	0.1427	1.00	0.2077	0.300	0.0623	7.8
6	14:30	4.00	0.2/0.8	0.320	0.8	0.064	40	0.2736					
7	14:35	5.00	0.8/0.2	0.360	0.2	0.288	40	0.1134	1.00	0.2108	0.340	0.0717	9.0
7	14:32	5.00	0.8/0.2	0.360	0.8	0.072	40	0.3137					
8	14:36	6.00	0.2/0.8	0.380	0.2	0.304	40	0.1483	1.00	0.2156	0.370	0.0798	10.0
8	14:37	6.00	0.2/0.8	0.380	0.8	0.076	40	0.2872					
9	14:40	7.00	0.8/0.2	0.440	0.2	0.352	40	0.2010	1.00	0.1869	0.410	0.0766	9.6
9	14:39	7.00	0.8/0.2	0.440	0.8	0.088	40	0.1110					
10	14:42	7.50	0.2/0.8	0.475	0.2	0.380	40	0.1325	1.00	0.1545	0.229	0.0354	4.4
10	14:43	7.50	0.2/0.8	0.475	0.8	0.095	40	0.1737					
11	14:45	8.00	0.2/0.6/0.8	0.500	0.2	0.400	40	0.0384	1.00	0.1135	0.244	0.0277	3.5
11	14:46	8.00	0.2/0.6/0.8	0.500	0.6	0.200	40	0.0779					
11	14:44	8.00	0.2/0.6/0.8	0.500	0.8	0.100	40	0.1018					
12	14:47	8.50	0.2/0.8	0.500	0.2	0.400	40	0.1375	1.00	0.0821	0.250	0.0205	2.6
12	14:48	8.50	0.2/0.8	0.500	0.8	0.100	40	0.0431					
13	14:50	9.00	0.8/0.2	0.400	0.2	0.320	40	0.2230	1.00	0.1055	0.225	0.0237	3.0
13	14:50	9.00	0.8/0.2	0.400	0.8	0.080	40	0.0186					
14	14:52	9.50	0.2/0.8	0.380	0.2	0.304	40	0.2289	1.00	0.1592	0.195	0.0310	3.9
14	14:53	9.50	0.2/0.8	0.380	0.8	0.076	40	0.1663					
15	14:55	10.00	0.8/0.2	0.380	0.2	0.304	40	0.3343	1.00	0.1820	0.190	0.0346	4.3
15	14:54	10.00	0.8/0.2	0.380	0.8	0.076	40	-0.0016					
16	14:56	10.50	0.2/0.6/0.8	0.330	0.2	0.264	40	0.3298	1.00	0.2081	0.178	0.0369	4.6
16	14:58	10.50	0.2/0.6/0.8	0.330	0.6	0.132	40	0.3352					
16	14:57	10.50	0.2/0.6/0.8	0.330	0.8	0.066	40	-0.0011					
17	15:01	11.40	0.2/0.8	0.400	0.2	0.320	40	0.4351	1.00	0.2946	0.329	0.0968	12.1
17	15:02	11.40	0.2/0.8	0.400	0.8	0.080	40	0.2438					
18	15:06	12.10	0.8/0.2	0.420	0.2	0.336	40	0.2689	1.00	0.2854	0.287	0.0819	10.2
18	15:05	12.10	0.8/0.2	0.420	0.8	0.084	40	0.1938					
19	15:08	12.50	0.2/0.8	0.400	0.2	0.320	40	0.1588	1.00	0.2175	0.164	0.0357	4.5
19	15:09	12.50	0.2/0.8	0.400	0.8	0.080	40	0.2484					
20	15:09	13.00	Nenhum	0.160	0.0	0.0	0	0.0000	0.00	0.1018	0.140	0.0143	1.8

Fileiras em letra itálica indicam aviso de Controle de Qualidade (CQ). Vide página de CQ desse relatório para maiores informações.



quatrifolha
instrumentos

Relatório da Medição

Feito em: Mon Dec 7 2009

Informação do Arquivo

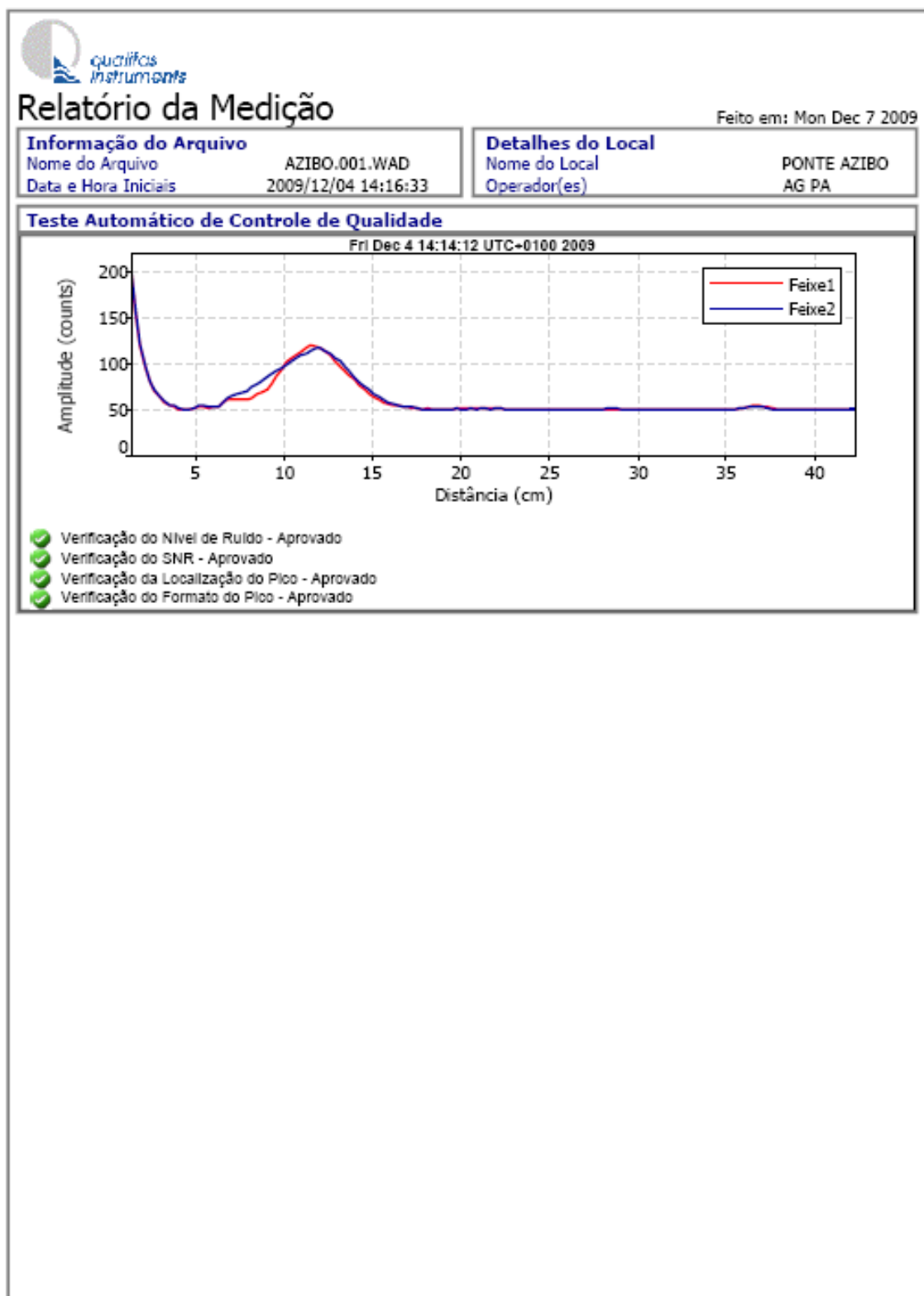
Nome do Arquivo AZIBO.001.WAD
Data e Hora Iniciais 2009/12/04 14:16:33

Detalhes do Local

Nome do Local PONTE AZIBO
Operador(es) AG PA

Controle de Qualidade

Est	Loc	%Prof	Mensagem
1	0.50	0.6	Valor CQ de Obstrução é Moderado; Possível interferência
4	2.00	0.8	Valor CQ de Obstrução é Moderado; Possível interferência
5	3.00	0.2	Valor CQ de Obstrução é Moderado; Possível interferência
7	5.00	0.2	Diferença elevada de SNR durante medição: 15.5,11.2
14	9.50	0.8	Diferença elevada de SNR durante medição: 6.9,6.5
15	10.00	0.8	SNR (44.7) é diferente de SNR típico (24.3)
16	10.50	0.6	Valor CQ de Obstrução é Bom; Possível interferência
		0.8	SNR (12.0) é diferente de SNR típico (24.3)
		0.8	Diferença elevada de SNR durante medição: 3.0,5.2
		0.8	Valor CQ de Obstrução é Moderado; Possível interferência

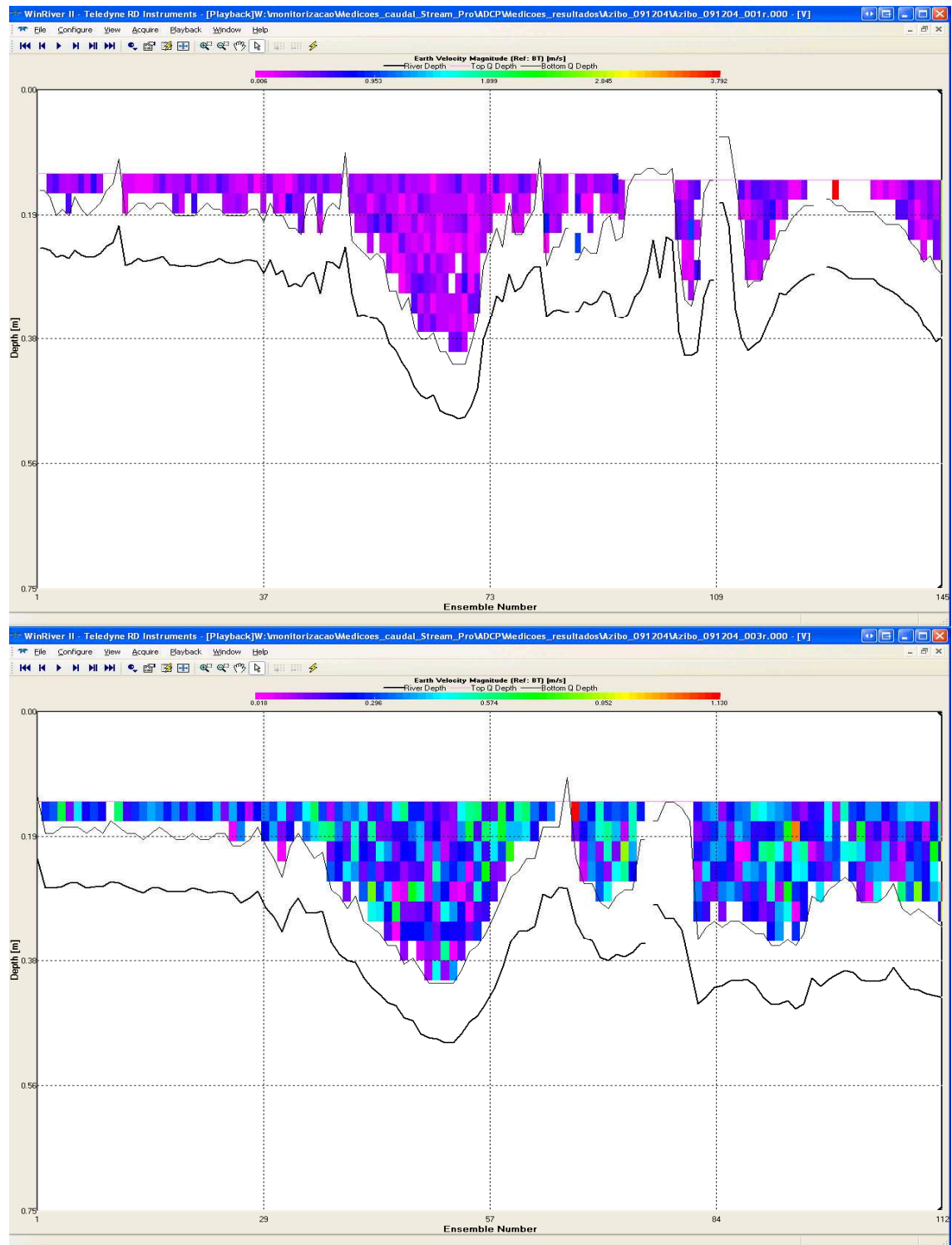


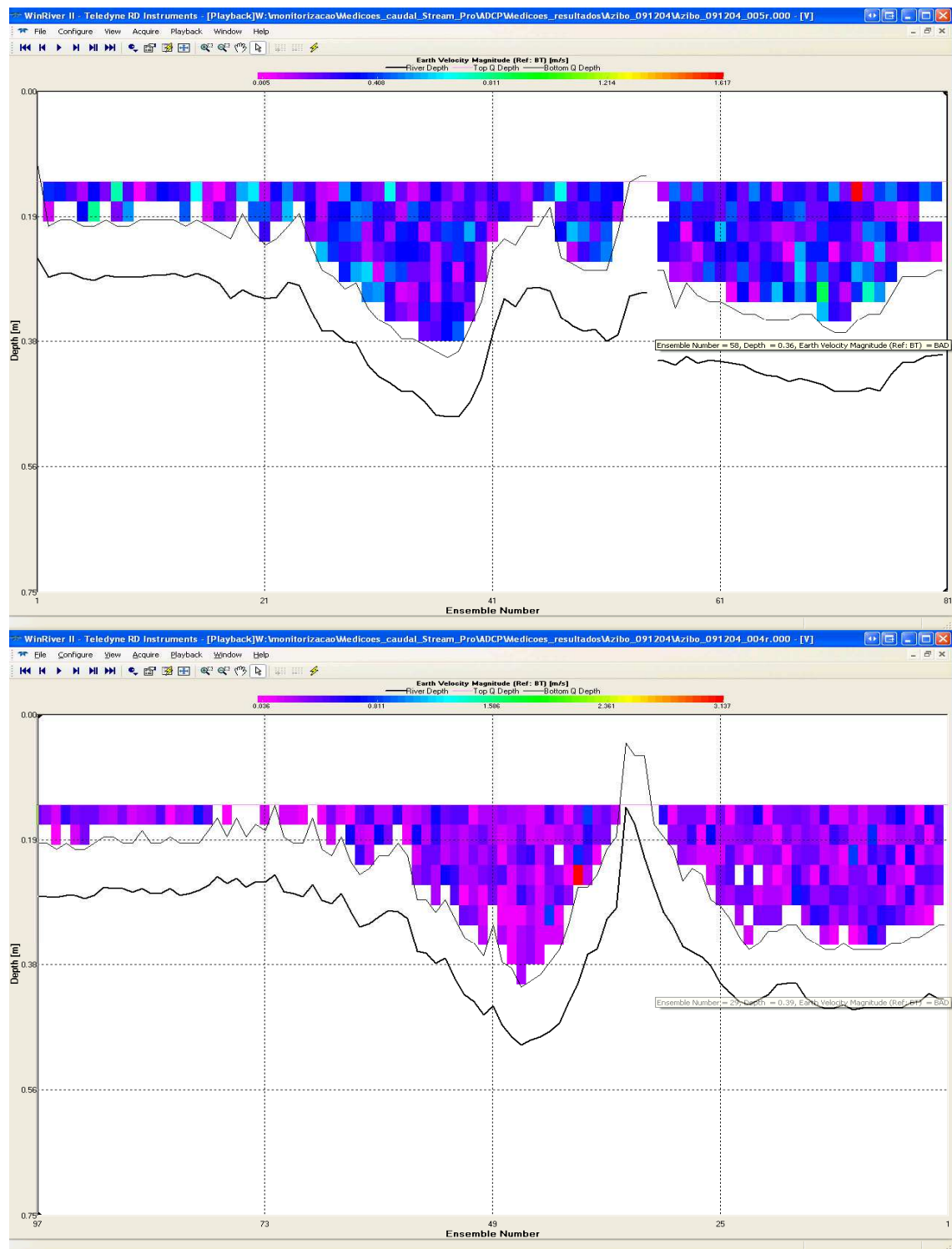
Secção de medição de
Azibo (EDP)

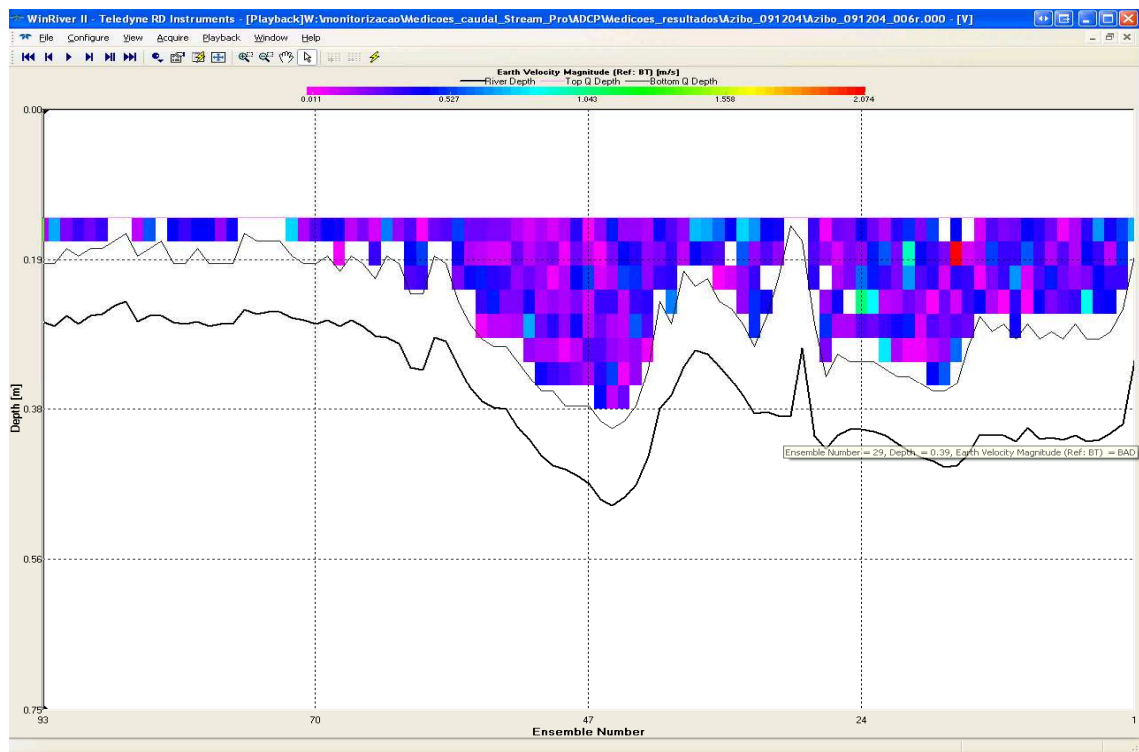
data	04-12-2009 00:00

altura hidrométrica (m)	1

Transect	Start Bank	# En s.	Start Time	Total Q	Delta Q	To p	Mea s	Botto m	Lef t	Rig ht	Wid th	Total Area	Q/A rea	Boat Speed	Flow Speed	Flow Dir.	End Time	Dura tion	Start Ens.	End Ens.	Velo city	De pth	Ref.
				m ³ /s	%	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m	m ²	m/s	m/s	m/s	°	s	s			Ref.		
Azibo001	Left	14 4	13:00 :18	0,762	32,7 5	0,3 44	0,22 4	0,24 1	0,0 5	0,00 2	0,1 61	3,42	0,2 23	0,094	0,096	358, 37	13:02 :41	143	1	144		AD CP	Ref: BT
Azibo003	Left	11 2	13:05 :56	0,604	5,25 17	0,2 17	0,18 7	0,12 7	0,0 8	0 0	9,4 8	2,840	0,2 12	0,097	0,083	145, 87	13:07 :47	111	1	112		AD CP	Ref: BT
Azibo004	Right	97	13:08 :03	0,565	-1,5 03	0,2 03	0,17 4	0,11 4	0,0 78	0 0	10, 81	3,380	0,1 67	0,125	0,134	174, 61	13:09 :39	96	1	97		AD CP	Ref: BT
Azibo005	Left	89	13:10 :03	0,321	44,1 4	0,1 62	0,13 4	0,08 8	0,0 63	0 0	9,7 4	3,020	0,1 06	0,128	0,081	151, 1	13:11 :31	88	1	89		AD CP	Ref: BT
Azibo006	Right	93	13:11 :47	0,618	7,63 23	0,2 23	0,18 6	0,14 2	0,0 67	0 0	10, 87	3,380	0,1 83	0,13	0,107	190, 46	13:13 :19	92	1	93		AD CP	Ref: BT
Average		10 7		0,574	0	0,2 3	0,17 9	0,14 2	0,0 23	0 0	10, 49	3,210	0,1 78	0,115	0,1								
Std Dev.		22		0,16	27,8 8	0,0 68	0,03 3	0,05 8	0,0 72	0,00 1	0,9 9	0,260	0,0 46	0,018	0,022								
Std./ Avg.		0,2 1		0,28	0	0,3 0	0,18 3	0,41 2	3,2 2	2,24 0	0,0 9	0,08 9	0,2 6	0,15	0,21								







Folha de cálculo 27 - Stream Pro ADCP (Campanha 4, secção 6)

Apresentação de um conjunto de fotografias descritivas das medições realizadas na secção 6:



Álbum 8 - Quarta Campanha (secção 6)

6. CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE CAUDAL NÚMERO 5

O local escolhido para efectuar medições foi a secção 7.

Obtiveram-se os seguintes caudais, áreas e correspondentes velocidades médias por secção:

Equipamentos	Q (m ³ /s)	Área (m ²)	Largura efectiva (m)	V=Q/A (m/s)
Stream Pro ADCP	5,224	18,554	13,49	0,282
Rio Grande ADCP	5,658	20,17	13,18	0,282

De seguida, apresenta-se a curva de vazão do rio, retirada do SNIRH:

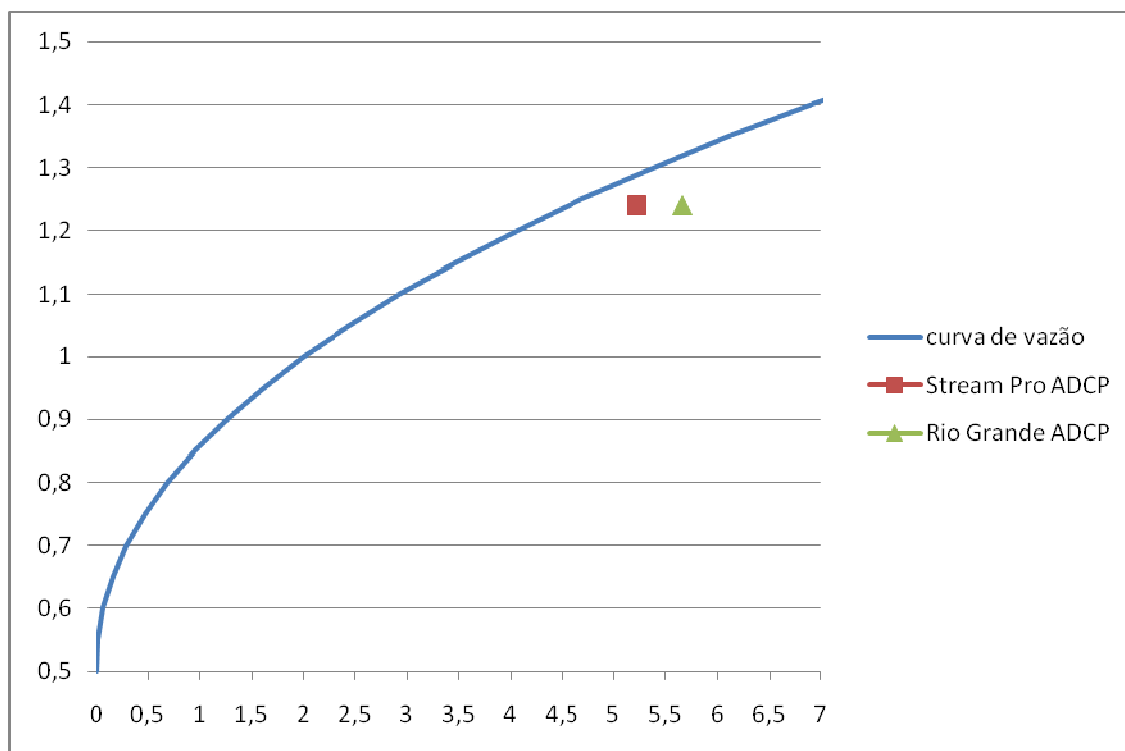


Figura 24 - Enquadramento dos caudais na curva de vazão do rio Nabão (5ª Campanha)

Para comparar o desempenho dos equipamentos, foi calculado o desvio relativo entre os valores obtidos pelos equipamentos (tabela 28). A representação gráfica do desvio pode ser visualizada através da figura 26.

Tabela 28 - Desvio entre o caudal obtido pelos diversos equipamentos (5ª Campanha)

Q Rio Grande ADCP / Q Stream Pro ADCP	
Desvio (%)	7,67

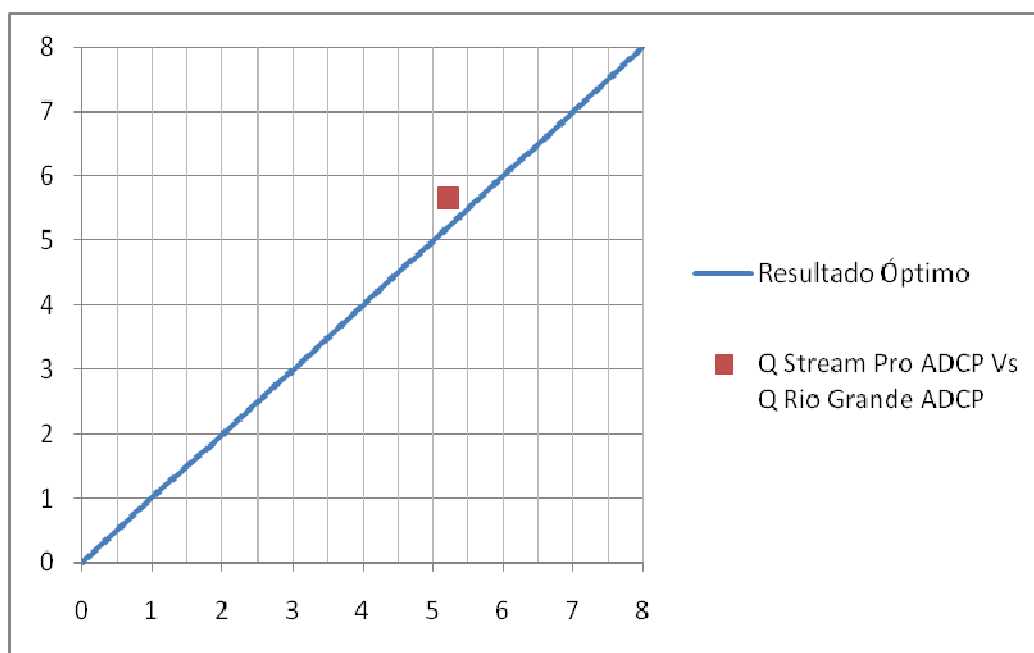


Figura 25 - Representação gráfica do desvio (5ª Campanha)

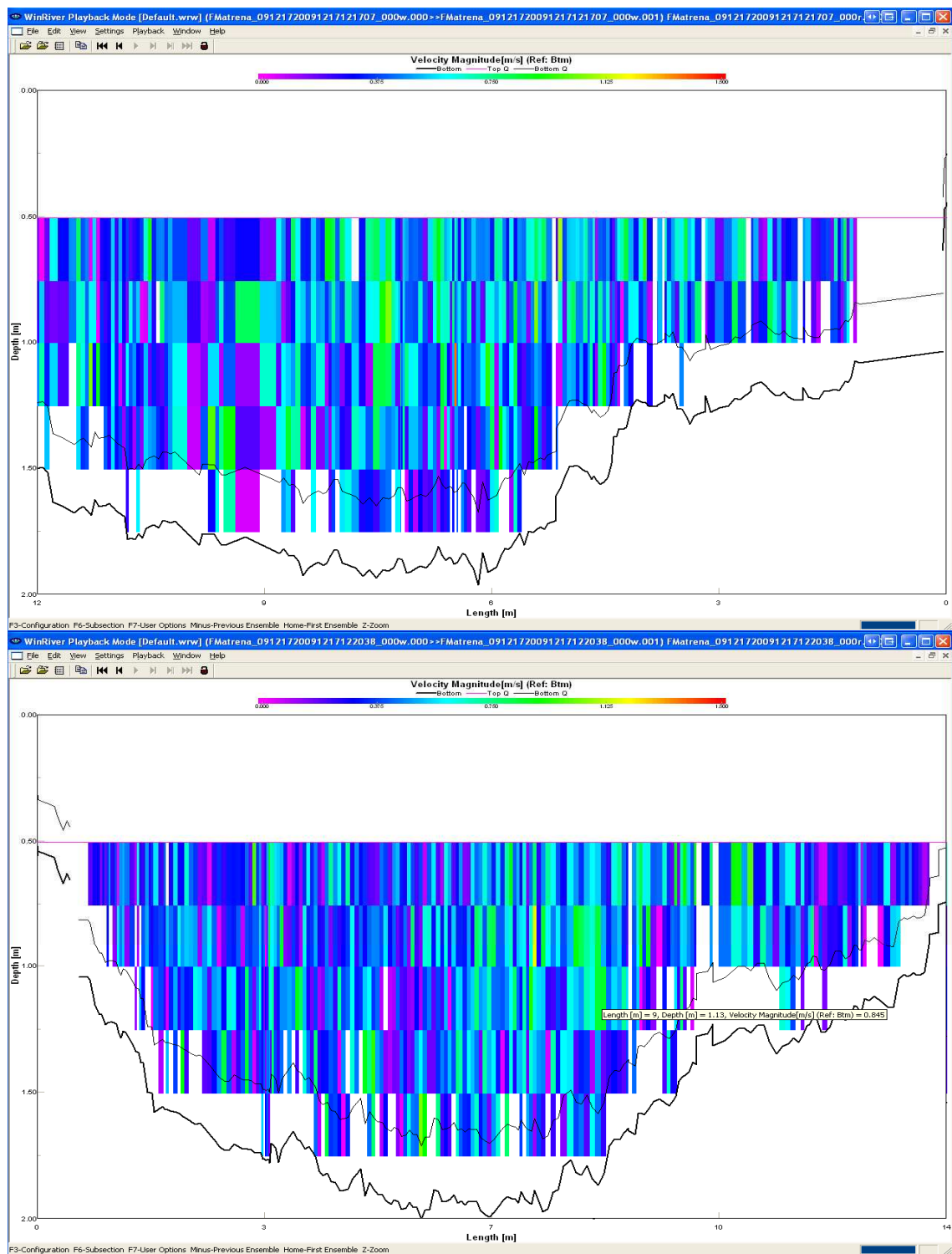
Estação hidrométrica
de Fábrica da
Matrena

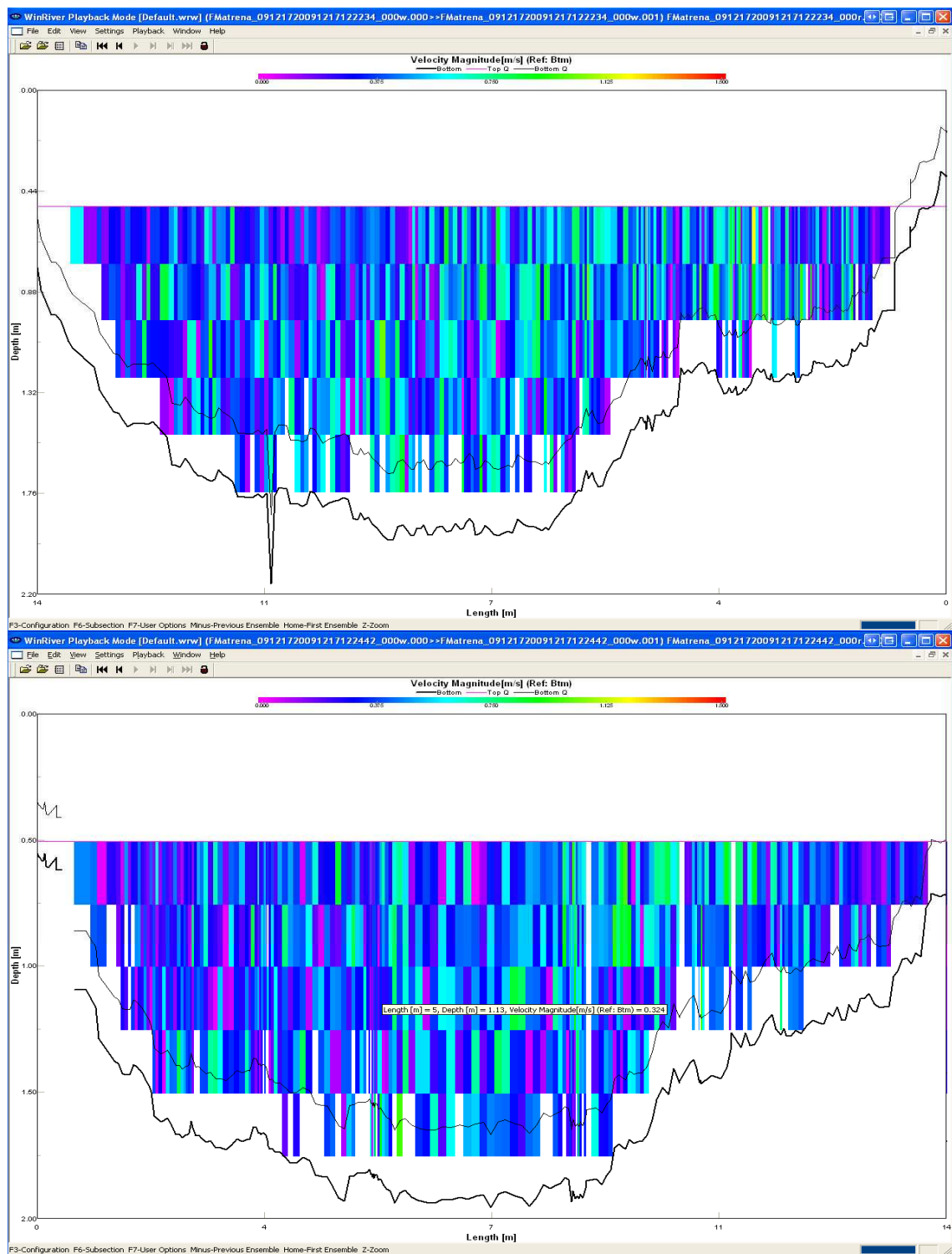
17-12-
2009
00:00

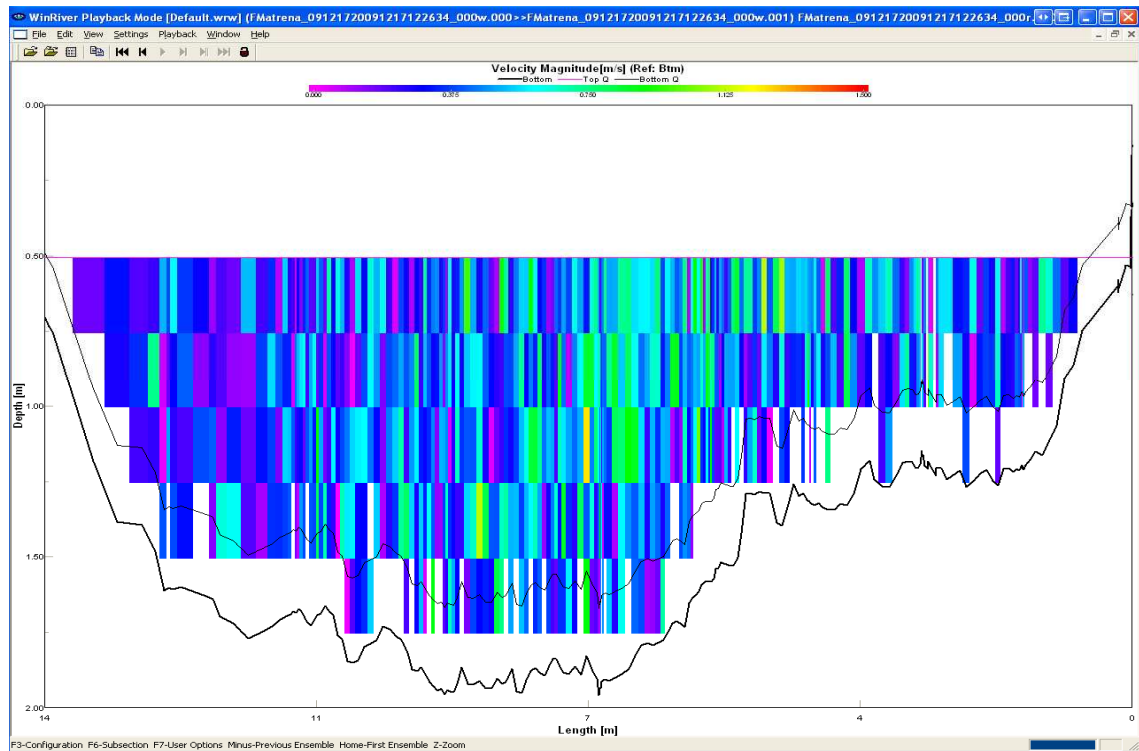
1,24

File Name	#	Start Time	Total Q	St	Le	Le	Le	T	M	Bo	Ri	Ri	Ri	To	W	Bo	Av	Q	Flo	Fl	Le	Le	Le	Le	Le	Le	Le	Ri	Ri	Ri	Ri	Ri	D	En	Sta	En	V
	E	n	s.	nk	ft	ft	ft	Q	Q	Q	Dis	ght	ght	ght	ht	at	g	/A	w	w	ft	ft	ft	ft	ft	ft	ft	ght	ght	ght	ht	ur	s	s	d	e	
					s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	s#	
FMatrena_09	2	13:37:	5,9	Right	0	23	0	2	1,68	1,17	0	34	0	18,06	1	0,1	41,59	0,345	12,7	0,29	1,6	0	0,53	0,19	0,7	0,1,9	0,35	0,35	0,35	0,35	98,1	13	11	23	B		
12172009121	0	37	3		5			3	5	6					6	26		3	45	79	1	0	5	8									5	T			
7121707_000	5							2							1			2		6														M			
r.000																																			P		
FMatrena_09	2	13:41:	5,4	Left	0	36	0	1,8	1,48	1,05	0	24	0	20,13	2	0,1	22,16	0,291	12,8	0,09	1,1	0	0,53	0,10	0,6	0,10	0,35	0,35	0,35	0,35	10,6	13	13	25	B		
12172009121	2	10	8		0	8	0	1	6	6					4	29		6	91	38	9		5	5									5	T			
7122038_000	4							1							1			9																M			
r.000																																			P		
FMatrena_09	2	13:43:	6,3	Right	0	54	0	2,3	2,73	2,6	0	31	0	21,28	4	0,1	40,47	0,333	12,8	0,19	1,3	0	0,53	0,13	0,6	0,12	0,35	0,35	0,35	0,35	12,2	13	27	55	B		
12172009121	7	04	3		8			5	8	6					1	14		2	33	34	6		5	6									6	T			
7122234_000	1		9												5			8																M			
r.000																																			P		
FMatrena_09	2	13:45:	4,8	Left	0	60	0	1,6	2,23	0,95	0	80	0	20,64	3	0,1	22,13	0,27	13,5	0,07	1,3	0	0,53	0,04	0,1	0,10	0,35	0,35	0,35	0,35	10,8	13	57	81	B		
12172009121	2	13	5		0	0	7	3	1	3					8	33		3	7	85	4		6										6	T			
7122442_000	5		7												1			5																M			
r.000																																			P		
FMatrena_09	2	13:47:	5,6	Right	0	10	0	2,0	2,55	0,9	0	85	0	20,76	3	0,1	41,62	0,373	13,3	0,17	1,5	0	0,53	0,35	0,1	0,10	0,35	0,35	0,35	0,35	10,9	13	82	10	B		
12172009121	2	05	8		67			6	1	4					5	32		4	38	69	7		5	1									9	T			
7122634_000	3		1												1			4																79	M		
r.000																																			P		
Average	2		5,6					2,3	1,1					1	1			0,3	0,16	0,14	0		0,35	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	18,54						
	3		5					0	53	11				3	3	0,1	2	0,3	0,16	0,14	0		0,35	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	18,54						
	0		8					1	8					1	1			2	0,15	0,14	0		0,35	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	18,54						

[illegible]





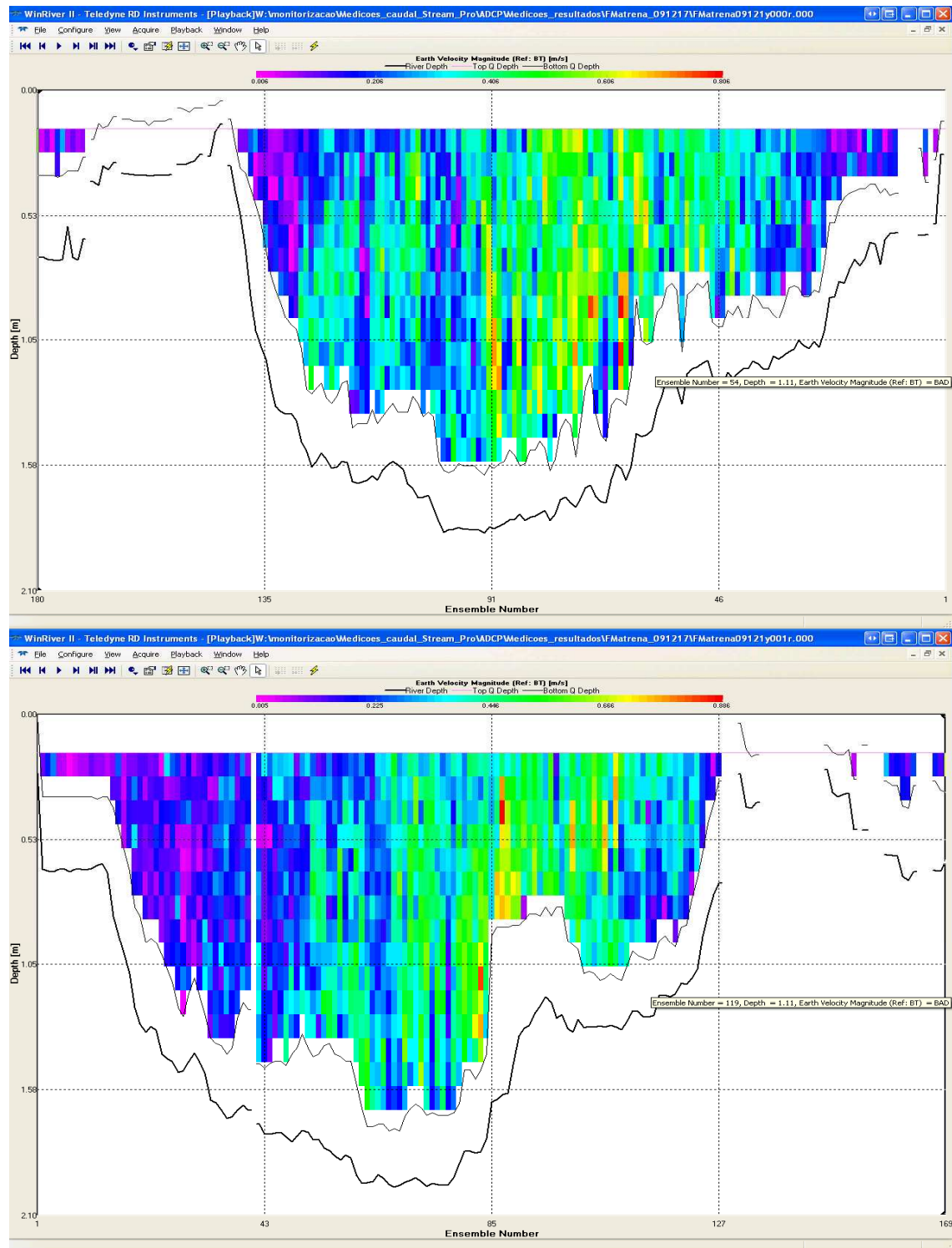


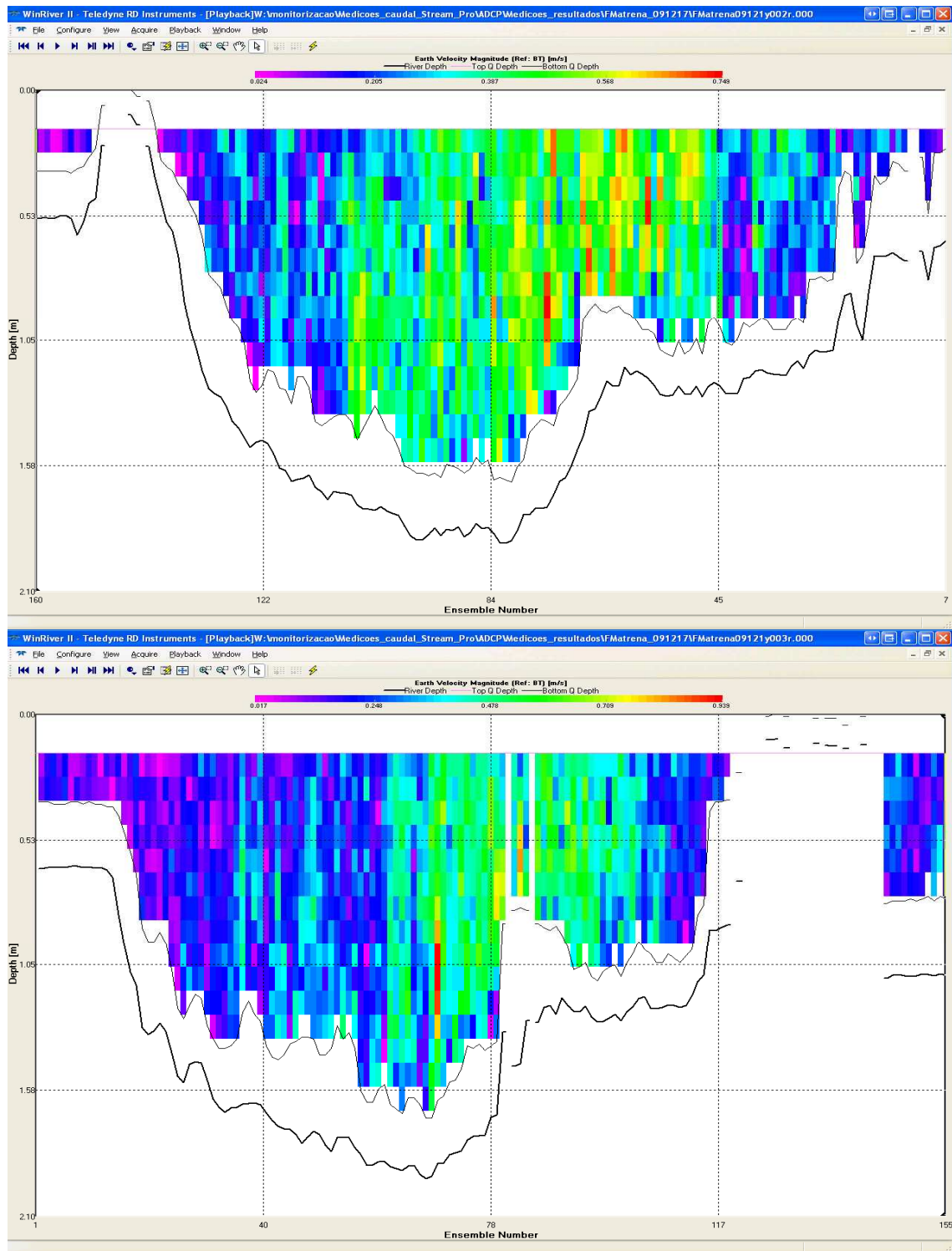
Folha de cálculo 28 - Rio Grande ADCP (5ª Campanha)

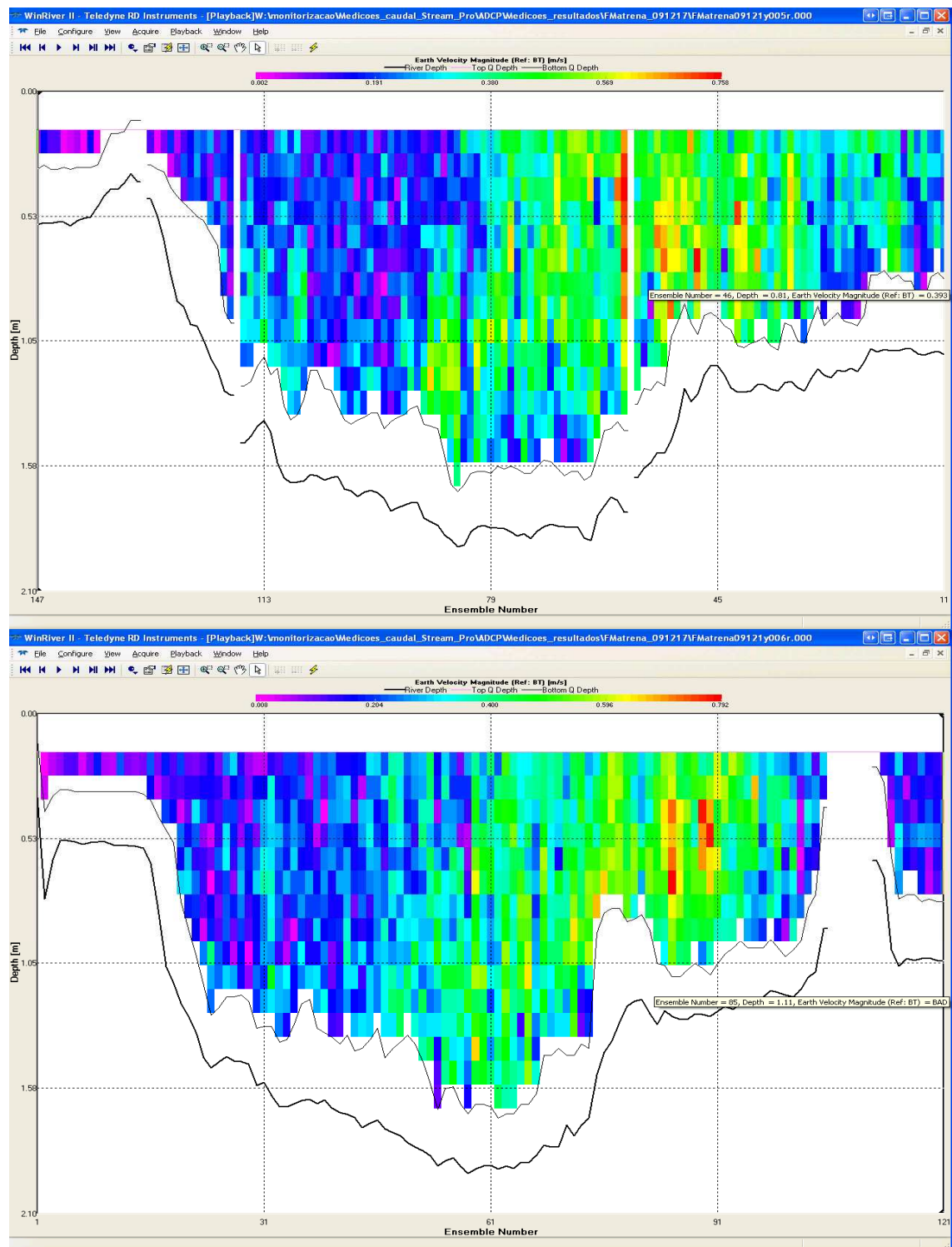
Estação hidrométrica de
Fábrica da Matrena

data	17-12-2009 00:00
altura hidrométrica (m)	1,24

Transect	Start Bank	# Ens.	Start Time	Total Q m³/s	Delta Q %	To pQ m³/s	Mea s. Q m³/s	Botto m Q m³/s	Lef t Q m³/s	Left Dist. m	Rig ht Q m³/s	Right Dist. m	Wid th m	Total Area m²	Q/A m/s	Boat Speed m/s	Flow Speed m/s	Flow Dir. °	End Time	Dura tion s	Start Ens.	End Ens.	Velo city Ref.	De pth Ref.
FMatrena09121y000	Right	180	12:12:39	5,072	2,91	0,574	3,653	0,83	0,014	1	0	0	14,44	19,27	0,263	0,101	0,289	122,16	12:15:38	179	1	180	Ref: BT	AD CP
FMatrena09121y001	Left	169	12:15:58	5,401	3,38	0,614	3,753	1,05	0,016	1	0	0	10,71	17,15	0,315	0,101	0,294	160,44	12:18:46	168	1	169	Ref: BT	AD CP
FMatrena09121y002	Right	160	12:19:04	5,364	2,68	0,62	3,805	0,89	0,009	1	0,034	1	14,24	18,9	0,284	0,099	0,299	116,46	12:21:43	159	1	160	Ref: BT	AD CP
FMatrena09121y003	Left	155	12:21:59	5,151	-1,4	0,599	3,563	0,88	0,003	1	0,071	1	13,77	18,72	0,275	0,116	0,272	164,680	12:24:33	154	1	155	Ref: BT	AD CP
FMatrena09121y005	Right	147	12:25:33	5,226	0,05	0,619	3,576	0,86	0,006	1	0,16	1,5	14,01	18,84	0,277	0,107	0,274	121,07	12:27:59	146	1	147	Ref: BT	AD CP
FMatrena09121y006	Left	121	12:28:20	5,13	1,81	0,612	3,516	0,92	0,009	1	0,072	1,5	13,75	18,39	0,279	0,12	0,28	165,17	12:30:20	120	1	121	Ref: BT	AD CP
Average		155		5,224	0	0,606	3,644	0,90	0,009	1	0,056	0,83	13,49	18,54	0,282	0,107	0,285							
Std Dev.		20		0,133	2,54	0,017	0,114	0,076	0,015	0	0,06	0,68	1,38	0,74	0,017	0,009	0,011							
Std./ Avg.		0,13		0,03	0	0,03	0,03	0,08	1,68	0	1,07	0,82	0,1	0,04	0,06	0,08	0,04							







Folha de cálculo 29 - Stream Pro ADCP (5ª Campanha)

É então apresentado um conjunto de fotografias descritivas da Campanha realizada:





Álbum 9 - Quinta Campanha

7. CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE CAUDAL NÚMERO 6

Esta campanha acabou por se revelar pouco conclusiva na medida em que não foi possível estabelecer a comparação de qualquer equipamento.

Estavam previstos 4 ensaios em 2 secções diferentes (local 8 e 9). Iniciaram-se os ensaios na secção 9. O primeiro foi realizado com o Molinete C 31, com sistema de suspensão a cabo, realizada a partir de ponte (adoptada distância de 1 metro entre verticais), durante a manhã. O último foi a meio da tarde, durante o qual ocorreu uma avaria do River Surveyor M9, que impossibilitou terminar a medição e realizar as duas seguintes.

A secção do rio em análise não possui uma Curva de vazão, logo não foi possível comparar o valor do caudal obtido com o valor da Curva.

A partir dos valores registados no local foi possível preparar a tabela que se segue.

Tabela 29 - Registos de medição (6ª Campanha)			
Margem	Verticais	Distância à Origem (m)	Profundidade (m)
Esquerda	0	0,0	0,00
	1	0,4	0,60
	2	1,4	1,53
	3	3,4	2,29
	4	4,4	2,76
	5	5,4	3,25
	6	6,4	2,77
	7	7,4	2,90
	8	8,4	2,90
	9	9,4	2,40
	10	10,4	1,65
	11	11,4	2,24
	12	12,4	2,45
	13	13,4	2,59
	14	14,4	2,57
	15	15,4	2,66
	16	16,4	2,55
	17	17,4	2,50
	18	19,4	1,82
Direita	19	21,7	0,00

A respectiva secção transversal é apresentada de seguida:

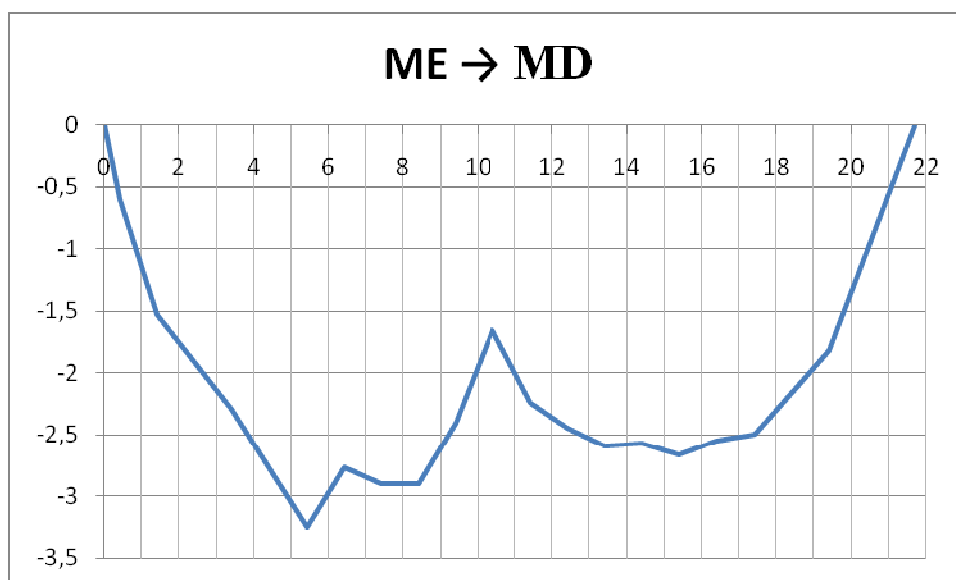


Figura 26 - Perfil Transversal (6ª Campanha)

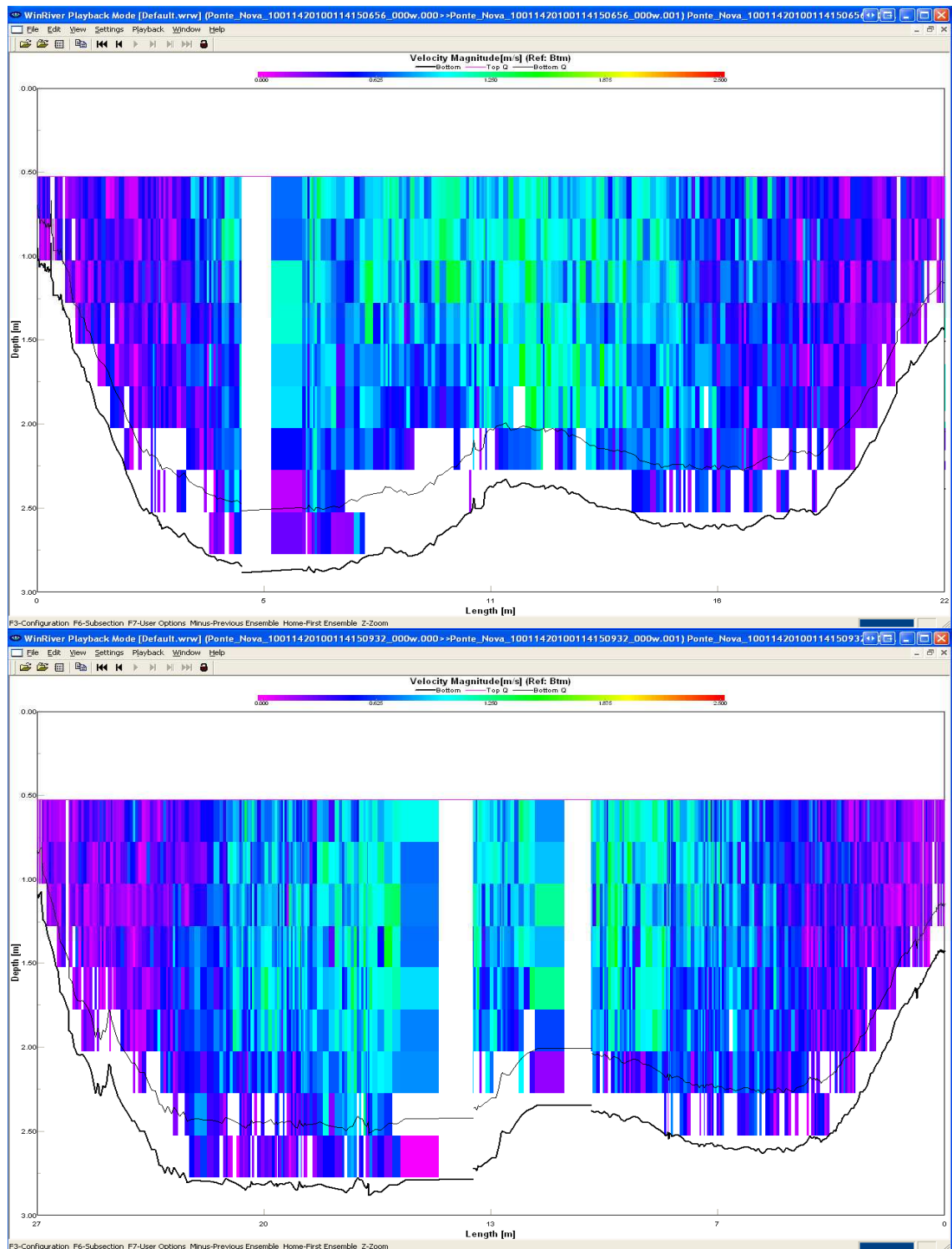
Folhas de cálculo de caudais:

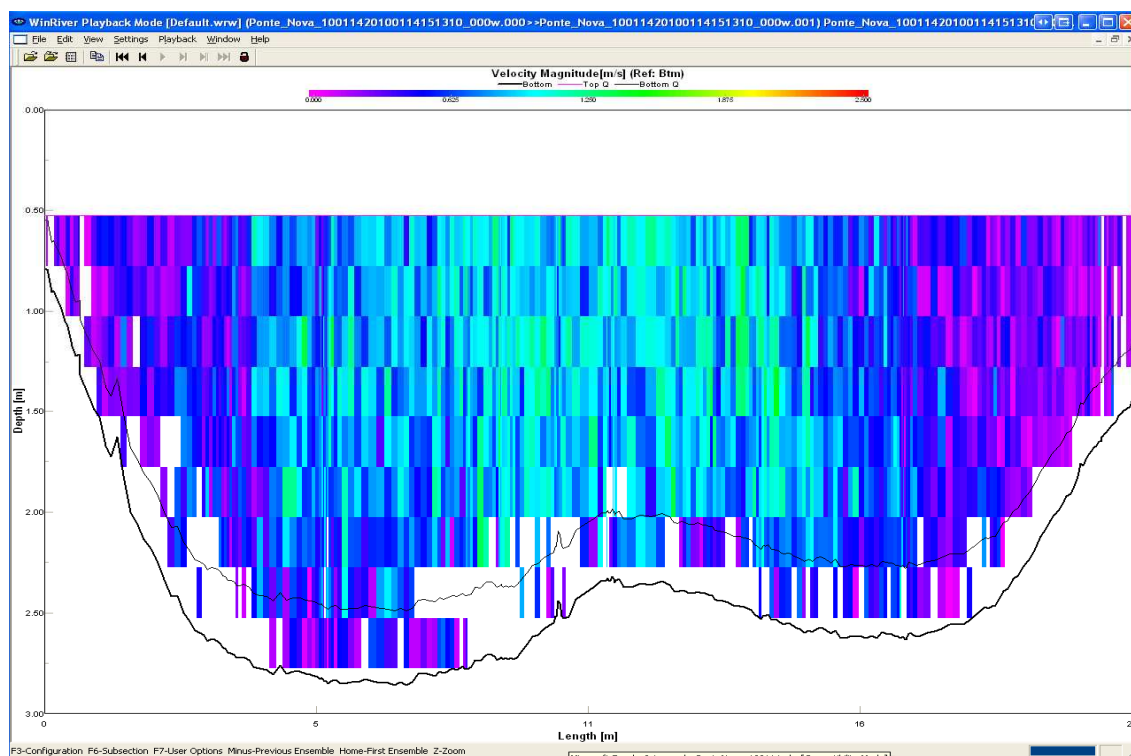
RIO- Almonda					EST.HIDROL.- Não tem (Jusante da Ponte)									
MOLINETE NO.-53388					DATA-15-01-10									
HELICE NO.- 1-54930					HIDROMETRISTA-Pcunha									
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1					ALT. ESCALA INIC.- ---									
PESO-10.0 Kg					FIM- ---									
SUSP.-Cabo					EQUACAO 42					CAUDAL= 22.727				
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	10.55	.00	.00										
2	.00	.00	.40	.00										
3	.00	.00	1.40	.00	.00	.60	.00	.60	.00	.60	0	60.00	.00	.00
					.00	.30	.00	.30	.00	.30	12	60.00	.20	.06
					.00	.80	.00	.80	.00	.80	8	60.00	.13	.05
					.00	1.53	.00	1.53	.00	1.53	0	60.00	.00	.00
4	.00	.00	3.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	44	60.00	.73	.20
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	66	60.00	1.10	.29
					.00	2.00	.00	2.00	.00	2.00	32	60.00	.53	.15
					.00	2.29	.00	2.29	.00	2.29	0	60.00	.00	.00
5	.00	.00	4.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	82	60.00	1.37	.36
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	84	60.00	1.40	.37
					.00	2.30	.00	2.30	.00	2.30	52	60.00	.87	.23
					.00	2.76	.00	2.76	.00	2.76	0	60.00	.00	.00
6	.00	.00	5.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	147	60.00	2.45	.64
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	171	60.00	2.85	.74
					.00	2.65	.00	2.65	.00	2.65	86	60.00	1.43	.38
					.00	3.25	.00	3.25	.00	3.25	0	60.00	.00	.00
7	.00	.00	6.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	181	60.00	3.02	.78
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	174	60.00	2.90	.75
					.00	2.10	.00	2.10	.00	2.10	90	60.00	1.50	.39
					.00	2.77	.00	2.77	.00	2.77	0	60.00	.00	.00
8	.00	.00	7.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	180	60.00	3.00	.78
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	193	60.00	3.22	.83
					.00	2.30	.00	2.30	.00	2.30	99	60.00	1.65	.43
					.00	2.90	.00	2.90	.00	2.90	0	60.00	.00	.00
9	.00	.00	8.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	201	60.00	3.35	.87
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	215	60.00	3.58	.93
					.00	2.30	.00	2.30	.00	2.30	141	60.00	2.35	.61
					.00	2.90	.00	2.90	.00	2.90	0	60.00	.00	.00
10	.00	.00	9.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	234	60.00	3.90	1.01
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	202	60.00	3.37	.87
					.00	2.00	.00	2.00	.00	2.00	117	60.00	1.95	.51
					.00	2.40	.00	2.40	.00	2.40	0	60.00	.00	.00
11	.00	.00	10.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	222	60.00	3.70	.96
					.00	.75	.00	.75	.00	.75	295	60.00	4.92	1.27
					.00	1.35	.00	1.35	.00	1.35	140	60.00	2.33	.61
					.00	1.65	.00	1.65	.00	1.65	0	60.00	.00	.00
12	.00	.00	11.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	226	60.00	3.77	.97
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	193	60.00	3.22	.83
					.00	1.80	.00	1.80	.00	1.80	176	60.00	2.93	.76
					.00	2.24	.00	2.24	.00	2.24	0	60.00	.00	.00
13	.00	.00	12.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	226	60.00	3.77	.97
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	200	60.00	3.33	.86
					.00	2.00	.00	2.00	.00	2.00	68	60.00	1.13	.30
					.00	2.45	.00	2.45	.00	2.45	0	60.00	.00	.00

14	.00	.00	13.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	194	60.00	3.23	.84
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	192	60.00	3.20	.83
					.00	2.10	.00	2.10	.00	2.10	115	60.00	1.92	.50
					.00	2.59	.00	2.59	.00	2.59	0	60.00	.00	.00
15	.00	.00	14.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	167	60.00	2.78	.72
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	171	60.00	2.85	.74
					.00	2.10	.00	2.10	.00	2.10	70	60.00	1.17	.31
					.00	2.57	.00	2.57	.00	2.57	0	60.00	.00	.00
16	.00	.00	15.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	123	60.00	2.05	.53
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	145	60.00	2.42	.63
					.00	2.20	.00	2.20	.00	2.20	109	60.00	1.82	.47
					.00	2.66	.00	2.66	.00	2.66	0	60.00	.00	.00
17	.00	.00	16.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	84	60.00	1.40	.37
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	80	60.00	1.33	.35
					.00	2.20	.00	2.20	.00	2.20	46	60.00	.77	.20
					.00	2.55	.00	2.55	.00	2.55	0	60.00	.00	.00
18	.00	.00	17.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	62	60.00	1.03	.27
					.00	1.30	.00	1.30	.00	1.30	51	60.00	.85	.23
					.00	2.10	.00	2.10	.00	2.10	30	60.00	.50	.14
					.00	2.50	.00	2.50	.00	2.50	0	60.00	.00	.00
19	.00	.00	19.40	.00	.00	.30	.00	.30	.00	.30	3	60.00	.05	.03
					.00	1.82	.00	1.82	.00	1.82	0	60.00	.00	.00
20	.00	12.40	21.70	.00										

Folha de cálculo 30 - Molinete C 31 (6ª Campanha)

[illegible]





Folha de cálculo 31 - Rio Grande ADCP (6ª Campanha)

É então apresentado um conjunto de fotografias descritivas da Campanha realizada:





Álbum 10 - Sexta Campanha

8. CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE CAUDAL NÚMERO 7

As medições foram realizadas na secção 10. A sondagem de profundidades feita a haste, aquando das medições com o molinete C 31, permitiram definir o seguinte perfil transversal:

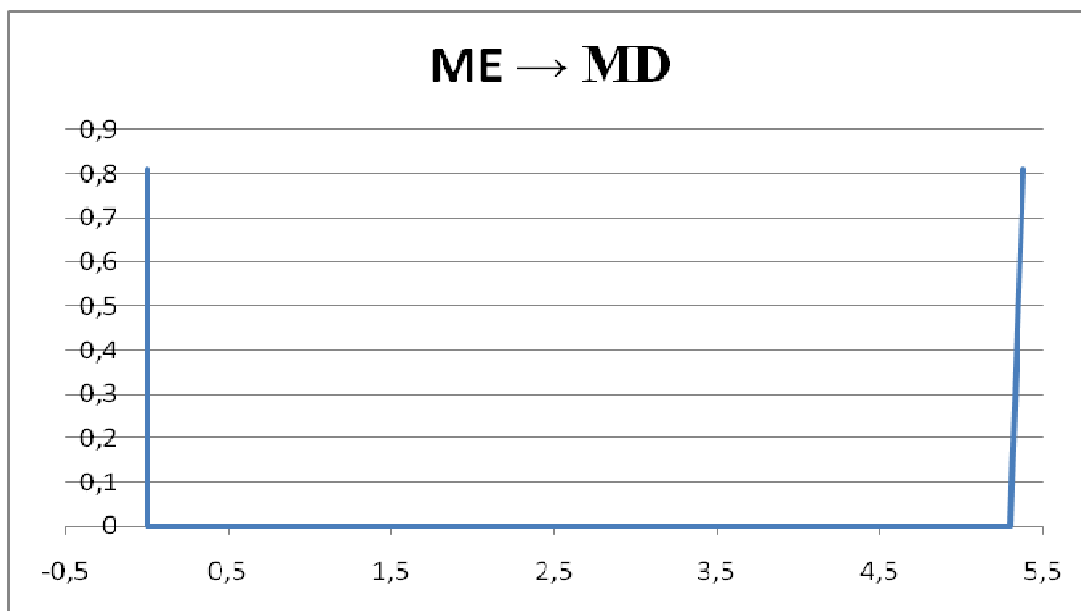


Figura 27 - Perfil Transversal (7ª Campanha)

Obtiveram-se os seguintes caudais, áreas e correspondentes velocidades médias por secção:

Equipamentos	Q (m³/s)	Área (m²)	Profundidade efectiva (m)	Profundidade total (m)	Largura efectiva (m)	V=Q/A (m/s)
Molinete C 31	2,760	4,27	0,80	0,8	5,30	0,651
Stream Pro ADCP	2,729	3,98	0,76	---	5,24	0,687
Rio Grande ADCP	2,845	3,90	0,76	0,81	5,11	0,729

Visto que o troço do canal, onde se realizaram as medições, possui as mesmas características, é possível comparar parâmetros, relativamente à secção transversal, que até à data nunca tinha sido possível, nomeadamente os valores medíveis, não medíveis e distâncias às margens dos aparelhos acústicos (tabela 31).

Tabela 31 - Caudais parciais obtidos pelos equipamentos acústicos (7ª Campanha)

Equipamentos	Q Total (m ³ /s)	Q Medido (m ³ /s)	Q Superfície (m ³ /s)	Q Fundo (m ³ /s)	Dist. Esq (m)	Q Esq. (m ³ /s)	Dist. Dir. (m)	Q Dir. (m ³ /s)
Rio Grande ADCP	2,845	1,164	1,282	0,261	0,4	0,084	0,4	0,054
Stream Pro ADCP	2,729	1,762	0,522	0,383	0,2	0,036	0,2	0,025

Para comparar o desempenho dos equipamentos, foi calculado o desvio relativo entre os valores obtidos por cada equipamento (tabela 32). A representação gráfica dos desvios pode ser visualizada através da figura 29.

Tabela 32 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (7ª Campanha)

Equipamentos	Q Molinete C 31 / Q Stream Pro ADCP	Q Molinete C 31 / Q Rio Grande ADCP	Q Rio Grande ADCP / Q Stream Pro ADCP
Desvio (%)	1,14	2,99	4,25

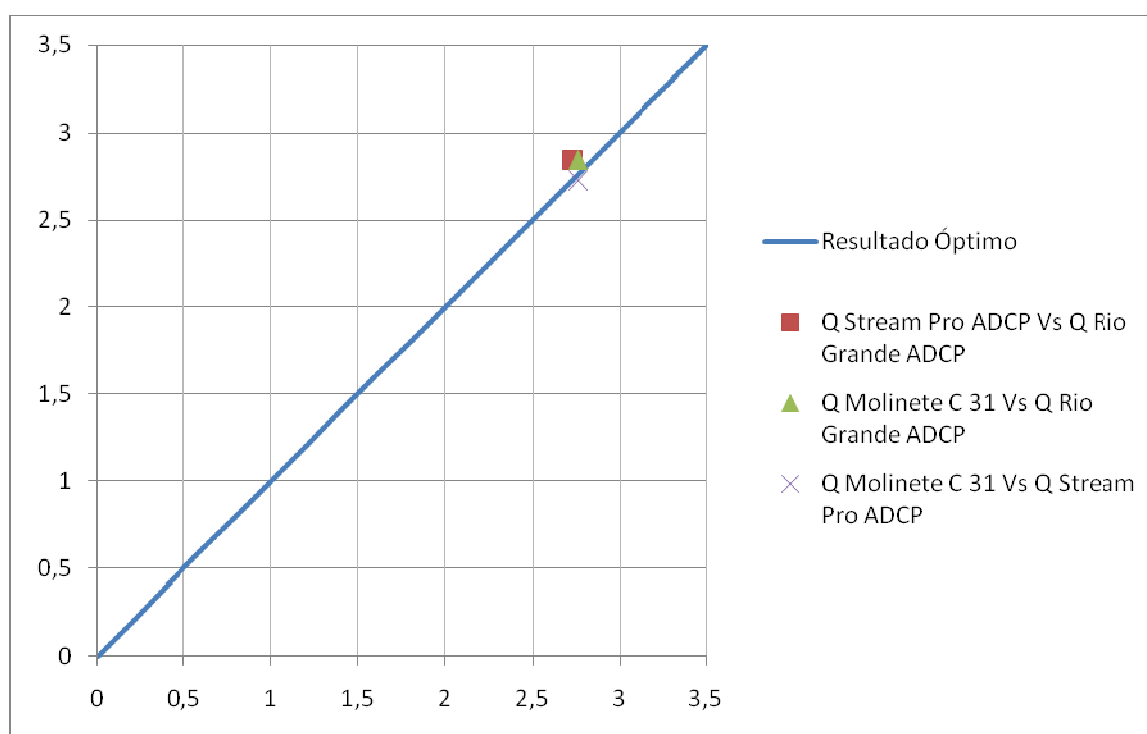


Figura 28 - Representação gráfica dos desvios (7ª Campanha)

De seguida, para obter conclusões sobre a precisão da distância às margens, correu-se o software do Rio Grande ADCP, para efectuar novamente os cálculos da medição realizada, sendo a distância às margens igual a zero. A tabela que se segue apresenta os resultados obtidos, juntamente com os

resultados obtidos pela medição, na qual foi inserida distância às margens e resultados do Molinete C 31:

Tabela 33 - Caudais, áreas e velocidades médias (7ª Campanha)

Equipamentos	Distância às margens (m)	Q (m³/s)	Área (m²)	Profundidade efectiva (m)	V=Q/A (m/s)
Molinete C 31	---	2,760	4,27	0,80	0,651
Rio Grande ADCP	0,00	2,707	3,62	0,76	0,748
Rio Grande ADCP	0,40	2,845	3,90	0,76	0,729

De seguida, foi calculado o desvio entre os valores da tabela anterior:

Tabela 34 - Desvios entre os caudais obtidos pelos diversos equipamentos (7ª Campanha)

Equipamentos	Q Molinete C 31 / Q Rio Grande ADCP (distância às margens = 0)	Q Molinete C 31 / Q Rio Grande ADCP (distância às margens ≠ 0)	Q Rio Grande ADCP (distância às margens ≠ 0) / Q Rio Grande ADCP (distância às margens = 0)
Desvio (%)	1,96	2,99	5,10

De seguida, foi calculado o desvio entre as áreas obtidas por cada equipamento:

Tabela 35 - Desvios entre as áreas obtidas pelos diversos equipamentos (7ª Campanha)

Equipamentos	Área Molinete C 31 / Área Rio Grande ADCP (distância às margens = 0)	Área Molinete C 31 / Área Rio Grande ADCP (distância às margens ≠ 0)	Área Rio Grande ADCP (distância às margens ≠ 0) / Área Rio Grande ADCP (distância às margens = 0)
Desvio (%)	17,96	9,49	7,73

De seguida, foi calculado o desvio entre as áreas obtidas por cada equipamento:

Tabela 36 - Desvios entre as velocidades obtidas pelos diversos equipamentos (7ª Campanha)

Equipamentos	Velocidade Molinete C 31 / Velocidade Rio Grande ADCP (distância às margens = 0)	Velocidade Molinete C 31 / Velocidade Rio Grande ADCP (distância às margens ≠ 0)	Velocidade Rio Grande ADCP (distância às margens ≠ 0) / Velocidade Rio Grande ADCP (distância às margens = 0)
Desvio (%)	12,97	10,70	2,54

Folhas de cálculo de caudais:

RIO- ----					EST.HIDROL.- -----									
					(Canal artificial da Nossa senhora do Porto)									
MOLINETE NO.-116099					DATA-20-01-10									
HELICE NO.- 1					HIDROMETRISTA-Pcunha									
NO.ROT.ENTRE TOQUES- 1					ALT. ESCALA INIC.- ---									
PESO- 0					FIM- ---									
SUSP.-Hast					EQUACAO 41					CAUDAL= 2.760				
NV	ESC	HORA	DO	DA	ANG	PO	C1	CM	C2	PR	NT	T	R/S	VEL
1	.00	11.30	.00	.00										
2	.00	.00	.20	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	130	50.00	2.60	.65
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	133	50.00	2.66	.66
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	204	100.00	2.04	.51
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
3	.00	.00	.70	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	163	50.00	3.26	.81
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	159	50.00	3.18	.79
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	226	100.00	2.26	.56
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
4	.00	.00	1.20	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	173	50.00	3.46	.86
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	168	50.00	3.36	.84
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	238	100.00	2.38	.59
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
5	.00	.00	1.70	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	179	50.00	3.58	.89
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	170	50.00	3.40	.85
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	248	100.00	2.48	.62
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
6	.00	.00	2.20	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	170	50.00	3.40	.85
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	165	50.00	3.30	.82
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	247	100.00	2.47	.62
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
7	.00	.00	2.70	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	163	50.00	3.26	.81
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	159	50.00	3.18	.79
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	249	100.00	2.49	.62
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
8	.00	.00	3.20	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	151	50.00	3.02	.75
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	154	50.00	3.08	.77
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	241	100.00	2.41	.60
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
9	.00	.00	3.70	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	139	50.00	2.78	.69
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	146	50.00	2.92	.73
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	239	100.00	2.39	.60
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
10	.00	.00	4.20	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	133	50.00	2.66	.66
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	130	50.00	2.60	.65
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	191	100.00	1.91	.48
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
11	.00	.00	4.70	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	122	50.00	2.44	.61
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	127	50.00	2.54	.63
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	213	100.00	2.13	.53
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
12	.00	.00	5.10	.00										
					.00	.10	.00	.10	.00	.10	101	50.00	2.02	.50
					.00	.35	.00	.35	.00	.35	67	50.00	1.34	.34
					.00	.70	.00	.70	.00	.70	168	100.00	1.68	.42
					.00	.80	.00	.80	.00	.80		0100.00	.00	.00
13	.00	12.30	5.30	.00										

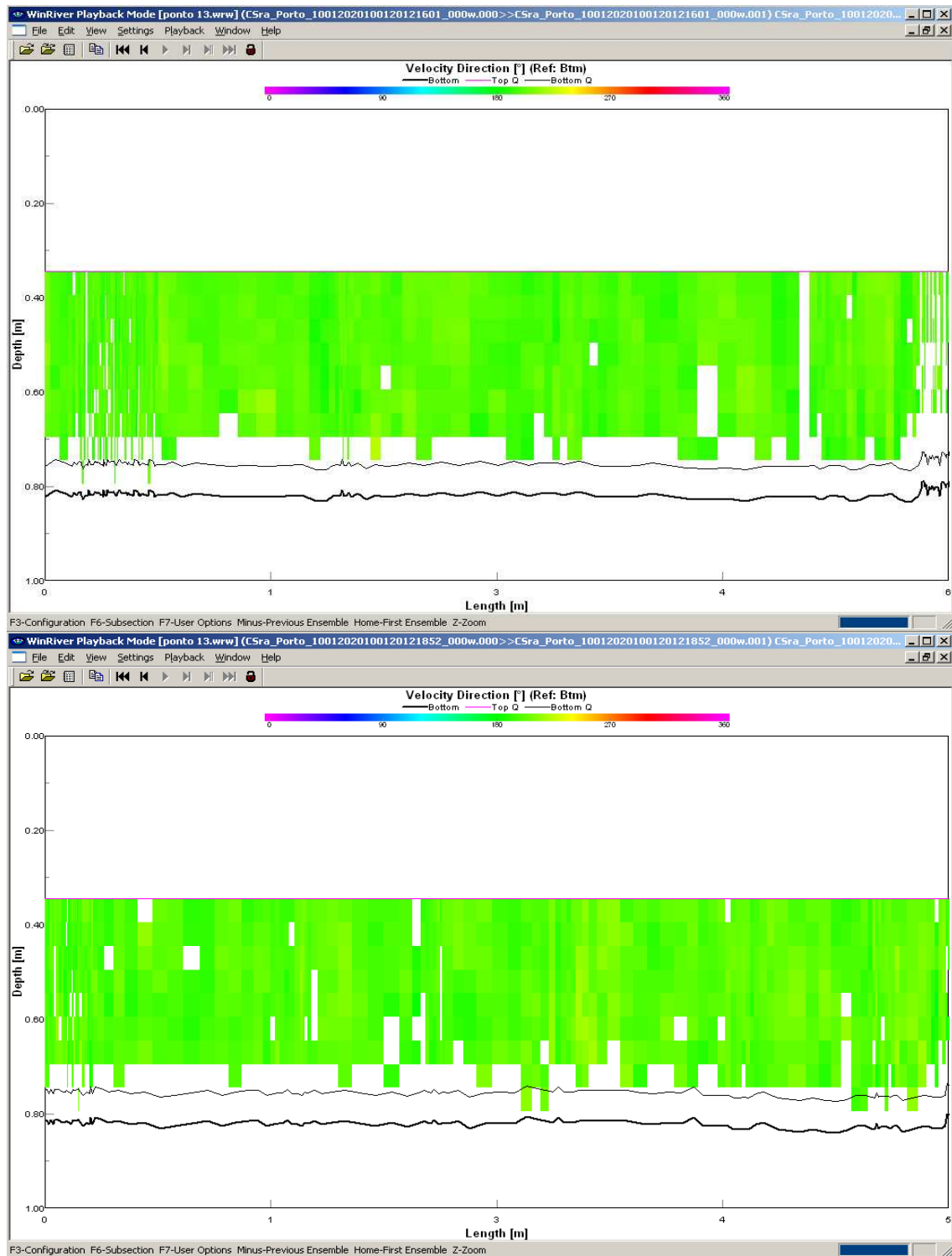
Folha de cálculo 32 - Molinete C 31 (7ª Campanha)

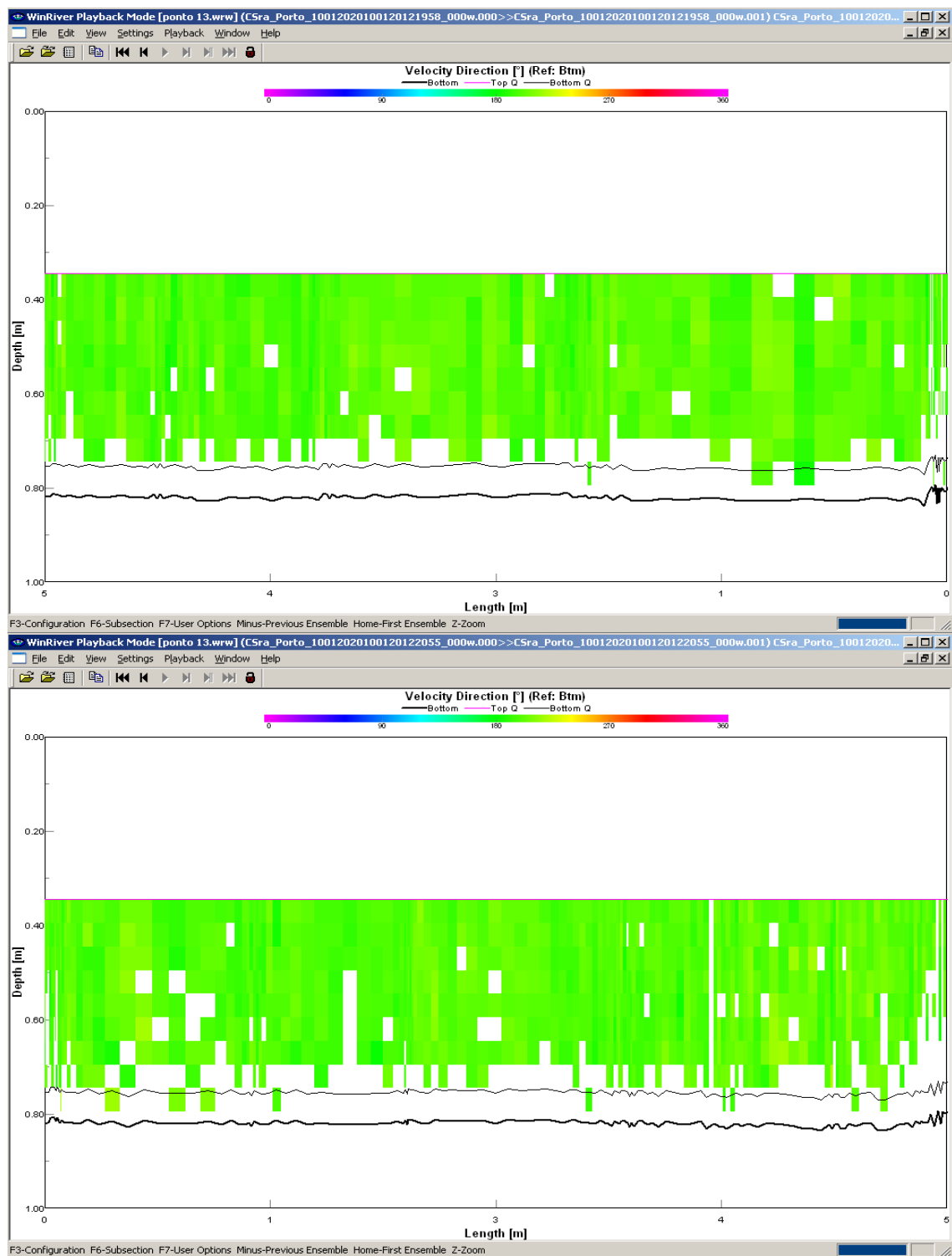
Canal da
central Senhora
do Porto
20-01-2010

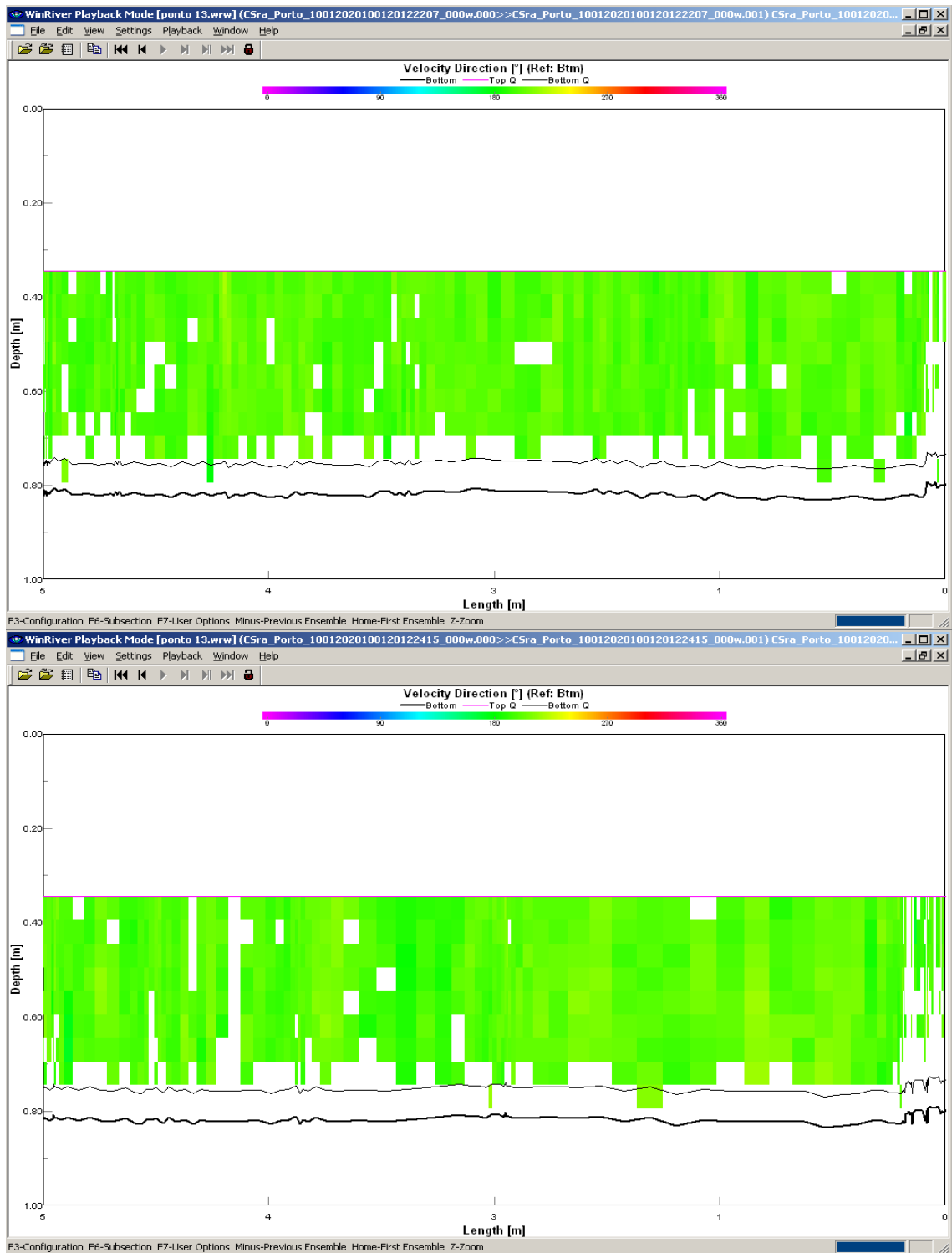
Equipamento:
Workhorse Rio
Grande

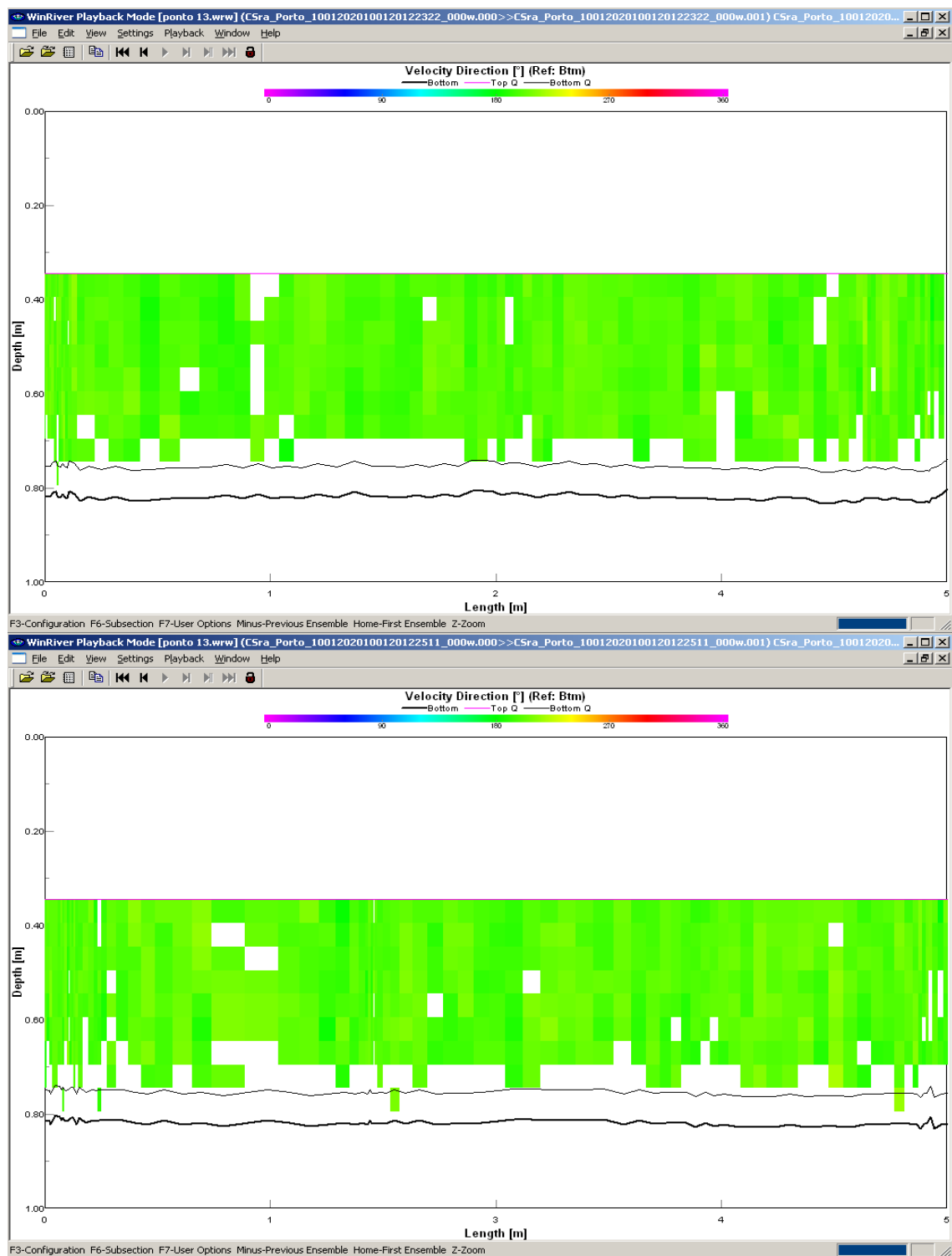
File Name	# Sta En s.	Ti me	Sta Ba nk	Le ft Di st.	Lef t En s#	L m 3/s	T o p Q	M ea s. Q	Bo tto m Q	Rig ht Dis t.	Rig ht En s#	Ri gh t Q	Tot al Ar ea	W id th	Bo at Sp eed	Avg Co urs e	Q/ Ar ea	Flo w Sp eed	Fl ow Dir.	Le ft Ve l.	Le ft De pth	Le ft Sh ap e	Ri gh t Vel.	Rig ht De pth	Rig ht Are a	Rig ht Sha pe	D ur ati on	En d Ti me	Sta En s#	En d En s#	V el oc ity	D ep th
				[m]	[m 3/s]	[m 3/s]	[m 3/s]	[m 3/s]	[m 3/s]	[m]	[m 3/s]	[m 3/s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[°]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m]	[m ²]	[m/s]	[m]	[m ²]	[m ²]	[s]					
CSra_Porto_10 012020100120 121601_000r.000	1	13: 7	2	Lef	0,43	0,8	0,8	1,6	0,2	0,4	21	0,06	3,9	5,2	0,0	301	0,1	0,7	19	0,73	0,8	0,3	0,5	0,1	0,3	76	13: 39		21			
	7	37: 0	8		0,4	0,8	0,8	1,6	0,76	0,4	3	0,6	3,9	5,2	0,0	28	0,1	0,7	0,4	0,3	0,8	0,5	0,1	0,3	6	11		43		3		
	0	54	8		0,4	0,8	0,8	1,6	0,76	0,4	3	0,6	3,9	5,2	0,0	28	0,1	0,7	0,4	0,3	0,8	0,5	0,1	0,3	6	11						
CSra_Porto_10 012020100120 121852_000r.000	1	13: 3	2	Lef	0,22	0,8	0,8	1,6	0,2	0,4	15	0,07	3,9	5,2	0,0	297	0,1	0,7	19	0,72	0,8	0,3	0,6	0,1	0,3	60	13: 41		15			
	3	40: 4	8		0,4	0,8	0,8	1,6	0,63	0,4	5	0,1	3,9	5,2	0,0	61	0,1	0,7	9,9	0,72	0,8	0,5	0,1	0,3	2	41		22		5		
	3	44	3		0,4	0,8	0,8	1,6	0,63	0,4	5	0,1	3,9	5,2	0,0	61	0,1	0,7	8,4	0,7	0,8	0,5	0,1	0,3	8	44						
CSra_Porto_10 012020100120 121958_000r.000	1	13: 1	2	Rig	0,28	0,8	0,8	1,6	0,2	0,4	17	0,0	3,8	4,4	0,0	126	0,1	0,7	19	0,76	0,8	0,3	0,6	0,1	0,3	51	13: 42		17			
	1	41: 0	8	ht	0,44	0,8	0,8	1,6	0,5	0,4	0	0	6	9	99	14	0,1	0,7	9,9	0,76	0,8	0,5	0,1	0,3	4	42		0		4		
	5	51	9		0,8	0,8	0,8	1,6	0,5	0,4	0	0	6	9	99	14	0,1	0,7	49	0,3	0,8	0,5	0,1	0,3	3	42						
CSra_Porto_10 012020100120 122055_000r.000	1	13: 2	2	Lef	0,29	0,8	0,8	1,6	0,2	0,4	44	0,07	3,9	5,2	0,0	302	0,1	0,7	19	0,76	0,8	0,3	0,6	0,1	0,3	66	13: 43		29			
	4	42: 8	8	t	0,6	0,8	0,8	1,6	0,66	0,4	2	0,3	3,9	5,2	0,0	94	0,1	0,7	9,9	0,76	0,8	0,5	0,1	0,3	6	55		6		3		
	8	48	6		0,7	0,8	0,8	1,6	0,66	0,4	2	0,3	3,9	5,2	0,0	94	0,1	0,7	47	0,76	0,8	0,5	0,1	0,3	6	55						
CSra_Porto_10 012020100120 122207_000r.000	1	13: 2	2	Rig	0,58	0,8	0,8	1,6	0,2	0,4	45	0,06	3,9	5,2	0,0	117	0,1	0,7	19	0,72	0,8	0,3	0,6	0,1	0,3	60	13: 43		45			
	3	43: 2	8	ht	0,6	0,8	0,8	1,6	0,63	0,4	3	0,8	3,9	5,2	0,0	22	0,1	0,7	9,9	0,72	0,8	0,5	0,1	0,3	6	59		3		6		
	4	59	8		0,3	0,8	0,8	1,6	0,63	0,4	3	0,8	3,9	5,2	0,0	22	0,1	0,7	72	0,72	0,8	0,5	0,1	0,3	6	59						
CSra_Porto_10 012020100120 122322_000r.000	1	13: 2	2	Lef	0,61	0,8	0,8	1,6	0,2	0,4	70	0,07	3,8	4,4	0,0	295	0,1	0,7	19	0,72	0,8	0,5	0,1	0,3	6	59		39		61		
	8	45: 7	8	t	0,9	0,8	0,8	1,6	0,64	0,4	5	0,3	3,8	4,4	0,0	21	0,1	0,7	9,9	0,74	0,8	0,5	0,1	0,3	6	54		6		7		
	8	14	6		0,5	0,8	0,8	1,6	0,64	0,4	5	0,3	3,8	4,4	0,0	21	0,1	0,7	56	0,74	0,8	0,5	0,1	0,3	6	54						
CSra_Porto_10 012020100120 122415_000r.000	1	13: 2	2	Rig	0,84	0,8	0,8	1,6	0,2	0,4	73	0,0	3,8	4,4	0,0	118	0,1	0,7	19	0,66	0,8	0,5	0,1	0,3	6	59		50		73		
	1	46: 0	8	ht	0,8	0,8	0,8	1,6	0,5	0,4	8	0,8	3,8	4,4	0,0	15	0,1	0,7	9,9	0,66	0,8	0,5	0,1	0,3	6	59		1		46		
	2	08	4		0,6	0,8	0,8	1,6	0,5	0,4	8	0,8	3,8	4,4	0,0	15	0,1	0,7	93	0,66	0,8	0,5	0,1	0,3	6	59		3		58		
CSra_Porto_10 012020100120 122511_000r.000	1	13: 2	2	Lef	0,86	0,8	0,8	1,6	0,2	0,4	94	0,07	3,9	5,2	0,0	300	0,1	0,7	19	0,70	0,8	0,5	0,1	0,3	6	59		40		86		
	8	47: 1	8	t	0,4	0,8	0,8	1,6	0,59	0,4	9	0,8	3,9	5,2	0,0	86	0,1	0,7	9,9	0,70	0,8	0,5	0,1	0,3	6	59		1		0		
	9	03	2		0,8	0,8	0,8	1,6	0,59	0,4	9	0,8	3,9	5,2	0,0	86	0,1	0,7	53	0,71	0,8	0,5	0,1	0,3	6	59		9		43		

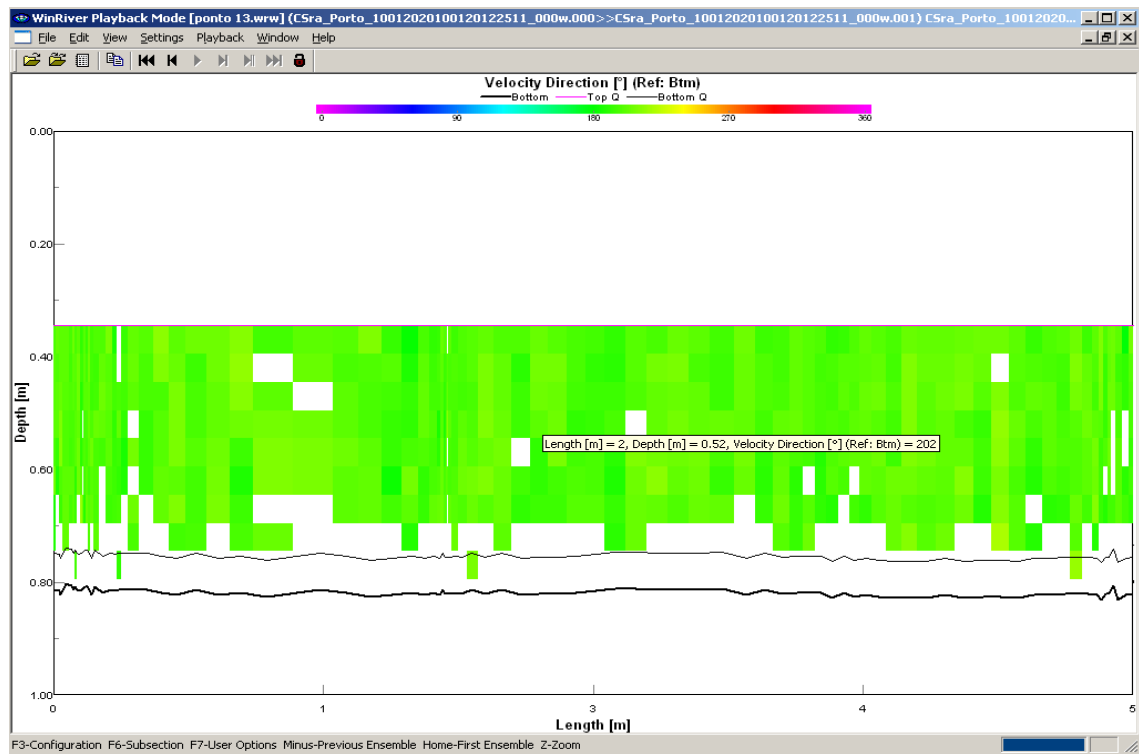
Average	1	2,8	0,1	1,2	0,05	3,9	5,1	0,0	0,7	0,8	0,1	0,6	0,8	0,1
	2	8	0	2	0,8	16	1	97	2	1	16	19	1	2
	4	5	4	2	4	4	1	1	9	5	5	5	1	2
Std. Dev.	2	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,0	0,	0,	0,	0,0	0,0	0,0
	8	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,0	0,0	0,0
								2	1	0	0	26	1	8
								4	2	3	3			
Std./ Avg.	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,0	0,	0,	0,	0,0	0,0	0,6
	2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	4	1	2
								3	1	0	0			
	3	2	5	2	3	3	3		1	05	0	4	1	2







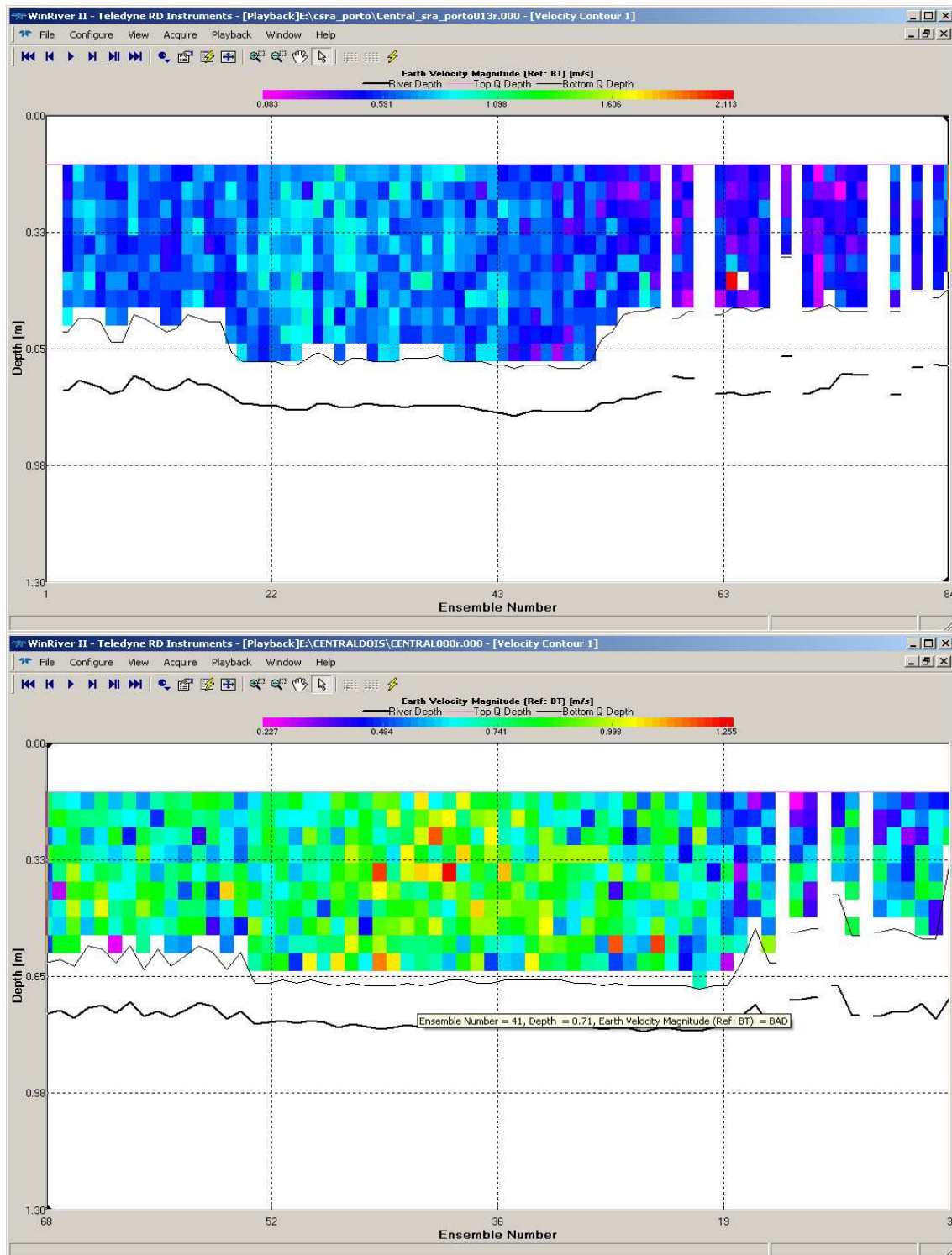


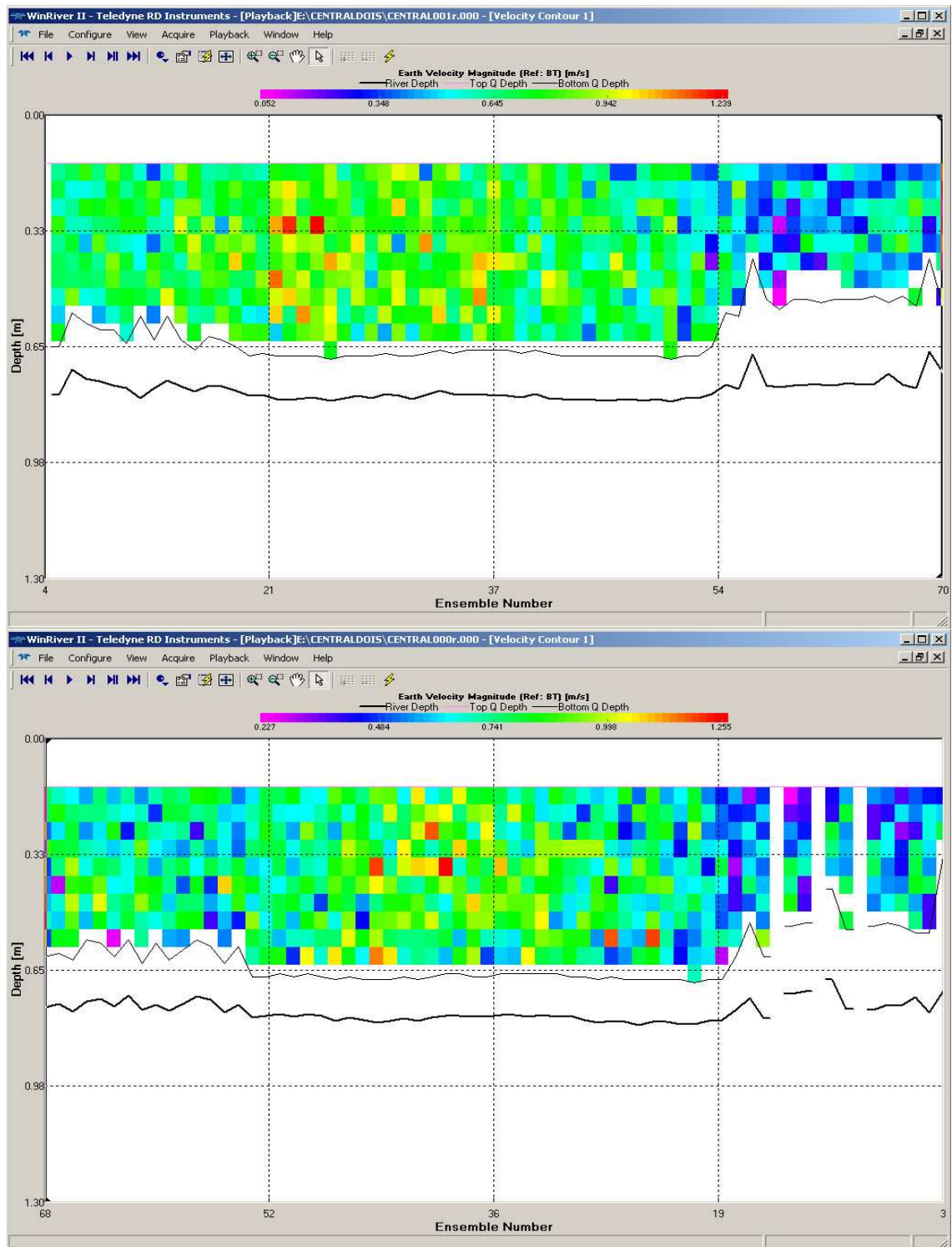


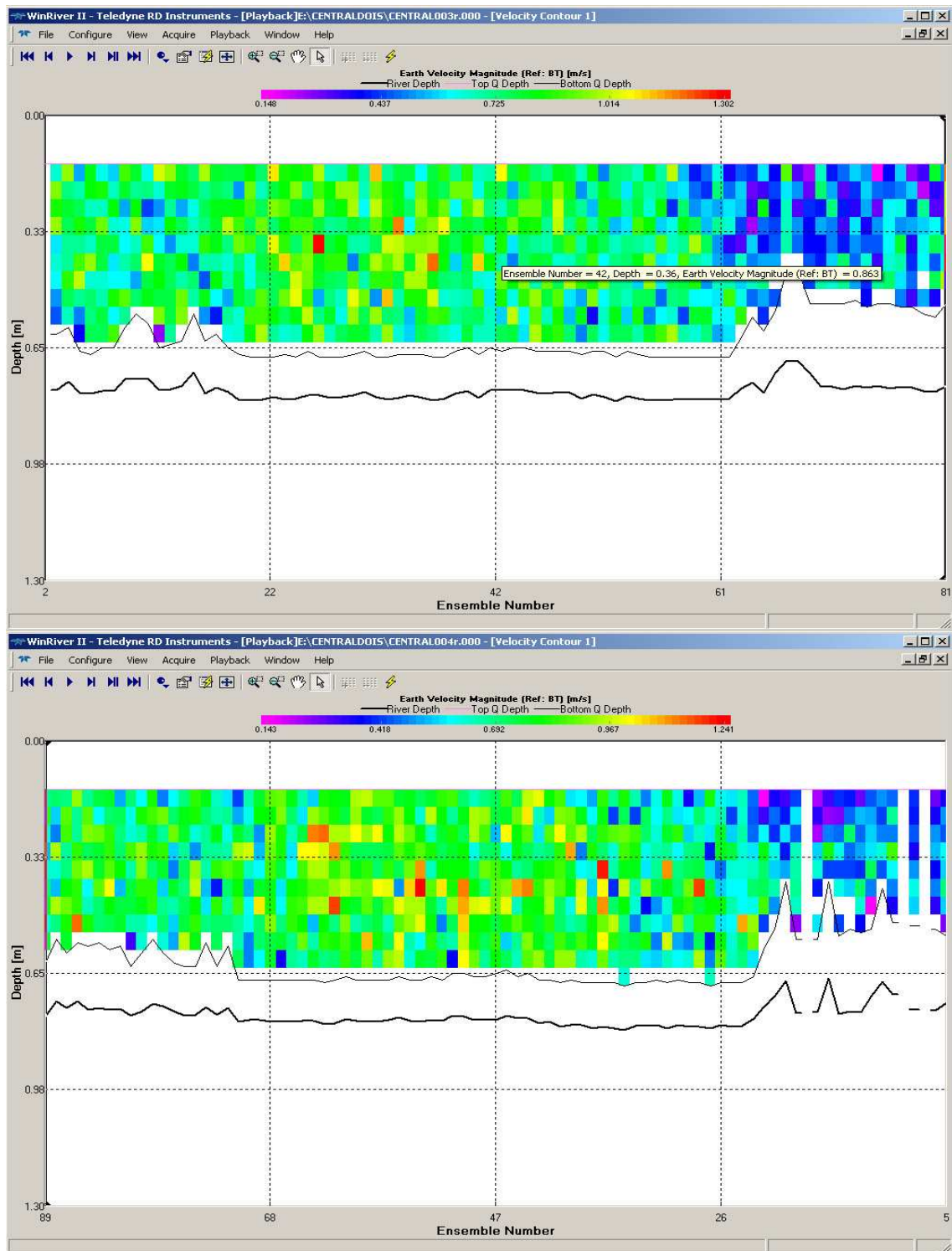
Folha de cálculo 33 - Rio Grande (7ª Campanha)

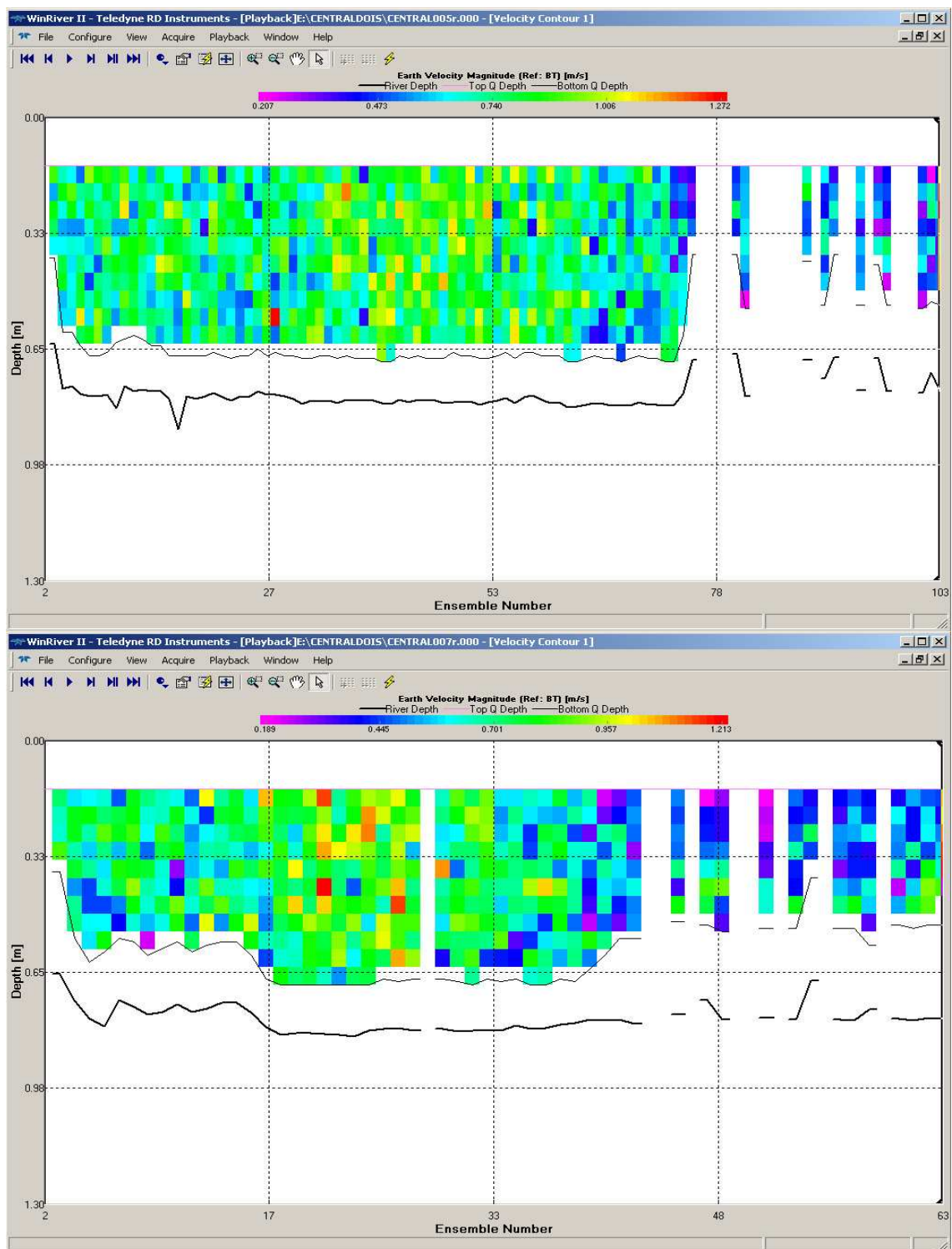
Canal da central da
Senhora do Porto20-01-
2010Equipamento:
Streampro

Transect	Start Bank	# En s.	Start Time	Total Q m³/s	Delta Q %	To p m³/s	Mea s	Botto m³/s	Lef t Q m³/s	Left Dist. m	Rig ht Q m³/s	Right Dist. m	Wid th m	Total Area m²	Q/A rea m/s	Boat Speed m/s	Flow Speed m/s	Flow Dir.	End Time	Dur atio n s	Start Ens.	End Ens.	Vel ocit y Ref.	De pth Ref.
CENTRAL 001	Left	67	12:45 :23	2,706	0,8 4	0,5 21	1,72 5	0,4 5	0,0 36	0,2 0,2	0,0 23	0,2 0,2	5,3 9	4,07 65	0,6 0,6	0,093	0,662	322, 18	12:4 6:29	66	4	70	Ref: BT	AD CP
CENTRAL 003	Left	80	12:48 :11	2,856	4,6 5	0,5 52	1,83 1	0,40 8	0,0 38	0,2 0,2	0,0 26	0,2 0,2	5,3 8	4,05 06	0,7 0,6	0,081	0,694	321, 76	12:4 9:30	79,0 1	2	81	Ref: BT	AD CP
CENTRAL 004	Right	85	12:49 :51	2,673	2,0 4	0,5 16	1,71 5	0,38 39	0,0 0,2	0,2 0,2	0,0 23	0,2 0,2	5,1 1	3,84 96	0,6 0,6	0,073	0,699	312, 57	12:5 1:15	84	5	89	Ref: BT	AD CP
CENTRAL 005	Left	10 2	12:51 :33	2,615	4,1 9	0,4 94	1,71 2	0,34 4	0,0 39	0,2 0,2	0,0 25	0,2 0,2	4,4 8	3,44 6	0,7 0,6	0,068	0,712	320, 8	12:5 3:14	101, 01	2	103	Ref: BT	AD CP
CENTRAL 007	Left	62	12:56 :11	2,775	1,7 1	0,5 19	1,80 2	0,39 8	0,0 34	0,2 0,2	0,0 22	0,2 0,2	5,5 8	4,33 41	0,6 0,6	0,103	0,621	325, 19	12:5 7:12	61,0 1	2	63	Ref: BT	AD CP
CENTRAL 008	Right	75	12:58 :02	2,611	4,3 2	0,5 05	1,68 6	0,36 35	0,0 0,2	0,2 0,2	0,0 25	0,2 0,2	5 5	3,76 95	0,6 0,6	0,086	0,675	309, 98	12:5 9:16	74	4	78	Ref: BT	AD CP
CENTRAL 015	Right	66	12:43 :57	2,855	4,6 1	0,5 53	1,82 9	0,40 8	0,0 37	0,2 0,2	0,0 28	0,2 0,2	5,4 6	4,11 95	0,6 0,6	0,093	0,701	309, 6	12:4 5:02	65	3	68	Ref: BT	AD CP
CENTRAL 017	Right	66	12:43 :57	2,855	4,6 1	0,5 53	1,82 9	0,40 8	0,0 37	0,2 0,2	0,0 28	0,2 0,2	5,4 6	4,11 95	0,6 0,6	0,093	0,701	309, 6	12:4 5:02	65	3	68	Ref: BT	AD CP
Central013	Left	84	11:23 :28	2,615	4,1 9	0,4 88	1,72 5	0,34 4	0,0 34	0,2 0,2	0,0 24	0,2 0,2	5,2 8	4,12 34	0,6 0,6	0,083	0,602	322, 99	11:2 4:51	83	1	84	Ref: BT	AD CP
Average		76		2,729	0 22	0,5 2	1,76 2	0,38 3	0,0 36	0,2 0,2	0,0 25	0,2 0,2	5,2 4	3,98 87	0,6 0,6	0,086	0,674							
Std Dev.		13 0,1		0,108	3,9 6	0,0 25	0,06 7	0,02 0,07	0,0 0,0	0,2 0,2	0,0 0,0	0,2 0,2	0,3 4	0,26 38	0,0 0,0	0,011	0,039							
Std./ Avg.		7		0,04	0 5	0,03 5	0,03 0,07	0,07 5	0 5	0 0	0,9 9	0 0	6 6	0,07 5	5 5	0,13 0,13	0,06							







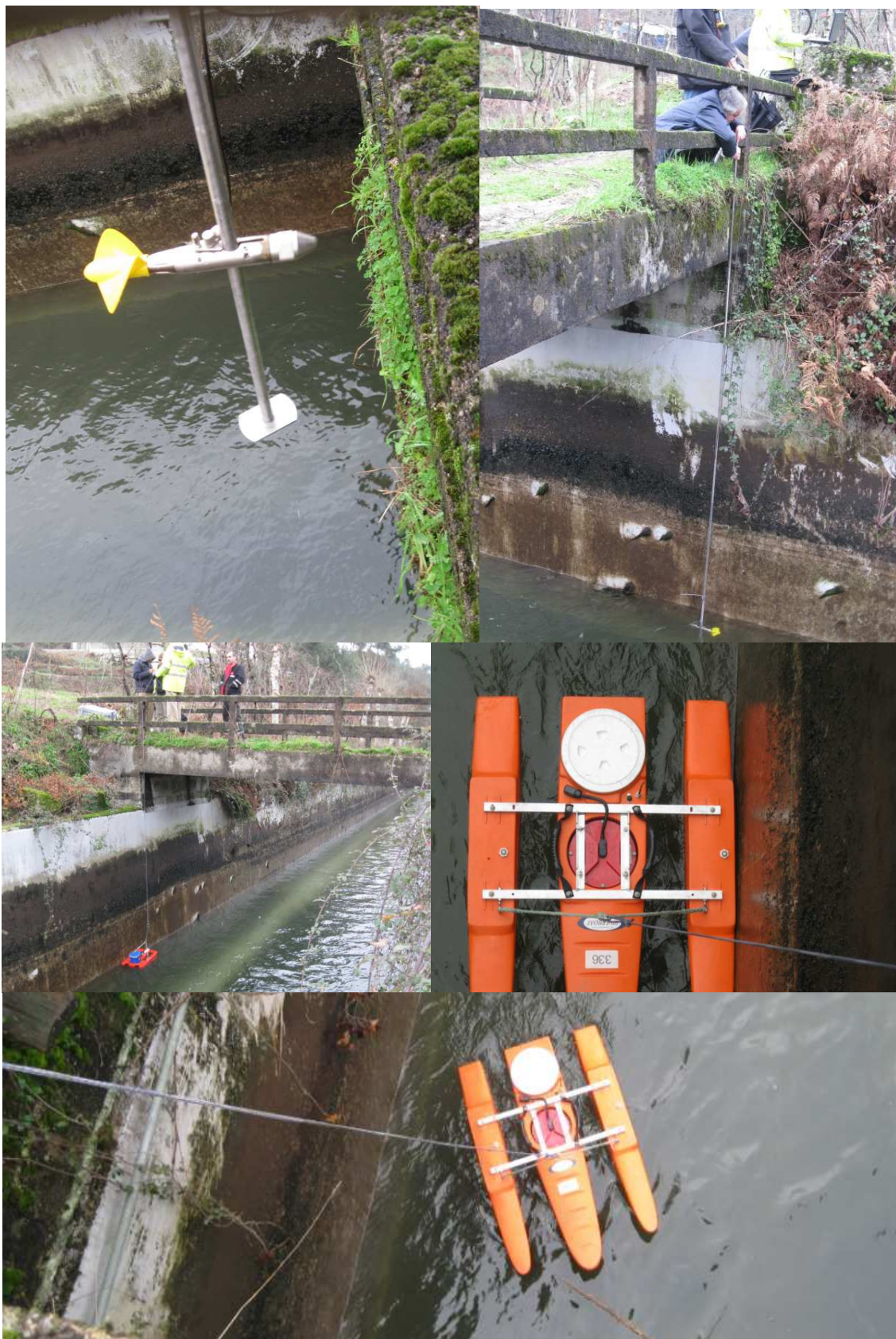


Folha de cálculo 34 - Stream Pro ADCP (7ª Campanha)

Segue-se um conjunto de fotografias descritivas da Campanha realizada:







Álbum 11 - Sétima Campanha

