



COPPE/UFRJ

ESTIMATIVA DAS PRECISÕES ABSOLUTA E RELATIVA
DE NÍVEIS DE ÁGUA FLUVIAIS OBTIDOS
DO SATÉLITE ALTIMÉTRICO JASON-2
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS

Ana Emília de Souza Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia
Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio
de Janeiro, como parte dos requisitos necessários
à obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil.

Orientador(es): Otto Corrêa Rotunno Filho

Stéphane Calmant

Rio de Janeiro
Outubro de 2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ESTIMATIVA DAS PRECISÕES ABSOLUTA E RELATIVA
DE NÍVEIS DE ÁGUA FLUVIAIS OBTIDOS
DO SATÉLITE ALTIMÉTRICO JASON-2
EM BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS

Ana Emília de Souza Silva

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Examinada por:

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph. D.

Prof. Alexandre Pinto Alves da Silva, Ph. D.

Prof^a Ana Luiza Coelho Netto, Ph. D.

Prof. Luiz Cláudio Gomes Pimentel, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO DE 2010

Silva, Ana Emília de Souza

Estimativa das precisões absoluta e relativa de níveis de água fluviais obtidos do satélite altimétrico Jason-2 em bacias hidrográficas brasileiras / Ana Emília de Souza Silva. - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XVI, 239 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Otto Corrêa Rotunno Filho

Stéphane Calmant

Dissertação (mestrado) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2010.

Referências Bibliográficas: p. 131-136.

1. Hidrologia 2. Altimetria espacial 3. Altimetria por radar embarcado em satélite. 3. Reprocessamento Ice3. 4. Amazônia I. Rotunno Filho, Otto Corrêa *et al.* . II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve como origem o projeto CAPES/COFECUB no. 516/05 intitulado Modelagem hidrológica-atmosférica aplicada à gestão de grandes bacias hidrográficas, envolvendo o Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ e os laboratórios LMTG e LEGOS da Universidade Paul Sabatier-Toulouse III.

Projetos subseqüentes e complementares, como o projeto CTHIDRO 037/2006 - CNPq Curso de Extensão em Hidrometria e o projeto PROSUL (Edital CNPq Nº 005/2007), aprovado no âmbito de redes temáticas, intitulado Técnicas de Sensoriamento Remoto Aplicadas ao Monitoramento Hidrológico e de Mudanças Climáticas na Região Amazônica, que reúne pesquisadores brasileiros, latino-americanos e franceses, atualmente em curso, bem como o projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões Amazonas, que proporcionou parte dos dados estudados, constituindo uma iniciativa conjunta do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e do *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD), com vistas a estudar o comportamento hidrodinâmico e hidrológico da bacia Amazônica, com ênfase no monitoramento hidrológico via sensoriamento remoto, foram fundamentais para que a presente dissertação fosse desenvolvida.

Assim, agradecimentos a todos os projetos e a todas as instituições supracitados são aqui apresentados, na medida que permitiram conceber, como uma meta conjunta de atuação, a determinação da precisão alcançada pelo satélite altimétrico Jason-2 em águas continentais, abordando a linha temática de altimetria por radar embarcado em satélite aplicada à hidrologia.

Agradeço a colaboração das instituições ANA, CPRM e Eletronorte que, gentilmente, forneceram dados atualizados fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao apoio incondicional e incansável do meu eterno professor e amigo Ivan de Araujo Medina, o qual foi parte essencial na construção deste trabalho com seus ensinamentos, sugestões e esclarecimentos.

Aos amigos da ANA Eurides de Oliveira e Andrelina Laura; da CPRM Ana Carolina Costi, Ligia Maria Nascimento de Araujo, Daniel Medeiros Moreira, Aquiles Monteiro, João Bosco Alfenas e Manuel das Graças Almeida; e do IPqM (Instituto de Pesquisa da Marinha) Denise C. Dargam, Fernando Pantoja e Karla dos Santos Teixeira e tantos outros não citados.

Pelo suporte financeiro, pelas bolsas de estudos concedidas, que permitiu o meu aperfeiçoamento profissional, expresso o meu reconhecimento ao CNPq e a FAPERJ.

Ao apoio e à dedicação dos funcionários do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, que colaboraram para que esta dissertação fosse concluída, deixo registrado o meu agradecimento ao final da realização deste trabalho.

Aos orientadores Otto Corrêa Rotunno Filho e Stéphane Calmant pela oportunidade e suporte no desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTIMATIVA DAS PRECISÕES ABSOLUTA E RELATIVA
DE NÍVEIS DE ÁGUA FLUVIAIS OBTIDOS DO SATÉLITE ALTIMÉTRICO
JASON-2 EM BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS

Ana Emília de Souza Silva

Outubro/2010

Orientadores: Otto Corrêa Rotunno Filho
Stéphane Calmant

Programa: Engenharia Civil

A altimetria por radar embarcado em satélite possibilita determinar alturas das águas superficiais sobre a plataforma continental em relação a uma superfície de referência elipsoidal. Este trabalho estima a precisão relativa e absoluta alcançada pelos dados de altura elipsoidal obtidos pelo satélite altimétrico Jason-2 sobre os corpos hídricos fluviais localizados na plataforma continental, após o reprocessamento com o algoritmo Ice3. Algumas estações de avaliação, distribuídas em território brasileiro, com diferentes características físicas, formam o conjunto de validação. A consecução do objetivo ensejou o estudo de métodos para extrair o valor representativo da altura da superfície do corpo aquoso a partir de um conjunto de dados fornecidos pelo satélite. Os resultados obtidos, ao longo dos primeiros dois anos da missão, mostram uma precisão relativa mínima de cerca de 16 cm, em termos de erro médio quadrático, e uma precisão absoluta mínima de 49 cm, essa baseada no valor médio das diferenças absolutas, confirmando a aplicabilidade da altimetria espacial em hidrometria. Em especial, o estudo revelou, de forma inovadora, a capacidade de identificar com precisão níveis de água em corpos hídricos com larguras de até 100 metros.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

ABSOLUTE AND RELATIVE ACCURACY ASSESSMENT
OF FLUVIAL WATER LEVELS OBTAINED BY
ALTIMETRIC SATELLITE JASON-2 IN BRAZILIAN WATERSHEDS

Ana Emília de Souza Silva

October/2010

Advisors: Otto Corrêa Rotunno Filho
Stéphane Calmant

Department: Civil Engineering

The altimetry by radar onboard satellite allows determine surface water heights over the continental shelf in relation to an ellipsoidal reference surface. This work estimates the relative and absolute precision achieved by the ellipsoidal height data obtained by the altimetric satellite Jason-2 over fluvial water bodies located on the continental shelf, after Ice3 algorithm retracking. Some evaluation stations, distributed in Brazilian territory, with different physical characteristics, form the validation dataset. The attainment of the objective led to the study of methods to extract the representative value for the height of the surface of the aqueous body based on a dataset supplied by the satellite. The obtained results, along the first two years of the mission, show minimum relative precision about 16 cm, in terms of root mean square error, and minimum absolute precision about 49 cm, that based on the medium value of the absolute differences, confirming the applicability of spatial altimetry in hydrological measurements. Especially, the study revealed, in an innovative way, the capacity to identify water levels accurately in hydric bodies with widths of up to 100 meters.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Caracterização do Problema e Relevância	3
1.2. Objetivo	5
1.3. Organização do Texto	7
 CAPÍTULO 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1. Fundamentação Teórica.....	9
2.1.1. Princípios de Altimetria por Radar Embarcado em Satélite.....	9
2.1.2. Radar Altimetro.....	12
2.1.2.1. Princípios de Operação do Radar Altimetro - Aspectos Gerais	14
2.1.2.2. Iteração do Eco Radar com a Superfície.....	18
2.1.2.3. Forma Analítica do Eco de Retorno Radar.....	23
2.2. Revisão Bibliográfica.....	26
2.2.1. Histórico e Progresso das Missões.....	27
2.2.2. Estação Virtual.....	30
2.2.3. Estudos Prévios de Validação.....	32
2.2.4. Análise dos Estudos Prévios de Validação.....	36
 CAPITULO 3. METODOLOGIA.....	38
3.1. Determinação do Método de Construção de Estações Virtuais.....	40
3.1.1. Dados Provindos do Satélite.....	43
3.1.2. Seleção dos Dados.....	45
3.1.3. Filtragem de Dados.....	45
3.1.4. Estimação da Altura da Superfície do Corpo Aquoso.....	49
3.1.5. Filtro de Eliminação de Desvios Extremos.....	50
3.1.6. Síntese dos Algoritmos Testados para Construção de Estações Virtuais.....	50
3.2. Validação Relativa.....	51
3.3. Validação Absoluta.....	55

CAPÍTULO 4. ESTUDO DE CASO.....	58
4.1. Missão Altimétrica Jason-2.....	58
4.1.1. Distribuição dos dados.....	58
4.1.1.1. Projeto PISTACH - Reprocessamento <i>Ice-3</i>	59
4.1.2. Convenções.....	60
4.1.3. Descrição do Satélite.....	61
4.1.3.1. Radar Altimetro Poseidon-3.....	62
4.1.4. Correções Disponíveis nos Arquivos (O)(I)GDR com Aplicações a Águas Continentais.....	65
4.2. Projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas - CPRM/IRD...68	
4.2.1. Campanhas de Campo	70
4.2.1.1. Coleta de Dados de Linha de Água.....	72
4.3. Rede Hidrometeorológica Brasileira.....	75
4.4. Área de Experimentação e Validação.....	77
4.4.1. Estação Boa Vista.....	79
4.4.2. Estação Manaus.....	80
4.4.3. Estação Santa Luzia.....	81
4.4.4. Estação Uricurituba.....	82
4.4.5. Estação Itupiranga.....	83
4.4.6. Estação São Francisco.....	84
4.4.7. Estação Usina Paineiras.....	85
4.4.8. Estação Pousada Taiamã	86
 CAPITULO 5. RESULTADOS ENCONTRADOS.....	 87
5.1. Determinação do Método de Construção de Estações Virtuais.....	87
5.1.1. Estação de Validação Boa Vista	89
5.1.2. Estação de Validação Manaus.....	90
5.1.3. Estação de Validação Santa Luzia.....	92
5.1.4. Estação de Validação Uricurituba.....	93
5.1.5. Estação de Validação Itupiranga.....	94
5.1.6. Estação de Validação São Francisco.....	95
5.1.7. Estação de Validação Usina Paineiras.....	97
5.1.8. Estação de Validação Pousada Taiamã.....	98

5.1.9. Síntese dos resultados Para a Determinação do Método de Construção de Estações Virtuais.....	99
5.1.10. Discussão dos Resultados para a Determinação do Método de Construção de Estações Virtuais.....	100
5.2. Validação Relativa.....	103
5.2.1. Discussão dos Resultados da Validação Relativa.....	109
5.3. Validação Absoluta.....	110
5.3.1. Reservatório Balbina.....	112
5.3.2. Santa Luzia	114
5.3.3. Manaus.....	116
5.3.4. Uricurituba.....	118
5.3.5. Síntese dos Resultados para a Validação Absoluta.....	120
5.3.6. Discussão dos Resultados para a Validação Absoluta.....	121
 CAPITULO 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	 125
6.1. Súmula do Trabalho.....	125
6.2. Quanto à Construção de Estações Virtuais.....	127
6.3. Quanto à Validação Relativa.....	128
6.4. Quanto à Validação Absoluta.....	130
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 131
 ANEXO A - Síntese dos Métodos de Construção de Estações Virtuais Testados.....	 137
ANEXO B - Estação Boa Vista	141
ANEXO C - Estação Manaus	154
ANEXO D - Estação Santa Luzia	167
ANEXO E - Estação Uricurituba	179
ANEXO F - Estação Itupiranga	191
ANEXO G - Estação São Francisco	202
ANEXO H - Estação Usina Paineiras	213
ANEXO I - Estação Pousada Taiamã	225
ANEXO J - Estações de validação com o correspondente conjunto de ciclos (ausentes de ciclos espúrios) e frequência de ocorrência na amostra de validação obtida com o método de filtragem Aqua AGC Mediana	236

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Estação fluviométrica Porto União antes (foto esquerda) e depois (foto direita) de um evento de desbarrancamento.....	3
Figura 1.2 - Sub-bacia 15. No detalhe, destacam-se algumas interseções entre o traço do satélite e os rios (pontos em verde), que permitem, em potencial, a extração de dados do satélite altimétrico Jason-2.....	4
Figura 2.1 - Princípio da altimetria (Fonte: ROSMORDUC <i>et al.</i> , 2006).....	9
Figura 2.2 - Princípio de operação do altímetro no modo de diferenciação completa (<i>full deramp</i>). O sinal de retorno é mixado com uma réplica do sinal enviado, e o sinal resultante é processado digitalmente (Fonte: DESJONQUERES <i>et al.</i> , 2010).....	16
Figura 2.3 - Dependência do tempo da potência recebida pelo radar-altímetro sobre uma superfície plana de acordo com o modelo simples (Fonte: CHELTON <i>et al.</i> , 1989).....	19
Figura 2.4 - Zona de dispersão cruzando a superfície na forma de anel (Fonte: REES (2001)).....	20
Figura 2.5 - Variação no tamanho da seção reta (Fonte: MCGOOGAN, 1975).....	21
Figura 2.6 - Dependência do tempo da potência recebida pelo radar-altímetro sobre uma superfície plana em modelo real.....	22
Figura 2.7 - Padrões de formas de onda em função do espalhamento na superfície oceânica. Modelo de Brown para diferentes desvios padrões da rugosidade da superfície oceânica, σ_s . Note-se que o ponto de meia potência corresponde à elevação da superfície média do mar (Fonte: DAVIS, 1992).....	23
Figura 2.8 - Corpo teórico do eco dos radares-altímetros e os correspondentes parâmetros oceânicos (Fonte: AMAROUCHE <i>et al.</i> , 2004).....	25
Figura 2.9 - Fases da construção de estações virtuais (somente caráter ilustrativo). Fonte: Composição de figuras a partir de CALMANT <i>et al.</i> (2008).....	31
Figura 3.1 - Fluxograma metodológico.....	40
Figura 3.2 - Processo de construção de estações virtuais.....	41
Figura 3.3 - Métodos empregados na construção de estações virtuais.....	43
Figura 3.4 - Exemplo da etapa de seleção dos dados no rio Cuiabá.....	45
Figura 3.5 - Fluxograma do algoritmo Aqua.....	48
Figura 3.6 - Fluxograma do algoritmo Aqua-AGC.....	49
Figura 3.7 - Procedimento de validação absoluta.....	56
Figura 4.1 - Traços do satélite Jason-2.....	60

Figura 4.2 - Principais componentes a bordo do satélite Jason-2 (Fonte: CNES,2009; adaptado pela autora).....	61
Figura 4.3 - Locais de levantamento dos dados de campo do projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas.....	69
Figura 4.4 - Estações Fluviométricas de Santa Luzia e Porto União.....	71
Figura 4.5- Exemplo de percurso do barco realizado para medições da declividade da linha de água (Fonte: MOREIRA, 2010).....	73
Figura 4.6- Instalação de receptores e antenas GPS sobre o barco (Fonte:MOREIRA, 2010).....	73
Figura 4.7 - Nivelamento de antenas GPS sobre o barco (Fonte:MOREIRA, 2010).....	74
Figura 4.8- Medições de linha de água a partir do GPS flutuante (Fonte:MOREIRA, 2010).....	74
Figura 4.9 - Estações fluviométricas em operação, ano 2005, sob responsabilidade da ANA e outras entidades.....	75
Figura 4.10 - Estação Boa Vista.....	79
Figura 4.11 - Estação Manaus.....	80
Figura 4.12 - Estação Santa Luzia.....	81
Figura 4.13 - Estação Uricurituba.....	82
Figura 4.14 - Estação Itupiranga.....	83
Figura 4.15 - Estação São Francisco.....	84
Figura 4.16 - Estação Usina Paineiras.....	85
Figura 4.17 - Estação Pousada Taiamã.....	86
Figura 5.1 - Fluxograma metodológico de construção de estações virtuais.....	88
Figura 5.2 - Estação Boa Vista.....	89
Figura 5.3 - Estação Manaus.....	91
Figura 5.4 - Estação Santa Luzia.....	92
Figura 5.5 - Estação Uricurituba.....	93
Figura 5.6 - Estação Itupiranga.....	94
Figura 5.7 - Estação São Francisco.....	96
Figura 5.8 - Estação Usina Paineiras.....	97
Figura 5.9 - Estação Pousada Taiamã.....	98
Figura - 5.10 - Fluxograma metodológico para validação relativa.....	104
Figura 5.11 - Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Boa Vista.....	106

Figura 5.12 - Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Itupiranga.....	106
Figura 5.13 - Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã.....	107
Figura 5.14 - Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Santa Luzia.....	107
Figura 5.15 - Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica São Francisco.....	108
Figura 5.16 - Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Usina Paineiras.....	108
Figura 5.17 - Estação de validação absoluta Reservatório de Balbina.....	112
Figura 5.18 - Validação absoluta em Santa Luzia	114
Figura 5.19 - Validação absoluta Manaus.....	117
Figura 5.20 - Validação absoluta em Uricurituba.....	119

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Estudo de validação: Detalhes dos rios e estações fluviométricas (<i>gauge</i>) (Fonte: Adaptado de BIRKETT <i>et al.</i> , 2002).....	34
Tabela 2.2 - Erro médio quadrático (RMS) entre os níveis de água derivados do ENVISAT para cada reprocessamento e os níveis de água medidos nas estações <i>in situ</i> . As estações em áreas úmidas (<i>wetland stations</i>) são compostas pelos lagos e as demais estações estão associadas a rios (Fonte: FRAPPART <i>et al.</i> , 2006).....	34
Tabela 2.3 - Estatísticas da comparação entre séries altimétricas e leituras das estações medida próximo ao percurso do satélite. Fonte: Adaptado de SILVA <i>et al.</i> (2010).....	35
Tabela 4.1 - Tipos de estações em operação sob responsabilidade da ANA por região hidrográfica (Fonte: ANA, 2009).....	76
Tabela 4.2 - Tipos de estações em operação sob responsabilidade de outras entidades por região hidrográfica (Fonte: ANA, 2009).....	76
Tabela 4.3 - Estações fluviométricas pré-selecionadas.....	78
Tabela 4.4 - Ficha descritiva da estação fluviométrica Boa Vista (Fonte: ANA, 2010).....	79
Tabela 4.5 - Ficha descritiva da estação fluviométrica Manaus (Fonte: ANA, 2010)....	80
Tabela 4.6 - Ficha descritiva da estação fluviométrica Santa Luzia (Fonte: ANA, 2010).....	81
Tabela 4.7 - Ficha descritiva da estação fluviométrica Uricurituba (Fonte: ANA, 2010).....	82
Tabela 4.8 - Ficha descritiva da estação fluviométrica Itupiranga (Fonte: ANA, 2010).....	83
Tabela 4.9 - Ficha descritiva da estação fluviométrica São Francisco (Fonte: ANA, 2010).....	84
Tabela 4.10 - Ficha descritiva da estação fluviométrica Usina Paineiras (Fonte: ANA, 2010).....	85
Tabela 4.11 - Ficha descritiva da estação fluviométrica Pousada Taiamã (Fonte: ANA, 2010).....	86
Tabela 5.1 - Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Boa Vista com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.....	90
Tabela 5.2 - Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Manaus com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.....	91

Tabela 5.3 - Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Santa Luzia com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.....	92
Tabela 5.4 - Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Uricurituba com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.....	94
Tabela 5.5 - Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Itupiranga com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.....	95
Tabela 5.6 - Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação São Francisco com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.....	96
Tabela 5.7 - Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Usina Paineiras com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.....	97
Tabela 5.8 - Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Pousada Taiamã com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.....	99
Tabela 5.9 - Somatório das variâncias.....	100
Tabela 5.10 - Resultado final do procedimento de validação, utilizando seis estações de validação, com o objetivo de determinar a precisão alcançada pelos dados de altura elipsoidal obtidos pelo satélite altimétrico Jason-2 com o reprocessamento Ice3 em águas fluviais.....	105
Tabela 5.11 - Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica do Reservatório Balbina, na época 2.....	113
Tabela 5.12 - Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 10.....	113
Tabela 5.13 - Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 11.....	113
Tabela 5.14 - Diferenças absolutas encontradas na estação de validação Reservatório Balbina com os ciclos 10 e 11.....	114
Tabela 5.15 - Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica Santa Luzia (calha direita), na época 2.....	115
Tabela 5.16 - Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica Santa Luzia (calha esquerda), na época 2.....	115
Tabela 5.17 - Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 45 calha direita.....	116
Tabela 5.18 - Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 45 calha esquerda.....	116

Tabela 5.19 - Diferenças absolutas encontradas na estação de validação Santa Luzia, calhas esquerda e direita, com o ciclo 45.....	116
Tabela 5.20 - Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica de Manaus, na época 2.....	117
Tabela 5.21 - Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 53.....	118
Tabela 5.22 - Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 54.....	118
Tabela 5.23 - Diferenças absolutas encontradas na estação de validação Manaus com os ciclos 53 e 54.....	118
Tabela 5.24 - Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica Uricurituba, na época 2.....	119
Tabela 5.25 - Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 44.....	120
Tabela 5.26 - Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 45.....	120
Tabela 5.27 - Diferenças absolutas encontradas na estação de validação Uricurituba com os ciclos 44 e 45.....	120
Tabela 5.28 - Síntese dos resultados da validação absoluta.....	121

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

O planeta apresenta evidências crescentes que o sistema climático global está sofrendo mudanças significantes. Essa constatação fica caracterizada pela intensidade de eventos climáticos identificados (IPCC, 2007). Embora haja controvérsias sobre a efetiva mudança no clima da Terra, observam-se episódios, com frequência potencialmente crescente, de secas prolongadas, inundações, invernos severos e temporais de verão, que geram conseqüências socioeconômicas, muitas vezes, irreparáveis, como a perda de vidas humanas. O aperfeiçoamento do monitoramento e melhor entendimento do ciclo de água global fornecem informações críticas para compreender o clima do planeta e seus ecossistemas.

Nos recentes anos, as técnicas de sensoriamento remoto têm demonstrado a capacidade de auxiliar o monitoramento da principal componente do ciclo de água global, ou seja, o armazenamento de água terrestre. A descrição dessa componente, em grandes escalas, é de importância fundamental para estudos de variabilidade climática regional, bem como para aplicações sociais, como distribuição de recursos de água, navegação, uso da terra, infraestrutura, geração de energia, inundação, entre outras, e para estudos ambientais (CAZENAVE e SAVENIJE, 2008).

Desde a década de 70 do século XX, avanços vêm sendo conquistados na técnica de sensoriamento remoto para obtenção de alturas da superfície de corpos aquosos por meio de sensores embarcados em satélites. Por outro lado, somente a partir da década de 90 do século passado, confirmou-se a possibilidade dessa tecnologia de fornecer medidas precisas, contínuas e de cobertura global em superfícies oceânicas e continentais.

Essa nova fonte de dados, que possui cobertura global, aquisição contínua e livre acesso por qualquer usuário, despertou o interesse na aplicação em diversas áreas do conhecimento, como geodésia e geofísica, clima, atmosfera, engenharia de regiões costeiras, glaciologia e hidrologia de águas continentais superficiais.

Em especial, nessa última área, as observações altimétricas espaciais têm o potencial para melhorar significativamente o entendimento dos processos hidrológicos

nas grandes bacias e correspondentes influências na variabilidade climática e na vida humana. A combinação de registros *in situ* e dados altimétricos conjuntamente com o emprego de modelos hidrometeorológicos e geofísicos permite lançar um novo olhar sobre o ciclo hidrológico, incluindo os sistemas continental, atmosférico e oceânico (CAZENAVE e SAVENIJE, 2008). Assim, na área de hidrologia, encontra-se a possibilidade de inúmeras aplicações, podendo-se citar o trabalho de JUNG *et al.* (2010) na caracterização de bacias complexas do Congo e do Amazonas e o trabalho de GETIRANA (2010) na calibração e validação de modelagem hidrológica na bacia do rio Negro.

Para dar suporte a essas aplicações, uma série de trabalhos em altimetria espacial vem sendo publicados na medida em que novos sensores são lançados com o objetivo de definir a precisão de dados de altura extraídos a partir de sensores embarcados em satélites. Pode-se citar, como exemplos, os trabalhos de BIRKETT *et al.* (2002), com o satélite TOPEX/POSEIDON, em que os melhores resultados do erro médio quadrático (RMS) situaram-se entre 0,4 m e 0,6 m, e FRAPPART *et al.* (2006), com o satélite ENVISAT, com resultados oscilando entre 0,07 m a 0,40 m (RMS).

Em junho de 2008, foi lançado o satélite altimétrico Jason-2, que tem a capacidade de adquirir dados de altura de corpos de água localizados sob a plataforma continental, constituindo-se, portanto, em uma fonte de dados em potencial para as aplicações de hidrologia de superfície. Assim, este trabalho enquadra-se dentro do contexto da linha de pesquisa de verificação e validação dos dados de altura obtidos a partir de sensores embarcados em satélite com vistas a oferecer suporte a futuras pesquisas e trabalhos nas áreas de hidrologia, hidráulica, hidrogeologia e navegação, entre outras.

Cabe ainda salientar que a presente dissertação estimula a inserção do Brasil nas discussões internacionais sobre o emprego de satélites de altimetria espacial no monitoramento e modelagem de sistemas hídricos e ambientais, como é o caso da bacia Amazônica.

1.1. Caracterização do Problema e Relevância

A descrição da componente terrestre do ciclo de água global é de importância fundamental para a pesquisa do clima, além do inventário e gerenciamento dos recursos de água. O volume hídrico disponível é contabilizado, em princípio, a partir do balanço dos processos físicos que compõem essa componente, seja de forma contínua ou em intervalos de tempo discretos, no nível das bacias hidrográficas superficiais e subterrâneas.

O balanço hídrico é definido a partir da instalação de uma rede de monitoramento hidrometeorológica, que inclui a medição de diversas variáveis, como é o caso da precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade do ar, pressão atmosférica, umidade do solo, insolação solar, nebulosidade, evaporação, vazão, níveis de água em rios e lagos, entre outras.

A distribuição e as variações temporais das variáveis do balanço hídrico estão diretamente limitadas pelo tamanho da rede de medição *in situ*. A criação e a manutenção dessa rede necessitam de uma previsão orçamentária (CALMANT *et al.*, 2008). Assim, em muitos países, a rede é precária ou simplesmente não existe (CAZENAVE e SAVENIJE, 2008). Além disso, os limitadores naturais, que puderam ser comprovados nas campanhas de campo deste trabalho, como a dificuldade de acesso a áreas remotas e as instabilidades dos sítios das estações (Figura 1.1), fazem com que os dados sejam escassos, inexistindo nas regiões mais remotas e de disseminação demorada ou controlada.



Figura 1.1 - Estação fluviométrica Porto União antes (foto esquerda) e depois (foto direita) de um evento de desbarrancamento.

A técnica de altimetria radar embarcada em satélite pode complementar a rede de monitoramento hidrometeorológico existente ou até mesmo inexistente. A título de ilustração, avaliou-se o potencial dessa técnica na complementação da rede física fluviométrica para a sub-bacia 15 (ANA, 2009), que abrange o rio Madeira e adjacências no território brasileiro (Figura 1.2). Essa região é de interesse para a exploração do correspondente potencial hidrelétrico, com área de cerca de 700000 km², comportando a existência de 95 estações fluviométricas (ANA, 2009) com uma densidade de cerca de 0,13 postos/1000km². Com o emprego do satélite altimétrico Jason-2, traço do satélite em vermelho na Figura 1.2, por exemplo, amplia-se significativamente o potencial de monitoramento hidrológico, permitindo que se atinja o valor de densidade aproximado de 0,76 postos/1000km².

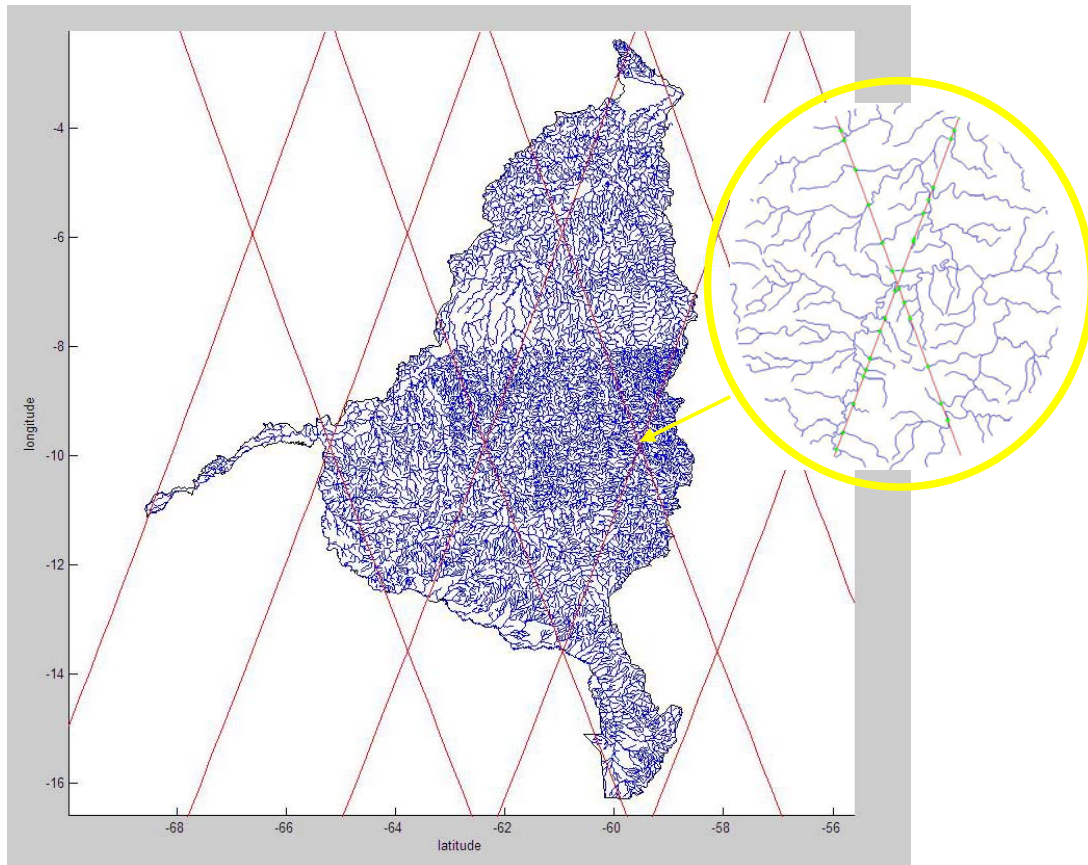


Figura 1.2 – Sub-bacia 15. No detalhe, destacam-se algumas interseções entre o traço do satélite e os rios (pontos em verde), que permitem, em potencial, a extração de dados do satélite altimétrico Jason-2.

Por outro lado, observa-se que extrair medidas de altura da superfície de corpos aquosos sobre a plataforma continental não é uma tarefa trivial. Ainda que a heterogeneidade da superfície constitua um fator limitante, os modernos sensores radar têm a potencial capacidade de manter a frequência de aquisição. Adicionalmente, destaca-se a dificuldade de extrair uma medida precisa da altura da superfície refletora do eco radar, uma vez que esse sinal é variável e complexo de acordo com o tipo de superfície, que pode consistir em oceanos abertos, geleiras, rios, represas, lagos, entre outras.

Diferentes algoritmos de reprocessamento foram e continuam sendo desenvolvidos com a habilidade de extrair uma medida precisa de altura do eco radar que corresponda à superfície subjacente. Com esse propósito, foi desenvolvido, no projeto PISTACH (*Prototype Innovant de Système de Traitement pour les Applications Côtières et Hydrologiques*), o algoritmo de reprocessamento Ice3 (MERCIER *et al.*, 2008).

O desenvolvimento desse algoritmo faz parte do OSTM/Jason-2 (*Ocean Surface Topography Mission/Jason-2*), referenciado deste ponto em diante por somente Jason-2, para fornecer medidas de altura da superfície em águas costeiras e continentais.

A apresentação, para a comunidade acadêmica, de um novo satélite altimétrico, Jason-2, e de um novo algoritmo para determinar medidas precisas de altura da superfície de corpos aquosos sobre a plataforma continental, Ice3, ambos referenciados deste ponto em diante por somente Jason-2/Ice3, com cobertura geográfica global, boa amostragem espaço temporal e monitoramento contínuo no tempo, conduz ao objetivo desta dissertação.

1.2. Objetivo

O principal objetivo do trabalho é determinar a estimativa das precisões relativa e absoluta das medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos sobre a plataforma continental obtidas a partir dos dados fornecidos pelo satélite altimétrico Jason-2/Ice3.

Inicialmente, para cumprir o objetivo, foi necessário extrair medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos sobre a plataforma continental obtidas a partir dos dados fornecidos pelo satélite altimétrico Jason-2/Ice3. Para tal tarefa, foram testados doze diferentes métodos e avaliada a qualidade das medidas produzidas por cada método, selecionando-se, face ao critério exposto no Capítulo 3, o melhor método.

Em seguida, pôde-se dar prosseguimento à meta de validação a partir de duas vertentes, a relativa e a absoluta. A validação relativa consiste na comparação indireta entre a medida *in situ* e a medida estimada a partir dos dados do satélite Jason-2/Ice3, que, de fato, dizem respeito a duas séries de observações adquiridas nos mesmos intervalos de tempo. Para cada uma dessas séries, calcularam-se todas as combinações possíveis de desníveis determinados por pares de observações. Dessa forma, estabeleceu-se o contraste relativo entre os dados *in situ* e os dados altimétricos mediante o cálculo do erro médio quadrático dos desníveis.

Seis estações fluviométricas distribuídas sob território brasileiro, com diferentes características físicas, foram utilizadas para validação relativa, a saber: Boa Vista (rio Branco, Roraima), Santa Luzia (rio Solimões, Amazonas), Itupiranga (rio Tocantins, Pará), São Francisco (rio São Francisco, Minas Gerais), Usina Paineiras (rio Itapemirim, Espírito Santo) e Pousada Taiamã (rio Cuiabá, Mato Grosso).

A validação absoluta é definida pela comparação direta entre a medida *in situ* e a medida estimada a partir dos dados do satélite Jason-2/Ice3 na mesma época (data e hora). Como medidas *in situ*, nesta etapa, entendem-se os dados oriundos de rastreamento GPS que permitiram definir perfis da altura elipsoidal da linha de água levantados ao longo da interseção da trajetória de passagem do satélite altimétrico Jason-2 com o rio. Em particular, para a validação absoluta, o presente trabalho contou com os resultados obtidos por MOREIRA (2010), que se restringiram a levantamentos realizados na região amazônica.

Em síntese, o objetivo geral desdobra-se nos seguintes objetivos específicos, a saber:

- definição de método automático para extrair medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos sobre a plataforma continental utilizando estações fluviométricas localizadas em diversas bacias hidrográficas brasileiras;
- estimativa da precisão relativa dos dados de altura de água oriundos do satélite altimétrico Jason-2/Ice3;
- estimativa da precisão absoluta dos dados de altura de água oriundos do satélite altimétrico Jason-2/Ice3.

Conforme destacado previamente, as estimativas de precisão absoluta e de precisão relativa darão suporte a futuras pesquisas e trabalhos nas áreas de hidrologia, hidráulica, hidrogeologia e navegação, entre outras, com a utilização de medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos sobre a plataforma continental obtidas a partir dos dados fornecidos pelo satélite altimétrico Jason-2/Ice3.

1.3. Organização do Texto

Na sequência da dissertação, apresenta-se, no Capítulo 2, a fundamentação teórica necessária para compreensão da técnica altimétrica a partir de sensores embarcados em satélite e uma revisão bibliográfica acerca dos trabalhos anteriores de validação, características e resultados.

O Capítulo 3 apresenta a abordagem metodológica adotada neste trabalho, de forma a cumprir o objetivo estabelecido, essa foi subdividida em três grandes partes: determinação do método de construção de estações virtuais; procedimento de validação relativa; procedimento de validação absoluta. Para cada uma dessas etapas, por sua vez, desenvolve-se uma discussão crítica, com base na literatura disponível, apresentada no Capítulo 2, sobre as especificidades pertinentes a cada um deles, enfatizando os avanços e limitações, com vistas a realçar e contrastar com a diretriz metodológica proposta no presente trabalho.

O Capítulo 4 apresenta as principais características da missão Jason-2 e o algoritmo de reprocessamento Ice3. Além disso, apresenta o Projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas (CPRM/IRD) e um breve descritivo sobre as campanhas de campo, onde foram coletados dados para os resultados de MOREIRA (2010). Em seguida, é apresentada a rede hidrometeorológica brasileira, de onde foram extraídos os dados das estações fluviométricas, e, por último, a área de experimentação e validação utilizada neste trabalho.

O Capítulo 5 apresenta os resultados parciais obtidos com os diversos métodos para construção de estações virtuais, em cada estação de validação utilizada para esta finalidade. Ao final desse capítulo, será definido o melhor método de construção de estações virtuais e que será, posteriormente, utilizado na estimativa da validação relativa e absoluta das alturas representativas da superfície da água obtidas a partir da altimetria radar embarcada em satélite.

O Capítulo 6 apresenta uma discussão sobre os resultados encontrados quanto a construção das estações virtuais, a validação relativa e absoluta destacando os avanços, limitações e recomendações.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fundamentação Teórica

2.1.1. Princípios de Altimetria por Radar Embarcado em Satélite

A altimetria por satélite é uma técnica para determinação de alturas elipsoidais a partir de sensores orbitais. Essa observação indireta deriva de duas medições básicas e independentes: a posição instantânea do satélite e a distância do centro da antena do satélite até a superfície refletora, jacente na superfície terrestre, observada na direção nadir do satélite (Figura 2.1).

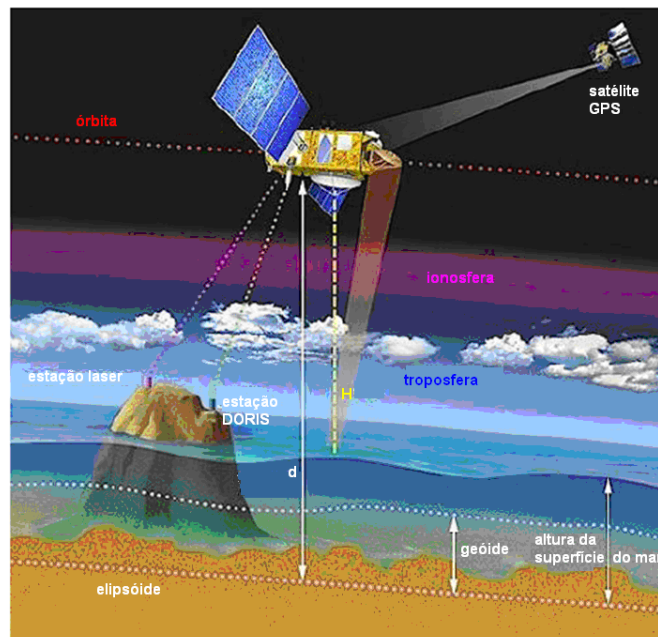


Figura 2.1 - Princípio da altimetria (Fonte: ROSMORDUC *et al.*, 2006)

A altura elipsoidal da superfície refletora (ALT) é a distância contada desde o satélite até a superfície de referência elipsoidal (d) subtraída da distância à superfície refletora (H):

$$ALT = d - H \quad (2.1)$$

onde

ALT – altura elipsoidal da superfície refletora [m];

d – distância contada do satélite até a superfície de referência elipsoidal [m];

H – distância contada desde o satélite até a superfície refletora [m].

A segunda componente do lado direito da Equação 2.1, H, é obtida através do sensor radar altímetro. A partir da Figura 2.1 e da equação fundamental da velocidade em um ambiente inercial, expressa por:

$$H = (c \times \Delta t) \div 2 \quad (2.2)$$

onde

Δt – tempo duplo de percurso[s];

c – velocidade da luz [ms^{-1}],

pode-se extrair a distância H entre o satélite e a superfície refletora.

A altura elipsoidal, d, é a última componente que resta para solução da Equação 2.1, e é referente à distância entre o satélite e a superfície de referência elipsoidal. A determinação precisa da posição, em um instante t, do satélite (latitude, longitude e altura elipsoidal) é obtida a partir das observações de um conjunto de instrumentos de rastreamento localizados a bordo do satélite.

Porém a propagação da velocidade dos pulsos ao atravessar a atmosfera é atenuada pelos gases secos, pelo vapor de água, pelas nuvens e chuva, pelas partículas ionizadas, o que leva a um valor diferente da velocidade da luz no vácuo. Além disso, existem as correções instrumentais do altímetro, como erro do desvio Doppler, erros devidos à aceleração, erros do oscilador, erro de direcionamento do feixe, e as correções para a topografia instantânea do mar ou correções do estado do mar. Uma discussão completa dos erros associados e derivados das medidas de altura dos altímetros pode ser encontrada em CHELTON *et al.*(2001).

Assim, a altura precisa (ALT_p) do nível da água em relação à superfície de referência elipsoidal é determinada pela altura do satélite (d) subtraída da distância

altimétrica H , com as devidas correções instrumentais e atmosféricas, além das variações geofísicas locais conhecidas.

$$ALTp = d - Hc - Gc \quad (2.3)$$

onde

$ALTp$ – altura precisa da superfície do corpo aquoso [m];

Hc – distância altimétrica com as correções instrumentais e atmosféricas [m];

Gc – correções geofísicas [m].

As distâncias (H) são medidas na faixa de frequência microondas, como, por exemplo, bandas Ku e C. As distâncias fornecidas, nos arquivos dos dados, estão corrigidas dos efeitos instrumentais. Entretanto, essas distâncias devem ainda ser corrigidas dos efeitos de atraso na atmosfera e da natureza da superfície refletora. A distância corrigida dos efeitos atmosféricos e instrumentais é dada por (CNES, 2009):

$$Hc = H + Tu + Ts + I + Em \quad (2.4)$$

onde

Hc – distância corrigida dos efeitos atmosféricos e instrumentais [m];

Tu – correção de troposfera úmida [m];

Ts – correção de troposfera seca [m];

I – correção ionosférica [m];

Em – correção do estado do mar [m].

A correção do estado do mar deve ser adicionada se a superfície refletora for a oceânica.

Além disso, a altura precisa da superfície do corpo aquoso deve ser corrigida dos efeitos geofísicos conhecidos. Caso a superfície refletora seja a oceânica, as correções geofísicas envolvem a consideração da altura geocêntrica da maré oceânica, da carga atmosférica e das flutuações de alta frequência da topografia oceânica. As correções geofísicas conhecidas são:

$$G_c = AOC + Mt + Mp + Cat + TOC \quad (2.5)$$

onde

AOC – correção da altura das ondas oceânicas [m];

Mt – maré terrestre [m];

Mp – maré polar [m];

Cat – carga atmosférica [m];

TOC – flutuações de alta frequência da topografia oceânica [m].

As definições das correções adquiridas de modelos e/ou instrumentos aplicáveis a corpos aquosos sobre a superfície continental serão posteriormente discutidas na seção 3.1.4.

2.1.2. Radar Altimetro

O radar altímetro embarcado em satélite tem como objetivo principal determinar o tempo decorrido entre a transmissão e a recepção do eco radar dos alvos localizados diretamente abaixo da passagem do satélite. Além disso, outros parâmetros altimétricos podem ser obtidos da forma de onda do eco radar. Algumas considerações sobre a operação do radar-altímetro encontram-se na seção 2.1.2.1 .

Após iniciada a aquisição dos ecos refletidos, esses sinais são trabalhados no modo de processamento (*tracking*) para derivar a distância observada, aqui denominada de H_0 , e a potência do sinal retornado, que serão usados como parâmetros *a priori* durante o próximo ciclo de aquisição. Esse modo consiste em manter as formas de onda bem centradas, em distância e potência, na janela de análise.

A distância observada H_0 está sujeita a erros que dependem de detalhes sobre o processamento do sinal interagindo com o próprio sinal, particularmente a altura das ondas superficiais (SWH) e o ângulo *off-nadir*. Os erros instrumentais podem ser corrigidos consoante dois caminhos básicos: (1) tabelas de correção ou polinômios desenvolvidos por simulações do altímetro; e (2) reproprocessamento (*retracking*),

incluindo ajustamento e suavização das formas de onda enviadas por telemetria (CALLAHAN e RODRIGUEZ, 2004).

O radar altímetro é sustentado por um não controverso modelo matemático (seção 2.1.2.3), que identifica a forma de onda do retorno da interação do sinal com a superfície do mar (DAVIS, 1992). A partir do conhecimento desse modelo matemático, da média da potência de retorno em função do atraso (t), algoritmos podem ser construídos para estimar os parâmetros altimétricos (distância, altura da onda significativa e potência) dos ecos.

O algoritmo de reproprocessamento (*retracking*) deriva os principais parâmetros oceânicos depois da combinação com os resultados do modo de processamento (*tracking*). Se o altímetro fornece dados em tempo real, como é o caso nas plataformas Jason-1 e Jason-2, então, as formas de onda são decodificadas por um algoritmo de reproprocessamento (*retracking*) a bordo. O reproprocessamento (*retracking*) a bordo é um algoritmo de reproprocessamento (*retracking*) simplificado baseado no estimador de máxima verossimilhança (*maximum likelihood estimator-MLE*). Essas estimativas são usadas para fornecer produtos em tempo real (*operational sensor data record*). Um refinado algoritmo de reproprocessamento (*retracking*) MLE é, então, aplicado na estação de processamento terrestre para estimar os parâmetros oceânicos com alta precisão (THIBAUT *et al.*, 2004).

O modelo matemático analítico utilizado para extração dos parâmetros altimétricos identifica, com precisão, a forma da interação do sinal com a superfície do mar. A forma da onda de retorno das demais superfícies apresentam desvios desse modelo, o que leva a existência de diversos algoritmos de reproprocessamento. Foram desenvolvidos algoritmos de reproprocessamento dedicados para cada tipo de superfície, podendo-se destacar: *Ocean* para superfícies oceânicas; *Sea-Ice* para superfícies heterogêneas; *Ice*, *Ice1*, *Ice2* e *Threshold* (DAVIS, 1997) para superfícies cobertas de gelo.

Trabalhos anteriores (FRAPPART *et al.*, 2006) mostraram que algoritmos dedicados para o tratamento de dados concernentes a superfícies cobertas de gelo fornecem uma resposta aceitável para águas continentais. Nesse sentido, foi

desenvolvido o algoritmo *Ice3* (seção 3.1.1.1), algoritmo baseado no *Ice1*, como proposta de solução para águas continentais. Esta dissertação propõe-se a avaliar o algoritmo *Ice3* aplicado aos dados do altímetro Jason-2, permitindo cumprir o objetivo principal deste trabalho.

2.1.2.1. Princípios de Operação do Radar Altímetro - Aspectos Gerais

Os radares altímetros são instrumentos que operam na faixa de microondas, que transmitem frequências de repetição pulso a pulso (*pulse repetition frequencies* - PRF). Os pulsos radar são sujeitos a modulação de tempo-frequência linear (*chirp*) com uma grande largura de banda, tipicamente de 320 MHz a 500 MHz. Com uma grande largura de banda transmitida, os altímetros operam no chamado modo de pulso limitado (*pulse limited mode*) (PHALIPPOU e RICHARD, 2002).

Radar (*radio detection and ranging*) é um acrônimo para sistema de detecção e localização de alvos através de ondas de rádio. A detecção do alvo é realizada por uma antena, com certa direção, que transmite uma onda eletromagnética; qualquer obstrução ou alteração no trajeto (alvo) dá origem a um eco; esse eco pode ser detectado, oferecendo informações sobre a presença e propriedades do alvo. A localização do alvo é determinada devido às ondas eletromagnéticas se propagarem a uma velocidade conhecida. Assim, medindo-se a diferença de tempo entre os instantes de recepção e de transmissão de um mesmo eco, obtém-se a distância ao alvo (Equação 2.2); mediante a elevação e o azimute da antena.

Algumas vantagens dos sensores ativos de radar em relação aos sistemas ópticos podem ser elencadas: não depende de iluminamento; a faixa de frequência de operação microondas possibilita atravessar nuvens e percorrer longas distâncias; as indicações de localização são mais precisas; e permite recorrer a circuitos eletrônicos para implementação das inúmeras correções decorrentes das propriedades dos meios e dos alvos.

A combinação de propriedades físicas da atmosfera e da superfície do mar determina que as frequências de operação mais adequadas para os radares altímetros estejam dentro da faixa de frequências na porção do microondas. De acordo com a

discriminação de bandas de frequência listadas em ULABY *et al.* (1981), evidenciam-se as bandas S (1,55 – 4,20 GHz), C (4,20 – 5,75 GHz), X (5,75-10,9 GHz), Ku (10,9 – 22,0 GHz) (CHELTON *et al.*, 2001) além da nova frequência de aplicação Ka (~35 GHz).

Muitas missões altimétricas operam na banda Ku. A escolha da frequência está condicionada pelas especificações do sistema e pelos requisitos operacionais. A adição de operação na banda C conjuntamente com a banda Ku possibilita medir o atraso de propagação na ionosfera (DAVIS, 1992).

Uma das mais conhecidas técnicas de compressão de pulso usada em radares-altímetros é a técnica de diferenciação completa (*full deramp technique*), que tem por objetivo obter uma alta resolução na distância com uma limitada potência de transmissão (por exemplo, 1,2 MHz em vez de 320 MHz para o Poseidon 2).

A técnica de diferenciação completa (*full deramp technique*) está esquematizada na Figura 2.3 e possui como principais etapas: um sinal agudo (*chirp*) de duração t_p é gerado e amplificado; o duplexador comuta para a posição de emissão; esse alimenta a antena que envia o sinal (*chirp*) para a superfície da Terra; o duplexador comuta para a posição de recepção; o sinal (*chirp*) refletido pela superfície é retornado ao altímetro em poucos milissegundos (por exemplo, 5 ms para 800 km); a mesma antena coleta o pulso refletido.

Um segundo sinal (*chirp*) é gerado internamente, o “*deramping chirp*”, com um tempo de atraso t_d , mas não é transmitido. Em vez disso, ele é integrado com o pulso retornado. A diferença do sinal obtido pela subtração do *deramping chirp* com o *chirp* refletido do nível médio do mar, no ponto nadir, consiste de um sinal harmônico com uma frequência f_0 , que é especificada já no projeto (CHELTON *et al.*, 2001).

O retorno de cada sinal (*chirp*) transmitido é diferenciado (*deramped*), filtrado em passa-baixa para prevenir ruído (*aliasing*), reamostrado em janela retangular e processado por uma transformada rápida de Fourier (FFT) para obter estimativas espectrais em 128 frequências discretas, constituindo as amostras das formas de onda.

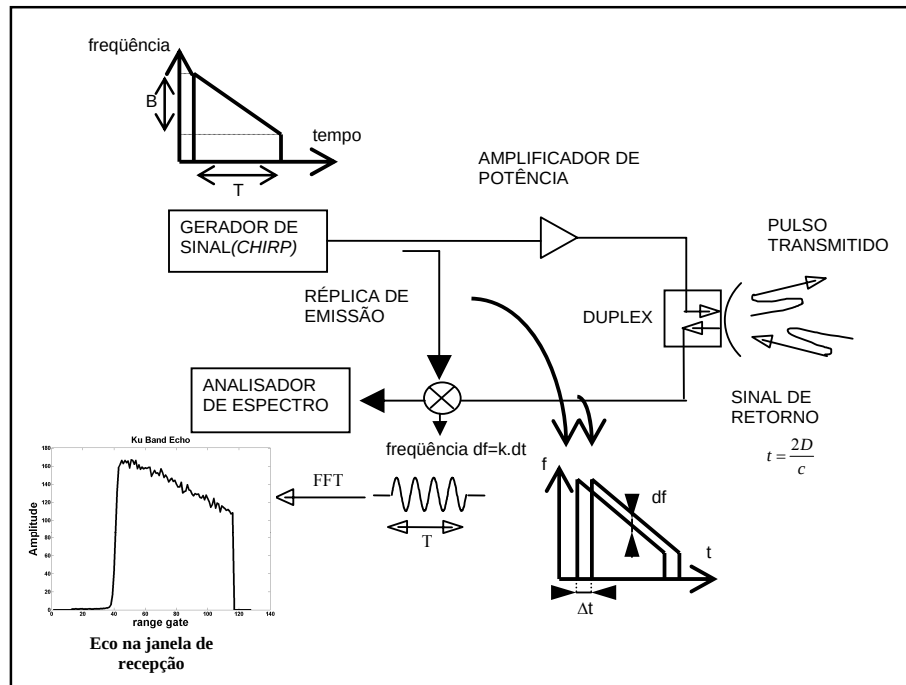


Figura 2.2 - Princípio de operação do altímetro no modo de diferenciação completa (*full deramp*). O sinal de retorno é mixado com uma réplica do sinal enviado, e o sinal resultante é processado digitalmente (Fonte: DESJONQUERES *et al.*, 2010).

O método FFT produz valores espectrais em frequências uniformemente espaçadas de df , transformando o domínio do tempo em domínio de frequências (CHELTON *et al.*, 1989).

As portas correspondentes às frequências (distâncias) são equilibradamente separadas por intervalos diretamente relacionados à resolução da distância intrínseca do altímetro. As 128 amostras de amplitude contêm informação sobre a dispersão da potência de retorno como função da distância (ou tempo).

Se o sinal diferenciado (*deramping chirp*) (td) é medido corretamente para coincidir com o retorno do sinal de radar do nível médio do mar na direção do ponto nadir, o espectro Gaussiano de qualquer pequena área particular é centrado na frequência correspondente ao tempo de viagem do caminho duplo entre o altímetro e o ponto sobre a superfície do mar. Ressalta-se que o ponto situado na metade da potência na borda de ataque (*leading edge*) da forma de onda spectral corresponde à frequência

f_0 do sinal diferenciado (*deramped chirp*) para o nível médio do mar no ponto nadir (CHELTON *et al.*, 2001).

A técnica de diferenciação completa (*full-deramp*) exposta acima tem provado ser eficiente em termos da potência necessária e da taxa de dados telemétrica, exigindo, no entanto, que o altímetro sincronize o sinal de recepção retroespalhado com a réplica do sinal transmitido (através do atraso t_d) com uma precisão melhor que poucos nanosegundos, ou seja, tempo suficiente para assegurar que o eco estará dentro da janela de distância. Essa sincronização é realizada a bordo pela função aquisição/rastreio localizada na unidade de processamento e controle (UPC). A altitude do satélite pode mudar rapidamente ao longo da órbita (1 m em 50 ms), e a janela de recepção deve ser continuamente ajustada. Esse procedimento é chamado de processamento de distância (*range tracking*). Além disso, a alteração no coeficiente de retroespalhamento leva à mudança na potência retroespalhada, o que exige ajuste na amplificação do sinal e é chamado de processamento de potência (*power tracking*).

O propósito da fase de aquisição é inicializar ou reinicializar o processador (*tracker*) nas seguintes situações: quando nenhum eco anterior foi obtido ou após uma perda de processamento (*tracking*). O objetivo é estimar a distância de processamento (*tracking*) H_0 (referente ao tempo t_d). Ela é um pré-requisito para o modo de processamento em circuito fechado (*closed-loop tracking mode*), lembrando que as medidas altimétricas não estão disponíveis enquanto no modo de aquisição.

O modo de processamento (*tracking*) é programado para o tempo do sinal diferenciado (*deramping chirp*) alinha-se com o ponto de metade da potência da margem de fronteira (*leading edge*) da forma de onda nas amostras. Esse ponto com frequência f_0 é chamado de ponto de processamento (*track point*) e fornece informação para o sincronizador ajustar o tempo do sinal diferenciado (*deramping chirp*) com vistas a realinhar as subseqüentes formas de onda com o ponto de metade da potência de frequência f_0 (CHELTON *et al.*, 2001).

A frequência do ponto da metade da potência na margem de fronteira ou borda de ataque (*leading edge*) do espectro do sinal diferenciado (*deramped*) é mais alto que f_0 se o sinal diferenciado (*deramping chirp*) foi gerado muito cedo. Igualmente, a

geração atrasada do sinal diferenciado (*deramping chirp*) resulta em um ponto de média potência com uma frequência mais baixa que f_0 .

Portanto, o tempo de viagem do duplo caminho para o ponto nadir do nível médio do mar é, então, obtido do tempo t_d do sinal diferenciado (*deramping chirp*) que é continuamente atualizado pelo modo de processamento (*tracking*). Deve ser notado que a precisão dessa estimativa do tempo de percurso do duplo caminhar, para o ponto nadir do nível médio do mar, é sensível à hipótese que a função densidade de probabilidade do espalhamento especular é simétrica, sendo que a distribuição real é assimétrica e com assimetria difícil de ser estimada. Assim, os pontos de processamento (*track points*) apresentam desvios de frequência desconhecidos.

Para reduzir o ruído, as amostras da forma de onda de sucessivos pulsos são representadas por médias sobre um intervalo de rastreamento de 50 ms.

As formas de onda e as distâncias H_0 são transmitidas por telemetria para as estações receptoras terrestres ainda no modo de processamento (*tracking*) (CHELTON *et al.*, 2001).

Outras informações sobre altímetros radar podem ser encontradas em (PHALIPPOU e RICHARD, 2002). A seção 2.1.2.2 apresentará o eco de retorno obtido pela iteração do pulso altimétrico com uma superfície especular. Essa discussão fornecerá subsídios para a seção 2.1.2.3, onde será feita a apresentação do modelo matemático do eco radar para oceanos abertos.

2.1.2.2. Iteração do eco radar com a superfície

Primeiramente, pode ser concebido um modelo muito simples de operação do radar-altímetro para ilustrar as principais características. Nesse modelo, assume-se que a superfície da Terra é plana, e que ela consiste de uma distribuição, com densidade uniforme, de refletores pontuais e isotrópicos. Também será negligenciada, por exemplo a operação da lei do inverso do quadrado da distância, na medida que as distâncias para todas as dispersões que fazem uma contribuição significativa para o sinal não são muito diferentes, ao mesmo tempo em que o decaimento da sensibilidade na seção transversa

do lóbulo espectral da antena possa ser negligenciável. Essa seção é baseada no trabalho de REES (2001).

No momento, ignora-se o fato de que a propagação dos pulsos possui interferências no trajeto do sensor até a superfície terrestre, ao mesmo tempo em que se assume que os pulsos são propagados na velocidade da luz (c).

O retorno do sinal, recebido no tempo t , depois da emissão de um pulso, deve alcançar uma zona de dispersão situada a uma distância $ct/2$ do altímetro. Se a distância do altímetro até a superfície é H , então, não haverá retorno de sinal até $t = t_0 = 2H/c$ (Figura 2.3). Um curto intervalo de tempo Δt depois disso, isto é, $\Delta t = t - t_0$, onde $t > t_0$, a interseção da zona de dispersão com a superfície será um disco circular de raio r . Dado que $r \ll H$, esse raio é dado por $r \approx \sqrt{cH\Delta t}$, e, então, a área do disco é $\pi cH\Delta t$.

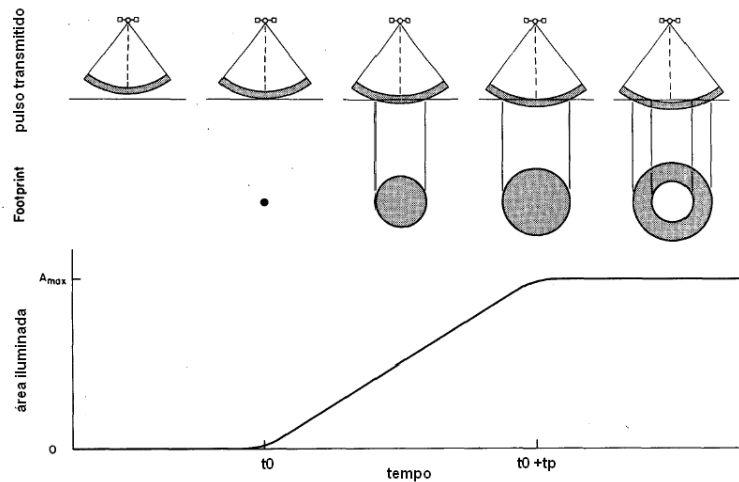


Figura 2.3 - Dependência do tempo da potência recebida pelo radar-altímetro sobre uma superfície plana de acordo com o modelo simples (Fonte:CHELTON *et al.*, 1989).

De acordo com as hipóteses simplificadoras, a potência recebida é proporcional a essa área e, portanto, proporcional a Δt . Assim, a potência recebida, primeiramente, aumentará linearmente com o tempo. Entretanto, no tempo $t = t_0 + t_p$, onde t_p é a duração do pulso, o bordo de fuga da zona de dispersão acabará alcançando a superfície.

Posteriormente, essa zona de dispersão cruzará a superfície na forma de um anel. O raio interno do anel será $r_1 \approx \sqrt{cH(\Delta t - t_p)}$. O raio externo será $r_2 \approx \sqrt{cH\Delta t}$ (Figura 2.4).

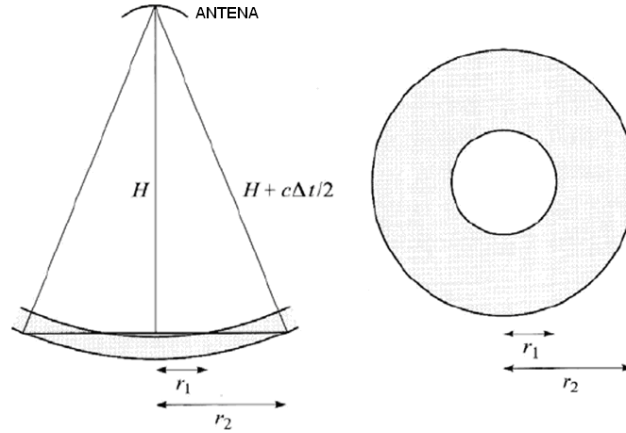


Figura 2.4. Zona de dispersão cruzando a superfície na forma de anel (Fonte: REES (2001))

Então, a área do anel será $\pi cH t_p$, isto é, independente do tempo. Assim, a previsão do modelo simplificado é que a potência recebida aumentará linearmente de zero, em $t=t_0$, até $t=t_0+t_p$, permanecendo constante no restante do tempo.

O diagrama da interação do pulso altimétrico com uma superfície plana e o correspondente eco de retorno é mostrado na Figura 2.3.

Resumindo: quando o pulso incidente bate na superfície, ele ilumina uma região circular que aumenta linearmente com o tempo. Correspondentemente, um aumento linear, na borda de ataque da forma de onda de retorno, ocorre. Depois da borda de fuga do pulso ter cruzado a superfície da região de dispersão, o retorno da energia ao satélite torna-se um anel crescente de energia constante (DAVIS, 1992).

Portanto, a distância para a superfície está associada com a posição média da potência na borda de ataque do eco de retorno.

A quantidade t_p é referência para o raio da seção reta do limitado pulso do radar altímetro. A potência de retorno do pulso terá, dessa forma, três regiões separadas: i) linha de base, antes de alguma superfície refletora; ii) borda de ataque, com a potência aumentando linearmente com o tempo, com o círculo iluminado crescendo de 0 até t_p ; e o platô, quando a superfície iluminada é um anel (ZIEGER *et al.*, 1991).

A observação da Figura 2.3 mostra que a potência recebida contém informação útil somente durante o período $t_0 \leq t \leq t_0 + t_p$, assim nenhuma informação é obtida mais adiante. Isto significa que, com efeito, a resolução espacial (raio da seção reta) do instrumento é um disco de raio r_p , onde

$$r_p = \sqrt{c \times H \times t_p} \quad (2.6)$$

é o raio do disco de dispersão no tempo $t_0 + t_p$.

Entretanto, a largura do pulso ou o estado do mar, dependendo de qual representa por mais tempo a projeção do altímetro, determina o tamanho da seção reta. Essa seção reta age como um filtro espacial que tem que ser considerado na detecção das características da superfície (Figura 2.5). O seu raio mínimo é calculado pela Equação 2.6 (MCGOOGAN, 1975).

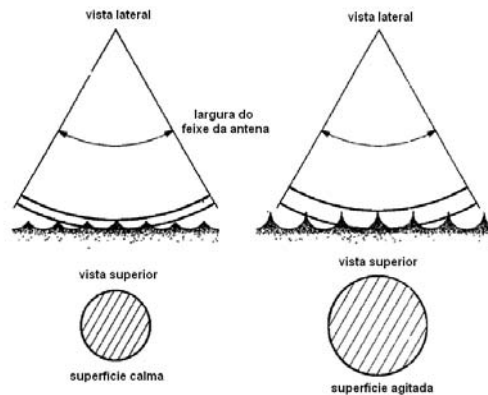


Figura 2.5 – Variação no tamanho da seção reta (Fonte: MCGOOGAN, 1975).

Cada radar altímetro tem um reduzido campo de visão determinado pelo tamanho da seção reta. Sobre superfícies hídricas, o diâmetro efetivo da seção reta pode variar de várias centenas de metros durante condições calmas, ou em locais protegidos

do vento, a diversos quilômetros, dependendo da altura característica das ondas de superfície (BIRKETT *et al.*, 2002).

Na construção desse modelo, supôs-se que a abertura do feixe da antena é suficientemente grande para que variações na sua resposta para ângulos crescentemente maiores, relativamente ao eixo do feixe, possam ser negligenciadas. Em geral, isto não será verdade, e o efeito da queda do padrão da potência da antena (e também daquele decorrente do aumento da distância dos elementos refletoras relativamente à antena) será a causa da potência recebida ser menor que a prevista pelo modelo simples, por um fator que aumenta com o tempo. Assim, a Figura 2.3 deve ser, de fato, modificada para algo mais assemelhado à Figura 2.6.

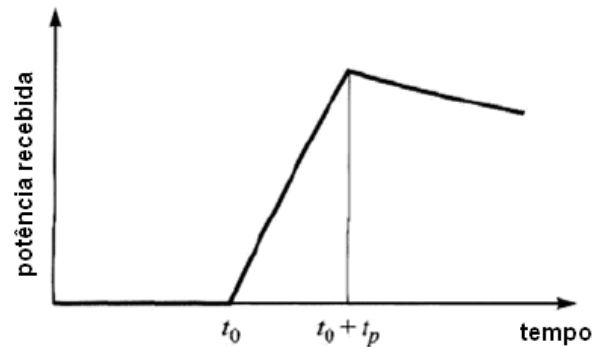


Figura 2.6 - Dependência do tempo da potência recebida pelo radar-altímetro sobre uma superfície plana em modelo real

A forma ideal de retorno estudada anteriormente (Figura 2.3) é afetada, conforme mostra a Figura 2.6, devido às condições de operação não serem exatamente as mesmas consideradas, podendo-se mencionar a rugosidade da superfície refletora e a ausência de dispersão isotrópica.

Neste ponto, a forma de onda de retorno alcançou o seu pico e, então, começa a cair devido ao aumento da dispersão para fora do nadir (DAVIS, 1992).

Para superfícies oceânicas rugosas, a borda de ataque do pulso de retorno será alongado, porque as cristas de onda provocarão uma precoce dispersão dita natural, por

decorrência do encontro da superfície e do pulso. Assim, a largura da borda de ataque do pulso de retorno pode ser relacionada com a altura das ondas oceânicas.

Formas de onda de retorno do modelo de Brown (forma analítica do eco radar sob oceanos abertos) são mostradas na Figura 2.7, onde cada curva individual representa a rugosidade média com diferentes erros médios quadráticos aqui denotados por σ_s . Para um pequeno σ_s , a forma da onda de retorno aumenta bruscamente para a região do platô e, então, começa a cair devido à redução no ganho da antena para os ângulos diferentes em relação ao nadir (*off-nadir*). Para crescentes σ_s , a inclinação da borda de ataque se torna rasa até que o declínio na região do platô da forma de onda não possa ser distinguido, aparentemente.

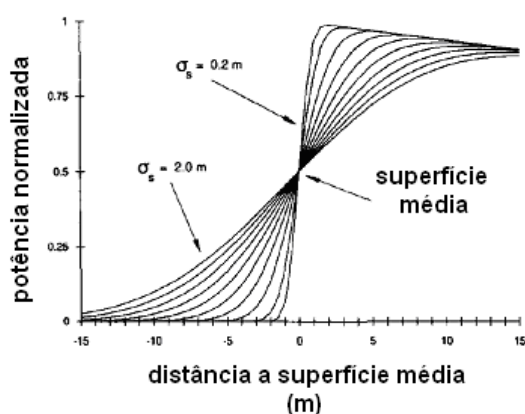


Figura 2.7 – Padrões de formas de onda em função do espalhamento na superfície oceânica. Modelo de Brown para diferentes desvios padrões da rugosidade da superfície oceânica, σ_s . Note-se que o ponto de meia potência corresponde à elevação da superfície média do mar (Fonte: DAVIS, 1992).

2.1.2.3. Forma Analítica do Eco de Retorno Radar

Ao contrário de outros instrumentos microondas, o radar altímetro é sustentado por um modelo matemático que identifica a forma de onda do retorno a partir da interação com a superfície do mar. Como a área de dispersão, retroespalhamento, vista pelo altímetro é restrita a uma fração de ângulo ao redor da posição nadir, a superfície

oceânica pode ser aproximada por uma superfície plana horizontal com um grande número de facetas de dispersão aleatoriamente distribuídas (DAVIS, 1992).

MOORE e WILLIAMS (1957) mostraram que a forma de onda de retorno altimétrica média poderia ser descrita pela convolução de dois termos: o perfil do pulso transmitido; e o termo envolvendo a distribuição da dispersão, sua propriedade de retroespalhamento, e o ganho da antena. BARRICK (1972) usou essa forma convolucional e obteve uma integral dupla descrevendo a forma de onda de retorno altimétrica, admitindo a hipótese de uma distribuição Gaussiana das facetas de dispersão. BROWN (1977) aproximou a forma do pulso transmitido mediante a modelagem gaussiana da distribuição dos pontos de retroespalhamento, gerando uma solução analítica para o retorno oceânico médio. LIPA e BARRICK (1981) e BARRICK e LIPA (1985) demonstraram que a forma de onda altimétrica média poderia ser descrita pela convolução da função densidade de probabilidade dos pontos especulares da superfície oceânica e por uma função que descreve os parâmetros altimétricos.

Portanto, a média da potência de retorno em função do atraso (t) para uma superfície de dispersão rugosa deve ser expressa como a convolução de três termos (AMAROUCHE *et al.*, 2004):

$$W(t) = FSSR(t) \times PTR(t) \times PDF(t) \quad (2.7)$$

onde

FSSR (*flat surface response*) - resposta da superfície do mar plana;

PTR (*point target response*) - ponto de resposta do alvo radar;

PDF (*probability density function*) - função densidade de probabilidade da elevação da superfície dos pontos especulares.

O modelo analítico do retorno do oceano foi refinado por HAYNE (1980), que considerou momentos de alta ordem para a função PDF na Equação 2.7. O modelo analítico de retorno do oceano, Equação 2.7, ficou conhecido como modelo de Brown.

O corpo teórico do eco radar sobre uma superfície oceânica é representado na Figura 2.8. Os diferentes parâmetros oceânicos derivados desse eco são como segue:

- τ (*Epoch*), definida como a posição do sinal na janela de análise com respeito ao ponto de referência (*track point*); a estimativa precisa da distância será a soma da distância observada H_0 e da estimativa τ ;
- a amplitude P_u da forma de onda que é usada para derivar o coeficiente de retroespalhamento σ_0 , o qual pode fornecer a estimativa da velocidade do vento oceânico, mas não a sua direção;
- a inclinação da borda de ataque (*leading edge*), que é uma função do desvio padrão da altura da superfície do mar σ_s e relacionada com a altura da onda significativa [SWH (*significant wave height*) = $4\sigma_s$], quando suposta uma distribuição gaussiana das alturas do oceano];
- T_n (*Thermal Noise Level*)
- o ângulo em relação ao nadir (*off-nadir*), ξ , que é ligado à inclinação da borda de fuga (*trailing edge*).

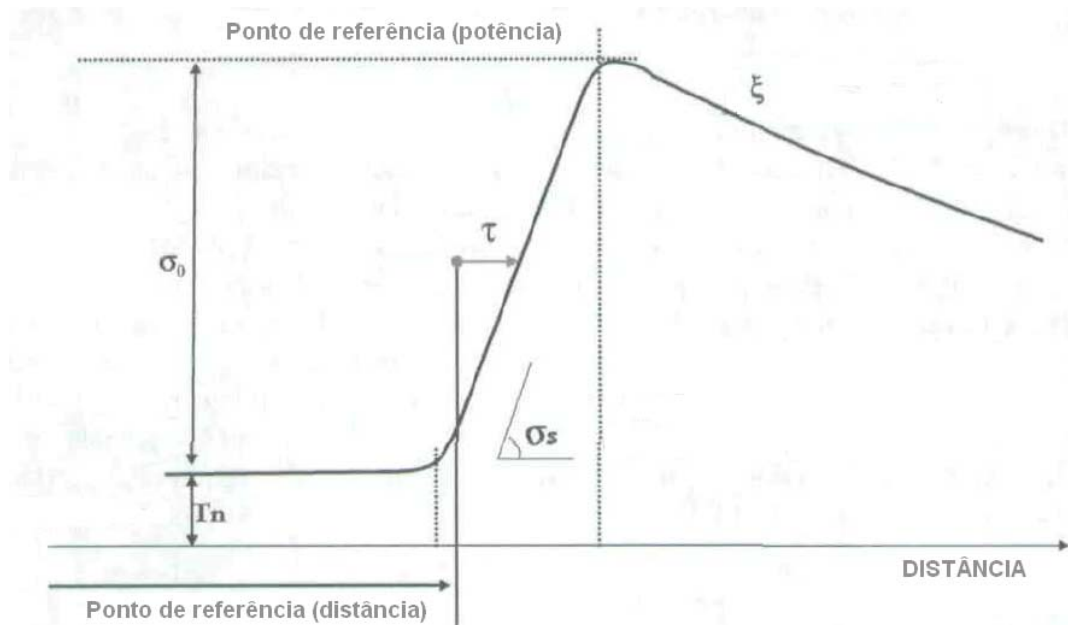


Figura 2.8 - Corpo teórico do eco dos radares-altímetros e os correspondentes parâmetros oceânicos (Fonte: AMAROUCHÉ *et al.*, 2004)

2.2. Revisão Bibliográfica

Os oceanos, a atmosfera, a criosfera, a hidrosfera (águas continentais) e a biosfera, que abrangem a vida e os fenômenos climáticos, estão ligados por interações complexas. Por exemplo, a circulação oceânica transporta calor de uma região para outra e assim desempenha um importante papel na regulação do clima do planeta (CAZENAVE e SAVENIJE, 2008). A altimetria radar embarcada em satélite foi desenvolvida e aperfeiçoada para medir a altura da superfície do mar (FU e CAZENAVE, 2001) possibilitando a compreensão da dinâmica da circulação oceânica global e a previsão de mudanças climáticas (FU *et al.*, 1994). Esses sensores embarcados em satélite têm a capacidade de prover observações globais, contínuas e com uma alta frequência de revisita (CAZENAVE e SAVENIJE, 2008).

O desenvolvimento de altimetria via satélite, como uma ferramenta para estudar a circulação oceânica, começou, na década de 70 do século XX, com os sensores a bordo do Skylab (1973) e do Geos 3 (1975). O potencial dessa tecnologia foi claramente ilustrado pela missão Seasat em 1978. Seguindo essas missões com a finalidade de avaliar a tecnologia, o Geosat foi lançado em 1985 pela marinha dos Estados Unidos (E.U.A). Todavia, até o começo da década de 90 do século passado, a altimetria por satélite foi mais útil à geofísica do que à oceanografia. Com efeito, durante as primeiras missões, o erro orbital era tão grande, de vários decímetros para 1m, que a incerteza na altura instantânea da superfície do mar impedia a adequada caracterização dos fenômenos associados com dinâmica do oceano (CAZENAVE e SAVENIJE, 2008).

Esse fato não impediu a realização dos primeiros testes em águas continentais. CALMANT e SEYLER (2006) revisaram os seguintes avanços no período anterior ao ano de 1990. BROWN (1977) analisou o retroespalhamento e formas de onda típicas do Lago Salgado de Utah com os resultados obtidos pelo altímetro do Skylab. MILLER (1979) mostrou aplicações para determinação dos níveis de água de lagos continentais de medidas colecionadas pelo radar altímetro Geos 3. Estudos pioneiros usando dados coletados por Seasat em 1978 (BROOKS, 1982) demonstraram a viabilidade de usar dados de missões projetadas para o oceano em águas continentais.

O primeiro estudo de bacia de grandes rios começou com KOBILINSKY *et al.* (1993), que encontrou formas de onda especulares nos dados de GEOSAT para estimar os níveis de água em quatro locais na Amazônia. Eles calcularam aproximadamente 70 cm (RMS) de discrepância entre medidas de satélite e medidas *in situ*. Os autores atribuíram a maior parte da incerteza aos erros de órbita.

No começo da década dos anos 90 do século XX, começou a era da precisão na altimetria via satélite dedicada a oceanografia, especialmente devido ao lançamento do Topex-Poseidon (1992-2006), e em seguida Jason-1 e Jason-2, missões lançadas em 2001 e 2008, respectivamente. Ao longo dos anos, as melhorias tecnológicas diminuíram consideravelmente o ruído instrumental. Além disso, graças a um esforço combinado na modelagem precisa das correções geofísicas e ambientais, o erro da medida da altura da superfície do mar tem diminuído da faixa de 3-4 cm, mensurado para o Topex/Poseidon (FU *et al.*, 1994), para a faixa de 1-2 cm no Jason-1 e no Jason-2 (CAZENAVE e SAVENIJE, 2008).

Além da alta precisão das medidas, muitos sensores, nesta nova fase (ENVISAT, Jason-1 e 2), disponibilizam as medidas em tempo próximo ao real dados dentro de intervalos de 3 a 5 dias (BERRY *et al.*, 2007).

2.2.1. Histórico e Progresso das Missões

SKYLAB: Em maio de 1973, foi lançada a primeira estação espacial experimental dos EUA, Skylab, visitada três vezes entre 1973 e 1974. Ela transportou o altímetro radar experimental S-193. Esse instrumento somente foi operado sobre segmentos orbitais curtos (Atlântico, Porto Rico, Venezuela, entre outras localidades) (MCGOOGAN *et al.*, 1974). Um dos resultados alcançados com esse sensor radar foi a estimativa de um geóide local no Atlântico com uma resolução menor que 10 m (RMS) (MCGOOGAN *et al.*, 1975).

GEOS 3: O Geos 3 (*Geodynamics Experimental Ocean Satellite*), lançado em 9 de abril de 1975, forneceu 3,5 anos de dados úteis para a determinação de parâmetros oceanográficos e geofísicos. A qualidade e a quantidade dos dados causaram uma troca rápida do estágio experimental para a orientação das aplicações, incluindo áreas da

aplicação não previstas antecipadamente (STANLEY, 1979). CHAPMAN e TALWANI (1979) compararam amostras do geóide gravimétrico, localizadas no Atlântico Norte, no noroeste do Pacífico e nos oceanos indianos, com estimativas do altímetro radar Geos 3 para a altura do geóide. O acordo entre o geóide do altímetro e o geóide gravimétrico foi entre 1,7 e 2,7 m no erro RMS.

SEASAT: O satélite SEASAT (MACARTHUR, 1978; TOWNSEND, 1980), lançado dia 27 de junho de 1978, que operou por três meses e então falhou, é amplamente reconhecido pela comunidade científica devido a precisão alcançada pelo seu altímetro radar. Esse altímetro foi projetado para medir a altura do satélite acima da superfície do oceano, a altura de onda de superfície e do coeficiente de retroespalhamento da superfície do oceano de onde a velocidade do vento pode ser inferida. Orbitando a uma altura de 800 km, o sensor alcançou uma precisão de 10 cm e serviu de modelo para os projetos subsequentes de altímetros (DAVIS, 1992).

GEOSAT: A marinha dos E.U.A lançou o Geosat em 1985 com um objetivo preliminar de mapear o campo de gravidade marinho para aplicações militares. Quando sua missão preliminar foi alcançada, o Geosat foi manobrado para uma órbita repetida de 17 dias para as aplicações oceanográficas, iniciadas em outubro 1986. Embora a missão não fosse projetada especificamente para aplicações oceanográficas, a série de dados de 2,5 anos criou a primeira oportunidade para que a comunidade experimentasse uma grande série de dados global. Baseado na melhor órbita disponível, o orçamento atual do erro de Geosat está a nível de aproximadamente 15 cm, uma realização impressionante em virtude das baixas expectativas iniciais para a missão (FU *et al.*, 1994).

ERS-1 e -2: Em 1991, dois anos após o fim da missão Geosat, a Agência Espacial Européia lançou um altímetro no ERS- 1 (satélite de detecção remota europeu - 1). Um satélite idêntico, ERS-2, tomou seu lugar em 1995. Essas duas missões forneceram um tipo de cobertura contínua a longo prazo e igualmente fornecem dados do altímetro aos usuários operacionais próximo ao tempo real. Os satélites ERS carregam uma série de sensores com uma frequência de revisita de 3 dias (ERS-1) e 35 dias (ERS-2). O erro da órbita foi um obstáculo preliminar a ser superado para aplicações do altímetro ERS-1. O problema foi originado por uma falha adiantada de

um dos dois sistemas de rastreamento. Entretanto, o conjunto de refletores laser conjuntamente com modelos de gravidade avançados tem conduzido a órbitas com uma exatidão de aproximadamente 15 cm (FU *et al.*, 1994). A incerteza na componente radial na órbita do satélite situa-se em 15 cm para o ERS-1 (LE TRAON *et al.*, 1995)

TOPEX/POSEIDON: A missão TOPEX/Poseidon (T/P), que foi lançada no dia 10 de agosto de 1992 em um projeto conjunto NASA/CNES, era a primeira missão dedicada especificamente a fazer medidas altimétricas precisas da altura da superfície do mar com a finalidade de estudar a circulação global e suas variações. O satélite foi colocado em uma órbita a 1336 km altura e 66 graus de inclinação. Ele mediu mudanças globais do nível do mar ao longo de traços dentro de ± 1 km a cada intervalo de tempo de 9,916 dias. A bordo, encontrava-se o altímetro de frequência dupla TOPEX [banda Ku (13,6 GHz) e banda C (5,3 GHz)], projetado pela NASA, e o altímetro POSEIDON [banda Ku (13,65 GHz)], construído pelo CNES. Salienta-se que o TOPEX possuía, na realidade, dois instrumentos, denominados A e B. Quando uma considerável degradação no Topex A foi notada no dia 9 de fevereiro de 1999, houve seu desligamento, enquanto o Topex B foi executado para o resto da missão. Além dos altímetros, um TMR (*TOPEX/POSEIDON microwave radiometer*) a bordo do satélite foi usado para medir a quantidade de vapor de água. A órbita de T/P foi trocada por uma sucessão de manobras para colocar o satélite em sua nova órbita de missão no dia 15 de agosto de 2002 ao término do ciclo 364. A órbita T/P apresentou a melhor precisão até aquele momento devido a um grande esforço investido antes do lançamento (FU *et al.*, 1994).

GFO: O GFO (*Geosat Follow-On*) é uma missão altimétrica da marinha americana lançada em 1998. Os dados foram entregues para a comunidade científica a partir de 9 de novembro de 2000 (FRAPPART *et al.*, 2006). Ele permaneceu na órbita de repetição ocupada anteriormente pelo Geosat (17 dias) durante a fase oceanográfica de suas observações.

ENVISAT: A ESA (*European Space Agency*) lançou o satélite ENVISAT em fevereiro de 2002, projetado para ajudar a comunidade científica a entender melhor o ambiente de Terra e os processos potencialmente responsáveis pelas mudanças climáticas. O ENVISAT orbita com uma resolução temporal de 35 dias, provendo observações da superfície da Terra (oceano e terra) entre as latitudes de $\pm 82,4$ graus,

com um espaçamento equatorial de cerca de 85 km. O ENVISAT transporta 10 instrumentos científicos que fornecem medidas da atmosfera, do oceano, das superfícies continentais e do gelo (WEHR e ATTEMA, 2001). RA-2 é um altímetro radar de pulso limitado com posicionamento nadir que opera a duas frequências: 13,575 GHz na banda Ku e 3,2 GHz na banda S (ZELLI, 1999). Uma determinação de órbita muito precisa é o resultado do uso do sistema DORIS (*Doppler tracking system receiver*): uma precisão de cerca de 6 cm é obtida para o componente radial da direção de satélite.

JASON-1: No dia 7 de dezembro de 2001, o satélite Jason-1 foi lançado com o propósito de continuidade das medidas efetuadas pelo T/P. Esse novo satélite, desenvolvido conjuntamente pelo CNES e NASA, foi declarado operacional dois meses depois do lançamento. Colocado, inicialmente, na mesma órbita que o T/P, a 1336 km de altura, 66 graus de inclinação e resolução temporal de 10 dias, o Jason-1 foi mantido nessa órbita até pouco depois do lançamento do Jason-2, junho de 2008; após o lançamento do Jason-2, o Jason-1 foi movido para uma órbita diferente, localizada entre os traços originais, onde continua em operação até o momento. Os resultados têm mostrado que os dados fornecidos pelo Jason-1 estão em nível de desempenho similar ao T/P, em oceanos abertos, porém não há indícios que a mesma performance tenha ocorrido sob águas continentais (MÉNARD *et al.*, 2003).

JASON-2: Descrição do satélite na seção 4.1.

2.2.2. Estação Virtual

Uma estação virtual está localizada na interseção entre o corpo de água e o traço de passagem do satélite, observando-se que tanto as dimensões da seção reta radar (*footprint*) quanto o deslocamento lateral observado nos traços do Jason-2 fazem com que a estação virtual corresponda a uma área em vez de um ponto, como as estações fluviométricas, em princípio, representam.

A partir de uma estação virtual, é obtida uma série temporal de dados de altura da superfície da água com uma amostragem idêntica à resolução temporal do satélite altimétrico utilizado para extrair os dados. A sua correspondente física mais próxima é a estação fluviométrica.

Qualquer trabalho que utilize séries temporais de níveis de água extraídos de medidas obtidas a partir de sensores embarcados em plataformas espaciais possui uma metodologia para construção da estação virtual (SILVA *et al.*, 2010; GETIRANA *et al.*, 2010, entre outros).

Nas metodologias de construção de estações virtuais, conforme mencionado por BIRKETT (1998), podem ser destacadas três etapas básicas: a seleção dos dados, a filtragem dos dados e a estimação da altura da superfície do corpo aquoso. A Figura 2.9 ilustra essas etapas.

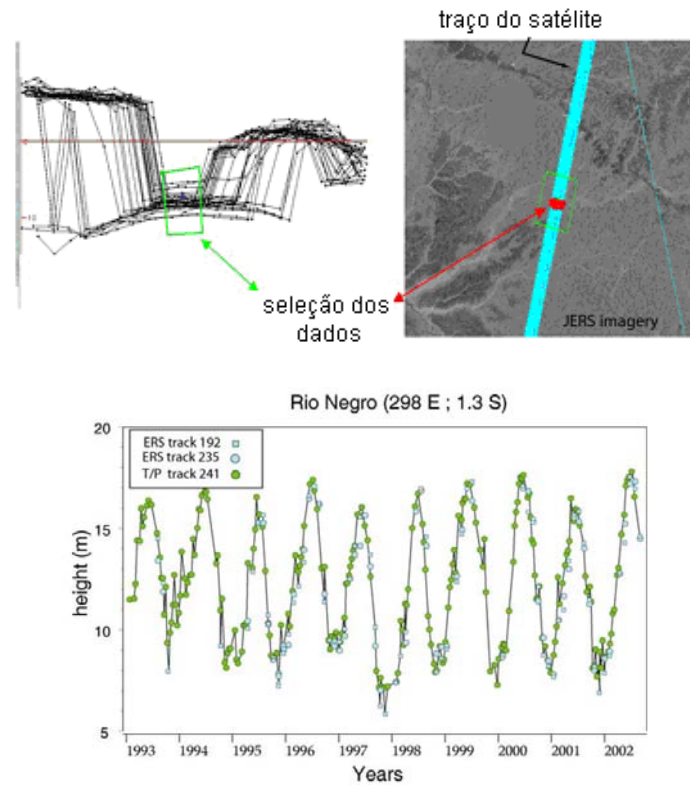


Figura 2.9 - Fases da construção de estações virtuais (somente de caráter ilustrativo). Fonte: Composição de figuras a partir de CALMANT *et al.* (2008)

1) Seleção dos Dados: estabelecem-se critérios para a seleção dos dados provindos do satélite definidos com base na interseção do traço do satélite com o corpo aquoso.

2) Filtragem dos Dados: a partir dos dados obtidos na etapa anterior, é utilizado um filtro para eliminação de dados espúrios.

3) Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: extração de um valor representativo da altura da superfície do corpo aquoso.

Séries temporais de níveis de água maiores que 15 anos, construídas a partir dos dados Topex/Poseidon, Jason-1, ERS-1/2 e ENVISAT, estão disponíveis em base de dados na internet para várias centenas de lagos, rios e reservatórios. Podemos citar: Reservatório Global em <http://www.pecad.fas.usda.gov/cropexplorer/> para os grandes lagos (Birkett *et al.* 2009), HYDROWEB <http://www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/hydroweb> para lagos, reservatórios, rios e zona sujeitas a inundações (Gennero *et al.*, 2005), e a base de dados <http://earth.esa.int/riverandlake> para grandes lagos e rios (BECKER *et al.*, 2010).

2.2.3. Estudos Prévios de Validação

Desde os primeiros avanços na técnica altimétrica em oceanos abertos, sempre existiu a necessidade de verificar a precisão das alturas obtidas em corpos aquosos sobre a plataforma continental. Diversos trabalhos de validação relativa e absoluta, conceitos introduzidos na seção 1.2, foram realizados em lagos, rios, reservatórios artificiais (FRAPPART *et al.*, 2006; BIRKETT *et al.*, 2002, entre outros).

Os trabalhos de validação implicam a escolha de uma região de validação onde existam locais com uma base de medidas *in situ*, que constitua o que aqui se denomina verdade de campo, e medidas oriundas das correspondentes estações virtuais, que, conforme foi mencionado anteriormente, são definidas a partir da extração das séries altimétricas da altura da superfície de água na superposição do traço do satélite com o corpo aquoso.

A verdade de campo disponível da região de validação determina a natureza da validação, absoluta e/ou relativa. Os trabalhos que utilizam dados de nível de água obtidos de estações fluviométricas, que possuem referências locais, estão aptos a permitir a implementação do procedimento de validação relativa. Levantamentos GPS da linha de água e níveis registrados em estações fluviométricas com referência elipsoidal fornecem base de campo para determinar precisões absolutas.

Os trabalhos de validação de níveis de água obtidos a partir de plataformas espaciais necessitam de uma verdade de campo que registre a mesma variável, ou seja, a altura da superfície da água no mesmo local e data onde serão adquiridos os dados

remotos. Essa verdade de campo, geralmente, é obtida pelas estações fluviométricas de monitoramento contínuo das bacias hidrográficas e/ou por levantamentos GPS.

Destaca-se que, usualmente, os trabalhos de validação de séries temporais de altura providas de sensores altímetros embarcados em satélite fornecem o RMS (erro médio quadrático) obtidos entre os dados *in situ* e os valores nas correspondentes estações virtuais.

A seguir, será apresentada uma breve revisão de trabalhos mais diretamente correlatos ao objetivo desta dissertação, sendo destacados os seguintes pontos: precisões encontradas, tamanho da amostra de validação e, principalmente, os métodos de filtragem, que constitui uma etapa da construção de estações virtuais.

BIRKETT *et al.* (2002), dentre outras investigações, mostram uma avaliação dos dados do TOPEX/POSEIDON na Amazônia para os primeiros ~7,5 anos de missão. Os dados utilizados foram extraídos dos arquivos GDR (*geophysical data records*). O exercício de validação revelou precisões variando de dezenas de centímetros a diversos metros (média ~ 1.1 m RMS), com os melhores resultados (0.4 - 0.6 m RMS) sendo obtidos para os rios Solimões, Amazonas, Xingu e Unini (Tabela 2.1). O filtro de seleção de dados utilizado foi o controle de ganho automático, aqui denominado de AGC (*Automatic Gain Control*). No trabalho desses autores, sinais de retorno bem definidos nos rios e nas planícies inundadas foram obtidos com AGC ≥ 40 dB.

No estudo de FRAPPART *et al.* (2006), foram definidos quatro locais de testes na bacia amazônica para avaliar o desempenho de 4 algoritmos de reprocessamento (Ocean, Ice-1, Ice-2 e Sea Ice), fornecidos pelo GDR do ENVISAT, no monitoramento de águas continentais. O estudo de validação absoluta fez uso de comparações com estações *in situ*, usando o primeiro ano disponível de dados ENVISAT com o sensor radar RA-2. Para cada ciclo de passagem do satélite, a altura da superfície de água da estação virtual é obtida pelo cálculo da mediana de todos os dados incluídos no polígono da estação virtual. Os erros em séries temporais altimétricas, ao longo dos rios dentro da bacia de Amazônica, variam entre 0,07 m a 0,40 m, com uma média de 0,22 m com o algoritmo de reprocessamento Ice 1 (Tabela 2.2).

Tabela 2.1 – Estudo de validação: Detalhes dos rios e estações fluviométricas (*gauge*)
(Fonte: Adaptado de BIRKETT *et al.*, 2002).

Rio	Alvo	Estação Fluviométrica (EF)		Distância da EF, km	rms, m
		ID	Nome		
Amazon*	planície de inundação	16350002	Parintins	15 km/acima	0,38
Amazon*	rio	15030000	Jatuarana	70 km/abaixo	0,43
Aripuana	rio	15750000	Humboldt	40 km/abaixo	2,46
Embira	rio+	12650000	Feijo	30 km/abaixo	1,09
Guapore	planície de inundação	15200000	P. da Beira	30 km/acima	1,30
Iriti	rio	18700000	Pedra do O.	115 km/abaixo	0,77
Jurua'	rio+	12700000	Santos Dumont	115 km/abaixo	2,23
Jurua'	rio/completo	12700000	Santos Dumont	115 km/abaixo	4,09
Ouro Preto	rio+	15248010	B. do Pompejus	30 km/acima	0,71
Pacaas Novos	rio+	15246000	B.V. dos Pacaas	30 km/acima	0,90
Pacaas Novos	planície de inundação	15246000	B.V. dos Pacaas	30 km/acima	0,76
Purus	rio+	13990000	Beruri	35 km/acima	1,15
Purus	rio+	13962000	Arumã-jusante	90 km/abaixo	1,73
Purus	planície de inundação	13750000	Fortaleza	50 km/acima	2,42
Purus# 8	rio/completo	13750000	Fortaleza	105 km/abaixo	2,16
Purus# 7	rio+	13750000	Fortaleza	105 km/abaixo	1,19
Solimões*	rio/completo	14100000	Manacapuru	70 km/abaixo	1,12
Solimões/Negro*# 3	rio/completo	14100000	Manacapuru	70 km/abaixo	0,70
Solimões/Negro*	planície de inundação	15030000	Jatuarana	30 km/acima	0,49
Solimões	planície de inundação	14100000	Manacapuru	130 km/acima	0,61
Solimões	rio	10100000	Tabatinga	35 km/acima	0,59
Solimões	rio	12000000	Teresina	60 km/acima	0,41
Solimões# 7	rio+	13150000	Itapeuá	10 km/acima	0,86
Solimões# 10	planície de inundação	13150000	Itapeuá	10 km/acima	0,88
Solimões	rio	12900001	Tefê	20 km/acima	0,83
Solimões	Lago/rio	12900001	Tefê	29 km/acima	0,62
Tarauacá	planície de inundação	12680000	Envira	70 km/abaixo	1,59
Unini	rio	14855000	Umanapana	5 km/abaixo	0,55
Unini	rio/completo	14855000	Umanapana	25 km/abaixo	0,60
Xingu	rio+	18520000	Belo Horizonte	60 km/abaixo	0,45

Tabela 2.2 – Erro médio quadrático (RMS) entre os níveis de água derivados do ENVISAT para cada reprocessamento e os níveis de água medidos nas estações *in situ*. As estações em áreas úmidas (*wetland stations*) são compostas pelos lagos e as demais estações estão associadas a rios (Fonte: FRAPPART *et al.*, 2006)

Estação de Referência	Posição do traço ENVISAT (km)	RMS (m)			
		Ocean	Ice-1	Ice-2	Sea Ice
Tabatinga	20 abaixo	0,27	0,40	0,32	1,37
Manacapuru	43,5 acima	0,27	0,20	0,86	0,69
Manacapuru	43,5 abaixo	0,31	0,27	0,29	0,21
Obidos	5,25 abaixo	0,26	0,26	0,58	0,4
Curuai	Lago 1	0,85	0,36	0,90	1,08
Curuai	Lago 2	1,40	0,25	1,10	3,24
Curuai	Lago 3	0,55	0,53	1,35	0,99
Curicuriari	29 acima	0,12	0,07	0,10	0,13
Tapuruquara	15,5 acima	0,50	0,35	0,42	0,33
Tapuruquara	47,5 abaixo	0,42	0,12	0,23	0,14
Manaus	29 acima	0,31	0,11	0,56	0,32

SILVA *et al.* (2010) analisam as variações dos corpos de água na bacia amazônica a partir dos dados altimétricos das missões ERS-2 e ENVISAT. Os dados utilizados do ENVISAT foram extraídos dos arquivos GDR entre 2002 e 2008 com algoritmos Ice-1 e Ice-2. Os dados utilizados do ERS-2 com o reprocessamento Ice-2 foram produzidos pelo projeto OSCAR entre 1995 a 2002. Os resultados da comparação das medidas *in situ* com as séries altimétricas mostraram-se altamente variáveis, com precisões de 12 cm nos melhores casos e de 40 cm na maioria dos casos e ocasionalmente precisões alcançadas acima desses valores (Tabela 2.3). Com auxílio do programa VALS (2009), o programa exibe as medidas da altura de água obtidas pelos sensores embarcados em satélite em relação a latitude. Para cada ciclo, os autores, descartam medidas identificadas visualmente como prováveis valores espúrios (*outliers* e/ou medidas adquiridas fora da água); em seguida, determinam a mediana dos dados referentes a cada ciclo.

Tabela 2.3 - Estatísticas da comparação entre séries altimétricas e leituras das estações medida próximo ao percurso do satélite. Fonte: SILVA *et al.* (2010)

Estações		ENVISAT (2002 -2008)		ERS-2 (1995 - 2002)
		Ice1	Ice2	Ice2
	Código	RMS	RMS	RMS
Palmeiras	G1	0,361	0,369	0,831
Santa Maria	G2	0,810	0,830	1,193
São Paulo Olivença	G3	0,802	0,666	1,163
	G4	0,452	0,577	0,683
Ipiranga Novo	G5	0,343	0,345	0,533
Barreira Alta	G6	0,372	0,374	0,544
Fonte Boa	G7	0,432	0,237	0,582
Serra do Moa	G8	0,775	0,722	1,636
Beaba	G9	2,259	1,792	1,196
	G10	0,258	0,295	0,925
Aruma Jusante	G11	0,225	0,235	0,400
Missao Içana	G12	0,298	0,335	0,442
Pimentairas	G13	0,139	0,164	0,512
Pedras Negras	G14	0,118	0,119	0,322
Príncipe da Beira	G15	0,296	0,338	0,340
Fazenda Apuru	G16	0,462	0,427	N/A
Maloca Tenharim	G17	0,212	0,254	0,716
Urubu	G18	0,317	0,343	N/A

LEON *et al.* (2007) determinaram curvas-chaves e estimativas da profundidade média da água no alto rio Negro baseado em dados do altímetro embarcado em satélite e em modelos de propagação de vazão (Muskingum–Cunge) em calhas fluviais. Uma das estações fluviométricas (São Felipe) utilizadas no trabalho estava próxima ao traço de passagem do satélite ENVISAT. Assim, os autores avaliaram a qualidade dessa série temporal derivada de dados fornecidos pelo algoritmo Ice1. O RMS da comparação alcançou um valor de 12 cm entre 2002 e 2004. O estimador utilizado foi a mediana, entretanto os valores da mediana irreais eram, por último, eliminados por uma comparação visual entre níveis de água e séries temporais de descarga para uma determinada estação virtual.

FRAPPART *et al.* (2006 b) determinaram a mudança no volume de água sobre a parte baixa da bacia do rio Mekong utilizando dados de altimetria via satélite (1996-2004) e imagens. Entre outras coisas, o trabalho comparou os resultados obtidos pelas séries temporais de nível de água construídas com os dados ERS-2/ENVISAT e TOPEX/POSEIDON, resultando respectivamente 0,23 m e 0,15 m de RMS. Para o filtro de seleção de dados, foi empregada uma máscara (*Landsat Thematic Mapper Orthorectified Mosaic*) para localizar a interseção entre o rio e o traço do satélite. Os dados espúrios são apagados usando um critério de 3 desvios-padrão para todo tempo de análise (todos os ciclos). Para cada ciclo, a altura da superfície da água, em uma determinada estação virtual, é obtida calculando a mediana de todos os dados restantes na janela retangular.

2.2.4. Análise dos Estudos Prévios de Validação

Os trabalhos anteriores de validação de estimativas da altura da superfície do corpo aquoso obtidos através da altimetria por radar embarcado em satélite, em que foram realizadas comparações com uma verdade de campo, revelam uma grande variação das precisões (RMS) obtidas dentro de cada trabalho. Pode-se citar alguns resultados como de BIRKETT *et al.* (2002), com valores extremos de 0,38 a 4,09 m para o TOPEX/POSEIDON (Tabela 2.1), de Frappart *et al.* (2006), com valores variando de 0,07 a 0,40 m para o ENVISAT/Ice1 (Tabela 2.2) e de SILVA (2010), com valores extremos de 0,118 a 2,259m para o ENVISAT/Ice1 (Tabela 2.3).

Os resultados apresentados acima não podem ser comparados diretamente, pois foram obtidos por meio de diferentes missões, algoritmos de reprocessamento, aplicações de correções atmosféricas e geofísicas e métodos de construção de estações virtuais. O objetivo de apresentá-los dessa forma é que permitem evidenciar a alta variabilidade dos resultados encontrados dentro de cada trabalho, onde foi utilizada uma mesma metodologia para construção das estações virtuais.

No trabalho de BERCHER *et al.* (2006), os autores chamam a atenção para esse fato dizendo que, há mais de uma década, a altimetria de radar embarcada em satélite mostra a sua potencial contribuição para o monitoramento de níveis de água fluviais. No entanto, hoje em dia, ainda não é operacional porque a qualidade das séries temporais não está sistematicamente quantificada, e, além disso, carece de uma melhor definição metodológica. O trabalho de KOURAEV *et al.* (2009) concluiu que as séries temporais de nível de água para o Mar Aral e para o Lago de Sarykamys, derivadas de quatro fontes distintas, mostraram diferenças de qualidade. SILVA *et al.* (2010) afirmam que uma seleção de dados cautelosa é claramente um ponto chave para alcançar séries de alta qualidade.

Novas propostas têm sido elaboradas na área de construção de estações virtuais, como, por exemplo, o método automatizado proposto por ROUX *et al.* (2010), baseado na distribuição da cobertura e uso de terra e o método proposto por Enjolras e Rodriguez (2009). Assim, devido à falta de uma metodologia consagrada na literatura para a construção de estações virtuais e à busca incessante por novos métodos, incentivado pela academia, optou-se neste trabalho em propor uma nova metodologia para construção de estações virtuais, seção 3.1, com base em trabalhos anteriores.

CAPÍTULO 3. METODOLOGIA

O principal objetivo deste trabalho é estimar as precisões absoluta e relativa das alturas elipsoidais obtidas por meio dos dados fornecidos pelo satélite Jason-2/Ice3 sobre os corpos hídricos localizados na plataforma continental. Esse objetivo será alcançado com base em duas verdades de campo, que permitirão efetuar os procedimentos de validação. Essas duas verdades de campo, em síntese, correspondem aos resultados gerados a partir de rastreamento GPS e a cotogramas de estações fluviométricas.

Para a apresentação da abordagem metodológica adotada nesta dissertação, de forma a cumprir o objetivo estabelecido, optou-se por subdividi-la em três grandes eixos:

- determinação do método de construção de estações virtuais;
- procedimento de validação relativa;
- procedimento de validação absoluta

Para cada um desses eixos temáticos, por sua vez, desenvolve-se uma discussão crítica, com base na literatura disponível, apresentada no Capítulo 2, sobre as especificidades pertinentes a cada um deles, enfatizando os avanços e limitações, com vistas a realçar e contrastar com a diretriz metodológica proposta no presente trabalho.

O primeiro obstáculo, para iniciar o procedimento de validação, é extrair valores representativos da altura da superfície do corpo aquoso a partir de um conjunto de dados que são fornecidos a cada período de revisita do satélite. Esses valores são resultantes da construção de uma estação virtual, gerando uma série temporal da altura da superfície da água com resolução aproximada de 10 dias, no caso do satélite Jason-2.

Após definido o método de construção da estação virtual, pode-se passar ao processo de validação. Em resumo, os valores representativos da altura da superfície do corpo aquoso obtidos a partir dos dados do satélite Jason-2/Ice3 podem ser comparados com medidas registradas em campo, viabilizando a determinação de estimativa da precisão desses dados.

Com vistas a permitir, na sequência do texto, uma discussão mais específica sobre o processo de validação, cabe ressaltar que o resultado de uma estação fluviométrica é um cotograma, ou seja, uma série temporal de nível da superfície da água com resolução, na maioria dos casos, de 2 leituras por dia. As séries temporais produzidas com base na estação fluviométrica assim como com base na estação virtual registram ambas o nível da superfície de água, contudo com referenciais diferentes, ou seja, local e elipsoidal, respectivamente. Essa diferença de referenciais impede uma comparação direta entre os valores absolutos lidos na régua da estação fluviométrica e os valores obtidos a partir dos dados do Jason-2/Ice3. Por outro lado, deve-se notar que as diferenças relativas entre dois registros quaisquer, dentro do mesmo período de tempo, de cada uma das duas séries temporais são comparáveis. No presente estudo, os cotogramas das estações fluviométricas serão a base de dados de campo de entrada para a validação relativa.

Complementarmente, Moreira (2010) obteve diversos resultados na região amazônica, incluindo perfis definidos pela altura elipsoidal da linha de água ao longo da interseção da trajetória de passagem do satélite altimétrico Jason-2 com determinadas seções fluviométricas. Esses resultados possibilitaram a validação absoluta, ou seja, uma comparação direta entre os resultados obtidos por Moreira (2010) e os obtidos a partir dos dados do Jason-2/Ice3. A seção 3.3 aborda a metodologia aplicada para determinação da precisão absoluta neste trabalho.

Estabelecido o referencial do trabalho desta pesquisa, apresenta-se, na sequência, o fluxograma metodológico da dissertação (Figura 3.1). Os itens subsequentes detalharão cada uma das etapas apresentadas no fluxograma. Mais adiante, quando da discussão dos resultados obtidos, ficarão mais claras, sob o ponto de vista da apresentação didática, as análises que puderam ser desenvolvidas face à riqueza das experiências e bases de dados que foram disponibilizadas para o desenvolvimento da presente dissertação.

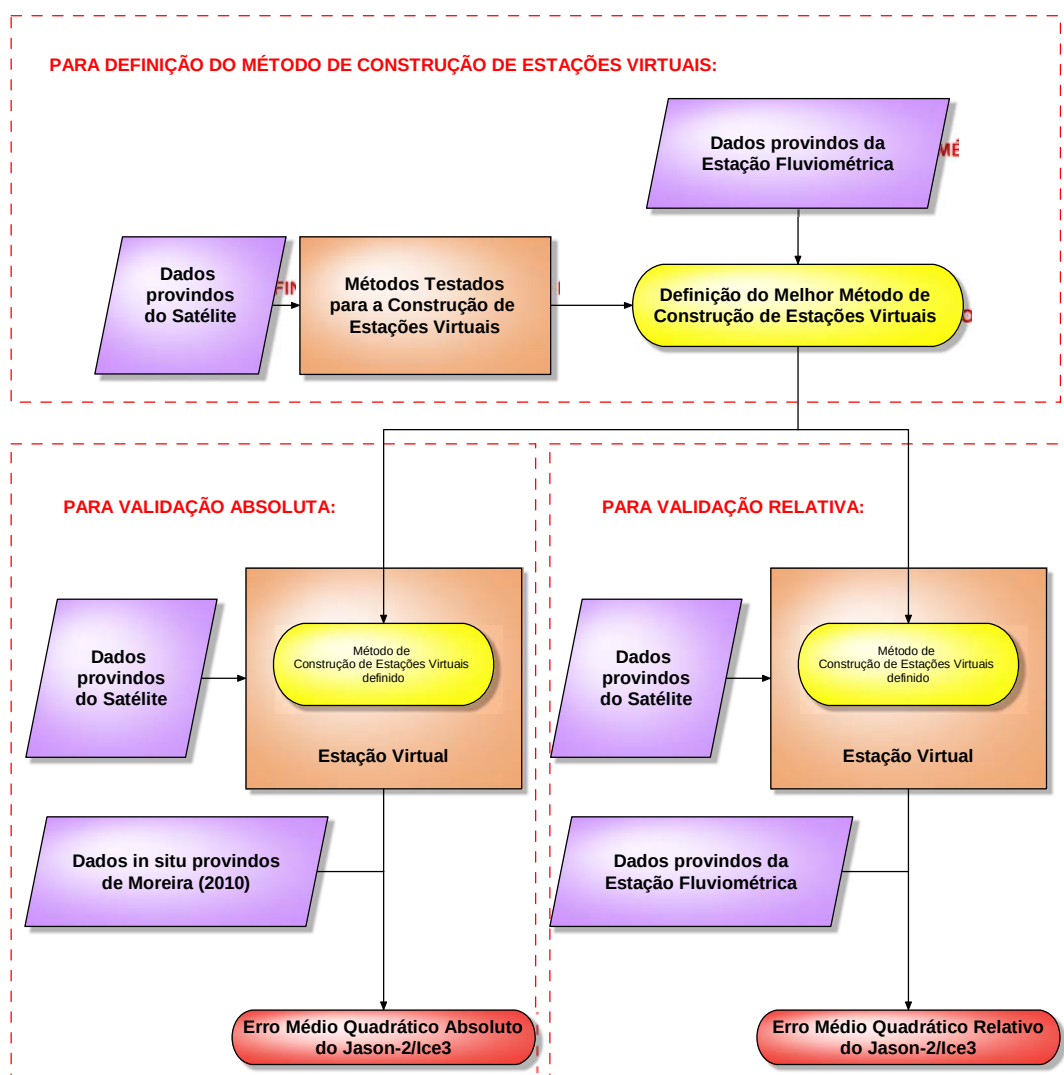


Figura 3.1 – Fluxograma metodológico

3.1. Determinação do Método de Construção de Estações Virtuais

Uma estação virtual é definida no local da interseção entre o corpo de água e o traço da órbita de passagem do satélite. O produto dessa estação é uma série temporal de medidas representativas da altura da superfície da água, com resolução temporal de aproximadamente 10 dias no caso do Jason-2, obtida a partir de aquisições consecutivas de sensores embarcados em plataforma orbital.

A construção de uma estação virtual obedece a uma seqüência de etapas, bem definidas na literatura (BIRKETT, 1998), com o objetivo de extrair um valor representativo da altura da superfície do corpo aquoso, a partir das medidas efetuadas a

cada ciclo de revisita, por um radar altímetro embarcado em plataforma espacial. O fluxograma ilustrado na Figura 3.2 apresenta as principais etapas para a construção de uma estação virtual.

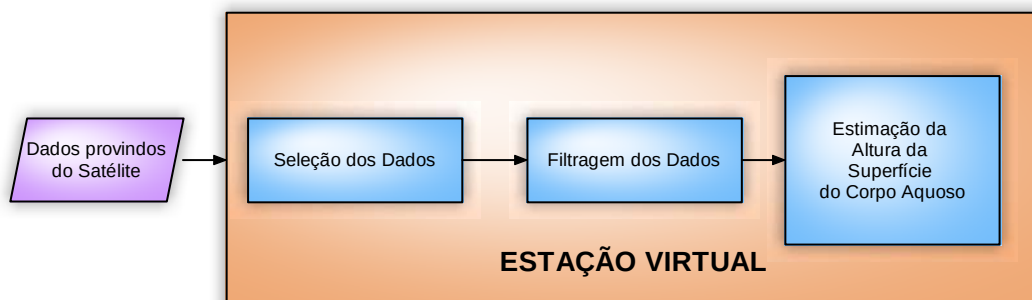


Figura 3.2 – Processo de construção de estações virtuais

A literatura oferece diversos métodos para a construção de estações virtuais, revisados na seção 2.2.3. A seção 2.2.4, por sua vez, apresentou uma discussão sobre esses métodos, permitindo melhor apontar os avanços aqui introduzidos no que concerne a construção de estações virtuais. A seguir, apresenta-se uma avaliação comparativa entre diversos métodos, incluindo procedimentos que conjugam técnicas extraídas da literatura revisada com novas proposições.

A etapa denominada *extração dos dados*, da metodologia de construção de estações virtuais, é a etapa mais simples do processo e a que possui menos variações entre as metodologias aplicadas pelos pesquisadores. Usualmente, são utilizados uma máscara de água (FRAPPART *et al.*, 2006 b) e/ou um polígono (SILVA *et al.*, 2010) para selecionar os dados contidos na interseção do corpo de água com a órbita de passagem do satélite.

A etapa que configura a *filtragem dos dados* tem como objetivo excluir dados espúrios (*outliers*) que se encontram no conjunto definido pela etapa anterior (*extração dos dados*). Esta é a etapa onde ocorrem maiores variações, podendo o pesquisador ou especialista escolher por não interferir no processo (FRAPPART *et al.*, 2006), filtrar utilizando um critério estabelecido por meio de um parâmetro extraído do sensor radar altímetro (BIRKETT *et al.*, 2002), optar por uma exclusão de dados espúrios identificada visualmente (SILVA *et al.*, 2010) ou excluir os dados espúrios utilizando

um critério de 3 desvios padrão ao longo do tempo de análise (FRAPPART *et al.*, 2006 b).

Na etapa *estimativa da altura da superfície da água*, observa-se, como aspecto comum a todos os trabalhos pesquisados (LEON *et al.*, 2006; FRAPPART *et al.*, 2006; FRAPPART *et al.*, 2006 b; SILVA *et al.*, 2010), a utilização da mediana como representativa da altura da superfície da água extraída de dados obtidos por sensores embarcados em plataformas espaciais.

Feita essa retrospectiva, perseguiu-se o objetivo de selecionar um método automatizado de construção de estações virtuais com vistas a extrair as séries temporais de altura da superfície do corpo aquoso nas estações de validação relativa e absoluta. Foram testados doze métodos, incluindo a emprego de diferentes procedimentos empregados pelos autores pesquisados e previamente mencionados. Adicionalmente, foi desenvolvida e testada uma nova metodologia de filtragem, denominada de Aqua (algoritmo de filtragem de dados por quartis), conjuntamente com um método para remoção de ciclos espúrios.

O fluxograma, apresentado na Figura 3.3, apresenta as etapas gerais de construção da estação virtual com os doze métodos testados para construção de estações virtuais, gerados pela combinação das metodologias utilizadas por outros pesquisadores com procedimentos novos propostos neste trabalho. Essas abordagens serão avaliadas, conforme será exposto no Capítulo 5, Seção 5.1, com o intuito de definir aquela que fornece a melhor estimativa para a massa de dados oriundos do satélite Jason 2/Ice 3.

Uma vez estabelecido o fluxograma metodológico da dissertação (Figura 3.1), com o esclarecimento das etapas de construção de estações virtuais (Figura 3.2) e discriminação dos doze métodos de filtragem (Figura 3.3), apresenta-se, no item seguinte (Seção 3.1.1), uma discussão mais aprofundada sobre a etapa *dados providos do satélite*, que permite a implementação do procedimento de definição do cálculo da altura da superfície do corpo aquoso segundo a frequência de aquisição do satélite. Analogamente, uma vez feitas as considerações sobre os dados disponíveis por meio da observação de satélite, as etapas de construção da estação virtual, *seleção dos dados*, *filtragem dos dados*, *estimação da altura da superfície do corpo aquoso* e filtro de

eliminação de desvios extremos são detalhadas, respectivamente, nas Seções 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5.

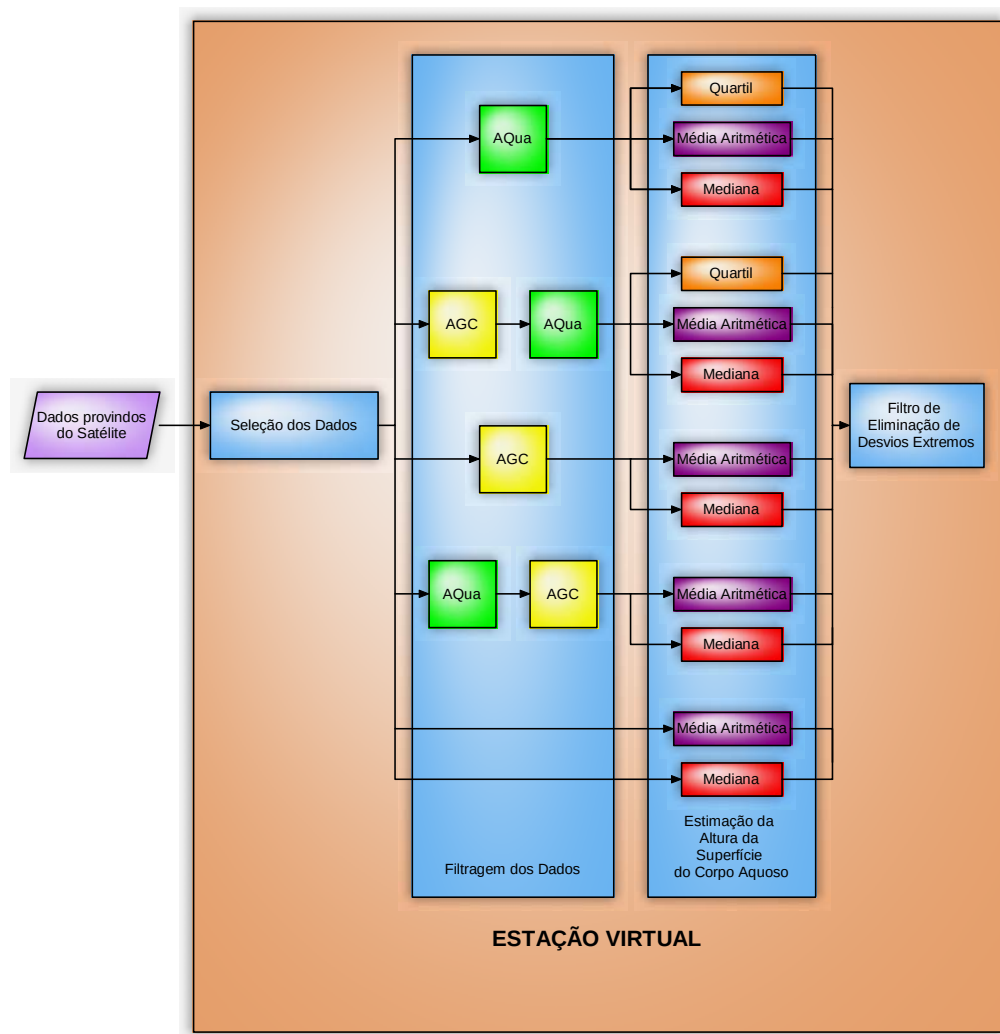


Figura 3.3 – Métodos empregados na construção de estações virtuais

3.1.1. Dados Providos do Satélite

Anterior ao procedimento de construção de estações virtuais, encontra-se a etapa de entrada dos dados, ou seja, protocolo de cálculo da altura da superfície do corpo aquoso conforme a frequência de aquisição do satélite.

O presente estudo utiliza os dados Jason-2, formato PISTACH (*Système de Traitement pour les Applications Côtières et l'Hydrologie*), que fornecem diversas

informações, entre elas, a distância do satélite à superfície do corpo aquoso reprocessada com o algoritmo *Ice3*, a altura elipsoidal do satélite, as correções geofísicas e atmosféricas necessárias para o cálculo da altura da superfície do corpo aquoso a uma taxa de 20 Hz, ou seja, taxa de distribuição a cada 290 m aproximadamente na direção de projeção do nadir. Os arquivos estão disponíveis no servidor FTP do projeto PISTACH .

As correções atmosféricas disponíveis nos arquivos IGDR e utilizadas neste trabalho foram: modelo da troposfera seca (ECMWF – *European Center for Medium Range Weather Forecast*), modelo da troposfera úmida (ECMWF) e correção ionosférica GIM (NASA – *National Aeronautics and Space Administration*, EUA/JPL – *Jet Propulsion Laboratory*, EUA). Foram, também, empregadas correções geofísicas de movimento do pólo e movimento da maré sólida. Maiores detalhes sobre as correções encontram-se na Seção 4.1.4.

O nível instantâneo da superfície do corpo aquoso é calculado pela diferença entre a altura elipsoidal do satélite e a distância satélite-superfície do corpo aquoso como

$$ALTp = d - (H + Tu + Ts + I) - (Mt + Mp) \quad (4.1)$$

onde

$ALTp$ – altura precisa da superfície do corpo aquoso [m];

d – distância contada do satélite até a superfície de referência elipsoidal [m];

H – distância contada desde o satélite até a superfície refletora [m];

Mt – maré terrestre [m];

Mp – maré polar [m];

Tu – correção de troposfera úmida [m];

Ts – correção de troposfera seca [m];

I – correção ionosférica [m].

Como será dito no Capítulo 4 (item 4.1.3.1), o POSEIDON-3 pode operar em 3 diferentes métodos de aquisição. Neste trabalho, utilizaram-se somente os dados adquiridos pelo método de aquisição e processamento autônomo DIODE (*autonomous*

DIODE acquisition / tracking), por ser este o método padrão de aquisição do radar altímetro.

3.1.2. Seleção dos Dados

Esta é a primeira etapa da construção de uma estação virtual, ou seja, a seleção geográfica dos dados (ALTp) localizados na área de interesse com o propósito de extrair uma medida única que represente a altura da superfície do corpo aquoso.

Neste trabalho, a etapa de seleção de dados, como ilustrado na Figura 3.4 para o rio Cuiabá, considera selecionar os dados oriundos do satélite compreendidos dentro de uma faixa que abrange 1 km para cada margem, ao longo da interseção do rio com a trajetória do satélite.



Figura 3.4 – Exemplo da etapa de seleção dos dados no rio Cuiabá

3.1.3. Filtragem de Dados

Nesta seção, serão apresentados os dois algoritmos testados para a filtragem dos dados selecionados na etapa de seleção dos dados, a saber: o algoritmo AGC e o algoritmo Aqua.

O parâmetro AGC (*automatic gain control*), que dá nome ao algoritmo AGC, onde $AGC \sim \sigma^0 + 20 \text{ dB}$ para o TOPEX/POSEIDON e em que σ^0 é o coeficiente de retroespalhamento do radar, foi utilizado por BIRKETT (1998), que verificou que os valores de AGC definidos entre 40 e 45 dB separavam os dados obtidos sobre a terra seca dos dados adquiridos sobre terras úmidas (*wetlands*) ao longo do rio Paraguai. Essa divisão ainda era mais clara para o rio Zambezi, sugerindo um valor de 40 dB para o AGC. BIRKETT (1998, 2002) aplicou esse algoritmo de filtragem na construção das estações virtuais na bacia Amazônica, sendo os dados úteis considerados como $AGC > 40 \text{ dB}$ e $AGC \neq 32767$ (valor correspondente à ausência do dado). O método de filtragem vem sendo aplicado por outros autores como LEE *et al.* (2009) e JUNG *et al.* (2010). Salienta-se que esse parâmetro encontra-se disponível nos arquivos IGDR do projeto PISTACH.

O segundo algoritmo de filtragem dos dados avaliado foi o Aqua (algoritmo de filtragem de dados por quartis) desenvolvido pela autora. A partir do conjunto de dados resultante da etapa de seleção de dados ou fruto da aplicação do filtro AGC, como mostra o fluxograma na Figura 3.3, o Aqua constrói, em essência, três subconjuntos e determina qual subconjunto contém os dados mais representativos para estimação da altura da superfície do corpo aquoso, próxima etapa da construção de estações virtuais.

Cada subconjunto (1, 2 e 3) é gerado a partir de um ponto central definido pelo valor do quartil (respectivamente q_1 , q_2 e q_3). Esses quantis são calculados a partir do conjunto inicial de dados resultante da etapa de seleção de dados ou de aplicação do filtro AGC, referentes a alturas da superfície do corpo aquoso (ALTp). Os quartis são comumente usados para dividir uma amostra e/ou população pela definição de três valores limiares, q_1 , q_2 e q_3 , que dividem o conjunto dos dados em quatro partes iguais. Em particular, o valor q_2 iguala-se ao valor da mediana.

Após a definição dos três subconjuntos, é calculado um coeficiente Q para cada subconjunto, onde

$$Q(n) = \text{abs}((q(n) - \text{med}(n)) \times dp(n)) \text{ para } n=1, 2, 3 \quad (4.2)$$

com:

- abs(.) – valor absoluto da expressão;
- q(n) – quartil n [m];
- med(n) – média do subconjunto n [m];
- dp(n) – desvio padrão do subconjunto n [m].

O coeficiente Q representa a dispersão absoluta dos dados contidos nos subgrupos em torno do ponto central gerador do subconjunto (q1, q2 ou q3), o que leva a um grande valor na presença de dados espúrios ou a um pequeno valor na ausência desses. Assim, quanto menor esse coeficiente, mais representativo será esse subconjunto de dados para posterior estimação da altura da superfície do corpo aquoso, etapa seguinte da construção de estações virtuais.

A seguir, encontra-se a descrição do Aqua e, na Figura 3.5, o fluxograma ilustrando o seu funcionamento.

- 1- Para cada conjunto de dados definido na etapa anterior (AGC ou seleção de dados), por passagem do satélite, faça:
 - a. Calcular para o grupo de dados em questão: média, desvio padrão e quartis; esses valores serão chamados de med, dp, q1, q2 e q3 respectivamente;
 - b. Subgrupos:
 - i. Subgrupo n: dados do ciclo em questão compreendidos entre $q_n \pm dp$, onde n varia de 1 a 3; se o tamanho do subgrupo é igual a 1, então, o subgrupo deve ser descartado;
 - ii. Para cada subgrupo, calcula-se a média e o desvio padrão; esses valores serão chamados de medn e dpn; define-se: $Q_n = \text{abs}((q_n - \text{medn}) \times \text{dpn})$, onde n varia de 1 a 3.
- 2- O subgrupo escolhido será aquele que obtiver o menor valor de Q.

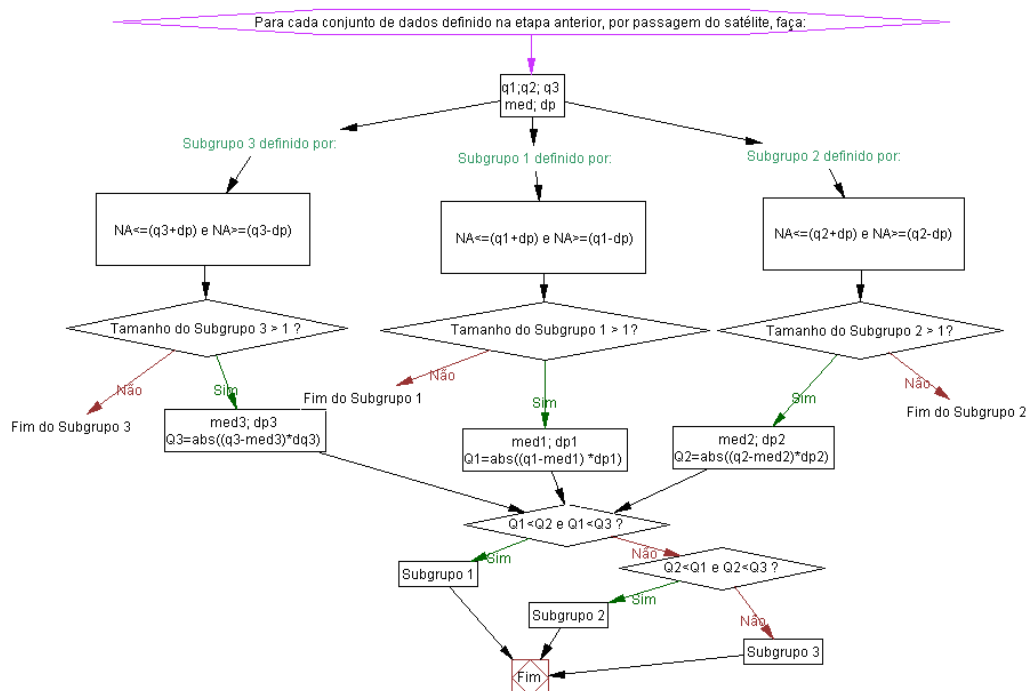


Figura 3.5 - Fluxograma do algoritmo Aqua

A sequência Aqua - AGC, vista na etapa de filtragem dos dados no fluxograma da Figura 3.3, é definida pela aplicação do filtro AGC após a geração de cada subgrupo. Assim, a variação no algoritmo original Aqua (Figura 3.5) encontra-se abaixo, e o respectivo fluxograma pode ser visualizado na Figura 3.6.

1- Aplicação do algoritmo Aqua. A etapa 1.b.i (geração dos subgrupos) deste algoritmo deve ser alterada para:

- i. Subgrupo n: dados do ciclo em questão compreendidos entre $q_n \pm dp$, onde n varia de 1 a 3; excluir os dados que possuam AGC < 40 ou AGC = $\neq 32767$; se o tamanho do subgrupo for igual a 1, então, o subgrupo deve ser descartado,

2- O valor do dado remoto de altura será a mediana calculada com os dados contidos no subgrupo da etapa 2 do algoritmo Aqua.

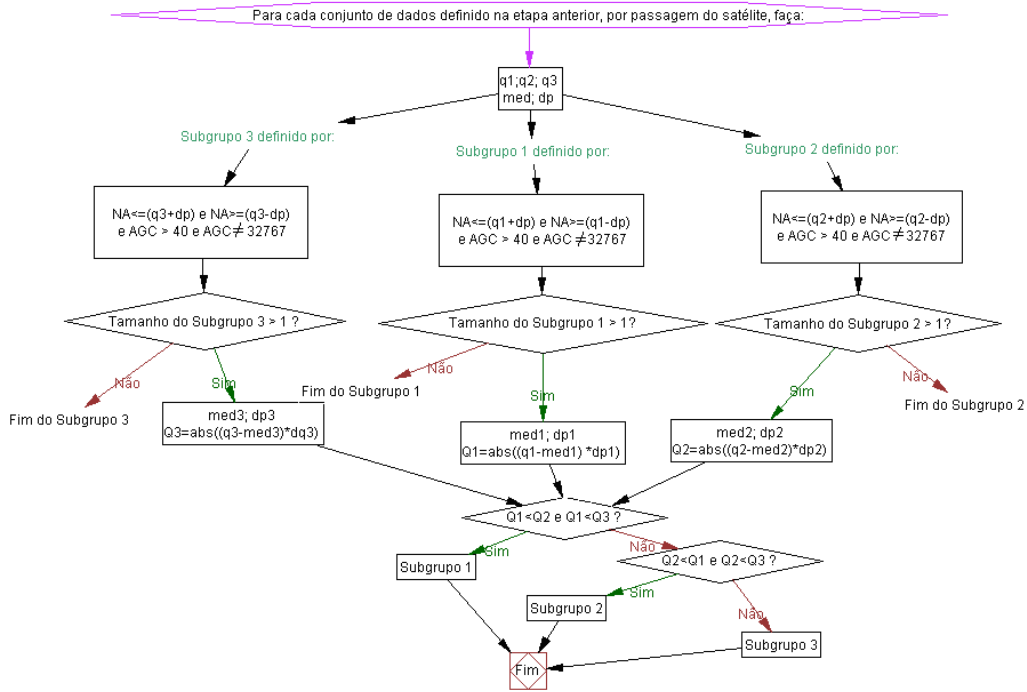


Figura 3.6 – Fluxograma do algoritmo Aqua-AGC

3.1.4. Estimação da Altura da Superfície do Corpo Aquoso

A partir de um conjunto de dados, definido após a etapa de filtragem dos dados e após a etapa seleção dos dados, ilustradas nos fluxogramas das Figuras 3.2 e 3.3, é necessário determinar um valor único que represente a altura da superfície do corpo aquoso. Neste trabalho, serão testados, como estimadores, os valores dos parâmetros posicionais quartil, média aritmética e mediana.

O estimador quartil será usado somente quando o método de filtragem Aqua for usado na etapa de filtragem dos dados devido ao fato da estimativa da altura da superfície do corpo aquoso ser definida a partir o valor do quartil gerador do subgrupo escolhido, definido na etapa 2 do algoritmo Aqua.

O estimador média aritmética e mediana serão testados para todas as combinações apresentadas no fluxograma da Figura 3.3, inclusive nos dois casos de

estimativa direta da altura da superfície do corpo aquoso após a etapa de seleção dos dados, ou seja, ausência da etapa de filtragem dos dados.

3.1.5. Filtro de Eliminação de Desvios Extremos

Na nova proposta de construção de estações virtuais aqui apresentada, foi inserida a etapa final filtro de eliminação de desvios extremos. Ocorre que, na estimação da altura da superfície do corpo aquoso podem, eventualmente, ser geradas estimativas ainda muito ruidosas, como decorrência da permanência de dados espúrios após a etapa de filtragem dos dados, os quais, por sua vez, podem ter, como origem, fatores físicos do ambiente e/ou limitações instrumentais. Cabe ressaltar que esta etapa não remove todos os desvios extremos, mas sim os resultados que não estejam compreendidos entre a cheia e a vazante regular da série altimétrica.

A remoção dos desvios extremos, nesta etapa, é obtida pelos valores localizados fora dos limites definidos por três vezes o valor da distância interquartílica (diferença entre o terceiro e primeiro quartil). Esses limites têm sido usados como parte de um critério para a identificação de pontos atípicos eventualmente presentes na amostra (NAGHETTINI *et al.*, 2007). O algoritmo da etapa filtro de eliminação de desvios extremos encontra-se abaixo.

1-Repita até que não haja rejeição:

- a. calcular o primeiro, o terceiro quartil e a distância interquartílica das alturas elipsoidais obtidas pelo método de estimação corrente; Essas medidas serão chamadas de q_1 , q_3 e iqr , respectivamente;
- b. calcular os limites extremos $lim1$ e $lim2$, onde $lim1 = q_1 - 3 \times iqr$ e $lim2 = q_3 + 3 \times iqr$;
- c. excluir os ciclos que possuam alturas externas aos limites anteriormente definidos.

3.1.6. Síntese dos Algoritmos Testados para Construção de Estações Virtuais

Como apresentado no fluxograma da Figura 3.3, serão testados doze métodos de construção de estações virtuais, diferenciados, principalmente, pelas etapas de filtragem

dos dados e estimação da altura do corpo aquoso, com o intuito de definir a melhor abordagem metodológica para as alternativas estudadas.

As etapas de seleção de dados e filtro de eliminação de desvios extremos é constante para todas as metodologias testadas. Dessa forma, o nome da metodologia de construção de estação virtual será definida pela ordem de aplicação do(s) filtro(s) e posterior nome do estimador aplicado. Por exemplo, a metodologia Aqua Quartil é definida pelas etapas seleção dos dados, filtragem dos dados com o algoritmo Aqua, estimação da altura da superfície do corpo aquoso com o parâmetro quartil e, por último, o filtro de eliminação dos desvios extremos.

No anexo A apresenta-se uma síntese dos doze métodos de construção das estações virtuais testados.

3.2. Validação Relativa

Como o referencial elipsoidal da verdade de campo, aqui identificada pela estação fluviométrica local, é desconhecido, aliado ao fato de que a introdução de altura elipsoidal fornecida por rastreo GPS poderia, eventualmente, originar novos ruídos, optou-se, primeiramente, pelo procedimento de validação relativa. Nesta dissertação, optou-se pelo emprego do erro médio quadrático relativo calculado com base nos desníveis correspondentes aos diversos pares de observações conjugadas obtidas via satélite e via réguas da estação fluviométrica, procedimento usualmente adotado nos trabalhos destacados na revisão bibliográfica (seções 2.2.3 e 2.2.4).

Os dados de entrada para execução da validação relativa são provenientes das estações virtual e fluviométrica. A estação virtual fornecerá a altura elipsoidais e época para cada ciclo de passagem do satélite. Essas épocas condicionam a extração dos dados que é conduzida a partir da série temporal da estação fluviométrica.

No caso desta dissertação, consideram-se as diferenças entre as cotas da estação fluviométrica e as alturas elipsoidais na estação virtual, em cada época de passagem do satélite, no cálculo do erro médio quadrático, que resulta, em última análise da soma de

diversas variáveis aleatórias, que, caso independentes e com mesma distribuição de probabilidade, permitiria fazer uso, em princípio, do teorema de limite central.

Por outro lado, como já mencionado anteriormente, há, no momento, na literatura mundial, limitações metodológicas para evitar a saída de resultados espúrios da etapa de filtragem dos dados no processo de construção da estação virtual. Esses resultados contaminam a distribuição de probabilidade desconhecida dos resíduos, o que leva a não convergência a uma distribuição normal, conforme define o teorema do limite central. Essa constatação pode ser verificada nas etapas a e b do procedimento proposto de validação relativa.

Para contornar esse problema, é necessário remover os resultados espúrios persistentes nas séries temporais, obtidas através da construção de estações virtuais. LEON *et al.* (2006) resolveu esse problema eliminando os resultados espúrios por uma comparação visual com a série temporal de nível de água fornecida pela estação fluviométrica. Neste trabalho, será aplicado um procedimento automatizado para remoção dos dados espúrios e, em seguida, será possível calcular o erro médio quadrático relativo mais provável da estação em questão, consoante a etapa c.

Nesse sentido, o procedimento proposto de validação relativa, nesta dissertação, possui três etapas. As etapas a e b calculam, respectivamente, o erro médio quadrático relativo obtido considerando toda a amostra de dados e, em seguida, com intervalo de confiança de 95%. A etapa c calcula o erro médio quadrático relativo com ausência de desníveis espúrios. Essa última etapa fornece efetivamente a precisão relativa buscada; as outras duas etapas são somente para verificação do que foi discutido anteriormente.

a- Erro médio quadrático da amostra total de resíduos da estação. Esta etapa fornece o erro médio quadrático relativo obtido por todos os desníveis correspondentes aos pares de observações conjugadas obtidas via satélite e via réguas das estações fluviométricas. Nesta etapa, todas as estimativas de altura da superfície do corpo aquoso obtidos na saída do procedimento de construção de estações virtuais são utilizadas.

b- Erro médio da amostra de resíduos da estação com intervalo de confiança de 95% (IC 95%). Esta etapa calcula o erro médio quadrático relativo sobre toda a amostra

de validação com um intervalo de confiança de 95% supondo que os dados fossem normalmente distribuídos. Os resultados desta etapa demonstram a interferência dos dados espúrios resultantes da saída do procedimento de construção de estações virtuais na convergência ao teorema do limite central.

c- Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios. Esta etapa remove os dados espúrios que permaneceram após o procedimento de construção de estações virtuais. Após a remoção desses dados, é calculado o erro médio quadrático relativo obtido por todos os desníveis correspondentes aos pares de observações conjugadas obtidas via satélite e via réguas da estação fluviométrica.

A remoção dos dados espúrios provenientes da série temporal obtida a partir de uma metodologia de construção de estações virtuais será obtida por um processo iterativo com a hipótese inicial de eliminação dos desníveis não contidos no intervalo definido pela mediana e por uma dispersão em torno desse valor quantificado em $\pm 1,5$ x distância interquartilica.

Para provar essa hipótese inicial, ou seja, que o erro médio quadrático relativo obtido após o processo iterativo de exclusão de desníveis corresponde a um intervalo de confiança de 95% sem qualquer diferença de significância estatística, foram comparados os limites obtidos com intervalo de confiança de 95 % e mediana $\pm 1,5$ x distância interquartilica.

A comparação dos resultados permitirá avaliar a adequabilidade do critério escolhido, tendo em vista que os coeficientes de assimetria obtidos tendem a zero e que a dispersão considerada (mediana $\pm 1,5$ x distância interquartilica) gera um intervalo sem diferença de significação estatística para IC 95%, ficando, assim, demonstrada a pretendida aproximação da massa de dados por uma função densidade de probabilidade normal que lhe seja equivalente.

A seguir, a descrição das etapas constituintes do procedimento de validação relativa proposto:

a- Erro médio quadrático da amostra total de resíduos da estação

1- Tamanho da amostra para validação: número total de combinações possíveis de n ciclos em grupos de 2; portanto, cada elemento da amostra será formado por dois ciclos.

2- Para cada elemento da amostra, calcular:

i. diferença entre as cotas dos ciclos do par em questão fornecidas pela estação fluviométrica, que será chamada de dfn, onde n varia de 1 até o tamanho da amostra;

ii. diferença entre as alturas elipsoidais dos ciclos do par em questão fornecida pelo satélite, que será denominada de dfs, onde n varia de 1 até o tamanho da amostra.

3- Cálculo do erro médio quadrático (RMS) para o total de combinações (c)

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^c (dfn - dfs)^2}{c}}$$

b- Erro médio da amostra de resíduos da estação com IC 95%

4- Para a amostra calculada na etapa 2, calcular a média e o desvio padrão dos resíduos definidos por dfn-dfs, que serão chamados, respectivamente, de med e std; excluir os resíduos (dfn-dfs) não compreendidos entre $med \pm 1,96 \times std$.

c- Erro médio da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios

5- Repita até que não haja rejeição:

i. calcular a mediana e a distância interquartilica do conjunto formado pela diferença dfn-dfs da etapa 2; essas medidas serão chamadas de md e iqr2, respectivamente;

ii. calcular os limites lim1 e lim2, onde $lim1 = md - 1,5 \times iqr2$ e $lim2 = md + 1,5 \times iqr2$;

iii. excluir os elementos da amostra que possuam o valor da diferença (dfn-dfs) externo aos limites anteriormente definidos.

6- Novamente, procede-se o cálculo do erro médio.

7- Com a amostra utilizada na etapa 6, adotam-se os seguintes passos:

i. calcular a mediana, média aritmética, desvio padrão e a distância interquartílica do conjunto formado pela diferença dfn-dfs; essas medidas serão chamadas de md1, media1, std2 e iqr3, respectivamente;

ii. calcular os limites lim1 e lim2, onde $\text{lim1} = \text{md1} - 1.5 \times \text{iqr3}$ e $\text{lim2} = \text{md1} + 1.5 \times \text{iqr3}$;

iii. calcular os limites lim3 e lim4, onde $\text{lim3} = \text{media1} - 1.96 \times \text{std2}$ e $\text{lim4} = \text{media1} + 1.96 \times \text{std2}$;

iv. $\text{dif1} = \text{lim1} - \text{lim3}$;

v. $\text{dif2} = \text{lim4} - \text{lim2}$;

3.3. Validação Absoluta

Esta seção tem como objetivo apresentar a metodologia empregada para estimativa da precisão absoluta obtida pelo satélite altimétrico Jason-2/Ice3 na bacia Amazônica.

Esta validação utilizou, como verdade de campo, o perfil definido pela altura elipsoidal da linha de água localizada ao longo da interseção da trajetória de passagem do satélite altimétrico Jason-2 com o corpo aquoso; esses resultados foram extraídos de MOREIRA (2010). Neste mesmo local, onde foi realizado o levantamento de MOREIRA (2010), foi construída uma estação Virtual de onde as medidas de altura da superfície do corpo aquoso foram extraídas.

As épocas (data e hora) de levantamento *in situ* de MOREIRA (2010) ocorreram próximas da época de passagem do satélite Jason-2. Devido às rápidas variações do nível de água que ocorrem na região Amazônica (variações de até 30 cm em 10 horas), foi necessário estimar o valor desse dado *in situ* para a mesma época de passagem do satélite. Definir-se-ão as variáveis Época 1 e Época 2, respectivamente, para a data e hora de aquisição do dado do satélite e conforme MOREIRA (2010).

Assim, o procedimento de validação absoluta consistirá de duas partes principais: a primeira é extrair a medida da altura da superfície do corpo aquoso na época do ciclo de passagem do satélite mais próximo da época de levantamento *in situ* de MOREIRA (2010) (etapa 1); em seguida, transportar o resultado encontrado por MOREIRA (2010) para a época do ciclo de passagem do satélite (etapa 2). Depois de realizadas essas duas etapas, podem-se estimar as diferenças absolutas entre as alturas elipsoidais fornecidas pelo satélite Jason-2 e os resultados *in situ* obtidos por MOREIRA (2010).

No fluxograma da Figura 3.7, encontram-se, passo a passo, as três etapas do procedimento adotado de validação absoluta neste trabalho:

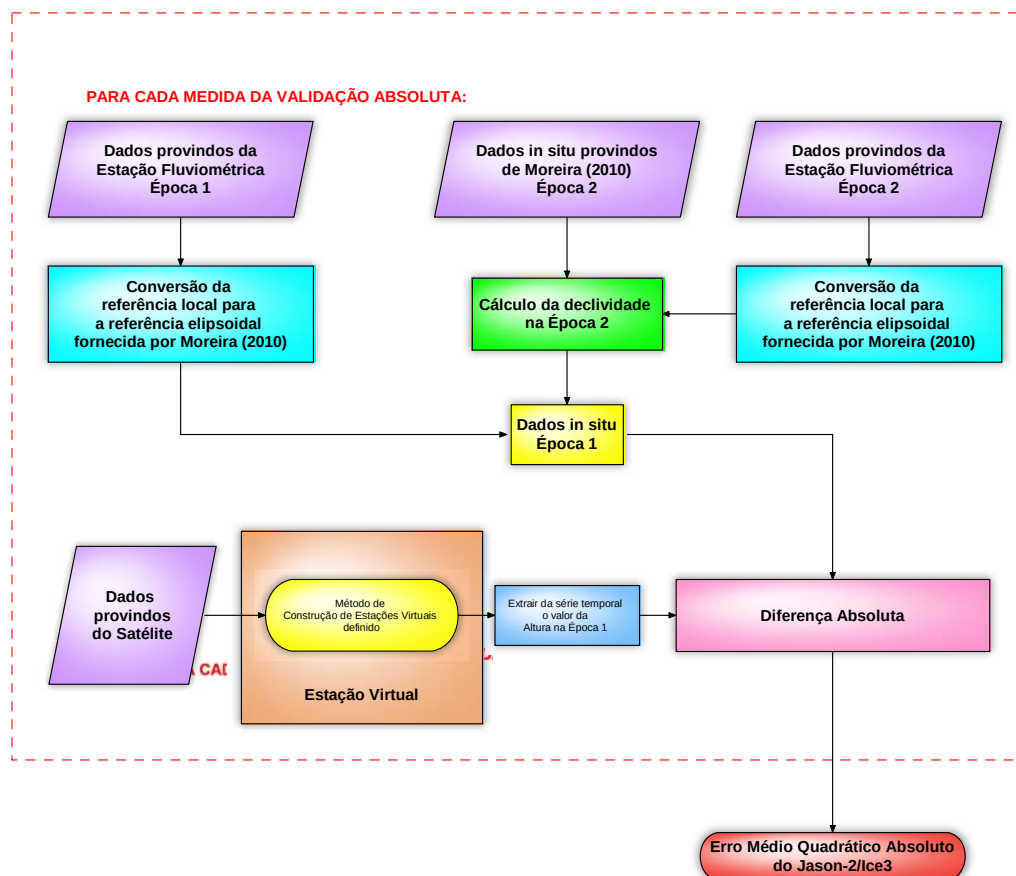


Figura 3.7 - Procedimento de validação absoluta

Complementarmente à descrição do procedimento de validação absoluta (Figura 3.7), algumas considerações devem ser feitas.

A correção linear aplicada aos dados *in situ* de MOREIRA (2010), da época 2 para a época 1, considera que a variação ocorrida entre a estação fluviométrica mais próxima e o levantamento de MOREIRA (2010) serão as mesmas ocorridas na época de passagem do satélite

A referência de tempo do satélite e do levantamento *in situ* de Moreira (2010) é GMT (*Greenwich Mean Time*), enquanto a referência de tempo do cotograma das estações fluviométricas é o horário do estado do Amazonas (GMT -4). Assim, neste trabalho, será considerada a referência de tempo do estado do Amazonas.

Finalmente, é importante lembrar que o elipsóide de referência utilizado por MOREIRA (2010) e pelo satélite altimétrico Jason-2 são diferentes, respectivamente definidos pelo WGS-84 e pelo elipsóide com raio equatorial de 6378,1363 km e coeficiente de achatamento 1/298,257. Em termos de coordenadas, as duas referências diferem somente no valor da altura elipsoidal. Portanto, os valores de altura elipsoidal obtidos pelo satélite Jason-2 devem ser subtraídos de 0,703 metro para serem convertidos para a referência elipsoidal WGS-84.

CAPÍTULO 4. ESTUDO DE CASO

O presente capítulo aborda, com detalhes, o conjunto de dados empregado nesta dissertação para cumprir o objetivo de validar os dados do satélite Jason-2/Ice-3 segundo o arcabouço metodológico apresentado no Capítulo 3.

4.1. Missão Altimétrica Jason-2

O OSTM/Jason-2 (*Ocean Surface Topography Mission/Jason-2*), referenciado deste ponto em diante por somente Jason-2, foi lançado em 20 de junho de 2008, consistindo em uma continuidade das missões TOPEX/POSEIDON e Jason-1 a partir de uma parceria entre CNES (*Centre National d'Études Spatiales France*), NASA (*National Aeronautics and Space Administration - EUA*), EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) e NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

Assim como seu predecessor, Jason-1, a missão disponibiliza dados em tempo real, na Internet, de forma gratuita e com a garantia de continuidade enquanto perdurar a vida útil do satélite, estimada em um mínimo de 5 anos com potencial de extensão por mais 2 anos. As informações desta seção foram obtidas em CNES(2009).

Existem três níveis de dados processados: *telemetry data* (nível 0), *sensor data records* (nível 1) e *geophysical data records* (nível 2).

Os produtos nível-2 englobam as três principais famílias de GDRs, distinguidas pelo aumento da precisão e latência, do *Operational Geophysical Data Record* (OGDR) para *Interim Geophysical Data Record* (IGDR), resultando, finalmente, no *Geophysical Data Record* (GDR).

4.1.1. Distribuição dos dados

O arranjo geográfico para distribuição dos produtos de dados Jason-2 para a comunidade científica internacional é coberto pelo CNES, EUMETSAT e NOAA.

AVISO (*Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data*) distribui e arquiva os dados Jason-2 IGDR (AVISO, 2010).

A EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) distribui os dados operacionais OGDR (EUMETSAT, 2010).

NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) distribui os dados operacionais, e dissemina e arquiva os dados (O)(I)GDR (NOAA, 2010).

No site do LEGOS (*Laboratoire d'Etudes en Océanographie et en Géophysique*) também é possível obter os dados do satélite Jason-2 (LEGOS, 2009).

4.1.1.1. Projeto PISTACH - Reprocessamento *Ice-3*

O projeto PISTACH (*Prototype Innovant de Système de Traitement pour les Applications Côtières et Hydrologiques*), definido pelo CNES, é parte do projeto Jason-2 para fornecer produtos de altimetria por satélite sobre áreas costeiras e águas continentais (MERCIER *et al.*, 2008).

A entrada do modelo é constituída pelos produtos altimétricos Jason-2 nível 2 S-IGDR. Os produtos PISTACH incluem diversas correções geofísicas de modelos de alta resolução global e local, em adição ao conteúdo padrão dos dados Jason-2 I-GDR. Duas correções de troposfera úmida adicionais são implementadas no modelo PISTACH para a costa oceânica.

Dentro do PISTACH, o reprocessamento é organizado ao redor dos seguintes passos:

- classificação das formas de onda;
- filtragem das formas de onda (antes do reprocessamento MLE4);
- aplicação de quatro (4) diferentes reprocessamentos:
 - o *Ice1*- posição do centro de gravidade do eco;
 - o *Ice3*- ~Ice1 mais restrito à porção do eco indicada pela classificação;
 - o *Oce3*- reprocessamento MLE4 depois da filtragem das formas de onda;

- o *Red3*- reprocessamento MLE3 restrito a uma porção do eco indicada pela classificação.

A distribuição dos dados do projeto PISTACH é feita pelo servidor FTP localizado em <ftp://ftpsedr.cls.fr/pub/oceano/pistach/>.

4.1.2. Convenções

Definiremos a expressão traço do satélite como sendo a interseção do plano orbital do satélite com a superfície terrestre. Pela configuração do satélite, os traços ascendentes recebem numeração ímpar, enquanto os descendentes recebem numeração par. Em função da inclinação orbital, as latitudes extremas são $\pm 66,15^\circ$. No Jason-2 os traços são numerados de 1 até 254. O traço 1 sempre inicializa um novo ciclo de passagem do satélite. Após o trânsito completo do satélite nos 254 traços, é finalizado um ciclo.

Os dados remotos de altura provindos de satélites são comumente identificados pelo número do traço do satélite e pelo ciclo de passagem, terminologias usadas neste trabalho. Após um ciclo completo de 254 traços, o Jason-2 revisita o mesmo local com uma margem de $\pm 1\text{km}$. Essa revisita ocorre em, aproximadamente, 9,9 dias.

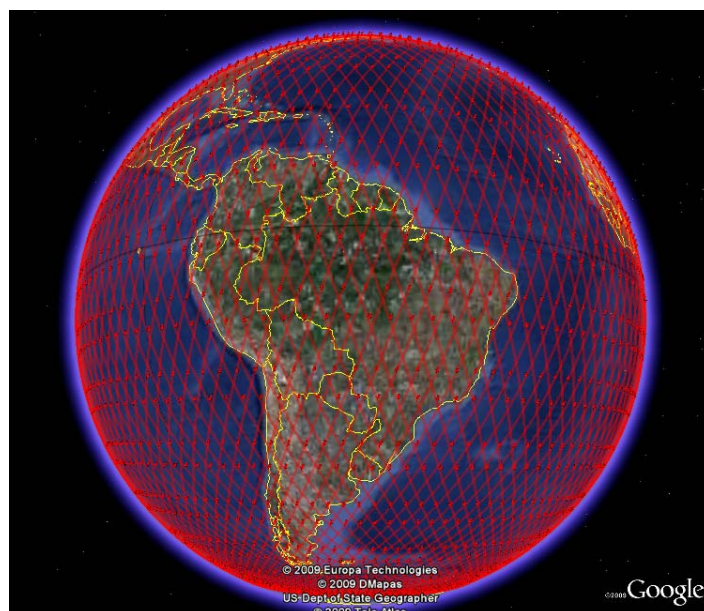


Figura 4.1 – Traços do satélite Jason-2

As medidas de altura (*range*) derivadas do altímetro são fornecidas a uma taxa de 20 Hz, isto é., o intervalo entre as amostras é de 290 m de distância ao longo do traço.

O elipsóide de referência é uma definição de primeira ordem do corpo não esférico da Terra, ou seja, um elipsóide de revolução com raio equatorial de 6378,1363 quilômetros e coeficiente de achatamento de 1/298,257. Observa-se que o mesmo elipsóide de referência foi usado para as missões Jason-1 e TOPEX/POSEIDON.

4.1.3. Descrição do satélite

A carga útil do satélite Jason-2 inclui os seguintes componentes, com exceção dos instrumentos experimentais, a saber:

- altímetro (Poseidon-3), fornecido pelo CNES – o principal instrumento da missão;
- radiômetro para microondas (*microwave radiometer* - AMR), fornecido pela NASA, para corrigir a distância altimétrica do atraso atmosférico introduzido pelo vapor de água;
- sistema de posicionamento (*radio positioning DORIS system*), fornecido pelo CNES, para determinação precisa da órbita usando estações terrestres dedicadas;
- conjunto de refletores laser (*laser reflector array* - LRA), fornecido pela NASA, para calibrar o sistema de determinação da órbita;

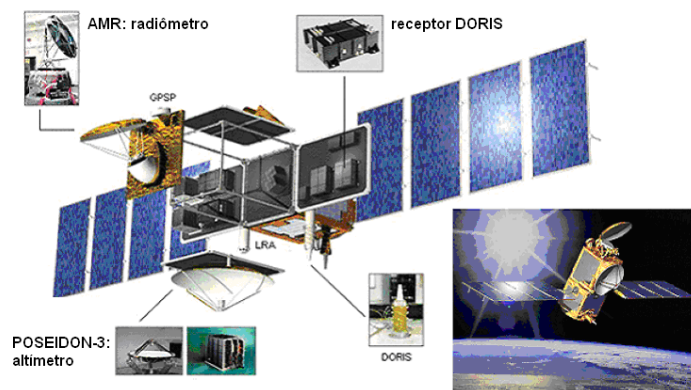


Figura 4.2 – Principais componentes a bordo do satélite Jason-2 (Fonte: CNES,2009; adaptado pela autora)

O CNES tem a responsabilidade para produzir as efemérides da órbita do Jason-2. O Jason-2 OGDR fornece uma órbita de navegação que tem uma precisão radial melhor que 10 cm (RMS). Por sua vez, o Jason-2 IGDR fornece uma órbita preliminar que tem precisão radial melhor que 2,5 cm (RMS), enquanto os GDRs fornecem uma órbita precisa que tem precisão radial melhor que 1,5 cm (RMS) (CNES, 2009).

4.1.3.1. Radar altímetro Poseidon-3

O principal objetivo de um radar altímetro é fornecer uma medida de distância, a mais precisa possível, entre o equipamento e a superfície, baseado na estimativa do tempo de retorno da viagem do sinal de microondas. As informações desta seção foram extraídas do artigo (DESJONQUERES *et al.*, 2010)

O POSEIDON-3 é um radar altímetro de dupla frequência nas bandas C e Ku, sendo a banda Ku (13.5 GHz) a principal medição, enquanto a banda C (5.3 GHz) é empregada para calcular o atraso ionosférico. A resolução de distância intrínseca do radar (isto é, portas de distância espaçadas de 47 cm) é limitada principalmente pela largura de banda do sinal, mas a precisão na estimativa do tempo é extremamente alta, correspondendo a poucos milímetros em cada porta: Quando um modelo confiável de retroespalhamento da superfície é disponível, tal como o modelo Brown sobre a superfície oceânica, o reprocessamento dos ecos de retorno amostrados sobre toda a janela de distância permite alcançar uma precisão final, no cálculo da distância sobre os oceanos, de aproximadamente 1,5 cm a 1 Hz.

Em adição à continuidade da missão, requisitou-se um ganho adicional para o Jason-2: fornecer medidas sobre áreas costeiras e sobre águas continentais. O atendimento a essas demandas conduziu à principal melhora no projeto do POSEIDON-3.

O POSEIDON-3 oferece a capacidade para rastrear os ecos não-oceânicos, ou seja, sobre gelo, sobre áreas costeiras e sobre águas continentais, sem reduzir a desempenho sobre as superfícies oceânicas.

O POSEIDON-3 transmite e recebe aproximadamente 2060 pulsos por segundo (frequência de repetição do pulso PRF=2060 Hz). Os pulsos da banda Ku e C são intercalados no padrão 6 Ku/ 1 C (1 pulso na banda C é transmitido a cada 6 pulsos na banda Ku). Cada pulso conduz a um eco elementar, mas esses ecos são fortemente afetados pelo ruído termal e pelo ruído do salpico das ondas e não pode ser processado diretamente. Para reduzir esse ruído, são determinadas, a bordo, médias dos ecos elementares a cada 50 ms. Esses ecos médios resultantes, produzidos a uma taxa de 20 Hz, são chamados formas de onda e são enviados para as estações de monitoramento terrestre através da telemetria do satélite. O refinamento da precisão das distâncias é obtido por pós-processamento.

Os algoritmos de reprocessamento (retracking) fornecidos pelos produtos (O)(I)GDR do Jason-2 são o *Ocean*, via estimador de máxima verossimilhança com 4 parâmetros (MLE4 - *4-parameter maximum likelihood estimator*), descrito em (AMAROUCHE *et al.*, 2004), o *Ice* e *Ice3*.

Aquisição e rastreo

No TOPEX/POSEIDON e JASON-1, as funções de rastreo (*tracking*) são realizadas in circuito fechado (*closed-loop*), ou seja, sem outra informação que o próprio sinal do altímetro. No JASON-2, modos adicionais foram implementados visando uma forte melhora no resultado do sistema DORIS através da sua função DIODE (*détermination immédiate d'orbite par Dóris embarqué*), que vem a ser um navegador a bordo, que calcula, em tempo real, a posição orbital do satélite, em particular altitude com respeito ao geóide, com aproximadamente 5 cm de precisão.

As funções, a seguir, estão implementadas no POSEIDON-3.

1) Duas diferentes funções de aquisição:

- aquisição autônoma (*autonomous acquisition*) (mesmo sistema do POSEIDON-2);
- aquisição via DIODE (*DIODE acquisition*), usando dados, em tempo real, da função DIODE com o sistema DORIS.

- 2) Dois diferentes algoritmos para rastreamento autônomo:
 - *processamento por portas compartimentadas (split-gate tracking)* (mesmo sistema do Poseidon-2);
 - *processamento via mediana (median tracking)*
- 3) Em adição, um modo experimental de processamento em circuito aberto foi implementado. Esse modo, ao contrário dos anteriores, não requer qualquer análise a bordo dos ecos. O rastreamento é realizado usando o DIODE junto com um modelo digital de elevação para realizar o processamento de cálculo de distância. Esse modo não requer uma aquisição antecipada de fase.

A primeira combinação possível é aquisição autônoma/processamento por portas compartimentadas (*autonomous acquisition/split-gate tracking*). Essa combinação é idêntica ao POSEIDON-2 a bordo do Jason-1. O processamento (tracking) e a fase de aquisição são realizadas pelo radar altímetro, usando seus próprios dados e processamento, e sem requerer qualquer informação auxiliar. O principal interesse dessa combinação é a similaridade com o Jason-1, garantindo a mesma robustez sobre oceanos abertos e a mesma limitação sobre outras superfícies. Este foi, portanto, o modo padrão para o início da missão.

A segunda opção é aquisição via DIODE/processamento via mediana (*DIODE acquisition/median tracking*). Essa nova combinação é, ainda, razoavelmente similar à primeira, mas uma rápida aquisição é realizada usando dados auxiliares do navegador DIODE a bordo (JAYLES *et al.* 2010), tornando o rastreamento mais robusto para superfícies não oceânicas. O principal interesse dessa combinação é fornecer tempo de aquisição e rastreamento robusto sobre todas as superfícies, com uma pequena mudança no projeto geral.

Na terceira combinação, chamada modo de processamento DIODE/DEM (*DIODE/DEM tracking mode*), o altímetro conta com a informação dada pelo DIODE e conta com um DEM a bordo que conta com melhores dados para as águas interiores. O principal interesse nesse modo é sua potencial capacidade de visualizar o alvo antecipadamente, ao mesmo tempo em que avalia o terreno ao redor e o afastamento do alvo do nadir.

4.1.4. Correções Disponíveis nos Arquivos (O)(I)GDR com Aplicações a Águas Continentais

Troposfera (seca e úmida)

A propagação da velocidade do pulso radar é atrasada pelos gases secos e pela quantidade de vapor de água na troposfera da Terra. A contribuição dos gases secos é quase constante e produz erros de altura de aproximadamente -2,3 m. O vapor de água na troposfera é muito variável e imprevisível e produz um erro no cálculo da altura de -6 cm a -40 cm. Entretanto, esses efeitos podem ser medidos ou modelados (CNES, 2009).

Os gases na troposfera contribuem para o índice de refração. Em detalhe, o índice de refração depende da pressão e da temperatura. Quando o equilíbrio hidrostático e a lei dos gases ideais são adotados como válidos, o atraso da distância vertical integrada é uma função somente da pressão da superfície, conforme CHELTON *et al.*(2001). Não existe um caminho direto para medição da pressão da superfície a partir do ponto nadir de um satélite. Então, ele é determinado pelo *European Center for Medium Range Weather Forecasting* (ECMWF), através de modelo numérico de previsão de tempo. A incerteza da correção de troposfera seca é aproximadamente 0,7 cm em uma escala de 1000 – 3000 km (TOPEX/POSEIDON, 1996).

A quantidade de vapor de água presente ao longo do trajeto eletrônico contribui para o índice de refração da atmosfera da Terra. Sua contribuição para o atraso do pulso radar, constituindo o atraso troposférico úmido, pode ser estimada pela medida do brilho atmosférico próximo à linha de vapor de água a 22,2356 GHz. O Jason-2 microwave radiometer (AMR) mede a temperatura de brilho, na trilha nadir, a 18,7, 23,8 e 34,0 GHz: o sinal de vapor de água é sentido pelo canal 23,8 GHz, enquanto o canal 18,7 GHz remove a superfície de emissão (influência da velocidade do vento) e o canal 34 GHz remove outras contribuições atmosféricas (influência da cobertura das nuvens). As medidas são combinadas para obter o atraso na trilha da distância medida, devido à quantidade de vapor de água. A incerteza é menor do que 1,2 cm em termos de erro médio quadrático (RMS). Porém o radiômetro AMR não adquire dados sob a plataforma continental devido à grande seção reta do radiômetro (BIRKETT,1995). O

modelo numérico de previsão do tempo do ECMWF fornece correções para a troposfera úmida com precisões em torno de 3 cm RMS (BIRKETT, 1998)

Ionosfera

Nas frequências usadas pelo radar altímetro Poseidon-3, a velocidade de propagação do pulso radar é atrasada por uma quantidade proporcional à densidade de elétrons livres na ionosfera da Terra, também conhecido como quantidade total de elétrons (total electron content - TEC). O atraso da velocidade é inversamente proporcional ao quadrado da frequência. Na ocasião, o atraso causa, no altímetro, uma estimativa levemente superdimensionada da distância (tipicamente de 0,2 a 20 cm a 13,6 GHz). A quantidade varia do dia para a noite na medida que existem poucos elétrons livres à noite, do verão para o inverno, e em função do ciclo solar, uma vez que existem poucos elétrons livres durante o mínimo solar (CNES, 2009).

Uma vez que esse efeito é dispersivo, medindo-se a distância em duas frequências simultâneas, a sua correção é razoavelmente estimada. O altímetro, que tradicionalmente usa duas frequências, tem, então, a habilidade de determinar o TEC (quantidade total de elétrons) ao longo de sua trilha e o tempo médio de atraso ionosférico (ENJOLRAS *et al.*, 2005).

Além da correção anterior para a ionosfera, os dados (O)(I)GDRs também fornecem os dados do modelo ionosférico global. Os mapas GIM (*global ionospheric model*) resultantes de dados mundiais GPS (*global positioning system*) são disponíveis diariamente e tem sido intensamente validados (SARDON *et al.*, 1994; RUFFINI *et al.*, 1998).

Maré Terrestre

A maré terrestre responde às forças gravitacionais externas de forma similar aos oceanos. A resposta da Terra é rápida o bastante para que possa ser considerada estar sempre em equilíbrio com as forças gravitacionais geradoras da maré. Assim, a superfície é paralela à superfície equipotencial, e as variações de altura são proporcionais ao potencial. (CNES, 2009).

O Jason-2 (O)(I)GDR fornece a maré terrestre, como uma resposta radial e puramente elástica da crosta terrestre ao potencial de maré. O potencial de variação adotado é o dado por CARTWRIGHT e TAYLER (1971) e CARTWRIGHT e EDDEN (1973) extrapolado para a era 2000, e inclui coeficientes de 2° e 3° graus do potencial de variação. O termo de variação permanente (frequência zero) é excluído do potencial de variação, que é usado para calcular o parâmetro maré terrestre do Jason-2 (O)(I)GDR.

Maré Polar

A maré polar é um movimento tipo maré, das águas oceânicas, como uma resposta às marés, terrestre e oceânica, ao potencial centrífugo gerado por pequenas oscilações do eixo de rotação terrestre. Essas perturbações ocorrem, principalmente, em períodos de 433 dias, chamadas oscilações de Chandler, e com periodicidade anual. Esses períodos são longos o bastante para que o deslocamento das variações do pólo possa ser considerado como estando em equilíbrio com o potencial centrífugo. O Jason-2 (O)(I)GDR fornece um campo simples para o deslocamento geocêntrico da variação radial do pólo (CNES, 2009).

Em resumo, a maré polar é facilmente calculada como descrito em WAHR (1985). A sua modelagem requer o conhecimento das constantes de proporcionalidade, chamadas números Love, e uma série temporal das perturbações do eixo de rotação da Terra, uma quantidade que é agora medida rotineiramente com técnicas espaciais. Note-se que os valores para a maré polar IGDR e GDR podem diferir, já que no GDR é calculado com uma série temporal para as perturbações do eixo de rotação da Terra de maior precisão. Uma precisão na localização do pólo de aproximadamente 50 cm é necessária para alcançar 1 mm de precisão na determinação da maré polar (ENVISAT, 2007).

4.2. Projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas – CPRM/IRD

O projeto insere-se no acordo de cooperação (realizado em 2006) entre CPRM (Companhia Brasileira de Recursos Minerais) com o *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) da França e tem como objetivos: a reconstrução dos paleoclimas na região, por meio da investigação de registros geológicos quaternários; as modelagens hidrológica, sedimentológica e hidrodinâmica, utilizando dados de campo e de sensoriamento remoto; a caracterização de águas subterrâneas. O levantamento de campo inclui medições de descarga líquida e coleta de amostras de material em suspensão nos rios Solimões e Purus, coleta de testemunhos de sondagens no lago Janauacá e de material ao longo das margens, visando à sua datação para o reconhecimento dos paleoambientes e à detecção da presença de metais pesados, bem como levantamentos de níveis dos corpos de água por altimetria por satélite calibrados com dados obtidos com GPS geodésico (CPRM, 2007).

O entendimento da dinâmica desse sistema é de fundamental importância para o monitoramento das variações do nível de água ao longo da “calha Solimões-Amazonas”, região onde se concentra grande parte da população e que sazonalmente sofre as consequências das inundações, que se distribuem numa faixa que se estende do alto Solimões até a foz do rio Amazonas, na ilha de Marajó (CPRM, 2007).

Como parte das iniciativas tomadas pelo projeto para levantamento de dados de campo, foram instaladas estações fluviométricas próximas, o máximo possível, dos traços de passagem do satélite Jason-2, além de levantamentos por rastreamento GPS na linha de água localizada na interseção do rio com o traço de passagem do satélite. A Figura 4.3 apresenta os locais de instalação das estações fluviométricas e rastreamento GPS planejados.

A área de levantamento de dados concentrou-se próximo a cidade de Manaus, onde ocorrem trajetórias dos satélites Jason-2 e Envisat. No que concerne ao satélite Jason-2, nessa área, ocorrem os traços 63 e 152. No traço 63, foram definidas duas estações: uma sobre o rio Negro (estação Manaus) e a segunda sobre o rio Solimões (estação Santa Luzia). O traço 152 atravessa o rio Amazonas (estação Porto União) e o

rio Madeira (estação Uricurituba). Ambos os traços cortam o reservatório Balbina, ao norte da Figura 4.3.

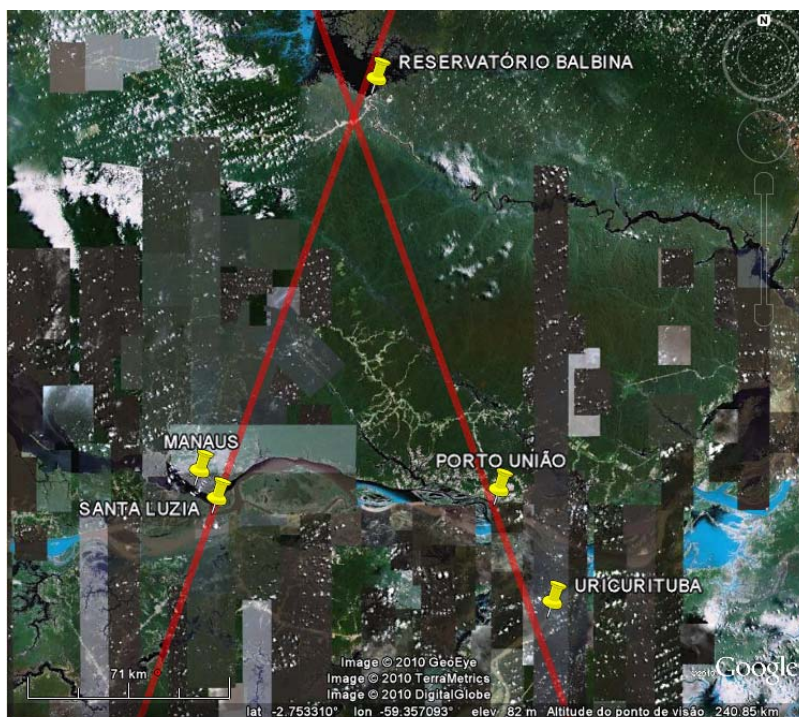


Figura 4.3 - Locais de levantamento dos dados de campo do projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas.

Como um dos resultados do projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas, encontra-se o trabalho de mestrado de Daniel Medeiros Moreira, cujo título é Rede de Referência Altimétrica para a Avaliação da Altimetria por Satélites e Estudos Hidrológicos na Região Amazônica, defendida em março de 2010 e desenvolvido junto ao Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ.

O objetivo prioritário do trabalho de MOREIRA (2010), como o próprio autor define, *foi gerar informações altimétricas a partir de receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), com precisão centimétrica, que possibilite avaliar e melhorar a qualidade dos dados de cotas fluviométricas obtidos por satélites orbitais. Além disso, o autor ressalta que foram avaliados dados do modelo de geóide EGM08 e dados gravimétricos convertidos para dados de deformação radial do satélite GRACE.*

MOREIRA (2010) utilizou os dados coletados nas campanhas de campo realizadas pelo projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas e realizou o processamento do rastreamento GPS cinemático, o processamento de dados GPS das estações permanentes e o processamento de dados GPS para nivelamento das réguas linimétricas. Os resultados obtidos por MOREIRA (2010) serão utilizados como base de dados de campo para a etapa de validação absoluta.

Esses dados foram coletados em nove campanhas de campo entre 2007 e 2009, com a participação da autora em quatro campanhas, que estão detalhadas na seção 4.2.1. Apresenta-se a cronologia das campanhas de campo, locais, metas e objetivos, destacando a contribuição do experimento no amadurecimento e construção do objeto de pesquisa abordado e analisado no contexto do desenvolvimento desta dissertação.

4.2.1 Campanhas de Campo

Com o apoio e suporte da CPRM e IRD, foram realizadas nove campanhas de campo entre os anos de 2007 e 2009 na região de estudo do projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas, com a participação da autora em quatro campanhas de campo. Essas campanhas foram concebidas para a instalação e manutenção das estações *in situ*, coleta de dados fluviométricos e medições por receptores GPS para nivelamento das réguas e obtenção de perfis altimétricos dos rios, com informações, em grande parte, apresentadas neste trabalho. As nove campanhas realizadas foram brevemente descritas por MOREIRA (2010) e serão reproduzidas a seguir:

1. campanha dezembro de 2007, realizada, apenas, por técnicos de hidrometria da CPRM para instalação das estações fluviométricas nos locais pré-selecionados em escritório próximos do traço de passagem do satélite Jason-2;

2. campanha abril de 2008, primeira campanha realizada por alguns pesquisadores do projeto, quando foram executados os primeiros nivelamentos de régua por receptores GPS e medições com o barco de GPS e ADCP; houve a instalação da estação permanente GPS em Urucurituba;



Figura 4.4 - Estações Fluviométricas de Santa Luzia e Porto União.

3. campanha setembro de 2008, que incluiu coletas de dados nas estações fluviométricas e GPS em Uricurituba; nivelamentos das réguas por receptores GPS e medições com o barco de GPS e ADCP;

4. campanha outubro de 2008 , executada no reservatório de Balbina, sendo realizado o perfil da linha de água do reservatório, nivelamento da régua do reservatório e coleta da série de níveis do lago;

5. campanha dezembro de 2008, sendo executadas coletas de dados nas estações fluviométricas e GPS em Uricurituba, nivelamentos das réguas por receptores GPS e medidas com o barco de GPS e ADCP;

6. campanha abril de 2009, com coletas de dados nas estações fluviométricas e GPS em Uricurituba, nivelamentos das réguas por receptores GPS e medições com o barco de GPS e ADCP;

7. campanha julho de 2009, incluindo coleta de dados nas estações fluviométricas e GPS em Uricurituba, nivelamentos das réguas por receptores GPS e medições com o barco de GPS e ADCP;

8. campanha setembro de 2009, abrangendo coleta de dados nas estações fluviométricas e GPS em Uricurituba, nivelamentos das réguas por receptores GPS e medições com o barco de GPS e ADCP;

9. campanha dezembro de 2009, com coleta de dados nas estações fluviométricas e GPS em Uricurituba; nivelamentos das réguas por receptores GPS e medições com o barco de GPS e ADCP.

A seção a seguir, 4.2.1.1, refere-se ao método utilizado na coleta dos dados da altura da linha de água localizado na interseção da trajetória de passagem do satélite altimétrico Jason-2, na região amazônica. Esse método foi descrito por MOREIRA (2010) e será reapresentado a seguir, de forma sintética, para facilitar a leitura deste documento.

4.2.1.1. Coleta de Dados de Linha de Água

Durante o período de execução das campanhas de campo, são instalados receptores GPS no barco de forma a monitorar o seu deslocamento e para posterior obtenção de dados sobre a declividade da linha de água. Próximo às estações e às linhas de passagens dos satélites altímetros, são executadas linhas de medição para obtenção de dados cinemáticos por receptores GPS com objetivo de formar uma grade da declividade de linha de água na região de estudo. Essas medidas são realizadas de forma a considerar a variabilidade espacial das medidas obtidas pelo satélite, também sendo levantada a declividade elipsoidal entre o local de passagem do satélite e a estação fluviométrica para uma comparação mais correta dos dados de altimetria espacial e dados provenientes das réguas linimétricas. Esses percursos, em cada estação, são similares aos apresentados na Figura 4.5 .

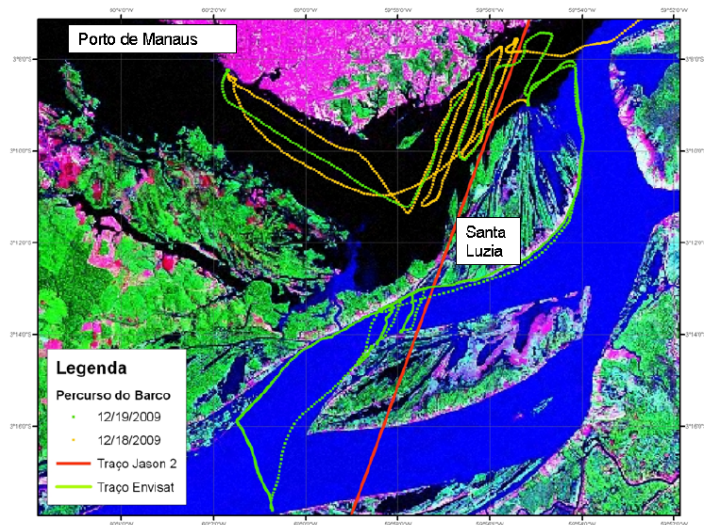


Figura 4.5- Exemplo de percurso do barco realizado para medições da declividade da linha de água (Fonte: MOREIRA, 2010).

Quando é possível, dependendo da disponibilidade de equipamentos, são instalados mais de um receptor GPS sobre o barco, com objetivo da distribuição espacial dos receptores, possibilitando a redução dos efeitos de movimento do barco causados por ondas, vento, correnteza e variações de velocidade do barco (Figura 4.6).

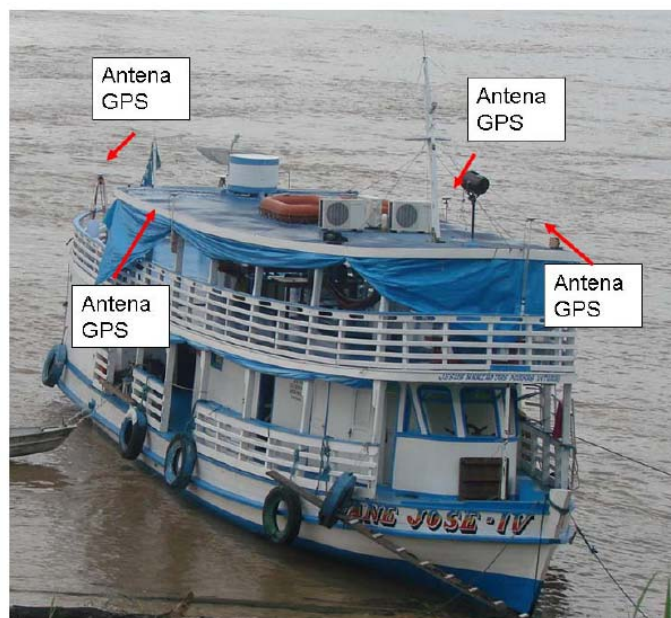


Figura 4.6- Instalação de receptores e antenas GPS sobre o barco (Fonte: MOREIRA, 2010).

Durante as campanhas, também é realizado, em vários períodos, o nivelamento das antenas sobre o barco em relação ao nível de água, pois o GPS mede suas coordenadas baseado na posição do centro de fase da antena. Então, faz-se necessário reduzir as alturas do centro de fase da antena para o nível da linha de água, para assim, posteriormente, obter o perfil de linha de água (Figura 4.7).



Figura 4.7 - Nivelamento de antenas GPS sobre o barco (Fonte:MOREIRA, 2010).

Para os levantamentos cinemáticos de perfil da linha de água, foi construída uma prancha flutuante de forma a possibilitar o uso com lanchas e atingir locais inacessíveis ao barco de forma a complementar as medições por receptores GPS de linha de água, regiões estas como, por exemplo, o reservatório de Balbina, entre outros lagos e zonas inundáveis da bacia Amazônica (Figura 4.8).



Figura 4.8- Medições de linha de água a partir do GPS flutuante (Fonte:MOREIRA, 2010).

4.3. Rede Hidrometeorológica Brasileira

O trabalho de validação envolve, obrigatoriamente, o uso de uma base de dados que possa traduzir a verdade terrestre na região de interesse. Para tanto, foi também utilizada a base de dados oficial disponível, ou seja, aquela composta pelas estações fluviométricas integrantes da rede hidrometeorológica brasileira.

A Agência Nacional de Águas (ANA) gerencia o sistema de informações hidrológicas (HidroWeb) onde todos os dados hidrometeorológicos convencionais (pluviométricos, fluviométricos, de qualidade de água, sedimentométricos, climatológicos) provindos de estações sob a responsabilidade da ANA e outras entidades são automaticamente disponibilizados aos usuários por meio da rede internet no endereço <http://hidroweb.ana.gov.br>.



Figura 4.9 – Estações fluviométricas em operação, ano 2005, sob responsabilidade da ANA e outras entidades.

As Tabelas 4.1 e 4.2 mostram o número de estações fluviométricas, entre outras, por região hidrográfica. Na primeira tabela (Tabela 4.1), são apresentados os números relativos as estações em operação sob responsabilidade da ANA por região hidrográfica (consulta em março/2007), enquanto na segunda tabela (Tabela 4.2) são destacados os números relativos as estações em operação sob responsabilidade de outras entidades por região hidrográfica (consulta em março/2007).

Tabela 4.1 – Tipos de estações em operação sob responsabilidade da ANA por região hidrográfica (Fonte: ANA, 2009)

REGIÕES HIDROGRÁFICAS	TIPOS DE ESTAÇÕES									EQUIPAMENTOS		
	P	E	P+E	F	FD	F+FD	P+E+F+FD	S	Q	PR	FR	T
AMAZÔNICA	488	6	494	60	219	279	773	80	87	66	9	158
DO TOCANTINS-ARAGUAIA	187	6	193	8	91	99	292	47	48	19	1	14
ATLÂNTICO NORDESTE OCIDENTAL	126	2	128	2	65	67	195	13	16	18	2	14
DO PARNAIBA	48	0	48	0	49	49	97	13	16	2	7	2
ATLÂNTICO NORDESTE ORIENTAL	105	0	105	15	168	183	288	19	19	2	8	2
DO SÃO FRANCISCO	323	7	330	6	217	223	553	43	45	71	63	9
ATLÂNTICO LESTE	196	3	199	4	160	164	363	37	40	22	8	6
ATLÂNTICO SUDESTE	260	0	260	6	188	194	454	48	61	46	32	13
DO PARANÁ	515	22	537	9	345	354	891	126	182	63	18	19
DO PARAGUAI	112	0	112	11	57	68	180	25	26	4	1	12
DO URUGUAI	157	5	162	1	80	81	243	39	39	33	1	12
ATLÂNTICO SUL	209	6	215	21	124	145	360	45	47	31	22	16
TOTAL	2.726	57	2.783	143	1.763	1.906	4.689	535	626	377	172	277

P=Fluviométrica; E=Evaporimétrica; F=Fluviométrica; FD=Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida; S=Sedimentométrica; Q=Qualidade de Água; PR=Pluviográfica; FR=Fluviográfica; T=Telemétrica

Tabela 4.2– Tipos de estações em operação sob responsabilidade de outras entidades por região hidrográfica (Fonte: ANA, 2009)

REGIÕES HIDROGRÁFICAS	TIPOS DE ESTAÇÕES									EQUIPAMENTOS		
	P	E	P+E	F	FD	F+FD	P+E+F+FD	S	Q	PR	FR	T
AMAZÔNICA	127	38	163	80	78	158	321	14	57	52	19	43
DO TOCANTINS-ARAGUAIA	76	21	97	50	81	111	208	2	30	23	3	54
ATLÂNTICO NORDESTE OCIDENTAL	34	8	42	0	2	2	44	0	0	17	0	0
DO PARNAIBA	80	1	81	15	16	31	112	0	9	13	0	2
ATLÂNTICO NORDESTE ORIENTAL	1.087	21	1.108	265	40	305	1.413	0	239	75	14	13
DO SÃO FRANCISCO	482	30	512	270	77	347	859	27	221	118	32	51
ATLÂNTICO LESTE	503	45	548	191	61	252	800	43	177	153	30	8
ATLÂNTICO SUDESTE	365	13	378	213	144	357	735	4	186	82	54	118
DO PARANÁ	2.020	51	2.071	610	579	1.189	3.260	31	514	316	144	252
DO PARAGUAI	33	7	40	96	101	197	237	51	158	9	0	28
DO URUGUAI	111	17	128	36	83	119	247	14	5	17	9	51
ATLÂNTICO SUL	458	23	481	182	147	309	790	15	41	55	25	76
TOTAL	5.376	273	5.649	1.988	1.389	3.377	9.026	201	1.615	930	330	696

P=Fluviométrica; E=Evaporimétrica; F=Fluviométrica; FD=Fluviométrica com Medição de Descarga Líquida; S=Sedimentométrica; Q=Qualidade de Água; PR=Pluviográfica; FR=Fluviográfica; T=Telemétrica

Os dados obtidos por meio de estações fluviométricas são passíveis de erros advindos das anotações por parte do observador, da instalação e manutenção da régua. Além da necessidade de ocupação humana local para registro manual dos dados e busca freqüente, por parte da instituição administradora da rede, dos dados.

4.4. Área de Experimentação e Validação

Uma estação fluviométrica com potencial de se tornar uma estação de validação para o propósito específico deve ser aquela que se encontra na interseção do cruzamento de um rio com o traço da órbita do satélite sobre a superfície terrestre, doravante denominado apenas traço do satélite. Deve-se evitar a escolha de estações fluviométricas distantes do traço do satélite devido a possibilidade de tributários e/ou despejos alterar os desníveis observados entre a estação fluviométrica e a estação virtual (estação construída com dados remotos de altura); além disso, não podem ser admitidas estações que possuam alterações físicas do leito entre a estação fluviométrica e a estação virtual.

Além das estações fluviométricas instaladas pelo projeto Dinâmica Fluvial do Sistema Solimões-Amazonas, buscou-se, na rede de estações fluviométricas de monitoramento contínuo da ANA, aquelas com potencial para se tornarem estações de validação. Essas estações foram limitadas, inicialmente, pela pequena distância, aqui considerada negligenciável, aproximadamente coincidentes, entre as estações fluviométricas e o traço do satélite, sendo que foram incluídas, também, outras três estações (Itaituba, Manaus e Uricurituba), as quais chamaram a atenção por força da extensão da seção do rio sobre o traço do satélite, perfazendo um total de 15 estações, como mostra a Tabela 4.3.

Nesta seleção inicial, pode-se notar a presença de rios com menos de 1 km de largura. Destaca-se que a abordagem desses casos não havia sido avaliada em trabalhos anteriores de validação. Adicionalmente, essa seleção apresenta uma grande diversidade de áreas de cobertura. Todos esses fatores influenciam no sinal de retorno para o satélite. Assim, para confirmar a presença de dados consistentes, ou seja, possibilidade de construir uma série temporal a partir dos dados remotos, e de contrastá-la com estações locais de validação, foram construídas, nesses locais, estações virtuais, com o método utilizado por Birkett (1998). Resultados preliminares de investigação mostraram a ausência de dados consistentes do satélite nas estações Ibó, Campo Bom, Reservatório Balbina, Ibirama e Ipanema. As razões para tal comportamento podem ser fatores físicos e/ou ambientais. Assim, essas estações foram excluídas do conjunto inicial proposto para avaliação (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Estações fluviométricas pré-selecionadas

Nome da Estação	Código ANA	Traço do satélite	Bacia	Largura aproximada do rio (km)	Distância entre a EF e SV (km)
Boa Vista	14620000	241	Rio Amazonas	0,7	-
Itaituba	17730000	228		4	11
Manaus	14990000	63		9 *	9
Porto União	-	152		0,5	-
Santa Luzia	14201000	63		2	-
Reservatório Balbina	-	152 e 63		**	2
Uricurituba	15960000	152		3,7	4
Itupiranga	29200000	113	Tocantins-Araguaia	1,2	-
Ibó	48590000	163	Rio São Francisco	0,2	-
São Francisco	44200000	87		0,6	-
Usina Paineiras	57580000	202	Rios da Região do Atlântico Sul trecho Leste	0,1	-
Pousada Taiamã	66710000	37	Rio Paraná	0,25	-
Campo Bom	87380000	76	Rios do Atlântico Sul trecho Sudeste	0,04	-
Ibirama	83440000	152		0,1	-
Ipanema	87460120	87		17 *	-

* distância da interseção do rio com o traço do satélite

** lago do reservatório

- distância desprezível

Além disso, durante o período de estudo desta dissertação, ocorreu a interrupção da coleta de dados *in situ* na estação fluviométrica Porto União devido à destruição por causas naturais e dúvida sobre a consistência dos dados *in situ* na estação fluviométrica Itaituba. Ambas foram excluídas do conjunto inicial.

Assim, as oito estações restantes Boa Vista, Manaus, Santa Luzia, Uricurituba, Itupiranga, São Francisco, Usina Paineiras e Pousada Taiamã foram consideradas aptas a integrar o lote de estações de validação utilizadas neste trabalho.

4.4.1. Estação Boa Vista

Estação situada no rio Branco (Figura 4.10 e Tabela 4.4), traço número 241 do satélite Jason-2, em perímetro urbano, largura média de 700 metros, na região, utilizado como destinação final do esgoto da cidade. Localização das estações virtual e fluviométrica considerada coincidente. A série histórica de cotas indica possível sensibilidade a chuvas intensas ou despejos urbanos. A imagem da Figura 4.10 indica pontos de assoreamento. A série de cotas do período de análise indica uma variação máxima de 6 metros.

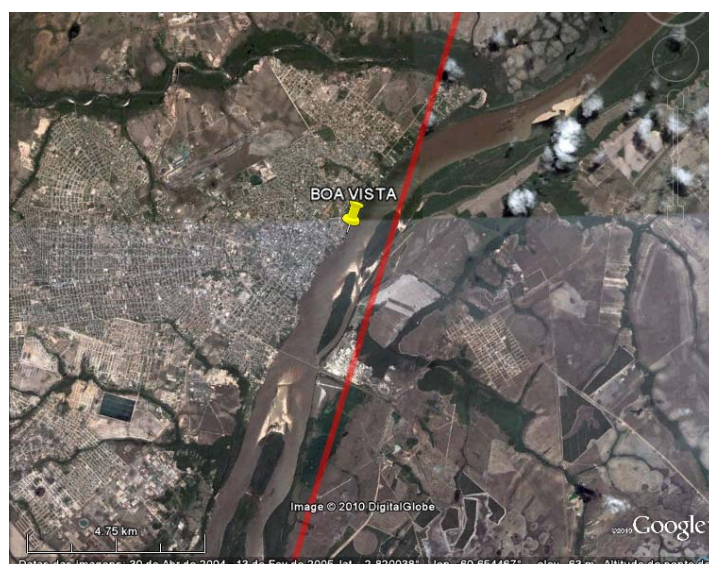


Figura 4.10 – Estação Boa Vista

Tabela 4.4 – Ficha descritiva da estação fluviométrica Boa Vista (Fonte:ANA, 2010).

Dados da Estação

Código	14620000
Nome	BOA VISTA
Código Adicional	-
Bacia	RIO AMAZONAS (1)
Sub-bacia	RIO SOLIMÕES,NEGRO,BRANCO,.... (14)
Rio	RIO BRANCO
Estado	RORAIMA
Município	BOA VISTA
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	2:49:34
Longitude	-60:39:29
Altitude (m)	-
Área de Drenagem (km2)	97023

4.4.2. Estação Manaus

Estação situada no rio Negro (Figura 4.11 e Tabela 4.5), traço número 63 do satélite Jason-2, largura média de 9 km na região da estação virtual. Distância entre a localização da estação virtual e fluviométrica de aproximadamente 9 km. Série histórica de cotas indica a cheia e a vazante bem definidas. A série de cotas do período de análise indica uma variação máxima de 12 metros.



Figura 4.11 – Estação Manaus

Tabela 4.5 – Ficha descritiva da estação fluviométrica Manaus (Fonte: ANA, 2010).

Dados da Estação

Código	14990000
Nome	MANAUS
Código Adicional	ANA
Bacia	RIO AMAZONAS (1)
Sub-bacia	RIO SOLIMÕES, NEGRO, BRANCO, (14)
Rio	RIO NEGRO
Estado	AMAZONAS
Município	MANAUS
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-3:8:12
Longitude	-60:1:37
Altitude (m)	-
Área de Drenagem (km ²)	696808

4.4.3. Estação Santa Luzia

Estação situada no rio Solimões (Figura 4.12 e Tabela 4.6) com largura média de 2 km, traço número 63 do satélite Jason-2. Localização da estação virtual e fluviométrica considerada coincidente. Série histórica de cotas indica a cheia e a vazante bem definidas. A série de cotas do período de análise indica uma variação máxima de 12 metros.



Figura 4.12 – Estação Santa Luzia

Tabela 4.6 – Ficha descritiva da estação fluviométrica Santa Luzia (Fonte: ANA, 2010).

Dados da Estação

Código	14201000
Nome	COMUNIDADE SANTA LUZIA
Código Adicional	-
Bacia	RIO AMAZONAS (1)
Sub-bacia	RIO SOLIMÕES, NEGRO, BRANCO, (14)
Rio	RIO SOLIMÕES/AMAZONAS
Estado	AMAZONAS
Município	IRANDUBA
Responsável	CPRM
Operadora	CPRM
Latitude	-3:13:25
Longitude	-59:58:23
Altitude (m)	-
Área de Drenagem (km2)	-

4.4.4. Estação Uricurituba

Estação situada no rio Madeira (Figura 4.13 e Tabela 4.7) , traço número 152 do satélite Jason-2, largura média de 3,7 km na região da estação virtual. Distância entre a localização da estação virtual e fluviométrica de aproximadamente 4 km. Estação virtual localizada a montante da estação física. Série histórica de cotas indica a cheia e a vazante bem definidas. A série de cotas do período de análise indica uma variação máxima de 10 metros.



Figura 4.13 – Estação Uricurituba

Tabela 4.7 – Ficha descritiva da estação fluviométrica Uricurituba (Fonte: ANA, 2010).

Dados da Estação	
Código	15960000
Nome	URUCURITUBA DO MADEIRA
Código Adicional	-
Bacia	RIO AMAZONAS (1)
Sub-bacia	RIO AMAZONAS,MADEIRA,GUAPORÉ,... (15)
Rio	RIO MADEIRA
Estado	AMAZONAS
Município	AUTAZES
Responsável	CPRM
Operadora	CPRM
Latitude	-3:32:48
Longitude	-58:55:28
Altitude (m)	-
Área de Drenagem (km2)	1376282

4.4.5. Estação Itupiranga

Estação situada no rio Tocantins (Figura 4.14 e Tabela 4.8), traço número 113 do satélite Jason-2, largura média de 1,2 km na região, sujeito a possíveis rejeitos de origem industrial e doméstica. Localização da estação virtual e fluviométrica considerada coincidentes. Série histórica de cotas indica a cheia e a vazante bem definidas. Sua série histórica de cotas não indica sensibilidade a chuvas intensas ou despejos urbanos. A imagem da Figura 4.14 indica pontos de assoreamento. A série de cotas do período de análise indica uma variação máxima de 11 metros. Parte do cotograma da estação fluviométrica não foi utilizado por apresentar inconsistências.

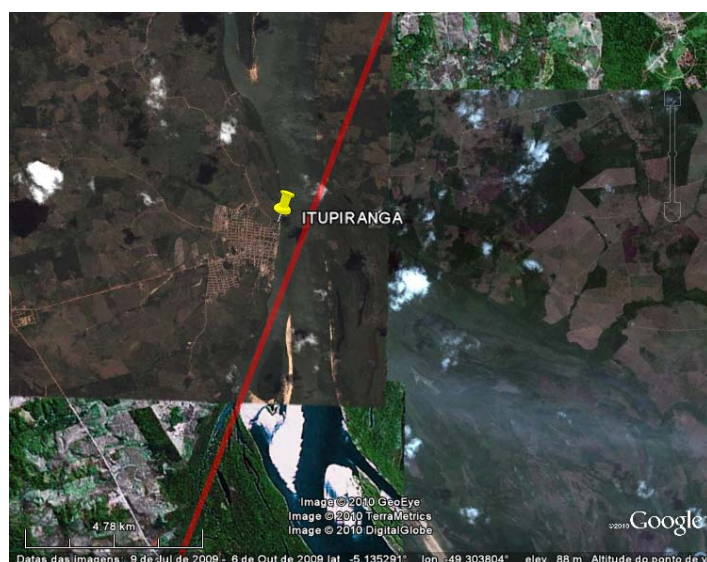


Figura 4.14 – Estação Itupiranga

Tabela 4.8 – Ficha descritiva da estação fluviométrica Itupiranga (Fonte: ANA, 2010).

Dados da Estação

Código	29200000
Nome	ITUPIRANGA
Código Adicional	ANA
Bacia	RIO TOCANTINS (2)
Sub-bacia	RIO TOCANTINS,ITACAIÚNAS,..... (29)
Rio	RIO TOCANTINS
Estado	PARÁ
Município	ITUPIRANGA
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-5:7:41
Longitude	-49:19:27
Altitude (m)	65,6
Área de Drenagem (km2)	731270

4.4.6. Estação São Francisco

Estação situada no rio São Francisco (Figura 4.15 e Tabela 4.9), traço número 87 do satélite Jason-2, largura média de 600 metros na região, sujeito a possíveis rejeitos de origem industrial e doméstica. Localização da estação virtual e fluviométrica considerada coincidente. Sua série histórica de cotas indica alta sensibilidade a chuvas intensas ou despejos urbanos. A série de cotas do período de análise indica uma variação máxima de 5 metros.



Figura 4.15 – Estação São Francisco

Tabela 4.9 – Ficha descritiva da estação fluviométrica São Francisco (Fonte:ANA, 2010).

Dados da Estação

Código	44200000
Nome	SÃO FRANCISCO
Código Adicional	RESOLUÇÃO/396
Bacia	RIO SÃO FRANCISCO (4)
Sub-bacia	RIOS SÃO FRANCISCO, VERDE GRANDE (44)
Rio	RIO SÃO FRANCISCO
Estado	MINAS GERAIS
Município	SÃO FRANCISCO
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-15:56:58
Longitude	-44:52:4
Altitude (m)	448
Área de Drenagem (km ²)	184000

4.4.7. Estação Usina Paineiras

Estação situada no rio Itapemirim (Figura 4.16 e Tabela 4.10), traço número 202 do satélite Jason-2, largura média de 100 metros na região. Localização da estação virtual e fluviométrica considerada coincidente. Sua série histórica de cotas indica provável sensibilidade a chuvas intensas ou despejos urbanos. A série de cotas do período de análise indica uma variação máxima de 4 metros.

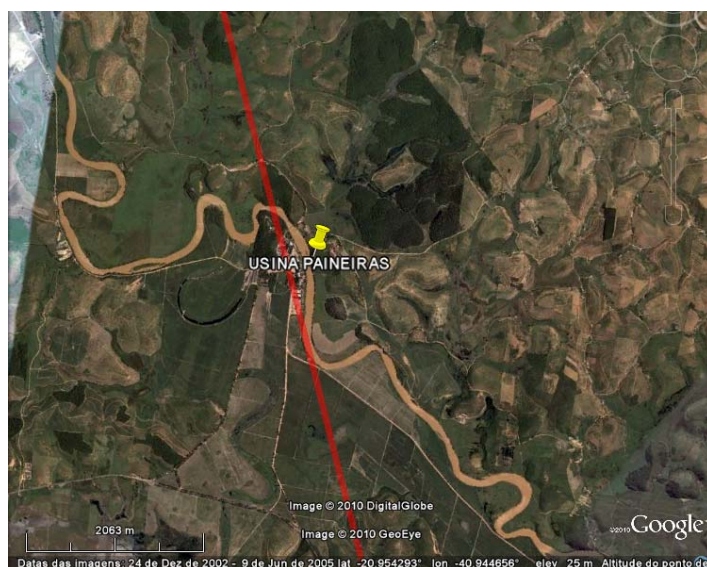


Figura 4.16 – Estação Usina Paineiras

Tabela 4.10 – Ficha descritiva da estação fluviométrica Usina Paineiras (Fonte: ANA, 2010).

Dados da Estação

Código	57580000
Nome	USINA PAINEIRAS
Código Adicional	-
Bacia	ATLÂNTICO,TRECHO LESTE (5)
Sub-bacia	RIOS ITAPEMIRIM,ITABAPOANA E . (57)
Rio	RIO ITAPEMIRIM
Estado	ESPÍRITO SANTO
Município	ITAPEMIRIM
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-20:57:18
Longitude	-40:57:0
Altitude (m)	40
Área de Drenagem (km2)	5166

4.4.8. Estação Pousada Taiamã

Estação situada no rio Cuiabá (Figura 4.17 e Tabela 4.11), pantaneiro, largura média de 250 metros na região. Localização da estação virtual e fluviométrica considerada coincidente. Sua série histórica de cotas indica pouca sensibilidade a chuvas intensas. A série de cotas do período de análise indica uma variação máxima de 2,5 metros.

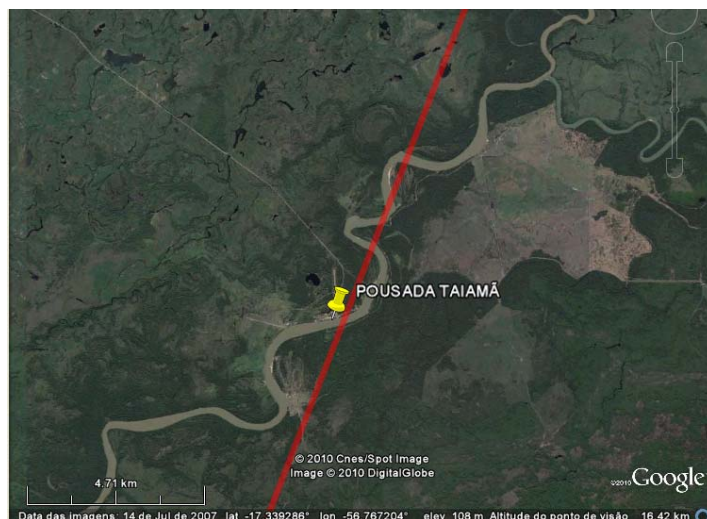


Figura 4.17 – Estação Pousada Taiamã

Tabela 4.11 – Ficha descritiva da estação fluviométrica Pousada Taiamã (Fonte: ANA, 2010).

Dados da Estação

Código	66710000
Nome	POUSADA TAIAMÃ (Ex-Porto Jofre)
Código Adicional	ANA
Bacia	RIO PARANÁ (6)
Sub-bacia	RIOS PARAGUAI, SÃO LOURENÇO E . (66)
Rio	RIO CUIABÁ
Estado	MATO GROSSO
Município	POCONÉ
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-17:21:56
Longitude	-56:46:29
Altitude (m)	-
Área de Drenagem (km2)	-

CAPÍTULO 5. RESULTADOS ENCONTRADOS

Na seção 5.1, serão apresentados os resultados parciais obtidos com os diversos métodos para construção de estações virtuais, em cada estação de validação utilizada para essa finalidade. Ao final desta seção, será definido o melhor método de construção de estações virtuais e que será, posteriormente, utilizado na estimativa da validação relativa (seção 5.2) e absoluta (seção 5.3) das alturas representativas da superfície da água obtidas a partir da altimetria radar embarcada em satélite.

5.1. Determinação do Método de Construção de Estações Virtuais

O objetivo desta seção é definir o melhor método de construção de estações virtuais entre as doze opções apresentadas na seção 3.1. Para este fim, serão utilizadas oito estações fluviométricas para validação, sendo essas: Boa Vista, Manaus, Santa Luzia, Uricurituba, Itupiranga, São Francisco, Usina Paineiras e Pousada Taiamã, que estão aptas a integrar o lote de amostragem de validação para a eleição do método de construção de estações virtuais mais eficiente.

No fluxograma (Figura 5.1), encontram-se as etapas para determinação do melhor método de construção das estações virtuais. Para cada estação de validação, são construídas estações virtuais com cada um dos métodos; logo, são obtidas doze diferentes séries temporais de altura da superfície da água, cada uma referente a um método.

A seguir, é calculado o erro médio quadrático relativo entre as séries temporais obtidas por meio da estação virtual e por meio do cotograma da estação fluviométrica correspondente. O erro médio quadrático relativo é calculado como descrito na etapa c do procedimento de validação relativa (seção 3.2).

Deseja-se que a média das estimativas, ou seja, a média dos resultados parciais do erro médio quadrático relativo de cada estação de validação iguale o valor populacional do parâmetro. Assim, é considerado o método de estimação mais eficiente na construção da estação virtual aquele que produz os estimadores de menor variância (NAGHETTINI *et al.*, 2007).

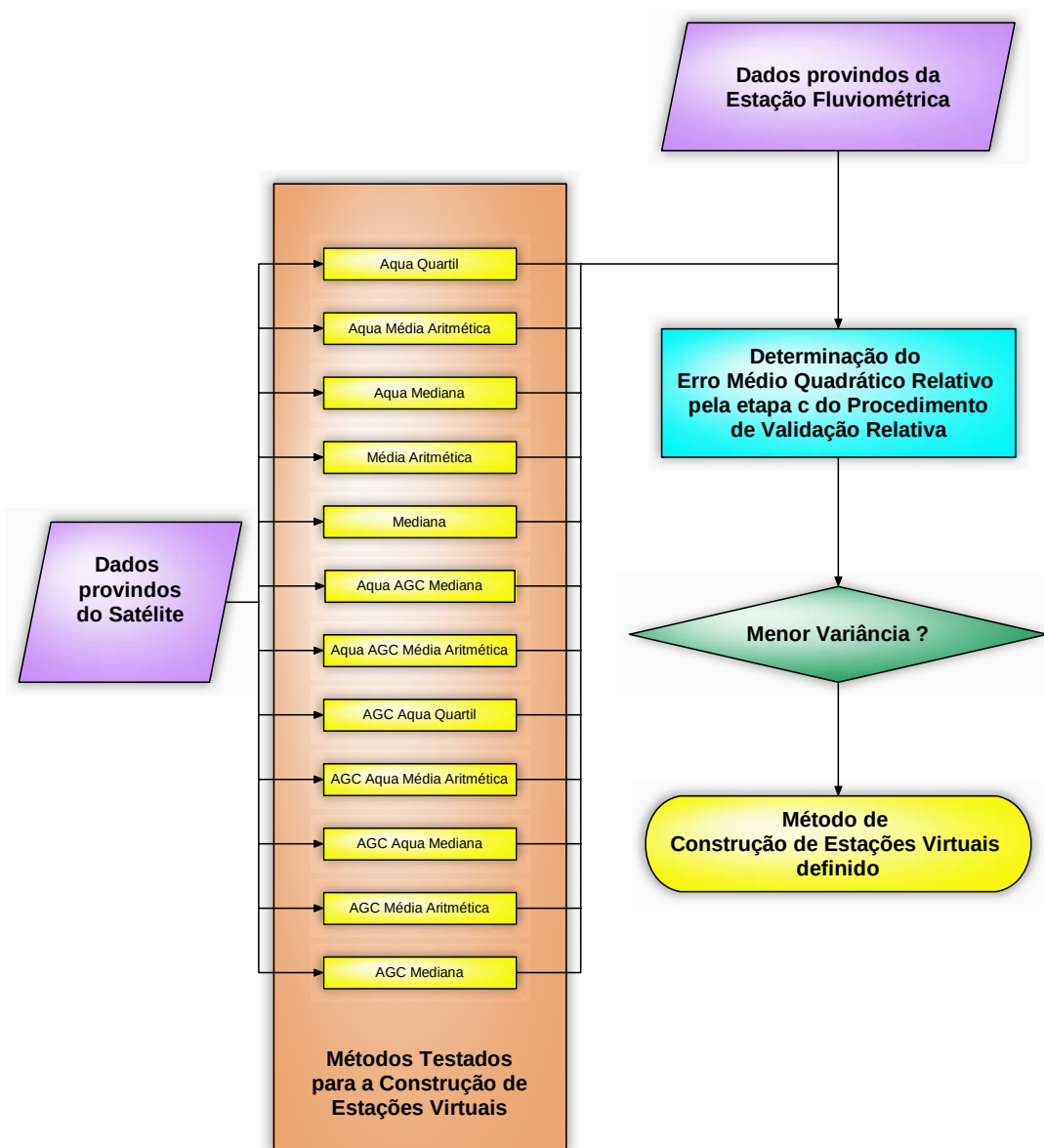


Figura 5.1 – Fluxograma metodológico de construção de estações virtuais

A seguir, apresentaremos os resultados encontrados nas estações de validação Boa Vista (seção 5.1.1), Manaus (seção 5.1.2), Santa Luzia (seção 5.1.3), Uricurituba (seção 5.1.4), Itupiranga (seção 5.1.5), São Francisco (seção 5.1.6), Usina Paineiras (seção 5.1.7) e Pousada Taiamã (5.1.8). Na seção 5.1.9, será definido o melhor método de construção de estações virtuais.

Para cada uma das estações de validação, existe um gráfico com a comparação das cotas obtidas na estação fluviométrica e na estação virtual correspondente para cada

um dos métodos utilizados. Esses gráficos foram obtidos a partir de uma compatibilização arbitrária, apenas com finalidade ilustrativa, entre as alturas elipsoidais e as cotas, já que ambos não possuem a mesma referência. Cabe destacar que, nesses gráficos, os valores das cotas de cada uma das estações, respectivamente das estações fluviométrica e virtual, estão interligados por uma linha que não possui qualquer outra informação senão a ilustrativa.

Os gráficos e tabelas, que incluem resultados das etapas a, b e c.7 do procedimento de validação relativa, valores numéricos das cotas da estação fluviométrica de validação e valores numéricos das alturas elipsoidais da superfície do corpo aquoso na estação de validação para cada um dos métodos de construção de estações virtuais, encontram-se nos anexos referidos em cada seção das estações de validação relativa.

5.1.1. Estação de Validação Boa Vista

A Figura 5.2 apresenta a localização da estação fluviométrica Boa Vista, o polígono de seleção de dados utilizado e a posição nadiral dos dados providos do satélite Jason-2. A Tabela 5.1 apresenta o RMS para os doze métodos testados.

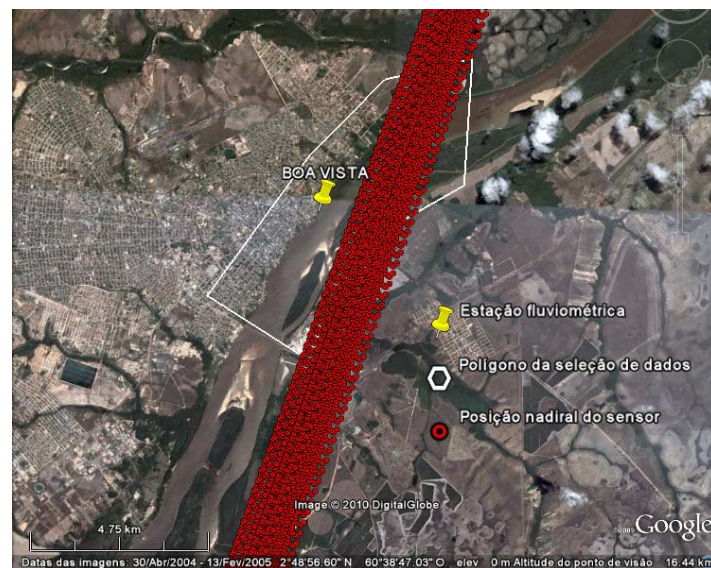


Figura 5.2 – Estação Boa Vista

Os gráficos e tabelas com os resultados obtidos, para a estação de validação Boa Vista, por cada método de construção de estação virtual, encontra-se no Anexo B.

Tabela 5.1 – Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Boa Vista com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.

Estação Boa Vista	Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios		
	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
1 Aqua Quartil	1399	-0,05	29,5
2 Aqua Média Aritmética	1417	0,04	32,4
3 Aqua Mediana	1329	0,08	27,6
4 Média Aritmética	1728	-0,03	81,3
5 Mediana	1437	0,06	38,8
6 Aqua AGC Mediana	1288	0,06	30,4
7 Aqua AGC Média Aritmética	1313	0,00	31,6
8 AGC Aqua Quartil	1234	-0,03	30,7
9 AGC Aqua Média Aritmética	1201	0,02	30,3
10 AGC Aqua Mediana	1265	0,03	30,7
11 AGC Média Aritmética	1697	-0,06	81,5
12 AGC Mediana	1462	0,07	44,0

5.1.2. Estação de Validação Manaus

A Figura 5.3 apresenta a localização da estação fluviométrica Manaus, o polígono de seleção de dados utilizado e a posição nadiral dos dados provindos do satélite Jason-2. A Tabela 5.2 apresenta o RMS para os doze métodos testados.

Os gráficos e tabelas com os resultados obtidos, para a estação de validação Manaus, por cada método de construção de estação virtual encontra-se no Anexo C.

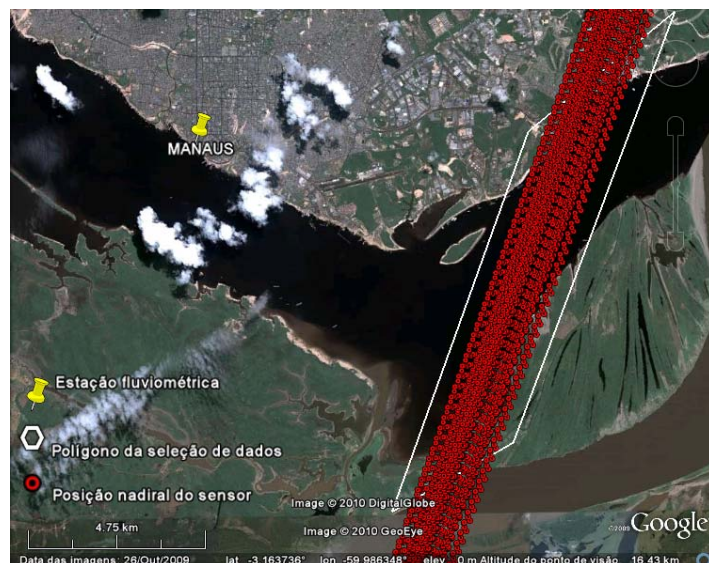


Figura 5.3 – Estação Manaus

Tabela 5.2 – Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Manaus com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.

Estação Manaus	Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios		
	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
1 Aqua Quartil	1884	0,02	27,4
2 Aqua Média Aritmética	1807	0,03	26,9
3 Aqua Mediana	1681	0,12	22,2
4 Média Aritmética	1607	-0,01	29,4
5 Mediana	1870	0,05	27,7
6 Aqua AGC Mediana	1454	0,09	24,8
7 Aqua AGC Média Aritmética	1487	0,02	27,4
8 AGC Aqua Quartil	1530	0,01	29,1
9 AGC Aqua Média Aritmética	1518	-0,01	29,9
10 AGC Aqua Mediana	1489	0,06	27,8
11 AGC Média Aritmética	1373	0,02	27,5
12 AGC Mediana	1484	0,13	23,7

5.1.3. Estação de Validação Santa Luzia

A Figura 5.4 apresenta a localização da estação fluviométrica Santa Luzia, o polígono de seleção de dados utilizado e a posição nadiral dos dados provindos do satélite Jason-2. A Tabela 5.3 apresenta o RMS para os doze métodos testados.



Figura 5.4 – Estação Santa Luzia

Tabela 5.3 – Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Santa Luzia com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios		
	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
Santa Luzia			
1 Aqua Quartil	749	-0,02	8,6
2 Aqua Média Aritmética	683	-0,03	6,6
3 Aqua Mediana	841	-0,04	7,5
4 Média Aritmética	539	-0,08	11,6
5 Mediana	586	-0,01	6,6
6 Aqua AGC Mediana	763	-0,01	6,8
7 Aqua AGC Média Aritmética	672	-0,05	6,6
8 AGC Aqua Quartil	700	0,03	8,2
9 AGC Aqua Média Aritmética	624	0,01	6,2
10 AGC Aqua Mediana	768	-0,01	7,3
11 AGC Média Aritmética	441	-0,01	9,4
12 AGC Mediana	532	0,06	6,6

Os gráficos e tabelas com os resultados obtidos para a estação de validação Santa Luzia, por cada método de construção de estação virtual, encontra-se no Anexo D.

5.1.4. Estação de Validação Uricurituba

A Figura 5.5 apresenta a localização da estação fluviométrica Uricurituba, o polígono de seleção de dados utilizado e a posição nadiral dos dados provindos do satélite Jason-2. A Tabela 5.4 apresenta o RMS para os doze métodos testados.



Figura 5.5 – Estação Uricurituba

Os gráficos e tabelas com os resultados obtidos, para a estação de validação Uricurituba, por cada método de construção de estação virtual encontra-se no Anexo E.

Tabela 5.4 – Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Uricurituba com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios		
Uricurituba	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
1 Aqua Quartil	1449	0,00	29,2
2 Aqua Média Aritmética	1428	-0,02	28,7
3 Aqua Mediana	1400	0,04	25,0
4 Média Aritmética	1842	0,02	108,2
5 Mediana	1385	0,03	31,3
6 Aqua AGC Mediana	901	0,06	23,8
7 Aqua AGC Média Aritmética	872	0,06	23,4
8 AGC Aqua Quartil	887	0,04	24,3
9 AGC Aqua Média Aritmética	877	0,01	23,5
10 AGC Aqua Mediana	898	0,08	23,9
11 AGC Média Aritmética	524	0,10	21,5
12 AGC Mediana	902	0,05	24,2

5.1.5. Estação de Validação Itupiranga

A Figura 5.6 apresenta a localização da estação fluviométrica Itupiranga, o polígono de seleção de dados utilizado e a posição nadiral dos dados providos do satélite Jason-2. A Tabela 5.5 apresenta o RMS para os doze métodos testados.



Figura 5.6 – Estação Itupiranga

Os gráficos e tabelas com os resultados obtidos, para a estação de validação Itupiranga, por cada método de construção de estação virtual encontra-se no Anexo F.

Tabela 5.5 – Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Itupiranga com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.

Estação Itupiranga	Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios		
	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
1 Aqua Quartil	833	0,01	23,2
2 Aqua Média Aritmética	825	0,00	24,8
3 Aqua Mediana	818	0,06	20,6
4 Média Aritmética	709	-0,10	35,5
5 Mediana	704	0,03	20,9
6 Aqua AGC Mediana	734	0,06	18,4
7 Aqua AGC Média Aritmética	729	0,06	20,0
8 AGC Aqua Quartil	734	0,05	21,4
9 AGC Aqua Média Aritmética	752	0,02	21,8
10 AGC Aqua Mediana	773	0,05	21,6
11 AGC Média Aritmética	779	-0,16	46,4
12 AGC Mediana	771	0,03	24,2

5.1.6. Estação de Validação São Francisco

A Figura 5.7 apresenta a localização da estação fluviométrica São Francisco, o polígono de seleção de dados utilizado e a posição nadiral dos dados provindos do satélite Jason-2. A Tabela 5.6 apresenta o RMS para os doze métodos testados.

Os gráficos e tabelas com os resultados obtidos, para a estação de validação São Francisco, por cada método de construção de estação virtual encontra-se no Anexo G.



Figura 5.7 – Estação São Francisco

Tabela 5.6 – Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação São Francisco com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios		
	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
São Francisco			
1 Aqua Quartil	927	-0,03	30,9
2 Aqua Média Aritmética	947	-0,02	38,6
3 Aqua Mediana	928	0,00	26,1
4 Média Aritmética	1031	0,06	123,3
5 Mediana	701	0,07	33,0
6 Aqua AGC Mediana	704	0,04	25,6
7 Aqua AGC Média Aritmética	739	-0,11	37,8
8 AGC Aqua Quartil	727	-0,05	33,7
9 AGC Aqua Média Aritmética	612	-0,03	26,2
10 AGC Aqua Mediana	711	-0,02	27,7
11 AGC Média Aritmética	564	-0,05	51,2
12 AGC Mediana	649	0,02	27,5

5.1.7. Estação de Validação Usina Paineiras

A Figura 5.8 apresenta a localização da estação fluviométrica Usina Paineiras, o polígono de seleção de dados utilizado e a posição nadiral dos dados providos do satélite Jason-2. A Tabela 5.7 apresenta o RMS para os doze métodos testados.



Figura 5.8 – Estação Usina Paineiras

Tabela 5.7 – Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Usina Paineiras com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios		
	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
Usina Paineiras			
1 Aqua Quartil	1250	-0,04	25,4
2 Aqua Média Aritmética	1205	-0,07	23,8
3 Aqua Mediana	1200	-0,04	24,5
4 Média Aritmética	1345	0,00	29,5
5 Mediana	1316	-0,09	27,4
6 Aqua AGC Mediana	1061	-0,04	22,4
7 Aqua AGC Média Aritmética	1094	-0,04	23,5
8 AGC Aqua Quartil	1121	0,01	25,9
9 AGC Aqua Média Aritmética	1073	-0,03	24,2
10 AGC Aqua Mediana	1062	-0,01	24,0
11 AGC Média Aritmética	1155	0,02	29,1
12 AGC Mediana	1081	0,03	23,0

Os gráficos e tabelas com os resultados obtidos, para a estação de validação Usina Paineiras, por cada método de construção de estação virtual encontra-se no Anexo H.

5.1.8. Estação de Validação Pousada Taiamã

A Figura 5.9 apresenta a localização da estação fluviométrica Pousada Taiamã, o polígono de seleção de dados utilizado e a posição nadiral dos dados provindos do satélite Jason-2. A Tabela 5.8 apresenta o RMS para os doze métodos testados.



Figura 5.9 – Estação Pousada Taiamã

Os gráficos e tabelas com os resultados obtidos, para a estação de validação Pousada Taiamã, por cada método de construção de estação virtual encontra-se no Anexo I.

Tabela 5.8 – Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação Pousada Taiaimã com remoção de dados espúrios, etapa c do procedimento de validação relativa.

Estação Pousada Taiaimã	Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios		
	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
1 Aqua Quartil	1096	0,01	14,1
2 Aqua Média Aritmética	1091	0,00	13,5
3 Aqua Mediana	1091	0,00	13,7
4 Média Aritmética	1115	-0,01	17,5
5 Mediana	1126	0,02	15,5
6 Aqua AGC Mediana	745	0,00	15,1
7 Aqua AGC Média Aritmética	741	0,03	14,3
8 AGC Aqua Quartil	753	0,00	16,8
9 AGC Aqua Média Aritmética	754	-0,01	16,4
10 AGC Aqua Mediana	751	0,02	16,7
11 AGC Média Aritmética	717	-0,03	14,6
12 AGC Mediana	727	0,03	14,7

5.1.9. Síntese dos resultados para a Determinação do Método de Construção de Estações Virtuais

Para cada estação de validação relativa, foram testados os doze métodos de construção de estações virtuais anteriormente apresentados, seção 3.1. O melhor método será, como preceitua a teoria das aproximações, indicado pelo menor somatório das variâncias encontradas para cada estação.

A Tabela 5.9 apresenta, na segunda e terceira colunas, o somatório das variâncias obtidas pelos métodos testados em cada estação de validação e onde se verifica a não existência de diferença, estatisticamente significativa, entre os métodos Aqua Mediana e Aqua AGC Mediana. Em termos operacionais, escolheu-se o algoritmo Aqua AGC Mediana, por força da sua maior velocidade na eliminação dos dados ruidosos.

Para a verificação da permanência da falta de significação estatística entre os algoritmos, o somatório das variâncias foi calculado tanto para as 8 estações

selecionadas quanto para as 6 estações (exclusão estações de Uricurituba e Manaus) que integrarão, posteriormente, o procedimento de validação relativa, seção 5.2.

Tabela 5.9 – Somatório das variâncias

Métodos de construção de estações virtuais	Somatório das variâncias	
	8 estações	6 estações
1 Aqua Quartil	4883,7	3280,9
2 Aqua Média Aritmética	5502,1	3955,3
3 Aqua Mediana	3826,1	2709,1
4 Média Aritmética	36952,5	24376,4
5 Mediana	5814,7	4068,4
6 Aqua AGC Mediana	3869,7	2692,0
7 Aqua AGC Média Aritmética	4921,0	3623,1
8 AGC Aqua Quartil	4995,2	3558,5
9 AGC Aqua Média Aritmética	4419,7	2975,7
10 AGC Aqua Mediana	4434,5	3091,1
11 AGC Média Aritmética	13784,4	12564,3
12 AGC Mediana	5218,1	4072,4

A tabela com o conjunto de ciclos, ausentes de ciclos espúrios, e a sua correspondente frequência de ocorrência na amostra de validação obtidos com o método Aqua AGC Mediana encontra-se no Anexo J.

5.1.10. Discussão dos Resultados para a Determinação do Método de Construção de Estações Virtuais

Inicialmente, foram selecionadas 15 estações fluviométricas, seção 4.4, para a avaliação dos métodos de construção de estações virtuais. Dentro desse conjunto de estações, existiam corpos de água com grandes variações na área do espelho de água. No trabalho de BIRKETT *et al.* (2002), é mencionado o fato que dados úteis somente tinham sido obtidos para corpos de água acima de 1 km de largura. Porém BERRY *et al.* (1997; 2004) e ANDERSEN *et al.* (2008) disseram que, apesar do *footprint* do altímetro radar ser tipicamente de vários quilômetros, pequenos alvos, com algumas dezenas de metros, poderiam ser vistos nos ecos radar, que, após processados,

renderiam informação de altura, porque a água é muito mais refletiva nas frequências da radiação microondas que a terra circunvizinha.

Assim, foi necessário obter resultados preliminares para verificação da possibilidade de utilizar essas estações. Foi, então, conduzida uma investigação preliminar sobre essas 15 estações, com a construção de estações virtuais em cada uma dessas regiões com o método empregado em BIRKETT (1998).

Os resultados mostraram a ausência de dados representativos da altura da superfície da água provindos do satélite nas seguintes estações e correspondentes larguras aproximadas: Ibó - 200 m; Campo Bom - 40 m; reservatório Balbina - 3000 m; Ibirama - 100 m; e Ipanema - 1700 m. Entretanto resultados foram encontrados nas estações, com correspondente largura, a saber: Pousada Taiamã - 250 m; Boa Vista - 700 m; Itupiranga - 1200 m; Santa Luzia - 2000 m; São Francisco - 600 m; e Usina Paineiras - 100 m.

Pode-se notar que os resultados apresentados acima indicam que a largura da superfície de água não é um critério para a limitação da aplicação da altimetria radar embarcada em satélite com os dados do Jason-2/Ice3, confirmando o que foi dito por BERRY *et al.* (1997; 2004) e ANDERSEN *et al.* (2008), uma vez que foram identificados, com precisão, corpos de água com larguras inferiores a 1 km. Entretanto, em alguns casos, não foram obtidos dados consistentes em corpos de larguras semelhantes/inferiores; vide Ibó, com largura de 200 m e ausência de dados consistentes, e Usina Paineiras, com largura de 100 m.

As razões para tal comportamento indicam fatores físicos do ambiente que influenciam o eco radar regionalmente e/ou limitações instrumentais e/ou ineficácia do método de construção de estações virtuais. Por esse motivo, foi importante a distribuição das estações de validação por todo o território brasileiro. A diversidade desses resultados mostra, principalmente, o avanço da arquitetura do altímetro radar Poseidon-3 perante o TOPEX/POSEIDON ao identificar, com precisão, corpos de água com menos de 1 km de largura, como foi identificado por BIRKETT (2002). Esses resultados levam à ampliação da aplicação dos dados remotos de altura para regiões além da bacia do rio Amazonas.

Futuros esforços devem ser conduzidos na investigação desses atenuadores físicos e ambientais do eco radar. Cabe ressaltar que o limite geográfico, definido pela largura entre as margens do rio, não pôde ser determinado neste trabalho. Apesar da largura do rio na estação Campo Bom ser de 40 metros e não terem sido obtidos dados consistentes, não se pode afirmar que o limiar de aplicabilidade da altimetria radar seria da ordem de 100 metros de largura, valor estabelecido tendo em vista o êxito obtido na estação Usina Paineiras. Adicionalmente, estimulam-se investigações futuras no sentido de delimitar a faixa de funcionamento do radar altímetro Poseidon-3 no que concerne o limite geográfico.

A interrupção da coleta de dados *in situ* na estação fluviométrica Porto União foi um exemplo, presenciado durante o trabalho, de destruição, por causas naturais, de um sítio de coleta de dados, o que evidencia a amplitude da aplicação da técnica remota.

O somatório das variâncias encontradas nas oito estações, que serviram de base para a escolha do melhor método de construção de estações virtuais, indicou que dois métodos eram não só os melhores como estatisticamente equivalentes: Aqua Mediana e Aqua AGC Mediana.

Todavia pôde ser observado durante a construção das estações virtuais que o método Aqua AGC Mediana tem a capacidade de fornecer uma série temporal mais consistente de valores representativos da altura da superfície do corpo aquoso, ou seja, com menos valores errôneos. Assim, para atingir o objetivo principal de determinar a precisão absoluta e relativa, foi utilizado o método Aqua AGC Mediana, devido a essa vantagem operacional.

A vantagem operacional de remoção de valores incorretos é muito importante, principalmente para rios com comportamento variável como o São Francisco (Figura 5.15). Pode-se notar que, nos rios da bacia amazônica, o comportamento do ciclo hidrológico, registrado na série temporal, é regular, conforme mostra a estação Santa Luzia (Figura 5.14), o que possibilita a remoção de valores errôneos manualmente como empregado por LEON *et al.* (2006). No entanto, em outros rios como o São Francisco (Figura 5.15), as variações abruptas impedem esse tipo de procedimento.

5.2. Validação Relativa

Esta seção apresenta parte do objetivo principal deste trabalho, que é determinar a estimativa das precisões relativa das medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos sobre a plataforma continental obtidas a partir dos dados fornecidos pelo satélite altimétrico Jason-2/Ice3. A Figura 5.10 apresenta o fluxograma de trabalho.

Foram construídas estações virtuais, com o método Aqua AGC Mediana, no mesmo local das estações fluviométricas de validação utilizadas, que serão: Boa Vista, Santa Luzia, Itupiranga, São Francisco, Usina Paineiras e Pousada Taiamã. As estações de Uricurituba e Manaus foram excluídas do procedimento de validação relativa tendo em vista a ocorrência de alteração do regime hidráulico nas seções das réguas, conforme relatado na seção 5.2.1.

Pode ser observado que, ao final da etapa c do procedimento de validação relativa aplicado ao método Aqua AGC Mediana na seção anterior (5.1), as amostras, em cada estação, variaram de tamanho. Para que a média das estimativas obtidas por cada estação de validação seja igual ao valor da estimativa da precisão relativa da altura representativa da superfície da água obtida a partir dos dados Jason-2/Ice3, optou-se por igualar, em tamanho, as amostras.

Assim, com este intuito, o tamanho de referência foi aquele da estação com menor tamanho de amostra, ou menor número de ciclos, e igualou-se o tamanho das amostras seguintes, eliminando-se os ciclos de menor frequência, segundo seção 5.1.9. A estação com menor tamanho de amostra foi São Francisco com 39 ciclos. Os valores em negrito do Anexo J correspondem aos ciclos excluídos.

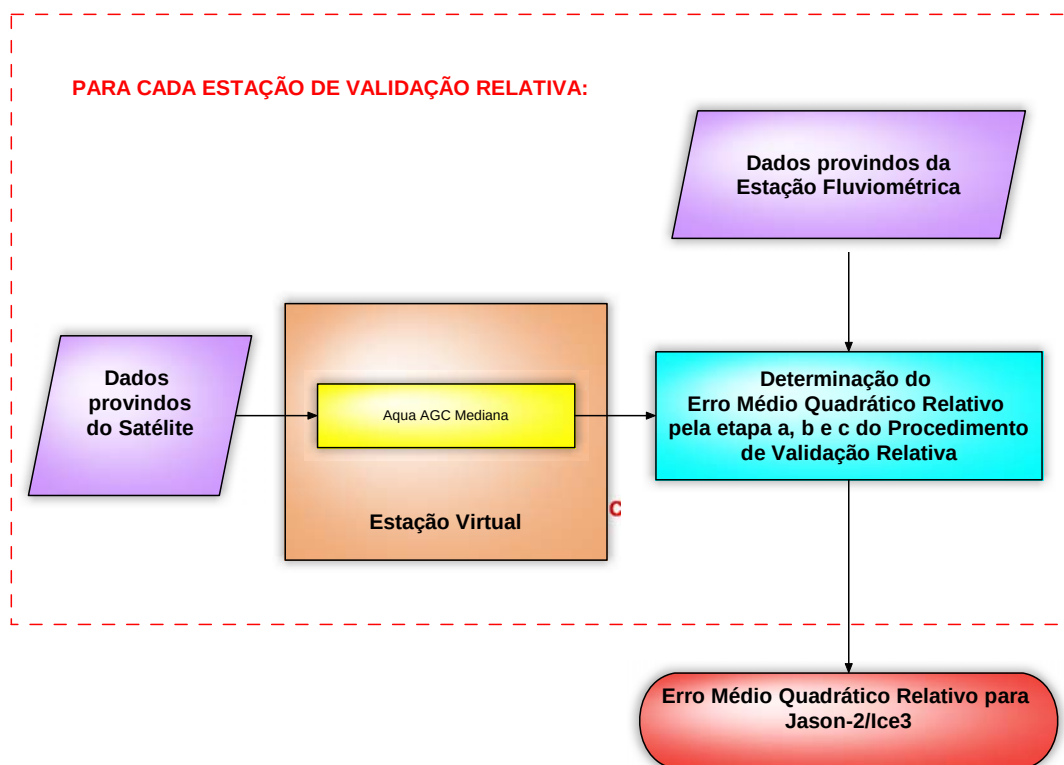


Figura 5.10 – Fluxograma metodológico para validação relativa

Os resultados obtidos nas etapas a, b e c do procedimento de validação relativa encontram-se na Tabela 5.10. Tendo em vista que os dados espúrios de altura da superfície do corpo aquoso tinham sido eliminados a priori, então, pode-se notar que os resultados obtidos nas etapas b e c são extremamente próximos, diferindo na casa do milímetro.

Assim, o procedimento de validação relativa demonstra que se pode esperar uma precisão no entorno de 16,4 cm (RMS) de precisão nas medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos sobre a plataforma continental obtidas a partir dos dados fornecidos pelo satélite altimétrico Jason-2/Ice3.

Os resultados gráficos, correspondentes à comparação entre as estações fluviométrica e virtual, encontram-se na Figura 5.11, estação Boa Vista, na Figura 5.12, estação Itupiranga, na Figura 5.13, estação Pousada Taiamã, na Figura 5.14, estação Santa Luzia, na Figura 5.15, estação São Francisco, e na Figura 5.16, estação Usina Paineiras.

Tabela 5.10 – Resultado final do procedimento de validação, utilizando seis estações de validação, com o objetivo de determinar a precisão alcançada pelos dados de altura elipsoidal obtidos pelo satélite altimétrico Jason-2 com o reprocessamento Ice3 em águas fluviais.

Estações	Erro médio quadrático da amostra de resíduos total da estação					Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com IC 95%				Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com remoção de dados espúrios		
	Número de ciclos	Número de combinações	Média	Mediana	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
Boa Vista	39	741	5,9	6,1	-0,079	21,5	707	-0,024	19,6	693	0,023	19,1
Itupiranga	39	741	-4,7	-5,8	0,234	20,0	705	0,117	18,0	696	0,070	17,8
Pousada Taiana	39	741	-2,5	-3,0	0,162	15,3	705	0,035	13,9	714	-0,014	14,3
Santa Luzia	39	741	-1,0	-1,1	0,048	6,9	708	0,029	6,2	720	0,015	6,5
São Francisco Urua	39	741	-3,0	-0,9	-0,146	29,7	703	-0,011	25,8	694	0,038	25,1
Paineiras	39	741	-3,5	-3,5	-0,025	16,7	707	-0,002	15,0	721	-0,028	15,7

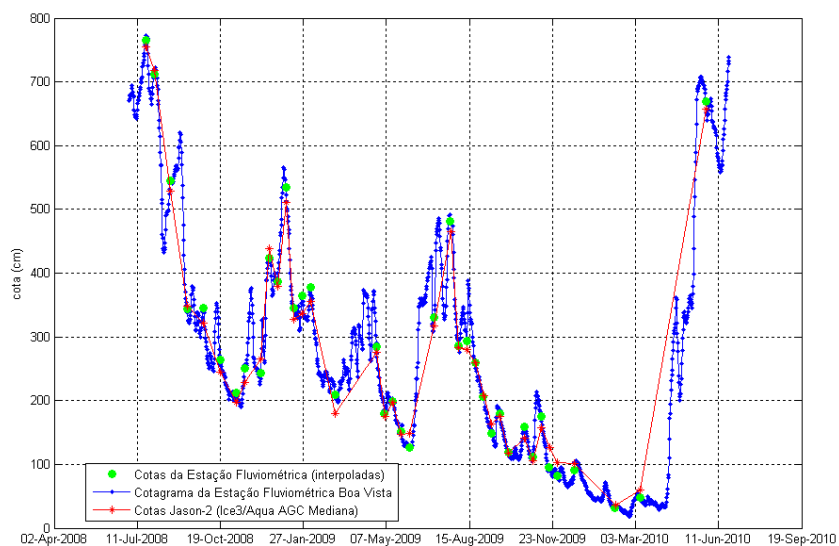


Figura 5.11 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Boa Vista

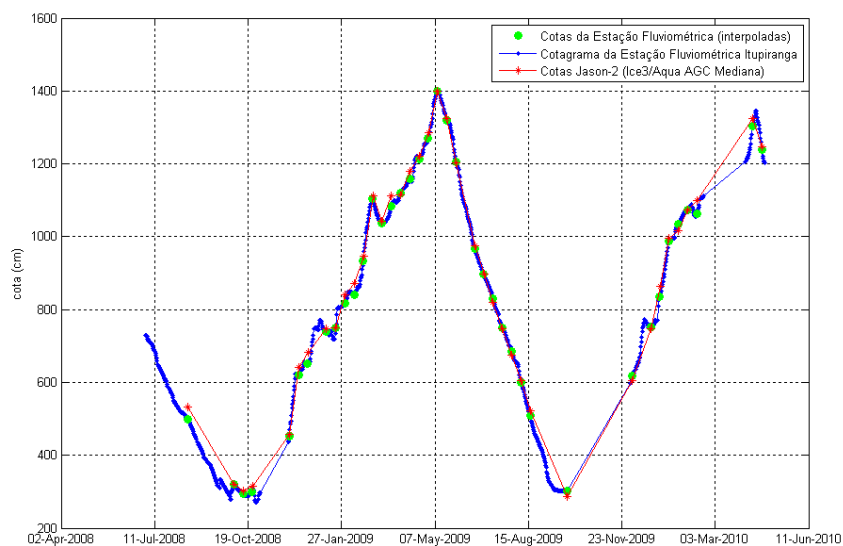


Figura 5.12 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Itupiranga

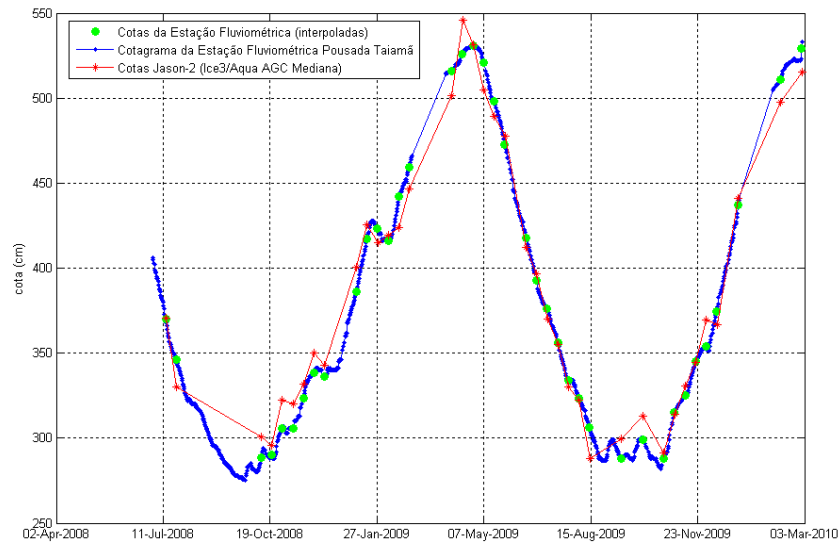


Figura 5.13 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

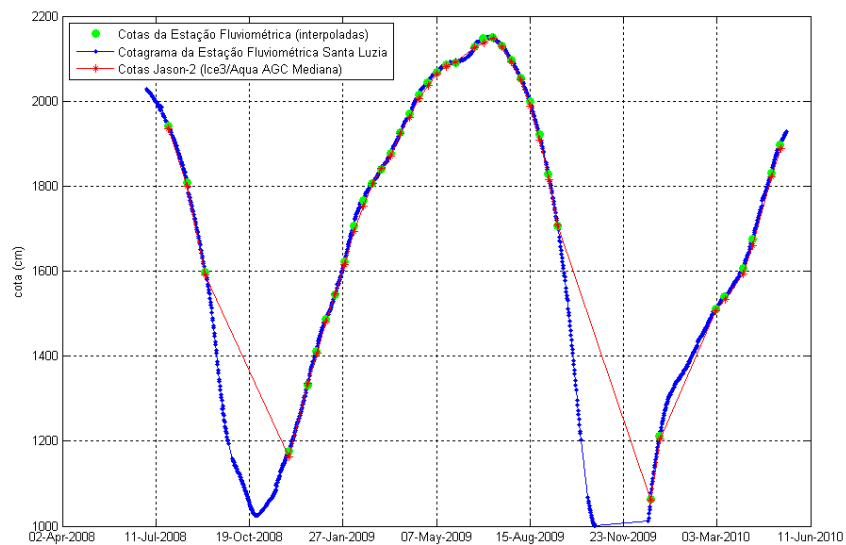


Figura 5.14 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Santa Luzia

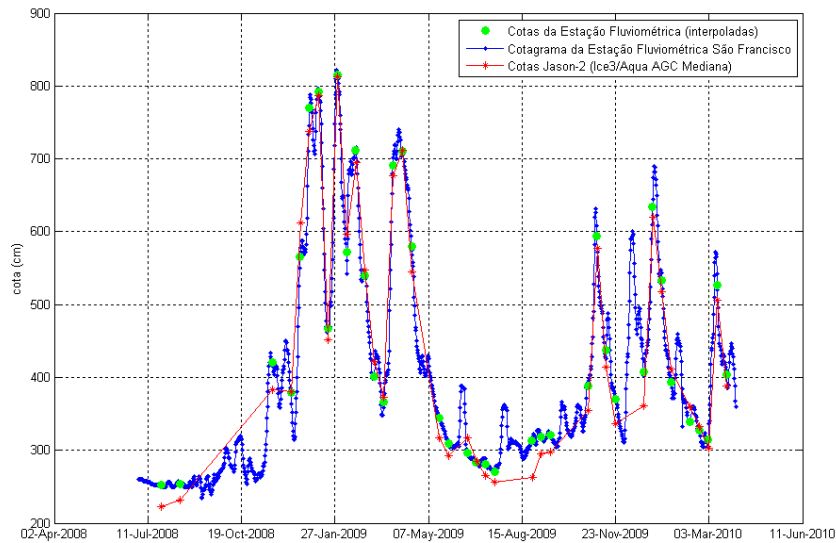


Figura 5.15 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica São Francisco

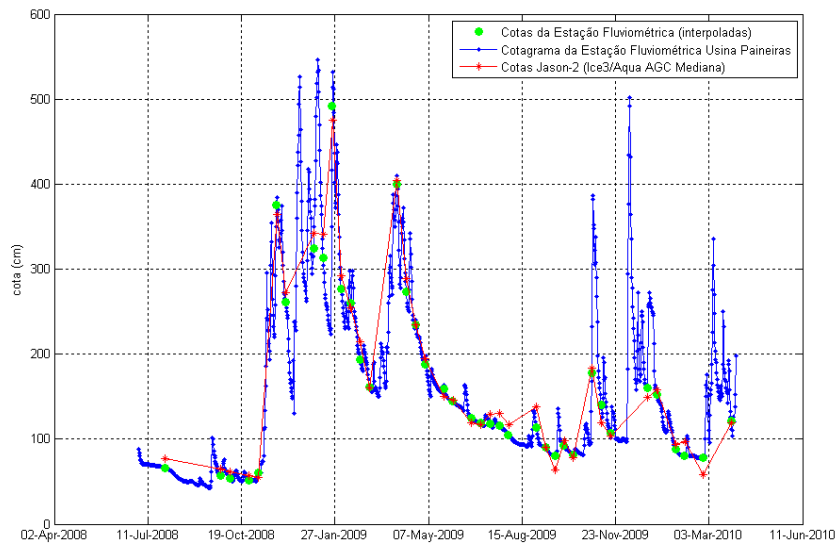


Figura 5.16 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

5.2.1. Discussão dos Resultados da Validação Relativa

Uma estação de validação ideal para a prática da validação relativa deve ser desprovida de qualquer obstáculo que introduza variações nos desníveis observados entre a estação física e virtual. Como exemplo, pode-se observar os resultados encontrados na etapa de avaliação dos métodos de construção de estações virtuais (seção 5.1) para as estações Santa Luzia e Uricurituba.

As áreas das estações Uricurituba e Santa Luzia são muito semelhantes: as duas estações possuem uma ilha na região de validação, e as réguas das duas estações ficam localizadas no canal esquerdo do rio. Contudo os resultados encontrados do erro médio quadrático relativo, utilizando o método de construção de estações virtuais Aqua AGC Mediana, foram 23,8 cm na estação Uricurituba e 6,8 cm na estação Santa Luzia.

As estações estão localizadas nos rios Madeira e Solimões, respectivamente, sendo que o rio Madeira sofre represamento das suas águas pelo rio Amazonas, ao menos em parte do ciclo hidrológico, o que, associado à distância entre as estações física e virtual (aproximadamente 4 km), vem a representar regimes hidráulicos diferentes. No caso da estação de Santa Luiza, ocorre coincidência entre a estação física e a sua correspondente estação virtual, o que acarreta regime hidráulico idêntico, independentemente de quaisquer outras considerações.

Por essas razões, as estações Uricurituba e Manaus foram excluídas do conjunto de estações para a determinação da precisão relativa das alturas elipsoidais obtidas a partir dos dados do satélite Jason-2/Ice3. No caso da estação Manaus, há um represamento de suas águas (rio Negro) pelo rio Solimões, além da grande diferença entre as estações virtual e fluviométrica, de 9 km.

A determinação da precisão relativa das alturas elipsoidais representativas da superfície do corpo de água, obtidas a partir dos dados do satélite Jason-2/Ice3, foi realizada com o uso de seis estações de validação, onde a localização das estações virtual e fluviométrica são, em termos práticos, coincidentes.

As estações de validação relativa são: Boa Vista, Santa Luzia, Itupiranga, São Francisco, Usina Paineiras e Pousada Taiaimã. Elas são representativas das principais bacias brasileiras: bacia do rio Amazonas, bacia Tocantins-Araguaia, bacia do rio São Francisco, bacia dos rios da região do Atlântico Sul, trecho Leste e bacia do rio Paraná (Pantanal).

Conforme previamente mencionado, a largura dos rios das estações de validação relativa varia de aproximadamente 100 metros (Estação Usina Paineiras) a 2 km (Estação Santa Luzia). Os períodos dos cotogramas das estações fluviométricas não são coincidentes, mas cobrem um período desde julho de 2008 a aproximadamente junho de 2010.

O valor médio do erro médio quadrático relativo encontrado para as seis estações de validação estudadas foi de 16,4 cm com valores variando de 6,5 cm (RMS) na estação Santa Luzia a 25,1 cm (RMS) na estação São Francisco.

A precisão relativa encontrada, neste trabalho, agrega erros de diferentes origens. Podem ser citadas as seguintes origens de erros: o algoritmo de reprocessamento Ice3, método de construção de estações virtuais Aqua AGC Mediana, erros de registro dos cotogramas e modelos de correções atmosféricas e geofísicas.

5.3. Validação Absoluta

Esta seção tem como objetivo apresentar a estimativa da precisão absoluta das medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos sobre a plataforma continental obtidas a partir dos dados fornecidos pelo satélite altimétrico Jason-2/Ice3. Essa validação fez uso de resultados extraídos do trabalho de MOREIRA (2010).

Os resultados extraídos de MOREIRA (2010) foram perfis definidos pela altura elipsoidal da linha de água localizado na interseção da trajetória de passagem do satélite altimétrico Jason-2, na região amazônica. Esses resultados foram obtidos em quatro diferentes locais e distintas épocas de levantamento: Manaus, em 18 de dezembro de 2009, Reservatório Balbina, em 21 de outubro de 2008, Uricurituba, em 25 de setembro de 2009, e Santa Luzia, em 23 de setembro de 2009.

O fluxograma do procedimento de validação absoluta, apresentado na seção 3.3 será detalhado a seguir. Este será aplicado a cada uma das estações de validação definidas pelos resultados de MOREIRA (2010).

1- Extração das medidas de altura da superfície do corpo aquoso dos ciclos de validação

a) Construção de uma estação virtual com a mesma localização do levantamento de MOREIRA (2010);

b) Identificação, na série temporal de dados remotos de altura, das épocas dos ciclos de passagem do satélite mais próximas da época de levantamento de MOREIRA (2010). Os ciclos serão referidos como ciclo (n), onde n é o próprio número do ciclo de passagem original, e as correspondentes épocas, como Época 1.

2- Cálculo da declividade na Época 2:

a) Cálculo da média da altura elipsoidal da superfície da água no percurso do levantamento cinemático calculado por MOREIRA (2010) na Época 2, que será denominada por M2;

b) Extração da cota da superfície de água, na Época 2, registrado na estação fluviométrica mais próxima, denominada C2;

c) Conversão da referência local da cota C2 para elipsoidal com os parâmetros de transformação (NI) fornecidos por MOREIRA (2010), denominada A2. Assim, $A2 = C2 + NI$;

d) Declividade entre o local de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica mais próxima na época 2, denominada decl. Assim, $decl = A2 - M2$.

3- Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) da Época 2 para a Época 1

a) do ciclo (n)

i. Extrair a cota da superfície da água, na Época 1, registrado na estação fluviométrica mais próxima, denominaremos C1;

ii. Converter a referência local da cota C1 para elipsoidal com os parâmetros de transformação (NI) fornecidos por MOREIRA (2010), denominada A1. Assim, $A1 = C1 + NI$;

iii. Os resultados encontrados por MOREIRA (2010) na Época 2 serão transportados para a Época 1 com a subtração da declividade, denominada M1, calculando $M1 = A1 - decl$.

4- Cálculo da diferença absoluta

a) A diferença absoluta é definida pela subtração do valor da altura da superfície da água, obtida como método de construção de estações virtuais Aqua AGC Mediana no dia do ciclo (n), pelo resultado encontrado por MOREIRA (2010) na Época 2 depois de transportado para a Época 1; assim, tem-se $DA = S1-M1$.

5.3.1. Reservatório Balbina

A Figura 5.17 apresenta a seção do levantamento de onde foi extraída a altura média da superfície da água, seção do levantamento calculado por MOREIRA (2010) em 21 de outubro de 2008 no Reservatório Balbina, e o polígono da seleção dos dados da estação virtual. Os ciclos de passagem 10 e 11 do satélite Jason-2, no traço 152, ocorreram respectivamente nos dias 15 e 24 de outubro de 2008, que são as passagens mais próximas da data do levantamento de campo.

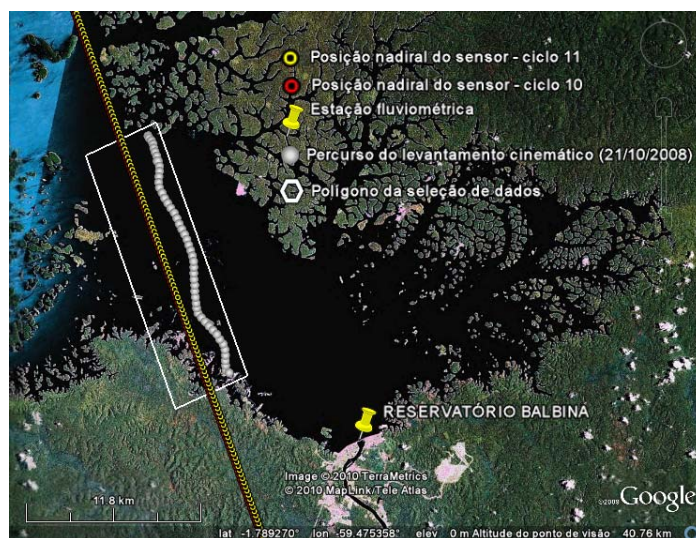


Figura 5.17 – Estação de validação absoluta Reservatório de Balbina.

A aplicação do método de construção de estações virtuais Aqua AGC Mediana com o polígono da seleção de dados mostrados na figura forneceu para os ciclos 10 e 11, respectivamente, os valores de altura elipsoidal para a superfície do corpo aquoso de 34,206 m e 33,958 m. O parâmetro para transporte da referência local dos valores do

cotograma da estação fluviométrica Reservatório Balbina para elipsoidal fornecido por MOREIRA (2010) é $N1 = -16,76$ m.

As Tabelas 5.11, 5.12 e 5.13 apresentam os resultados obtidos nas etapas do procedimento de validação absoluta aplicado à estação de validação Reservatório Balbina. A Tabela 5.14 apresenta os resultados da diferença absoluta encontrada para os ciclos 10 e 11.

Tabela 5.11 – Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica do Reservatório Balbina, na época 2.

Cálculo da declividade na época 2 na estação de validação Reservatório Balbina					
Época 2 GMT	Época 2 (GMT-4)	C2 (m)	A2 (m)	M2 (m)	decl (m)
	21/10/2008 7	50,080			
21/10/2008 19,392	21/10/2008 15,392	50,070	33,310	33,957	-0,648
	22/10/2008 7	50,050			

Tabela 5.12 – Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 10.

Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) da Época 2 para a Época 1 ciclo 10 (15/10/2008)					
Época 1 GMT	Época 1 (GMT-4)	C1 (m)	A1 (m)	M1 (m)	
	14/10/2008 7	50,130			
15/10/2008 5,065	15/10/2008 1,065	50,130	33,370	34,018	
	15/10/2008 7	50,130			

Tabela 5.13 – Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 11.

Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) da Época 2 para a Época 1 ciclo 11 (25/10/2008)					
Época 1 GMT	Época 1 (GMT-4)	C1 (m)	A1 (m)	M1 (m)	
	24/10/2008 7	50,010			
25/10/2008 3,040	24/10/2008 23,040	50,023	33,263	33,911	
	25/10/2008 7	50,030			

Tabela 5.14 – Diferenças absolutas encontradas na estação de validação
Reservatório Balbina com os ciclos 10 e 11.

Resultados encontrados na estação de validação Reservatório Balbina				
ciclo	M1 (m)	S1 (m)		Diferenças absolutas (m)
10	34,018	34,206		0,188
11	33,911	33,958		0,047

5.3.2. Santa Luzia

A Figura 5.18 apresenta a seção do levantamento de onde foi extraída a altura média da superfície da água, seção do levantamento realizado por MOREIRA (2010) em 23 de setembro de 2009 na comunidade Santa Luzia, e o polígono da seleção dos dados da estação virtual. O ciclo de passagem 45 do satélite Jason-2, no traço 63, ocorreu no mesmo dia do levantamento de campo.



Figura 5.18 – Validação absoluta em Santa Luzia

Como pode ser observado na Figura 5.18, o rio Solimões, nesta seção, é dividido por uma ilha em duas calhas, que serão chamadas de calha esquerda e direita. MOREIRA (2010) encontrou resultados diferentes para a altura elipsoidal do nível de água nessas duas calhas; assim, elas serão tratadas como duas medidas distintas na estimativa da precisão absoluta.

A aplicação do método de construção de estações virtuais Aqua AGC Mediana com o polígono da seleção de dados mostrados na Figura 5.18 forneceu para o ciclo 45, respectivamente para a calha direita e esquerda, os valores de altura elipsoidal para a superfície do corpo aquoso de 5,790 m e 5,722 m. O parâmetro para transporte da referência local dos valores do cotograma da estação fluviométrica Santa Luzia para a elipsoidal fornecido por MOREIRA (2010) é $N1 = -10,18$ m.

As Tabelas 5.15, 5.16, 5.17 e 5.18 apresentam os resultados obtidos nas etapas do procedimento de validação absoluta aplicado a estação de validação Santa Luzia. A Tabela 5.19 apresenta os resultados da diferença absoluta encontrada para o ciclo 45, calha direita e esquerda.

Tabela 5.15 – Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica Santa Luzia (calha direita), na época 2.

Cálculo da declividade na época 2 na estação de validação Santa Luzia – calha direita					
Época 2 GMT	Época 2 (GMT-4)	C2 (m)	A2 (m)	M2 (m)	decl (m)
	23/9/2009 7	15,420			
23/9/2009 20,466	23/9/2009 16,466	15,396	5,216	5,391	-0,175
	23/9/2009 17	15,360			

Tabela 5.16 – Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica Santa Luzia (calha esquerda), na época 2.

Cálculo da declividade na época 2 na estação de validação Santa Luzia – calha esquerda					
Época 2 GMT	Época 2 (GMT-4)	C2 (m)	A2 (m)	M2 (m)	decl (m)
	23/9/2009 7	15,420			
23/9/2009 20,466	23/9/2009 16,466	15,396	5,216	5,153	0,063
	23/9/2009 17	15,360			

Tabela 5.17 – Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 45 calha direita.

Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) da Época 2 para a Época 1 Santa Luzia - Calha direita				
Época 1 GMT	Época 1 (GMT-4)	C1 (m)	A1 (m)	M1 (m)
	23/9/2009 7	15,420		
23/9/2009 18,793	23/9/2009 14,793	15,401	5,221	5,395
	23/9/2009 17	15,360		

Tabela 5.18 – Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 45 calha esquerda.

Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) da Época 2 para a Época 1 Santa Luzia - calha esquerda				
Época 1 GMT	Época 1 (GMT-4)	C1 (m)	A1 (m)	M1 (m)
	23/9/2009 7	15,420		
23/9/2009 18,793	23/9/2009 14,793	15,401	5,221	5,157
	23/9/2009 17	15,360		

Tabela 5.19 – Diferenças absolutas encontradas na estação de validação Santa Luzia, calhas esquerda e direita, com o ciclo 45.

Resultados encontrados na estação de validação Santa Luzia				
Ciclo 45	M1 (m)	S1 (m)		Diferenças absolutas (m)
calha direita	5,395	5,790		0,395
Calha esquerda	5,157	5,722		0,565

5.3.3. Manaus

A Figura 5.19 apresenta a seção do levantamento de onde foi extraída a altura média da superfície da água, seção do levantamento realizado por MOREIRA (2010) em 18 de dezembro de 2009 próxima a cidade de Manaus, e o polígono da seleção dos dados da estação virtual. Os ciclos de passagem 54 e 53 do satélite Jason-2, no traço 63, ocorreram respectivamente nos dias 11 e 21 de dezembro de 2009 (GMT-4) que são as passagens mais próximas da data do levantamento de campo.



Figura 5.19 – Validação absoluta Manaus

A aplicação do método de construção de estações virtuais Aqua AGC Mediana com o polígono da seleção de dados mostrados na Figura 5.19 forneceu para os ciclos 53 e 54, respectivamente, os valores de altura elipsoidal para a superfície do corpo aquoso de 0,876 m e 0,544 m. O parâmetro para transporte da referência local dos valores do cotograma da estação fluviométrica Manaus para elipsoidal fornecido por MOREIRA (2010) é $NI = -18,667$ m.

As Tabelas 5.20, 5.21 e 5.22 apresentam os resultados obtidos nas etapas do procedimento de validação absoluta aplicado a estação de validação Manaus. A Tabela 5.23 apresenta os resultados da diferença absoluta encontrada para os ciclos 53 e 54.

Tabela 5.20 – Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica de Manaus, na época 2.

Cálculo da declividade na época 2 na estação de validação Manaus						
Época 2 GMT	Época 2 (GMT-4)	C2 (m)	A2 (m)	M2 (m)	decl (m)	
	18/12/2009 7	17,830				
18/12/2009 18,972	18/12/2009 14,972	17,860	-0,807	-1,079	0,272	
	18/12/2009 17	17,920				

Tabela 5.21 – Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 53.

Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) da Época 2 para a Época 1						
Ciclo 53 (11/12/2009)						
Época 1 GMT		Época 1 (GMT-4)		C1 (m)	A1 (m)	M1 (m)
		11/12/2009	17	16,600		
12/12/2009	2,596	11/12/2009	22,596	16,621	-2,046	-2,318
		12/12/2009	7	16,690		

Tabela 5.22 – Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 54

Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) da Época 2 para a Época 1 Ciclo 54 (21/12/2009)						
Época 1 GMT		Época 1 (GMT-4)		C1 (m)	A1 (m)	M1 (m)
		21/12/2009	17	18,480		
22/12/2009	0,571	21/12/2009	20,571	18,498	-0,169	-0,441
		22/12/2009	7	18,600		

Tabela 5.23 – Diferenças absolutas encontradas na estação de validação Manaus com os ciclos 53 e 54

Resultados encontrados na estação de validação Manaus				
Ciclo	M1 (m)	S1 (m)		Diferenças absolutas (m)
53	-2,318	0,876		3,194
54	-0,441	0,544		0,985

5.3.4. Uricurituba

A Figura 5.20 apresenta a seção do levantamento de onde foi extraída a altura média da superfície da água, seção do levantamento realizado por MOREIRA (2010) em 25 de setembro de 2009 em Uricurituba, e o polígono da seleção dos dados da estação virtual. Os ciclos de passagem 44 e 45 do satélite Jason-2, no traço 152, ocorreram respectivamente nos dias 17 e 27 de setembro de 2009 (GMT-4), que são as passagens mais próximas da data do levantamento de campo.



Figura 5.20 – Validação absoluta em Uricurituba

A aplicação do método de construção de estações virtuais Aqua AGC Mediana com o polígono da seleção de dados mostrados na Figura 5.20 forneceu para os ciclos 44 e 45, respectivamente, os valores de altura elipsoidal para a superfície do corpo aquoso de 3,031 m e 1,728 m. O parâmetro para transporte da referência local dos valores do cotograma da estação fluviométrica Uricurituba para elipsoidal fornecido por MOREIRA (2010) é $N1 = -14,23$ m.

As Tabelas 5.24, 5.25 e 5.26 apresentam os resultados obtidos nas etapas do procedimento de validação absoluta aplicado a estação de validação Uricurituba. A Tabela 5.27 apresenta os resultados da diferença absoluta encontrada para os ciclos 44 e 45.

Tabela 5.24 – Cálculo da declividade entre a área de levantamento de MOREIRA (2010) e a estação fluviométrica Uricurituba, na época 2.

Cálculo da declividade na época 2 na estação de validação Uricurituba					
Época 2 GMT	Época 2 (GMT-4)	C2 (m)	A2 (m)	M2 (m)	decl (m)
	25/9/2009 7	15,310			
25/9/2009 14,268	25/9/2009 10,268	15,298	1,068	1,320	-0,252
	25/9/2009 17	15,220			

Tabela 5.25 – Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 44

Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) da Época 2 para a Época 1 ciclo 44 (17/9/2009)				
Época 1 GMT	Época 1 (GMT-4)	C1 (m)	A1 (m)	M1 (m)
	16/9/2009 17	16,510		
17/9/2009 8,241	17/9/2009 4,241	16,483	2,253	2,506
	17/9/2009 7	16,460		

Tabela 5.26 – Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) para a época de passagem do satélite Jason-2, ciclo 45.

Transporte dos resultados encontrados por MOREIRA (2010) da Época 2 para a Época 1 ciclo 45 (27/9/2009)				
Época 1 GMT	Época 1 (GMT-4)	C1 (m)	A1 (m)	M1 (m)
	26/9/2009 17	15,020		
27/9/2009 6,216	27/9/2009 2,216	14,965	0,735	0,987
	27/9/2009 7	14,930		

Tabela 5.27 – Diferenças absolutas encontradas na estação de validação Uricuritiba com os ciclos 44 e 45.

Resultados encontrados na estação de validação Uricuritiba				
Ciclo	M1 (m)	S1 (m)		Diferenças absolutas (m)
44	2,506	3,031		0,525
45	0,987	1,728		0,741

5.3.5 Síntese dos Resultados para a Validação Absoluta

A Tabela 5.28 apresenta as diferenças absolutas encontradas na comparação direta entre a medida *in situ*, estimada dos resultados de MOREIRA (2010), e a medida estimada a partir dos dados do satélite Jason-2/Ice3 na mesma época (data e hora).

Tabela 5.28 – Síntese dos resultados da validação absoluta

Estação	ciclo		Diferenças absolutas (m)
Reservatorio Balbina	10		0,188
Reservatório Balbina	11		0,047
Santa Luzia (calha direita)	45		0,395
Santa Luzia (calha esquerda)	45		0,565
Manaus	54		0,985
Uricurituba	44		0,525
Uricurituba	45		0,741
Média Aritmética			0,492
Desvio padrão			0,319

O procedimento de validação absoluta demonstra que se pode esperar uma precisão no entorno de 49 cm (RMS) de precisão nas medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos sobre a plataforma continental obtidas a partir dos dados fornecidos pelo satélite altimétrico Jason-2/Ice3.

5.3.6. Discussão dos Resultados para a Validação Absoluta

Pode-se notar, nos cotogramas das estações fluviométricas estudadas, que, na região amazônica, podem ocorrer variações diárias da ordem de 30 cm entre as 7 e 17 horas no período da vazante. Quando ocorre um levantamento de campo diferente do dia de aquisição do satélite, existe a necessidade de corrigir o valor de campo que, dependendo do momento do ciclo hidrológico e da defasagem temporal, pode chegar a uma diferença de metros. Em particular, houve a necessidade de que fossem efetuados ajustes nas estações de validação absoluta.

A estação fluviométrica do reservatório de Balbina revela registros de variações muito pequenas de nível de água, como, por exemplo, 12 cm de variação entre 14 e 24 de outubro de 2008, no registro das 7 horas. Desse modo, a correção linear empregada nos resultados de MOREIRA (2010), nas datas de aquisição de dados do satélite Jason-2, ciclos 10 e 11, foi muito sutil obtendo-se as diferenças absolutas de 0,188 m e 0,047 m, respectivamente.

O rio Solimões, próximo a comunidade de Santa Luzia, sofre uma divisão do seu leito principal gerando duas calhas, denominadas, neste trabalho, como calhas esquerda e direita. O resultado do levantamento *in situ* de MOREIRA (2010) determinou, no mesmo dia de aquisição de dados do satélite, que a altura elipsoidal média dessas duas calhas eram diferentes, assumindo valores de 5,153 m e de 5,391 m, respectivamente, nas calhas esquerda e direita. Os resultados de altura elipsoidal do satélite Jason-2 (Ice3/Aqua AGC Mediana), para as calhas esquerda e direita, foram 5,722 m e 5,790 m.

Cabe notar que a distância entre as calhas é pequena em relação à resolução espacial do sensor altímetro, com distância aproximada entre os centros das calhas de 3 km. Assim, se os resultados encontrados, nas calhas direita e esquerda, fossem, para o nível de precisão adotado, considerados iguais (5,722 m e 5,790 m), poder-se-ia potencialmente inferir que o altímetro não possui resolução espacial para discernir entre as duas calhas. Em síntese, a verdadeira medição de altura elipsoidal seria uma média da região ou, alternativamente, a reflectância de uma determinada área, contida na resolução espacial do sensor, prevalece perante as demais, como foi verificado, nesta dissertação, em rios estreitos.

Como não se tem certeza das suposições acima, foi determinada a diferença absoluta entre os resultados obtidos por MOREIRA (2010) e pelo satélite Jason-2 (Ice3/Aqua AGC Mediana), resultando 0,395 m e 0,565 m para as calhas direita e esquerda, respectivamente.

O levantamento de campo utilizado por MOREIRA (2010), próximo a cidade de Manaus, situou-se entre os ciclos 53 e 54 do satélite Jason-2 em dezembro de 2009. Na época dessas passagens do satélite, o cotograma registrado na estação fluviométrica de Manaus indicava o período de ascensão do rio, com cotas 16,621 m e 18,498 m para os ciclos 53 e 54, respectivamente. Por outro lado, os resultados da altura elipsoidal obtida pelo satélite Jason-2 (Ice3/Aqua AGC Mediana) indicaram um comportamento contrário, com 0,876 m e 0,544 m para os ciclos 53 e 54, respectivamente.

Portanto, verificou-se que o método de construção de estações virtuais Aqua AGC Mediana estava fornecendo um valor errôneo para o ciclo 53, o que respondeu, em

grande parte, pela diferença absoluta encontrada para esse ciclo, sendo a diferença absoluta total encontrada de 3,194 m.

Como foi dito anteriormente, as diferenças encontradas na validação absoluta estão sujeitas a erros devidos ao método de construção de estações virtuais adotado, ao algoritmo de reproprocessamento Ice3 e aos métodos de processamento utilizados por MOREIRA (2010), entre outras fontes de incerteza. Tendo em vista que o método Aqua AGC Mediana foi a maior fonte de erro no cálculo da diferença absoluta, essa diferença será eliminada.

A determinação da diferença absoluta em Manaus, ciclo 53, é um bom exemplo para demonstrar como a etapa de filtragem dos dados é importante. Conforme indicam os resultados expostos no Capítulo 5, pode-se observar e comparar os valores da altura elipsoidal obtidos por cada método de construção de estações virtuais estudado neste trabalho. Apesar do método Aqua AGC Mediana ter sido verificado, na etapa de avaliação das estações virtuais, como o melhor método, neste caso, a extração de um ciclo aleatório (ciclo 53) da série estudada, permitiu observar claramente o erro ao calcular o valor representativo da altura elipsoidal da superfície da água na estação Manaus.

A comparação das séries temporais construídas a partir dos dados remotos com os cotogramas locais mostra a presença de valores errôneos do nível da água. Assim, reforça-se que a extração de medidas representativas do nível da água a partir desses sensores não se encontra plenamente definida para o usuário, conforme BERCHER *et al.* (2006). Portanto, mais esforços devem ser empregados para a determinação de um método robusto para seleção de dados de altura elipsoidal fornecidos por satélites altimétricos.

Deve-se ressaltar que o erro grosseiro encontrado na determinação da diferença absoluta do ciclo 53 em Manaus não compromete em nada os resultados calculados para a validação relativa, devido a grande massa de dados analisada neste caso.

Outra possível fonte de erro pode ser obtida nas diferenças absolutas localizadas nas estações de Manaus e Uricurituba devido ao represamento das águas do rio Negro e

rio Madeira em relação ao rio Solimões/Amazonas. Esse represamento pode não estar caracterizado pela correção linear utilizada, neste trabalho, para a determinação das diferenças absolutas. Assim, tem-se, como resultados encontrados para as diferenças absolutas em Manaus ciclo 54, Uricurituba ciclo 44 e Uricurituba ciclo 45, os valores de 0,985 m, 0,525 m e 0,741 m, respectivamente.

A comparação de todos os resultados encontrados para precisão absoluta leva a verificar que o resultado obtido no reservatório Balbina se destaca perante aos demais. Talvez isso se deva às condições de estabilidade em que se encontra o local (lago) diferentemente dos rios.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresenta as conclusões alcançadas neste trabalho e sugestões para trabalhos futuros. A seção 6.1 conduz a um breve resumo do trabalho para clareza e precisão do objetivo principal e dos objetivos específicos alcançados. As seções 6.2, 6.3 e 6.4 apresentam as conclusões e recomendações quanto à construção de estações virtuais, quanto à validação relativa e quanto à validação absoluta, respectivamente.

6.1. Súmula do trabalho

O principal objetivo do trabalho é a determinação das estimativas das precisões relativa e absoluta das medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos sobre a plataforma continental obtidas a partir dos dados fornecidos pelo satélite altimétrico Jason-2/Ice3.

Para estimar a precisão dessas medidas, é necessária uma verdade de campo que traduza uma medida de calibração fiducial para os dados do Jason-2. Para este trabalho, a base de dados *in situ* disponível são as estações fluviométricas integrantes da rede hidrometeorológica brasileira e os resultados extraídos de MOREIRA (2010).

Assim como as estações fluviométricas apresentam os registros dos níveis de água em relação ao tempo (cotograma), os dados do satélite altimétrico Jason-2 podem ser apresentados na forma de medidas representativas da altura da superfície dos corpos aquosos em relação ao tempo (séries altimétricas), desde que se construa uma estação virtual.

A estação virtual está localizada na interseção da trajetória de passagem do satélite com um corpo aquoso. A partir do conjunto de dados que se encontra nesta interseção, é possível determinar um valor único que corresponda à estimativa mais eficiente, face ao critério de avaliação adotado daquele conjunto.

Para dar prosseguimento à tarefa de validação, havia a necessidade de se obter a série altimétrica a partir dos dados do satélite Jason-2/Ice3. Na literatura, diversos autores aplicam diferentes métodos para a construção das estações virtuais, ou seja,

diversos estimadores para um mesmo parâmetro. Devido à impossibilidade de definir *a priori* qual seria o melhor estimador para os dados do Jason-2, foi escolhido avaliar doze métodos diferentes de construção de estações virtuais. Alguns desses métodos foram gerados a partir da combinação dos métodos aplicados na literatura. Destacam-se ainda duas propostas desenvolvidas neste trabalho, a saber: o método de filtragem Aqua e o filtro de eliminação de desvios extremos.

Em particular, salienta-se que o critério de avaliação empregado para selecionar o melhor método de construção de estações virtuais baseou-se no somatório mínimo das variâncias, calculado levando-se em conta os resultados parciais (RMS) das estações de validação. Mais especificamente, oito estações de validação foram escolhidas para avaliação do método de construção de estações virtuais. São estas: Boa Vista, Manaus, Santa Luzia, Itupiranga, São Francisco, Usina Paineiras, Pousada Taiamã e Uricurituba.

Após definido o método de construção de estações virtuais, foi dada continuidade à tarefa de estimar a precisão alcançada pelos dados do Jason-2 em águas continentais. Enfatiza-se que as estações fluviométricas de monitoramento contínuo registram cotagramas, assim como as estações virtuais fornecem as séries temporais altimétricas, porém as referências de ambas diferem. As estações fluviométricas possuem referências locais, arbitradas de acordo com a vontade local, enquanto as estações virtuais possuem como referência um elipsóide de revolução definido no projeto do Jason-2. Assim é inadequada a comparação direta entre os respectivos valores obtidos pelo cotograma e pela série temporal da estação virtual, o que conduz a um procedimento relativo de validação, ou seja, à comparação dos desníveis observados nas estações fluviométrica e virtual em um mesmo período de tempo.

Para estimativa da precisão absoluta do satélite altimétrico Jason-2, acessou-se os resultados de levantamentos *in situ* obtidos por MOREIRA (2010) na bacia Amazônica. Dentre outros resultados, MOREIRA (2010) determinou a altura elipsoidal da linha de água abaixo da passagem do satélite Jason-2 em alguns corpos aquosos da bacia; esses locais foram o rio Negro, o rio Solimões, o reservatório Balbina e o rio Madeira.

A verdade de campo obtida através dos resultados de MOREIRA (2010) possibilita a aplicação de um procedimento de validação absoluta, isto é, comparação direta entre os valores obtidos pelo cotograma e pela série temporal da estação virtual, em função de possuírem os mesmos referenciais elipsoidais.

6.2. Quanto à Construção de Estações Virtuais

Na etapa de construção das estações virtuais, destacam-se conjuntamente conclusões e recomendações, conforme segue na sequência do texto.

- Os resultados indicam que a medida da altura da superfície de água em seções fluviométricas com larguras superiores a 1 km não é o único critério para delimitar a aplicação da altimetria radar embarcada em satélite com os dados do Jason-2/Ice3, uma vez que foram identificados, com precisão, alturas de água em corpos de água em seções com larguras inferiores a 1 km. Em alguns casos, de fato, não foram obtidos dados consistentes em corpos de larguras semelhantes ou inferiores a 1 km, como é caso de Ibó, com largura de 200 m e ausência de dados consistentes. Por outro lado, em Usina Paineiras, com largura de 100 m, a precisão relativa alcançada foi de 15,7 cm (RMS).
- A distribuição das estações de validação em diferentes locais do território brasileiro indica fatores físicos do ambiente que influenciam o eco radar regionalmente e/ou limitações instrumentais e/ou ineficácia do método de construção de estações virtuais.
- A diversidade desses resultados mostra, principalmente, o avanço da arquitetura do altímetro radar Poseidon-3 perante o TOPEX/POSEIDON ao identificar, com precisão, corpos de água com menos de 1 km de largura, como foi identificado por BIRKETT (2002). Esses resultados levam à ampliação da aplicação dos dados remotos de altura para regiões além da bacia do rio Amazonas.

- Recomenda-se que futuros esforços devem ser conduzidos na investigação desses atenuadores físicos e ambientais do eco radar. Adicionalmente, estimulam-se investigações futuras no sentido de delimitar a faixa de funcionamento do radar altímetro Poseidon-3 no que concerne ao limite geográfico, definido pela largura entre as margens do rio.
- O somatório das variâncias encontradas nas oito estações, que serviram de base para a escolha do melhor método de construção de estações virtuais, indicou que dois métodos eram não só os melhores como estatisticamente equivalentes: Aqua Mediana e Aqua AGC Mediana.
- Todavia pôde ser observado que o método Aqua AGC Mediana tem a capacidade de fornecer uma série temporal com menos valores espúrios. Assim, para atingir o objetivo principal de determinar a precisão absoluta e relativa, foi utilizado o método Aqua AGC Mediana, devido a essa vantagem operacional.
- Em adição ao avanço conquistado neste trabalho, incentivam-se estudos complementares na linha de construção de estações virtuais, permitindo que a obtenção de cotas, sem o emprego de uma estrutura fiducial dos dados, por meio de réguas linimétricas ou rastreamento GPS, venha a ser alcançada.

6.3. Quanto à Validação Relativa

Na etapa de determinação da precisão relativa, destacam-se conjuntamente conclusões e recomendações, conforme segue na sequência do texto.

- Uma estação de validação ideal para a prática da validação relativa deve ser desprovida de qualquer obstáculo que introduza variações nos desníveis observados entre a estação física e virtual. Como exemplo, pode-se observar os resultados encontrados na etapa de avaliação dos

métodos de construção de estações virtuais (seção 5.1) para as estações Santa Luzia e Uricurituba.

- A determinação da precisão relativa das alturas elipsoidais representativas da superfície do corpo de água, obtidas a partir dos dados do satélite Jason-2/Ice3, foi realizada com o uso de seis estações de validação, onde a localização das estações virtual e fluviométrica são, em termos práticos, coincidentes. As estações de validação relativa são: Boa Vista, Santa Luzia, Itupiranga, São Francisco, Usina Paineiras e Pousada Taiamã. Elas são representativas das principais bacias brasileiras: bacia do rio Amazonas, bacia dos rios Tocantins-Araguaia, bacia do rio São Francisco, bacia dos rios da região do Atlântico Sul, trecho Leste e bacia do rio Paraná (Pantanal).
- O valor médio do erro médio quadrático relativo encontrado para as seis estações de validação estudadas foi de 16,4 cm com valores variando de 6,5 cm (RMS) na estação Santa Luzia a 25,1 cm (RMS) na estação São Francisco. Destacam-se ainda os resultados encontrados na estação Pousada Taiamã, com largura de 250 m e RMS de 14,3 cm, e na estação Usina Paineiras, com largura de 100 m e RMS de 15,7 cm.
- A precisão relativa encontrada, neste trabalho, agrega erros de diferentes origens. Podem ser citadas as seguintes origens de erros: o algoritmo de reprocessamento Ice3, método de construção de estações virtuais Aqua AGC Mediana, erros de registro dos cotogramas e modelos de correções atmosféricas e geofísicas.
- Cabe ressaltar que a metodologia de validação relativa utilizada pode ser reproduzida para um número maior de estações fluviométricas..

6.4. Quanto a Validação Absoluta

Na etapa de determinação da precisão absoluta, destacam-se conjuntamente conclusões e recomendações, conforme segue na seqüência do texto.

- Pode-se notar, nos cotogramas das estações fluviométricas estudadas, que, na região amazônica, podem ocorrer variações diárias da ordem de 30 cm entre as 7 e 17 horas no período da vazante. Esse valor é da ordem de grandeza da precisão da medida que se quer avaliar, o que leva à necessidade de melhor planejar os futuros levantamentos de campo, na medida que seria também necessário recolher dados nos intervalos entre as medições diárias realizadas às 7 horas e às 17 horas.
- A comparação de todos os resultados encontrados para precisão absoluta leva a verificar que o resultado obtido no reservatório Balbina se destaca perante os demais. Talvez isso se deva às condições de estabilidade em que se encontra o local que abriga o lago, diferentemente dos rios.
- O valor médio das diferenças absolutas encontradas para as sete medições, levantadas no rio Negro, no rio Solimões, no reservatório Balbina e no rio Madeira, foi de 49,2 cm.

Como consideração final, espera-se que os resultados deste trabalho, que empregou dados de altura elipsoidal representativos da superfície da água obtidos via satélite Jason-2/Ice3, que são de aquisição contínua, periódica, permanente, dentro da vida útil do satélite, disponíveis na Internet em até 3 dias após a data de aquisição e livre de custos para o usuário final, inspirem o desenvolvimento de novas abordagens nas áreas de recursos hídricos e meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAROUCHE, L.; THIBAUT, P.; ZANIFE, O. Z.; ET AL.. Improving the Jason-1 ground retracking to better account for attitude effects. **Marine Geodesy**, v. 27, n. 1, p. 171–197, 2004.

ANA. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 28/10/2009.

ANDERSEN, O.; BERRY, P.; FREEMAN, J.; ET AL.. Satellite Altimetry and GRACE gravimetry for studies of annual water storage variations in Bangladesh. **TERRESTRIAL ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCES**, v. 19, n. 1/2, p. 47, 2008.

AVISO. Disponível em: <<http://www.aviso.oceanobs.com/>>. Acesso em: 28/04/2009.

BARRICK, D. E. Remote sensing of sea state by radar. **Remote sensing of the troposphere**, v. 12, p. 1–46, 1972.

BARRICK, D. E.; LIPA, B. J. Analysis and interpretation of altimeter sea echo. **Advances in geophysics**, v. 27, p. 61–100, 1985.

BECKER, M.; LLOVEL, W.; CAZENAVE, A.; GÜNTNER, A.; CRÉTAUX, J. F. Recent hydrological behavior of the East African great lakes region inferred from GRACE, satellite altimetry and rainfall observations. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 342, n. 3, p. 223–233, 2010.

BERCHER, N.; KOSUTH, P.; BRUNIQUEL, J. Quality of river water level time series issued from satellite radar altimetry: influence of river hydrology and satellite measurement accuracy and frequency. In: Geophysical Research Abstracts. **Anais...** . v. 8, p.09887, 2006.

BERRY, P. A. M.; BRACKE, H.; JASPER, A. Retracking ERS-1 altimeter waveforms over land for topographic height determination: An expert systems approach. **ESA SP**, p. 403–408, 1997.

BERRY, P. A. M.; GARLICK, J. D.; MATHERS, E. L. Global scale monitoring of land surface water using multi-mission satellite radar altimetry. **EGU 1st General Assembly, Nice**, 2004.

BERRY, P. A.; FREEMAN, J. A.; ROGERS, C.; BENVENISTE, J. Global analysis of Envisat RA-2 burst mode echo sequences. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, v. 45, n. 9, p. 2869–2874, 2007.

BIRKETT, C. M. Contribution of the TOPEX NASA radar altimeter to the global monitoring of large rivers and wetlands. **Water Resources Research**, v. 34, n. 5, p. 1223–1239, 1998.

- BIRKETT, C. M. The contribution of TOPEX/POSEIDON to the global monitoring of climatically sensitive lakes. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C12, p. 25179, 1995.
- BIRKETT, C. M.; MERTES, L. A. K.; DUNNE, T.; COSTA, M. H.; JASINSKI, M. J. Surface water dynamics in the Amazon Basin: Application of satellite radar altimetry. **J. geophys. Res.**, v. 107, n. D20, p. 8059–8080, 2002.
- BROOKS, R. L. Lake elevation from satellite radar altimetry from a validation area in Canada. **Reporte, Geosci. Res**, 1982.
- BROWN, G. The average impulse response of a rough surface and its applications. **Antennas and Propagation, IEEE Transactions on**, v. 25, n. 1, p. 67–74, 1977.
- CALLAHAN, P. S.; RODRIGUEZ, E. Retracking of Jason-1 data. **Marine Geodesy**, v. 27, n. 3, p. 391–407, 2004.
- CALMANT, S.; SEYLER, F. Continental surface waters from satellite altimetry. **Comptes Rendus Geosciences**, v. 338, n. 14-15, p. 1113–1122, 2006.
- CALMANT, S.; SEYLER, F.; CRETAUX, J. F. Monitoring continental surface waters by satellite altimetry. **Surveys in geophysics**, v. 29, n. 4, p. 247–269, 2008.
- CAZENAVE, A.; CHEN, J. Time-variable gravity from space and present-day mass redistribution in the Earth system. **Earth and Planetary Science Letters**, 2010.
- CAZENAVE, A.; SAVENIJE, H. Preface to the Special Issue on “Hydrology from Space”. **Surveys in geophysics**, v. 29, n. 4, p. 241–245, 2008.
- CHAPMAN, M. E.; TALWANI, M. Comparison of gravimetric geoids with Geos 3 altimetric geoid. **Journal of Geophysical Research**, v. 84, n. B8, p. 3803–3816, 1979.
- CHELTON, D. B.; WALSH, E. J.; MACARTHUR, J. L. Pulse compression and sea level tracking in satellite altimetry. **Journal of atmospheric and oceanic technology**, v. 6, p. 407–438, 1989.
- CHELTON, D. B.; RIES, J.; HAINES, B. J.; ET AL.. Satellite altimetry and earth sciences. **Academic Press, International Geophysics series**, v. 69, p. 1–1131, 2001.
- CNES. OSTM/Jason-2 products handbook. **Issue**, v. 1, p. 29–1237, 2008.
- CPRM. **RELATÓRIO ANUAL 2002**. 2002.
- DAVIS, C. H. Satellite radar altimetry. **Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on**, v. 40, n. 6, p. 1070–1076, 1992.
- DAVIS, C. H. A robust threshold retracking algorithm for measuring ice-sheet surface elevation change from satellite radar altimeters. , v. 35, n. 4, p. 974–979, 1997.

DESJONQUERES, J. D.; CARAYON, G.; STEUNOU, N.; LAMBIN, J. Poseidon-3 Radar Altimeter: New Modes and In-Flight Performances. **Marine Geodesy**, v. 33, p. 53–79, 2010.

ENJOLRAS, V.; VINCENT, P.; SOUYRIS, J. C.; ET AL.. Performances study of interferometric radar altimeters: from the instrument to the global mission definition. **Sensors**, v. 6, n. 3, p. 164–192, 2006.

ENJOLRAS, V. M.; RODRIGUEZ, E. Using altimetry waveform data and ancillary information from SRTM, Landsat, and MODIS to retrieve river characteristics. **Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on**, v. 47, n. 6, p. 1869–1881, 2009.

ENVISAT. **ENVISAT RA2/MWR Products Handbook**. Number PO-TNESR6RA-0050, European Space Agency, ESRIN, Frascati, Italy, .

EUMETSAT - HOME. .Disponível em: <<http://www.eumetsat.int/Home/index.htm>>. Acesso em: 28/03/2009.

FRAPPART, F.; CALMANT, S.; CAUHOPÉ, M.; SEYLER, F.; CAZENAVE, A. Preliminary results of ENVISAT RA-2-derived water levels validation over the Amazon Basin. **Remote sensing of environment**, v. 100, n. 2, p. 252–264, 2006.

FRAPPART, F.; MINH, K. D.; ET AL.. Water volume change in the lower Mekong from satellite altimetry and imagery data. **Geophysical Journal International**, v. 167, n. 2, p. 570–584, 2006.

FU, L. L.; CHRISTENSEN, E.; YAMARONE JR, C.; ET AL.. TOPEX/POSEIDON mission overview. , 1994.

GETIRANA, A. C. Integrating spatial altimetry data into the automatic calibration of hydrological models. **Journal of Hydrology**, 2010.

HAYNE, G. Radar altimeter mean return waveforms from near-normal-incidence ocean surface scattering. **Antennas and Propagation, IEEE Transactions on**, v. 28, n. 5, p. 687–692, 1980.

IPCC. **Climate Change 2007: the physical science basis: contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge Univ Pr, 2007.

JAYLES, C.; CHAUVEAU, J. P.; ROZO, F. DORIS/Jason-2: Better than 10 CM On-Board orbits available for Near-Real-Time Altimetry. **Advances in Space Research**, 2010.

JUNG, H. C.; HAMSKI, J.; DURAND, M.; ET AL.. Characterization of complex fluvial systems using remote sensing of spatial and temporal water level variations in the Amazon, Congo, and Brahmaputra Rivers. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 35, n. 3, p. 294–304, 2010.

- KOBLINSKY, C. J.; CLARKE, R. T.; BRENNER, A. C.; FREY, H. Measurement of river level variations with satellite altimetry. **Water Resources Research**, v. 29, n. 6, p. 1839–1848, 1993.
- KOURAEV, A. V.; KOSTIANOY, A. G.; LEBEDEV, S. A. Ice cover and sea level of the Aral Sea from satellite altimetry and radiometry (1992-2006). **Journal of Marine Systems**, v. 76, n. 3, p. 272–286, 2009.
- LE TRAON, P. Y.; GASPAR, P.; BOUYSSSEL, F.; MAKHMARA, H. Using Topex/Poseidon data to enhance ERS-1 data. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 12, n. 1, p. 161–170, 1995.
- LEE, H.; SHUM, C. K.; YI, Y.; ET AL.. Louisiana wetland water level monitoring using retracked TOPEX/POSEIDON altimetry. **Marine Geodesy**, v. 32, n. 3, p. 284–302, 2009.
- LEGRESY, B.; PAPA, F.; REMY, F.; ET AL.. ENVISAT radar altimeter measurements over continental surfaces and ice caps using the ICE-2 retracking algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, n. 2, p. 150–163, 2005.
- LEON, J. G.; CALMANT, S.; SEYLER, F.; ET AL.. Rating curves and estimation of average water depth at the upper Negro River based on satellite altimeter data and modeled discharges. **Journal of Hydrology**, v. 328, n. 3-4, p. 481–496, 2007.
- LIPA, B. J.; BARRICK, D. E. Ocean surface height-slope probability density function from SEASAT altimeter echo. **Journal of Geophysical Research**, v. 86, n. C11, p. 10921, 1981.
- MACARTHUR, J. L. Seasat-A radar altimeter design description. **Applied Physics Laboratory Report SDO-5232, John Hopkins University, Baltimore**, 1978.
- MCGOOGAN, J. T. Satellite altimetry applications. **Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on**, v. 23, n. 12, p. 970–978, 1975.
- MCGOOGAN, J. T.; MILLER, L. S.; BROWN, G. S.; HAYNE, G. S. The S-193 radar altimeter experiment. **Proceedings of the IEEE**, v. 62, n. 6, p. 793–803, 1974.
- MÉNARD, Y.; FU, L. L.; ESCUDIER, P.; ET AL.. The Jason-1 Mission Special Issue: Jason-1 Calibration/Validation. **Marine Geodesy**, v. 26, n. 3, p. 131–146, 2003.
- MERCIER, F.; DIBARBOURE, G.; DUFAU, C.; ET AL.. The PISTACH project for coastal altimetry: status, products and early results. In: Poster Seattle, 2008.
- MILLER, L. S. Topographic and backscatter characteristics of Geos 3 overland data. **Journal of Geophysical Research**, v. 84, n. B8, p. 4045–4054, 1979.
- MOORE, R. K.; WILLIAMS, C. S. Radar terrain return at near-vertical incidence. **Proceedings of the IRE**, v. 45, n. 2, p. 228–238, 1957.

MOREIRA, D. M. **Rede de Referência Altimétrica para Avaliação da Altimetria por Satélites e Estudos Hidrológicos na Região Amazônica.**, 2010. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

NAGHETTINI, M.; DE ANDRADE PINTO, É. J. **Hidrologia estatística**. CPRM, 2007.

REES, G. **Physical principles of remote sensing**. Cambridge Univ Pr, 2001.

ROSMORDUC, V.; BENVENISTE, J.; LAURET, O.; MILAGRO, M.; PICOT, N. **Radar Altimetry Tutorial**. Toulouse, France: ESA, CNES, 2006.

ROUX, E.; SANTOS DA SILVA, J.; CESAR VIEIRA GETIRANA, A.; ET AL.. Producing time series of river water height by means of satellite radar altimetry—a comparative study. **Hydrological Sciences Journal**, v. 55, n. 1, p. 104–120, 2010.

RUFFINI, G.; CARDELLACH, E.; FLORES, A.; CUCURULL, L.; RIUS, A. Ionospheric calibration of radar altimeters using GPS tomography. **Geophysical Research Letters**, v. 25, n. 20, p. 3771–3774, 1998.

SARDON, E.; RIUS, A.; ZARRAOA, N. Estimation of the transmitter and receiver differential biases and the ionospheric total electron content from Global Positioning System observations. **Radio Science**, v. 29, n. 3, p. 577–586, 1994.

SILVA, J. S. D.; CALMANT, S.; SEYLER, F.; ET AL.. Water levels in the Amazon basin derived from the ERS 2 and ENVISAT radar altimetry missions. **Remote Sensing of Environment**, 2010.

STANLEY, H. R. The GEOS 3 project. **Journal of Geophysical Research**, v. 84, n. B8, p. 3779–3783, 1979.

THIBAUT, P.; AMAROUCHE, L.; ZANIFE, O. Z.; ET AL.. Jason-1 altimeter ground processing look-up correction tables. **Marine Geodesy**, v. 27, n. 3, p. 409–431, 2004.

TOPEX/POSEIDON, A. U. Merged Topex/Poseidon Products. **AVISO, Toulouse**, 1996.

TOWNSEND, W. An initial assessment of the performance achieved by the Seasat-1 radar altimeter. **Oceanic Engineering, IEEE Journal of**, v. 5, n. 2, p. 80–92, 1980.

ULABY, F. T.; MOORE, R. K.; FUNG, A. K. Microwave Remote Sensing: Active and Passive, vol. 1, Microwave Remote Sensing Fundamentals and Radiometry, 456 pp. **Artech House, Inc., Norwood, NJ**, 1981.

VALS Tool (2009). Virtual ALtimetry Station. Version 0.5.7. August 2009. http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/logiciels_test.php.

WEHR, T.; ATTEMA, E. Geophysical validation of ENVISAT data products. **Advances in Space Research**, v. 28, n. 1, p. 83–91, 2001.

ZELLI, C.; AEROSPAZIO, A. ENVISAT RA-2 advanced radar altimeter: Instrument design and pre-launch performance assessment review. **Acta Astronautica**, v. 44, n. 7-12, p. 323–333, 1999.

ZIEGER, A. R.; HANCOCK, D. W.; HAYNE, G. S.; PURDY, C. L. NASA radar altimeter for the TOPEX/POSEIDON project. **Proceedings of the IEEE**, v. 79, n. 6, p. 810–826, 1991.

ANEXO A - Síntese dos Métodos de Construção de Estações Virtuais Testados

- Aqua Quartil

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: Aqua

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Quartil

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/Aqua Quartil)

- Aqua Média Aritmética

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite (seção)

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: Aqua

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Média Aritmética

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/Aqua Média Aritmética)

- Aqua Mediana

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: Aqua

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Mediana

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/Aqua Mediana)

- AGC Aqua Mediana

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: AGC e Aqua

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Mediana

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/AGC Aqua Mediana)

- AGC Aqua Média Aritmética

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: AGC e Aqua

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Média Aritmética

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/AGC Aqua Média Aritmética)

- AGC Aqua Quartil

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: AGC e Aqua

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Quartil

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/AGC Aqua Quartil)

- AGC Média Aritmética

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: AGC

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Média Aritmética

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/AGC Média Aritmética)

- AGC Mediana

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: AGC

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Mediana

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/AGC Mediana)

- Aqua AGC Mediana

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: Aqua e AGC

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Mediana

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/Aqua AGC Mediana)

- Aqua AGC Média Aritmética

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: Aqua e AGC

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Média Aritmética

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/Aqua AGC Média Aritmética)

- Média Aritmética

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: não tem

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Média Aritmética

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/Media Aritmética)

- Mediana

Dados de Entrada:

Dados providos do satélite

Construção da estação virtual:

Seleção dos dados

Filtragem dos dados: não tem

Estimação da altura da superfície do corpo aquoso: Mediana

Filtro de eliminação de desvios extremos

Resultado

Série temporal Jason-2 (Ice3/Mediana)

ANEXO B - Estação Boa Vista

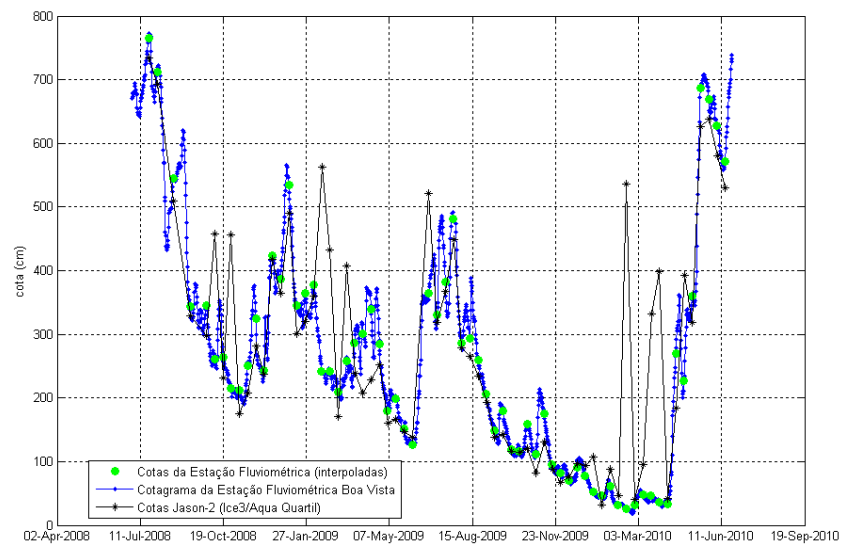


Figura B.1 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Boa Vista

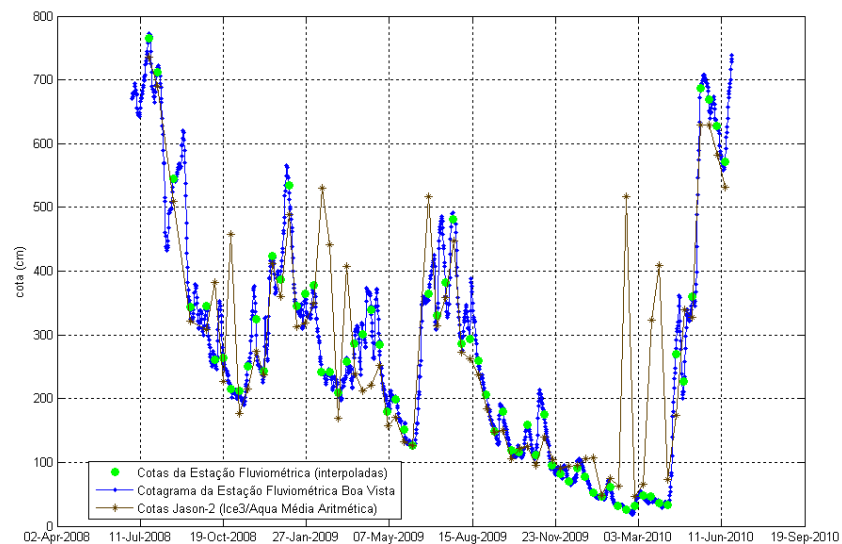


Figura B.2 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Boa Vista

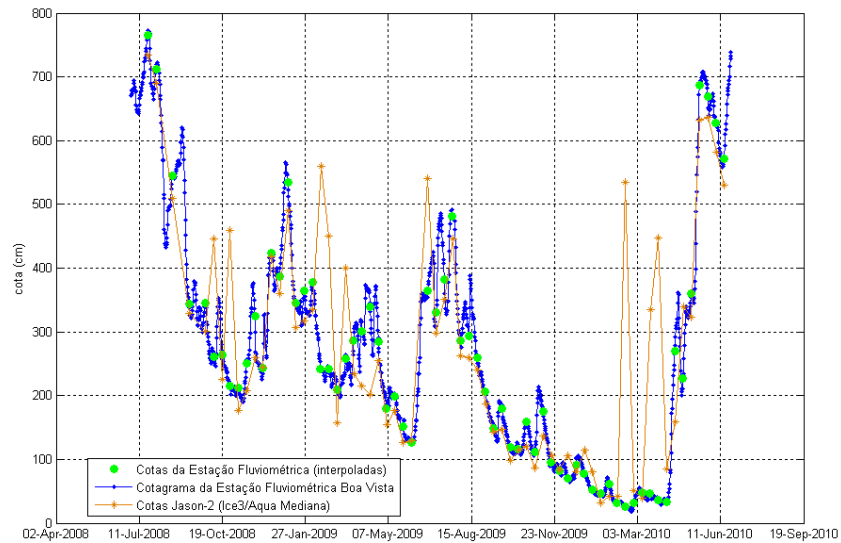


Figura B.3 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Boa Vista

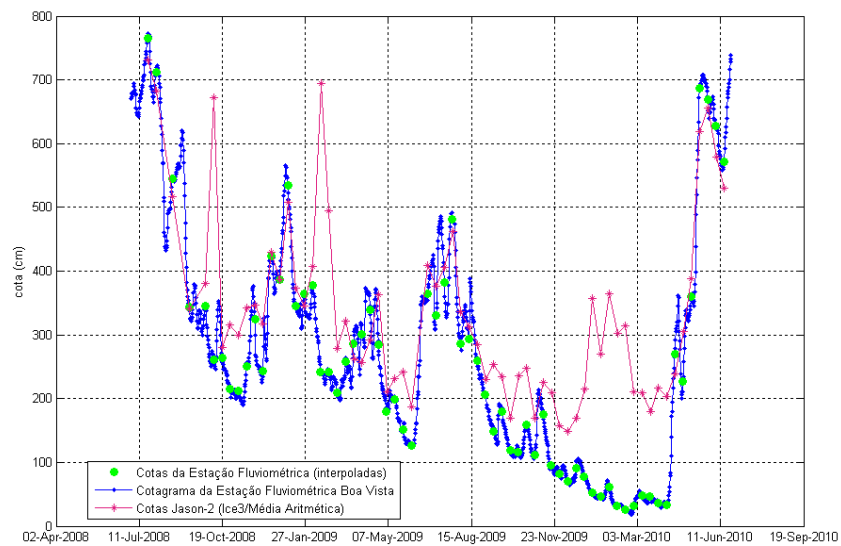


Figura B.4 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Média Aritmética) e da estação fluviométrica Boa Vista

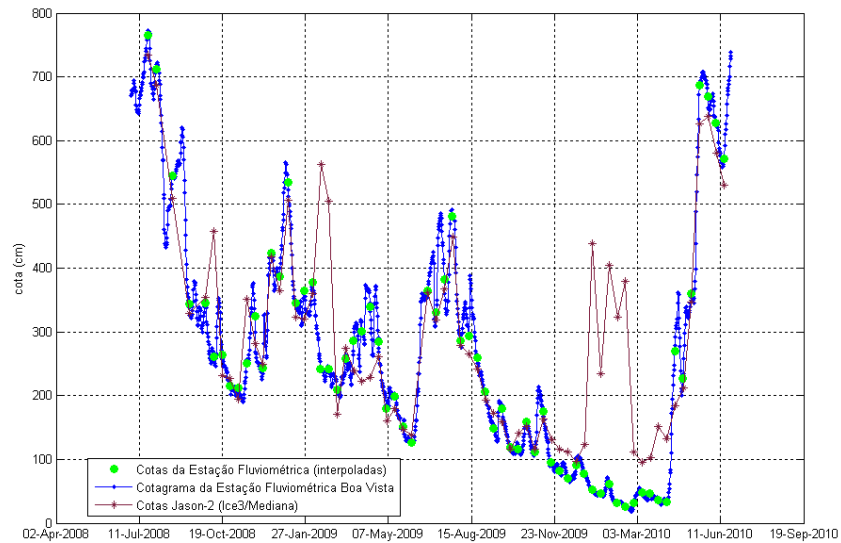


Figura B.5 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Mediana) e da estação fluviométrica Boa Vista

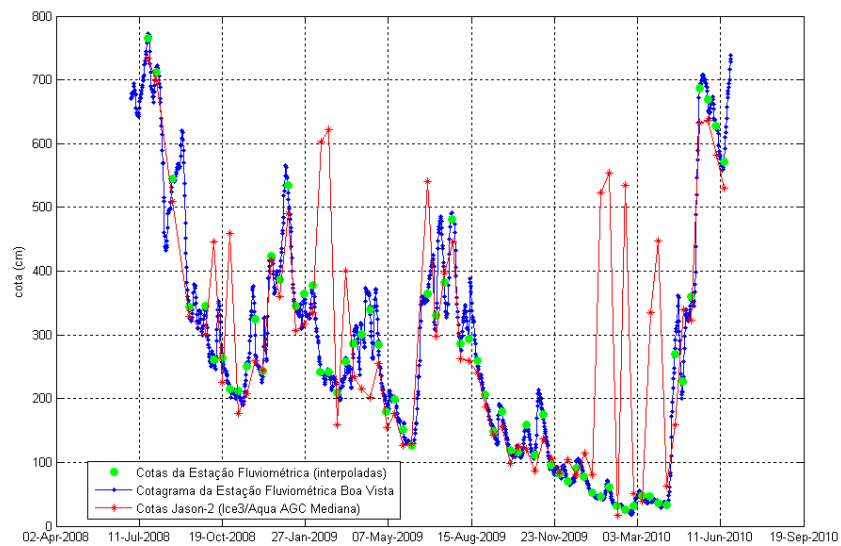


Figura B.6 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Boa Vista

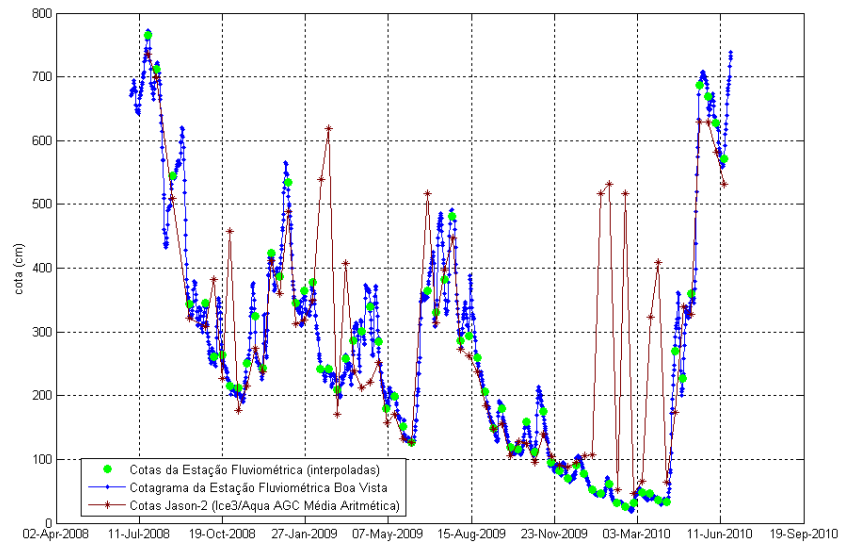


Figura B.7 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Boa Vista

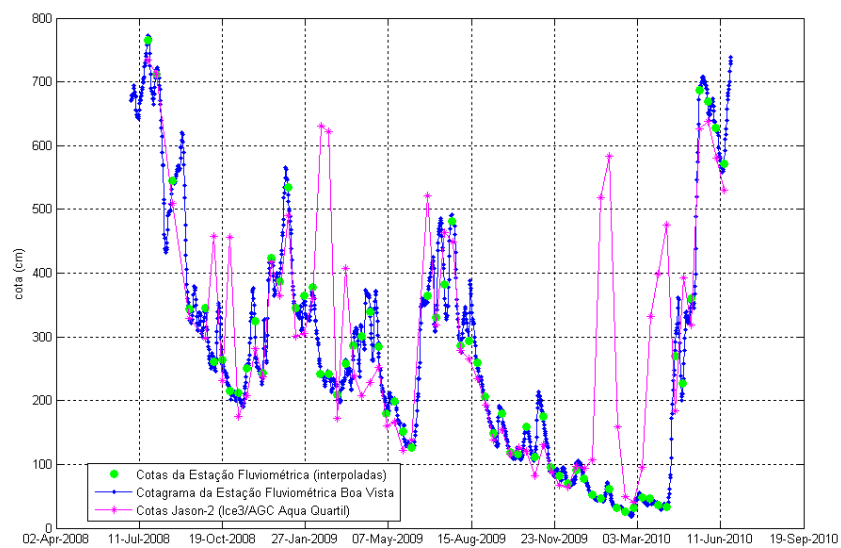


Figura B.8 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Boa Vista

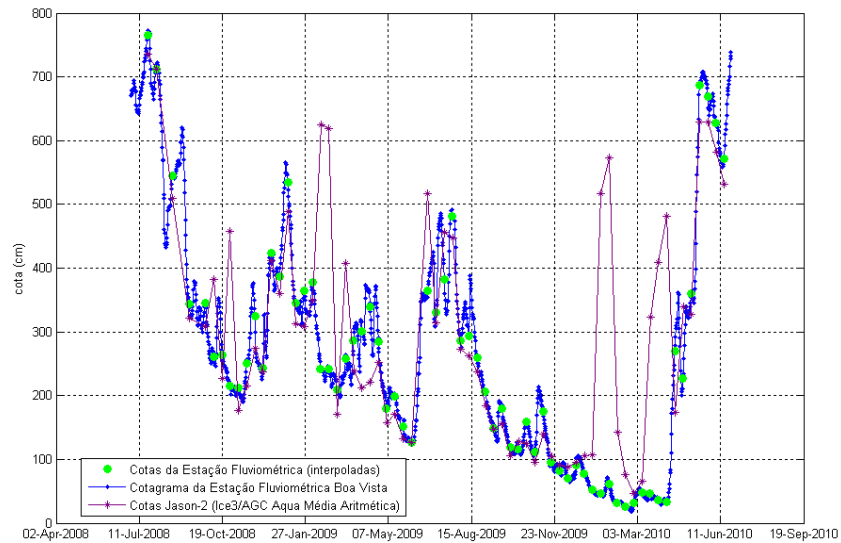


Figura B.9 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Boa Vista

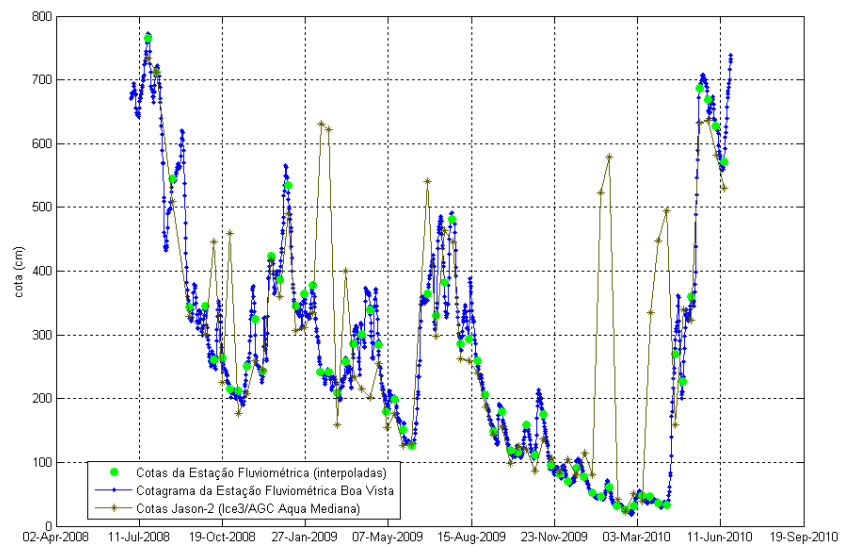


Figura B.10 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Boa Vista

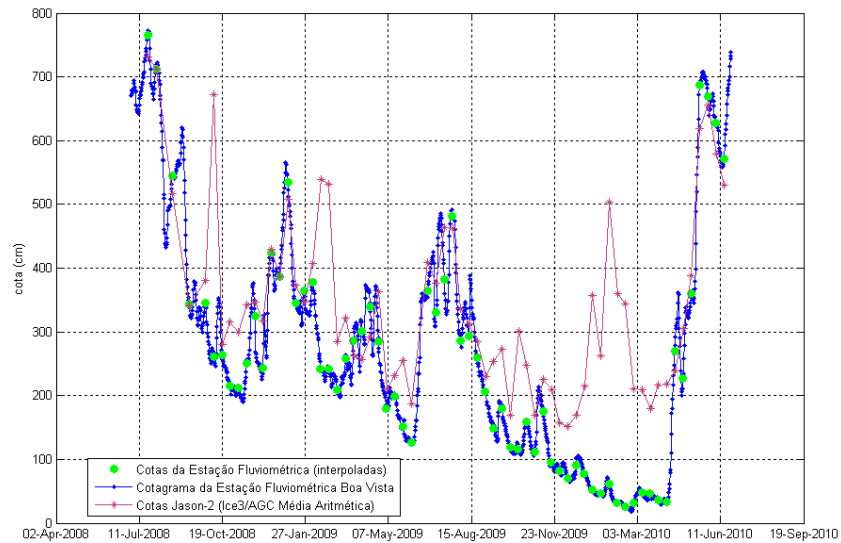


Figura B.11 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Boa Vista

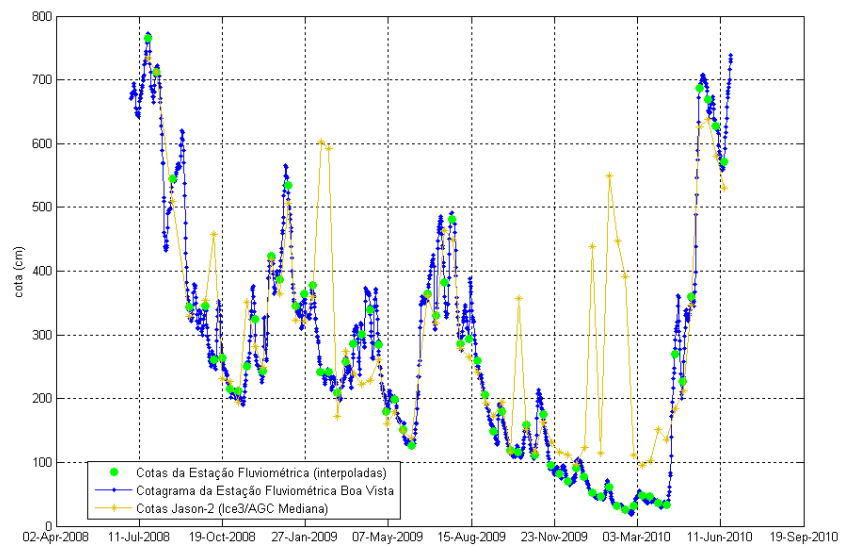


Figura B.12 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Mediana) e da estação fluviométrica Boa Vista

Tabela B.1 – Etapas a e b do procedimento de validação relativa na estação Boa Vista

Estação Boa Vista	Erro médio quadrático da amostra de resíduos total da estação						Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com IC 95%		
	Número de ciclos	Número de combinações	Média	Mediana	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
1 Aqua Quartil	67	2211	15,8	8,9	0,53	159,4	2021	-0,07	105,1
2 Aqua Média Aritmética	67	2211	18,2	10,8	0,57	152,8	2023	-0,02	99,5
3 Aqua Mediana	67	2211	16,1	8,9	0,57	164,3	2028	-0,06	108,3
4 Média Aritmética	67	2211	19,9	27,4	-0,52	152,5	2049	0,05	117,3
5 Mediana	67	2211	24,4	13,2	0,22	152,9	1959	0,29	98,2
6 Aqua AGC Mediana	67	2211	29,0	10,5	0,39	207,7	1948	0,39	130,0
7 Aqua AGC Média Aritmética	67	2211	30,7	12,2	0,41	195,4	1977	0,37	126,6
8 AGC Aqua Quartil	67	2211	31,5	11,4	0,31	203,6	1967	0,51	135,7
9 AGC Aqua Média Aritmética	67	2211	33,0	12,3	0,33	199,9	1964	0,65	130,6
10 AGC Aqua Mediana	67	2211	29,5	10,7	0,36	207,7	1941	0,47	129,6
11 AGC Média Aritmética	67	2211	25,4	28,0	-0,21	156,7	2044	0,02	122,4
12 AGC Mediana	67	2211	26,7	14,0	0,28	178,9	1941	0,33	107,5

Tabela B.2 - Etapa c.7 do procedimento de validação relativa na estação Boa Vista

Boa Vista	lim1	lim2	lim3	lim4	dif 1	dif 2
1 Aqua Quartil	-53,2	69,5	-46,8	63,9	-6,4	-5,6
2 Aqua Média Aritmética	-53,5	77,7	-43,6	71,4	-9,9	-6,3
3 Aqua Mediana	-47,6	63,8	-42,5	60,1	-5,1	-3,7
4 Média Aritmética	-139,8	194,3	-125,4	177,0	-14,5	-17,4
5 Mediana	-69,3	90,7	-60,7	84,2	-8,7	-6,5
6 Aqua AGC Mediana	-52,3	70,0	-46,9	66,1	-5,3	-3,9
7 Aqua AGC Média Aritmética	-54,2	75,8	-44,7	69,5	-9,5	-6,4
8 AGC Aqua Quartil	-58,4	70,3	-52,5	65,2	-5,9	-5,1
9 AGC Aqua Média Aritmética	-54,4	71,3	-46,5	66,1	-7,9	-5,2
10 AGC Aqua Mediana	-54,2	71,8	-48,4	66,7	-5,8	-5,1
11 AGC Média Aritmética	-140,5	194,6	-126,9	177,2	-13,6	-17,4
12 AGC Mediana	-79,5	103,1	-68,9	95,7	-10,6	-7,4

Tabela B.3 – Cotas da estação fluviométrica Boa Vista interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação.

Estação Fluviométrica Boa Vista							
ciclo	data (dia/mês/ano)			hora (hh:mm:ss)			cota (cm)
1	21	7	2008	6	40	40	765,9
2	31	7	2008	4	39	12	712,3
4	20	8	2008	0	36	15	544,6
6	8	9	2008	20	33	19	344,5
8	28	9	2008	16	30	22	345,0
9	8	10	2008	14	28	54	261,5
10	18	10	2008	12	27	26	264,4
11	28	10	2008	10	25	58	215,3
12	7	11	2008	8	24	29	211,9
13	17	11	2008	6	23	0	251,4
14	27	11	2008	4	21	31	324,6
15	7	12	2008	2	20	3	243,3
16	17	12	2008	0	18	34	423,3
17	26	12	2008	22	17	6	386,3
18	5	1	2009	20	15	37	534,5
19	15	1	2009	18	14	9	345,6

Tabela B.3 – Cotas da estação fluviométrica Boa Vista interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação (continuação).

20	25	1	2009	16	12	41	363,9
21	4	2	2009	14	11	13	377,4
22	14	2	2009	12	9	45	242,0
23	24	2	2009	10	8	17	241,4
24	6	3	2009	8	6	49	209,8
25	16	3	2009	6	5	20	258,4
26	26	3	2009	4	3	51	285,8
27	5	4	2009	2	2	22	300,7
28	15	4	2009	0	0	53	339,0
29	24	4	2009	21	59	24	284,7
30	4	5	2009	19	57	55	180,0
31	14	5	2009	17	56	27	198,9
32	24	5	2009	15	54	59	151,8
33	3	6	2009	13	53	31	126,6
35	23	6	2009	9	50	34	363,9
36	3	7	2009	7	49	6	330,1
37	13	7	2009	5	47	37	382,4
38	23	7	2009	3	46	9	481,4
39	2	8	2009	1	44	40	285,9
40	11	8	2009	23	43	12	293,9
41	21	8	2009	21	41	43	260,2
42	31	8	2009	19	40	15	205,6
43	10	9	2009	17	38	46	147,9
44	20	9	2009	15	37	18	180,3
45	30	9	2009	13	35	50	119,7
46	10	10	2009	11	34	22	115,6
47	20	10	2009	9	32	54	159,4
48	30	10	2009	7	31	25	112,3
49	9	11	2009	5	29	56	175,4
50	19	11	2009	3	28	27	95,5
51	29	11	2009	1	26	59	82,8
52	8	12	2009	23	25	30	69,5
53	18	12	2009	21	24	1	91,0
54	28	12	2009	19	22	34	77,7
55	7	1	2010	17	21	5	53,0
56	17	1	2010	15	19	37	46,2
57	27	1	2010	13	18	9	60,7
58	6	2	2010	11	16	41	31,6
59	16	2	2010	9	15	13	25,8
60	26	2	2010	7	13	44	32,0
61	8	3	2010	5	12	16	48,3
62	18	3	2010	3	10	47	46,8
63	28	3	2010	1	9	18	36,8
64	6	4	2010	23	7	49	34,0
65	16	4	2010	21	6	20	269,8
66	26	4	2010	19	4	52	226,3
67	6	5	2010	17	3	23	360,0
68	16	5	2010	15	1	55	687,4
69	26	5	2010	13	0	26	669,2
70	5	6	2010	10	58	58	627,6
71	15	6	2010	8	57	30	571,2

Tabela B.4 – Alturas elipsoidais da estação Boa Vista com os métodos de filtragem
Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Boa Vista							
Ciclo	Aqua Quartil (cm)	Ciclo	Aqua Média Aritmética (cm)	Ciclo	Aqua Mediana (cm)	ciclo	Média Aritmética (cm)
1	5003,7	1	5005,8	1	5004,9	1	5000,8
2	4962,6	2	4960,2	2	4959,9	2	4952,8
4	4779,4	4	4779,1	4	4779,1	4	4787,3
6	4598,9	6	4591,2	6	4598,4	6	4610,9
8	4568,4	8	4579	8	4570,9	8	4650,1
9	4727,9	9	4652,5	9	4715,6	9	4941,4
10	4501,4	10	4496,8	10	4494,8	10	4550,4
11	4726,4	11	4727,5	11	4729,8	11	4585,9
12	4445,3	12	4446	12	4446,8	12	4569,4
13	4478,1	13	4485,5	13	4478,1	13	4611,6
14	4551,8	14	4544,1	14	4529,8	14	4616,6
15	4507,8	15	4506,8	15	4515,1	15	4587,6
16	4688,4	16	4681,6	16	4687,9	16	4699,5
17	4634	17	4630,1	17	4629,4	17	4656,4
18	4759,6	18	4758,8	18	4760,3	18	4777,7
19	4571,4	19	4582,2	19	4577,5	19	4643,4
20	4590,4	20	4588,4	20	4586,8	20	4615,4
21	4629,7	21	4619,7	21	4605,4	21	4677,7
22	4833,3	22	4799,7	22	4829,4	22	4965
23	4701,9	23	4711,2	23	4720,2	23	4764,7
24	4440,5	24	4439,7	24	4428,2	24	4549,1
25	4676,7	25	4677,6	25	4670,1	25	4591,5
26	4508,7	26	4508,8	26	4504,4	26	4532,6
27	4477,9	27	4482,3	27	4485,2	27	4526,8
28	4498,3	28	4491,7	28	4472,1	28	4562,7
29	4522	29	4522,4	29	4525,4	29	4633,2
30	4429,9	30	4427,9	30	4424,5	30	4481
31	4436,4	31	4441,5	31	4447,2	31	4501,9
32	4417,2	32	4402,3	32	4396,8	32	4512,5
33	4407,7	33	4397,1	33	4398,9	33	4457,2
35	4791,6	35	4786,4	35	4810,2	35	4678,9
36	4588,5	36	4584,6	36	4567,9	36	4646,5
37	4637,7	37	4629,3	37	4621,4	37	4675,2
38	4718,6	38	4717,7	38	4715,4	38	4731,8
39	4548,7	39	4543,4	39	4533,1	39	4606,8
40	4535	40	4532	40	4529,6	40	4582,7
41	4504,2	41	4506,7	41	4510,2	41	4555,1
42	4463,2	42	4454,4	42	4457,7	42	4500,6
43	4408,6	43	4417,5	43	4413,3	43	4523,3
44	4412,5	44	4420,1	44	4416,6	44	4504,7
45	4386,2	45	4376,1	45	4367,7	45	4438,7
46	4384	46	4392,6	46	4384	46	4505,9
47	4390,7	47	4394,5	47	4391	47	4517,2
48	4352,4	48	4364,8	48	4356,2	48	4439,9
49	4401,4	49	4409,8	49	4407,4	49	4495,5

Tabela B.4 – Alturas elipsoidais da estação Boa Vista com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética (continuação).

50	4357,6	50	4374	50	4375,7	50	4479,6
51	4337,5	51	4360,3	51	4353,2	51	4427,3
52	4346,1	52	4363,8	52	4376	52	4419,2
53	4367,5	53	4365,7	53	4350,7	53	4439,2
54	4364,3	54	4376,4	54	4385,2	54	4485,4
55	4377,5	55	4377,8	55	4350,5	55	4627,2
56	4301,9	56	4318,3	56	4301,9	56	4539,7
57	4358,1	57	4344,2	57	4311,8	57	4634,1
58	4315,9	58	4332,5	58	4312,8	58	4573
59	4805,8	59	4787,1	59	4804,4	59	4584,3
60	4310,6	60	4316,4	60	4321,1	60	4480,4
61	4365,5	61	4335,9	61	4309,2	61	4478,6
62	4602,6	62	4592,7	62	4604,7	62	4449,7
63	4668,6	63	4678,8	63	4717,5	63	4485,9
64	4311,8	64	4343,2	64	4354,6	64	4473,2
65	4454,5	65	4443,8	65	4428,8	65	4509
66	4662,1	66	4609,3	66	4609,3	66	4574,7
67	4589,2	67	4597,8	67	4593,1	67	4657,9
68	4896,8	68	4899,2	68	4901,7	68	4889,2
69	4907,7	69	4899,5	69	4906,7	69	4925,7
70	4850,9	70	4851,5	70	4851,4	70	4849,2
71	4799,6	71	4801,3	71	4799,6	71	4800,4

Tabela B.5 – Alturas elipsoidais da estação Boa Vista com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Boa Vista							
ciclo	Mediana (cm)	Ciclo	Aqua AGC Mediana (cm)	Ciclo	Aqua AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Aqua Quartil (cm)
1	5003,7	1	5004,9	1	5005,8	1	5003,7
2	4956,5	2	4968,4	2	4968,4	2	4982,5
4	4779,4	4	4779,1	4	4779,1	4	4779,4
6	4598,9	6	4598,4	6	4591,2	6	4598,9
8	4624,4	8	4570,9	8	4579	8	4568,4
9	4727,9	9	4715,6	9	4652,5	9	4727,9
10	4501,4	10	4494,8	10	4496,8	10	4501,4
11	4497,4	11	4729,8	11	4727,5	11	4726,4
12	4464	12	4446,8	12	4446	12	4445,3
13	4620,7	13	4478,1	13	4485,5	13	4478,1
14	4551,8	14	4529,8	14	4544,1	14	4551,8
15	4519,9	15	4515,1	15	4506,8	15	4507,8
16	4688,4	16	4687,9	16	4681,6	16	4688,4
17	4634	17	4629,4	17	4630,1	17	4634
18	4777,2	18	4760,3	18	4758,8	18	4759,6
19	4593,8	19	4577,5	19	4582,2	19	4571,4

Tabela B.5 – Alturas elipsoidais da estação Boa Vista com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil (continuação).

20	4590,4	20	4586,8	20	4589,2	20	4575,9
21	4629,7	21	4605,4	21	4619,7	21	4629,7
22	4833,3	22	4872,2	22	4808,6	22	4901,4
23	4774,4	23	4891,8	23	4888,8	23	4892,5
24	4440,5	24	4429,4	24	4440,9	24	4441,6
25	4543,9	25	4670,1	25	4677,6	25	4676,7
26	4508,7	26	4504,4	26	4508,8	26	4508,7
27	4492,2	27	4485,2	27	4482,3	27	4477,9
28	4498,3	28	4472,1	28	4491,7	28	4498,3
29	4531,4	29	4525,4	29	4522,4	29	4522
30	4429,9	30	4424,5	30	4427,9	30	4429,9
31	4449,1	31	4447,2	31	4441,5	31	4436,4
32	4417,2	32	4396,8	32	4402,8	32	4391,3
33	4407,7	33	4398,9	33	4397,1	33	4407,7
35	4630,9	35	4810,2	35	4786,4	35	4791,6
36	4588,5	36	4567,9	36	4584,6	36	4588,5
37	4637,7	37	4667,1	37	4667,6	37	4734
38	4718,6	38	4715,4	38	4717,7	38	4718,6
39	4548,7	39	4533,1	39	4543,4	39	4548,7
40	4535	40	4529,6	40	4532	40	4535
41	4512,2	41	4510,2	41	4506,7	41	4504,2
42	4463,2	42	4457,7	42	4454,4	42	4463,2
43	4441,6	43	4413,3	43	4417,5	43	4408,6
44	4428,3	44	4425,3	44	4425,3	44	4424
45	4386,2	45	4367,7	45	4376,1	45	4386,2
46	4410,6	46	4395,5	46	4397,5	46	4396,4
47	4421,3	47	4391	47	4394,5	47	4390,7
48	4386	48	4356,2	48	4364,8	48	4352,4
49	4433,3	49	4407,4	49	4409,8	49	4401,4
50	4400,6	50	4375,7	50	4374	50	4357,6
51	4386,5	51	4353,2	51	4360,3	51	4337,5
52	4381,7	52	4374,7	52	4357,8	52	4335
53	4367,5	53	4350,7	53	4365,7	53	4367,5
54	4393,2	54	4385,2	54	4376,4	54	4364,3
55	4707,8	55	4350,5	55	4377,8	55	4377,5
56	4504,5	56	4792,1	56	4787,2	56	4788,4
57	4674,6	57	4824,3	57	4801	57	4852,9
58	4592,9	58	4286,4	58	4323,2	58	4428,8
59	4649,5	59	4804,4	59	4787,1	59	4320,1
60	4381,1	60	4321,1	60	4316,4	60	4310,6
61	4365,5	61	4309,2	61	4335,9	61	4365,5
62	4373,2	62	4604,7	62	4592,7	62	4602,6
63	4422,2	63	4717,5	63	4678,8	63	4668,6
64	4402,1	64	4333,2	64	4334,7	64	4745,9
65	4454,5	65	4428,8	65	4443,8	65	4454,5
66	4482,6	66	4609,3	66	4609,3	66	4662,1
67	4616,6	67	4593,1	67	4597,8	67	4589,2
68	4896,8	68	4901,7	68	4899,2	68	4896,8
69	4907,7	69	4906,7	69	4899,5	69	4907,7
70	4850,9	70	4851,4	70	4851,5	70	4850,9
71	4799,6	71	4799,6	71	4801,3	71	4799,6

Tabela B.6 – Alturas elipsoidais da estação Boa Vista com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Boa Vista							
ciclo	AGC Aqua Média Aritmética (cm)	Ciclo	AGC Aqua Mediana (cm)	Ciclo	AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Mediana (cm)
1	5005,8	1	5004,9	1	5000,8	1	5003,7
2	4982,5	2	4982,5	2	4982,5	2	4982,5
4	4779,1	4	4779,1	4	4787,3	4	4779,4
6	4591,2	6	4598,4	6	4610,9	6	4598,9
8	4579	8	4570,9	8	4650,1	8	4624,4
9	4652,5	9	4715,6	9	4941,4	9	4727,9
10	4496,8	10	4494,8	10	4550,4	10	4501,4
11	4727,5	11	4729,8	11	4585,9	11	4497,4
12	4446	12	4446,8	12	4569,4	12	4464
13	4485,5	13	4478,1	13	4611,6	13	4620,7
14	4544,1	14	4529,8	14	4616,6	14	4551,8
15	4506,8	15	4515,1	15	4587,6	15	4519,9
16	4681,6	16	4687,9	16	4699,5	16	4688,4
17	4630,1	17	4629,4	17	4656,4	17	4634
18	4758,8	18	4760,3	18	4777,7	18	4777,2
19	4582,2	19	4577,5	19	4643,4	19	4593,8
20	4578,3	20	4581,7	20	4616,6	20	4591,2
21	4619,7	21	4605,4	21	4677,7	21	4629,7
22	4894,2	22	4901,3	22	4808,6	22	4872,2
23	4888,8	23	4891,8	23	4800,9	23	4862,9
24	4440,9	24	4429,4	24	4554,1	24	4441,6
25	4677,6	25	4670,1	25	4591,5	25	4543,9
26	4508,8	26	4504,4	26	4532,6	26	4508,7
27	4482,3	27	4485,2	27	4526,8	27	4492,2
28	4491,7	28	4472,1	28	4562,7	28	4498,3
29	4522,4	29	4525,4	29	4633,2	29	4531,4
30	4427,9	30	4424,5	30	4481	30	4429,9
31	4441,5	31	4447,2	31	4501,9	31	4449,1
32	4402,8	32	4396,8	32	4525,1	32	4418,1
33	4397,1	33	4398,9	33	4457,2	33	4407,7
35	4786,4	35	4810,2	35	4678,9	35	4630,9
36	4584,6	36	4567,9	36	4646,5	36	4588,5
37	4726,5	37	4734	37	4733,5	37	4734
38	4717,7	38	4715,4	38	4731,8	38	4718,6
39	4543,4	39	4533,1	39	4606,8	39	4548,7
40	4532	40	4529,6	40	4582,7	40	4535
41	4506,7	41	4510,2	41	4555,1	41	4512,2
42	4454,4	42	4457,7	42	4500,6	42	4463,2
43	4417,5	43	4413,3	43	4523,3	43	4441,6
44	4425,3	44	4425,3	44	4543,1	44	4464,1
45	4376,1	45	4367,7	45	4438,7	45	4386,2
46	4397,5	46	4395,5	46	4570,8	46	4627,6
47	4394,5	47	4391	47	4517,2	47	4421,3

Tabela B.6 – Alturas elipsoidais da estação Boa Vista com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana (continuação).

48	4364,8	48	4356,2	48	4439,9	48	4386
49	4409,8	49	4407,4	49	4495,5	49	4433,3
50	4374	50	4375,7	50	4479,6	50	4400,6
51	4360,3	51	4353,2	51	4427,3	51	4386,5
52	4357,8	52	4374,7	52	4422,2	52	4381,7
53	4365,7	53	4350,7	53	4439,2	53	4367,5
54	4376,4	54	4385,2	54	4485,4	54	4393,2
55	4377,8	55	4350,5	55	4627,2	55	4707,8
56	4787,2	56	4792,1	56	4533,2	56	4385,3
57	4842,5	57	4848,5	57	4772,9	57	4819,1
58	4413	58	4312,8	58	4630,4	58	4717,2
59	4345,8	59	4293,2	59	4614,4	59	4661,2
60	4316,4	60	4321,1	60	4480,4	60	4381,1
61	4335,9	61	4309,2	61	4478,6	61	4365,5
62	4592,7	62	4604,7	62	4449,7	62	4373,2
63	4678,8	63	4717,5	63	4485,9	63	4422,2
64	4751,7	64	4764,5	64	4488,4	64	4405,6
65	4443,8	65	4428,8	65	4509	65	4454,5
66	4609,3	66	4609,3	66	4574,7	66	4482,6
67	4597,8	67	4593,1	67	4657,9	67	4616,6
68	4899,2	68	4901,7	68	4889,2	68	4896,8
69	4899,5	69	4906,7	69	4925,7	69	4907,7
70	4851,5	70	4851,4	70	4849,2	70	4850,9
71	4801,3	71	4799,6	71	4800,4	71	4799,6

ANEXO C - Estação Manaus

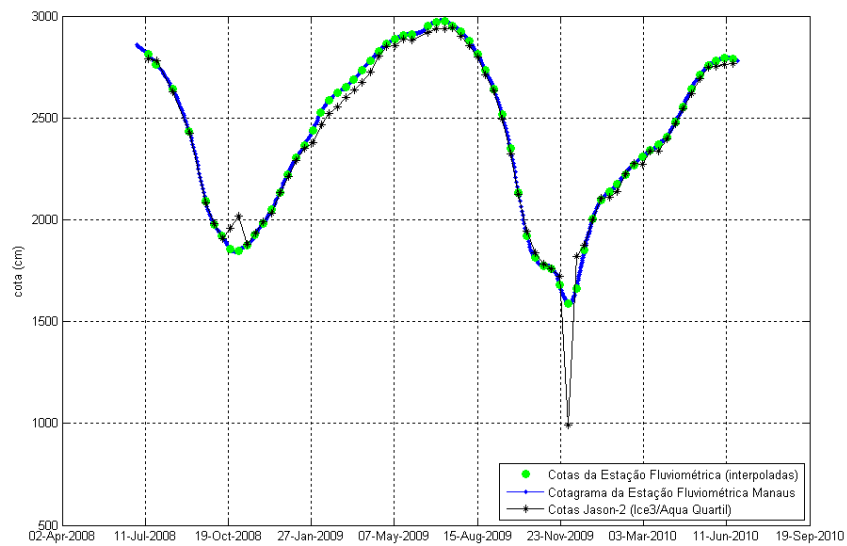


Figura C.1 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Manaus

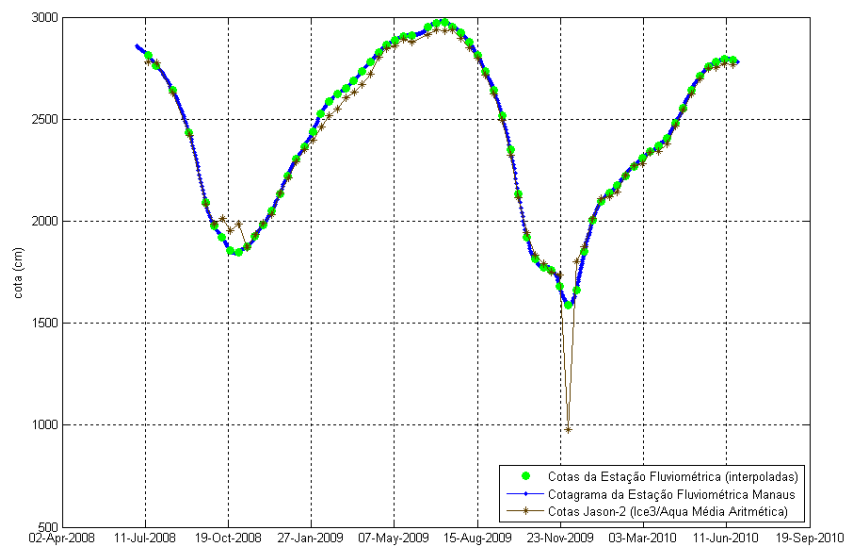


Figura C.2 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Manaus

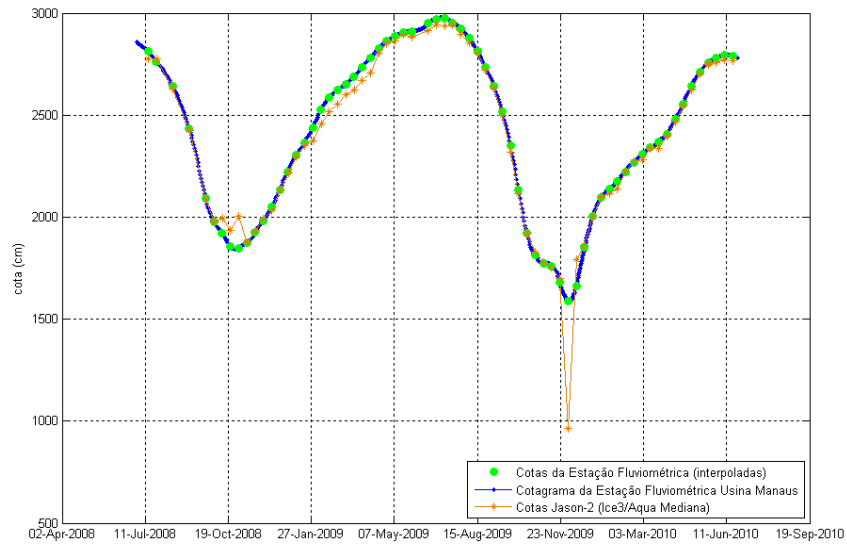


Figura C.3 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Manaus

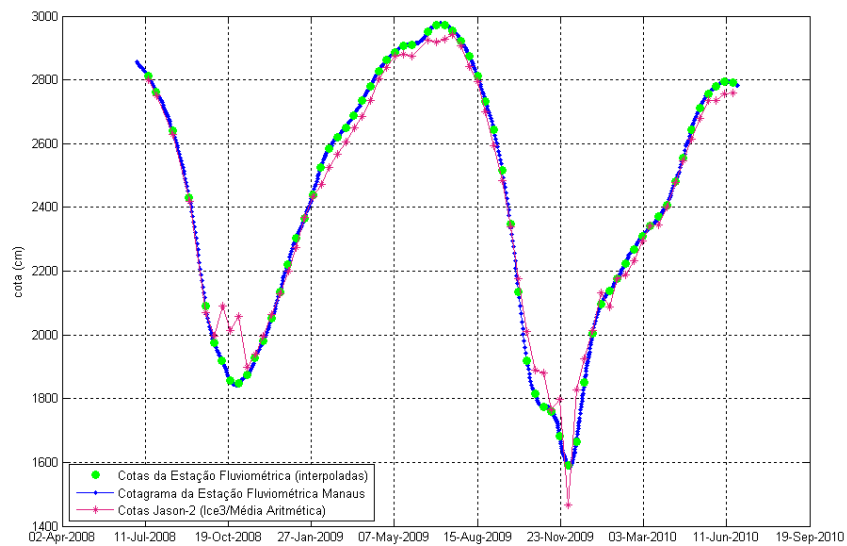


Figura C.4 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Média Aritmética) e da estação fluviométrica Manaus

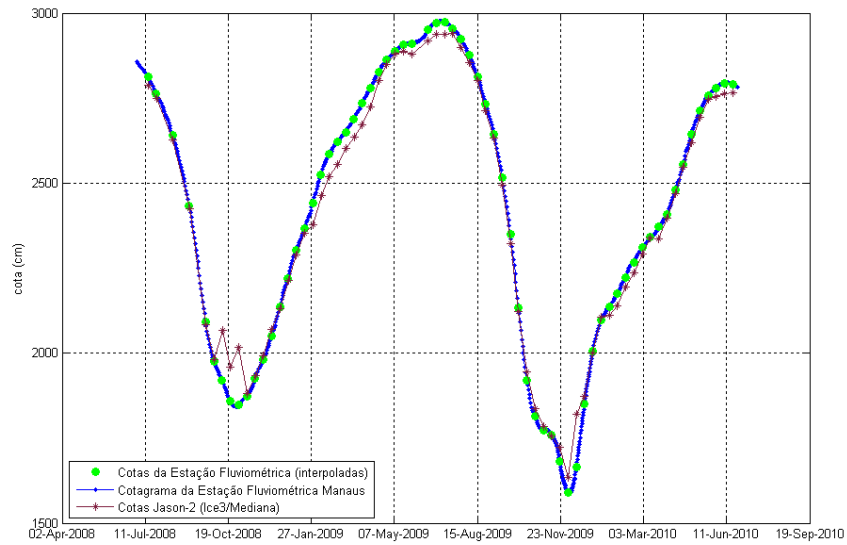


Figura C.5 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Mediana) e da estação fluviométrica Manaus

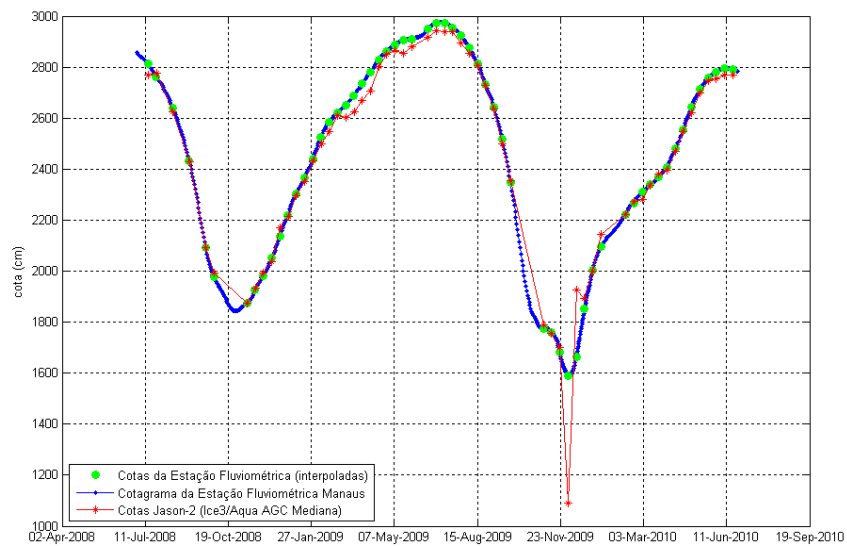


Figura C.6 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Manaus

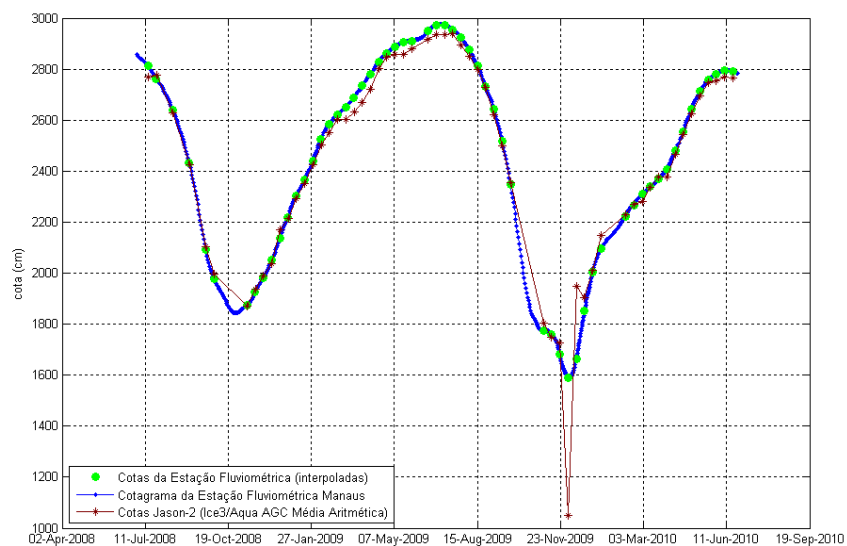


Figura C.7 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Média Aritmética) e da estação fluiométrica Manaus

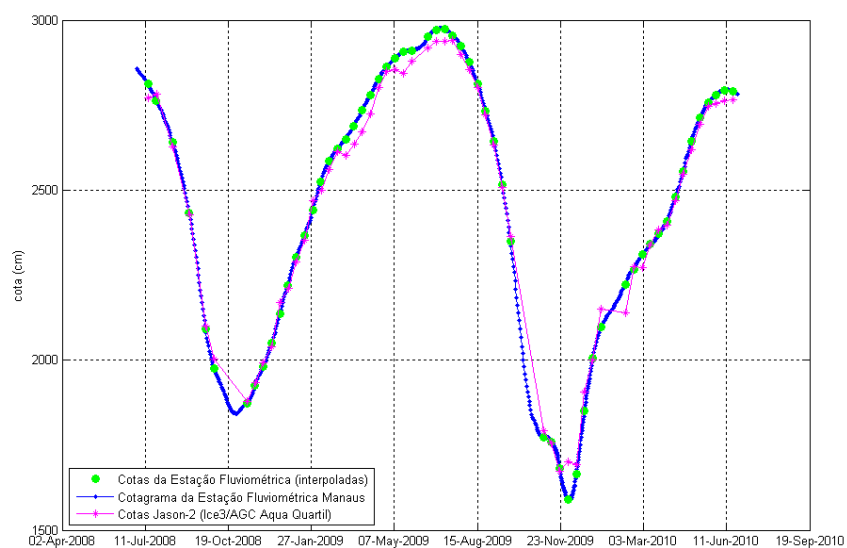


Figura C.8 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Quartil) e da estação fluiométrica Manaus

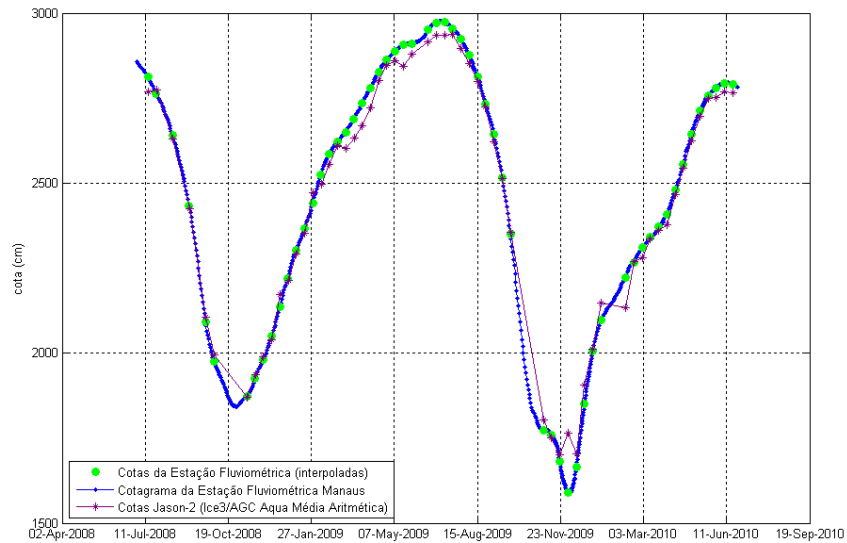


Figura C.9 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Manaus

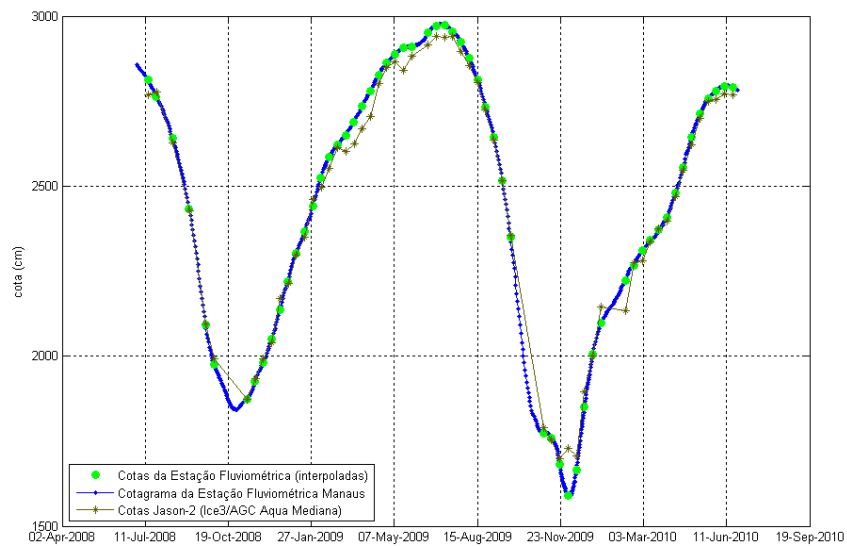


Figura C.10 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Manaus

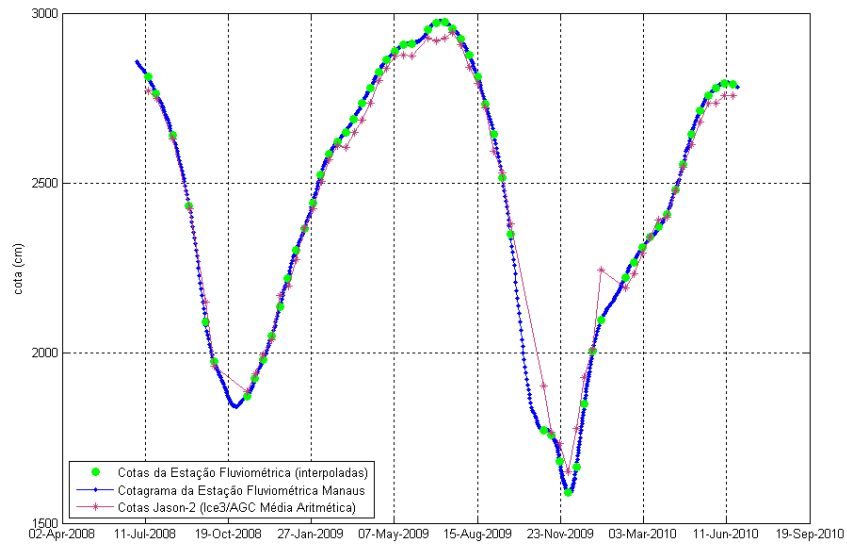


Figura C.11 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Manaus

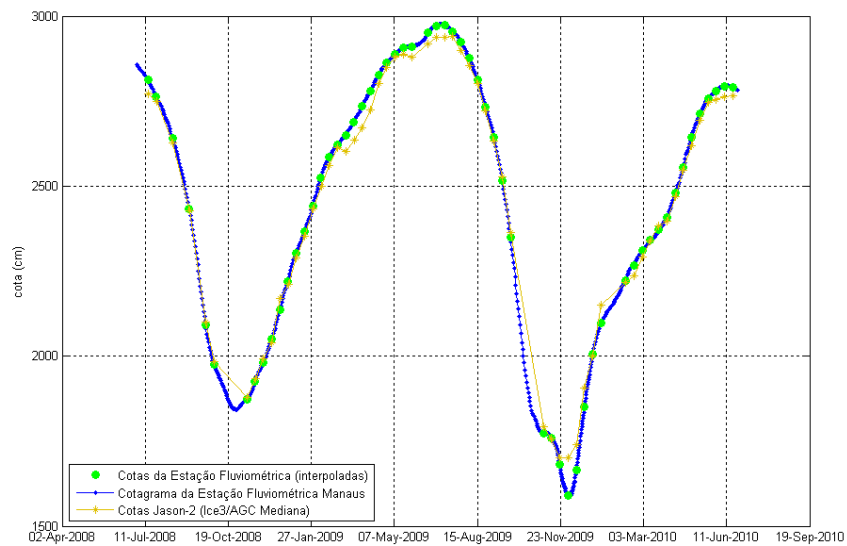


Figura C.12 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Mediana) e da estação fluviométrica Manaus

Tabela C.1 – Etapas a e b do procedimento de validação relativa na estação Manaus

Estação Manaus	Erro médio quadrático da amostra de resíduos total da estação						Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com IC 95%		
	Número de ciclos	Número de combinações	Média	Mediana	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
1 Aqua Quartil	68	2278	-9,1	-0,3	-1,36	115,7	2206	-0,65	56,6
2 Aqua Média Aritmética	68	2278	-10,8	-1,4	-1,38	117,7	2211	-0,40	56,2
3 Aqua Mediana	68	2278	-10,6	-1,0	-1,45	118,5	2211	-0,62	54,5
4 Média Aritmética	68	2278	-9,7	-5,8	-0,42	84,2	2069	-0,02	59,1
5 Mediana	68	2278	-6,3	-1,0	-0,62	63,6	2078	-0,28	37,9
6 Aqua AGC Mediana	60	1770	-0,2	0,2	-0,69	108,4	1653	0,17	33,6
7 Aqua AGC Média Aritmética	60	1770	-0,8	-1,0	-0,71	116,6	1654	0,10	35,9
8 AGC Aqua Quartil	60	1770	0,7	0,0	0,28	44,0	1674	0,06	35,1
9 AGC Aqua Média Aritmética	60	1770	1,8	-1,0	0,58	51,8	1690	0,07	37,5
10 AGC Aqua Mediana	60	1770	2,8	0,1	0,37	47,0	1677	0,04	35,7
11 AGC Média Aritmética	60	1770	5,2	-0,7	0,46	59,9	1622	0,24	41,8
12 AGC Mediana	60	1770	4,7	1,1	0,48	41,8	1647	0,24	30,6

Tabela C.2 - Etapa c.7 do procedimento de validação relativa na estação Manaus

Manaus	lim1	lim2	lim3	lim4	dif 1	dif 2
1 Aqua Quartil	-58,6	60,0	-51,7	55,4	-6,8	-4,6
2 Aqua Média Aritmética	-57,6	59,0	-50,7	54,7	-6,9	-4,3
3 Aqua Mediana	-48,1	48,4	-42,1	44,8	-6,1	-3,6
4 Média Aritmética	-68,6	59,1	-61,4	52,7	-7,2	-6,4
5 Mediana	-58,3	59,7	-52,3	56,1	-6,0	-3,6
6 Aqua AGC Mediana	-54,5	53,2	-48,1	49,0	-6,4	-4,2
7 Aqua AGC Média Aritmética	-61,9	57,8	-54,8	52,6	-7,1	-5,2
8 AGC Aqua Quartil	-63,4	62,0	-58,5	55,6	-4,9	-6,3
9 AGC Aqua Média Aritmética	-65,4	61,2	-60,4	56,6	-5,0	-4,7
10 AGC Aqua Mediana	-60,0	58,7	-54,1	54,9	-5,9	-3,8
11 AGC Média Aritmética	-64,2	56,4	-56,9	50,3	-7,2	-6,2
12 AGC Mediana	-52,2	52,2	-46,0	46,8	-6,1	-5,4

Tabela C.3 – Cotas da estação fluviométrica Manaus interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação.

Estação Fluviométrica Manaus							
ciclo	Data (dia/mês/ano)			hora (hh:mm:ss)			cota (cm)
1	14	7	2008	7	52	24	2812,8
2	24	7	2008	5	50	56	2763,3
4	13	8	2008	1	47	59	2640,7
6	1	9	2008	21	45	2	2431,9
8	21	9	2008	17	42	6	2091,4
9	1	10	2008	15	40	38	1976,2
10	11	10	2008	13	39	10	1919,3
11	21	10	2008	11	37	42	1857,8
12	31	10	2008	9	36	14	1848,2
13	10	11	2008	7	34	45	1874,0
14	20	11	2008	5	33	17	1926,5
15	30	11	2008	3	31	48	1982,3
16	10	12	2008	1	30	19	2051,7
17	19	12	2008	23	28	50	2135,2
18	29	12	2008	21	27	22	2219,4
19	8	1	2009	19	25	54	2302,6
20	18	1	2009	17	24	26	2366,0

Tabela C.3 – Cotas da estação fluviométrica Manaus interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação (continuação).

21	28	1	2009	15	22	58	2440,1
22	7	2	2009	13	21	30	2524,4
23	17	2	2009	11	20	2	2585,5
24	27	2	2009	9	18	33	2621,3
25	9	3	2009	7	17	5	2650,0
26	19	3	2009	5	15	36	2688,6
27	29	3	2009	3	14	7	2734,1
28	8	4	2009	1	12	38	2780,6
29	17	4	2009	23	11	9	2828,0
30	27	4	2009	21	9	40	2861,8
31	7	5	2009	19	8	11	2887,0
32	17	5	2009	17	6	43	2906,4
33	27	5	2009	15	5	15	2911,0
35	16	6	2009	11	2	19	2950,5
36	26	6	2009	9	0	51	2972,1
37	6	7	2009	6	59	22	2973,0
38	16	7	2009	4	57	54	2953,3
39	26	7	2009	2	56	25	2922,7
40	5	8	2009	0	54	56	2875,5
41	14	8	2009	22	53	28	2812,4
42	24	8	2009	20	51	59	2733,2
43	3	9	2009	18	50	31	2643,6
44	13	9	2009	16	49	3	2517,3
45	23	9	2009	14	47	35	2348,5
46	3	10	2009	12	46	6	2134,2
47	13	10	2009	10	44	38	1920,2
48	23	10	2009	8	43	10	1815,5
49	2	11	2009	6	41	41	1774,0
50	12	11	2009	4	40	12	1760,3
51	22	11	2009	2	38	44	1682,2
52	2	12	2009	0	37	15	1590,4
53	11	12	2009	22	35	46	1663,6
54	21	12	2009	20	34	17	1851,1
55	31	12	2009	18	32	50	2004,7
56	10	1	2010	16	31	22	2097,4
57	20	1	2010	14	29	54	2137,2
58	30	1	2010	12	28	26	2175,1
59	9	2	2010	10	26	58	2223,0
60	19	2	2010	8	25	29	2267,2
61	1	3	2010	6	24	1	2309,9
62	11	3	2010	4	22	32	2340,8
63	21	3	2010	2	21	3	2371,0
64	31	3	2010	0	19	34	2408,2
65	9	4	2010	22	18	5	2479,8
66	19	4	2010	20	16	36	2553,9
67	29	4	2010	18	15	8	2644,2
68	9	5	2010	16	13	40	2712,3
69	19	5	2010	14	12	11	2756,9
70	29	5	2010	12	10	43	2778,6
71	8	6	2010	10	9	15	2793,0
72	18	6	2010	8	7	46	2791,0

Tabela C.4 – Alturas elipsoidais da estação Manaus com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Manaus							
ciclo	Aqua Quartil (cm)	ciclo	Aqua Média Aritmética (cm)	Ciclo	Aqua Mediana (cm)	ciclo	Média Aritmética (cm)
1	1017,8	1	1012,8	1	1006,1	1	1029
2	1011,8	2	1005,2	2	1005,6	2	979,5
4	856	4	859,3	4	855,9	4	858,8
6	654,1	6	650,7	6	654,9	6	649,7
8	313,3	8	312,5	8	315,8	8	300,4
9	211,9	9	214,3	9	205	9	226,9
10	138,7	10	242,3	10	223,1	10	321,2
11	190,1	11	185,4	11	167,1	11	244,7
12	246,8	12	216,3	12	236,4	12	287,9
13	110,3	13	99,8	13	103,9	13	127,9
14	164,4	14	165,9	14	164,6	14	170,2
15	221,7	15	220,5	15	221,7	15	225,1
16	260,1	16	263,1	16	263,3	16	294,2
17	361,7	17	367,3	17	365,5	17	359,3
18	443,9	18	444,3	18	446,8	18	431,1
19	519,6	19	522,2	19	526,8	19	505,3
20	581,9	20	582,5	20	580,5	20	598,3
21	608,5	21	629	21	604,3	21	664,9
22	694,6	22	689,4	22	689,3	22	701,4
23	749,5	23	746,9	23	749,2	23	755,5
24	785,9	24	781,4	24	782,1	24	796,4
25	830,8	25	832,6	25	830,8	25	833,8
26	865,1	26	863,6	26	855,6	26	880,4
27	902,4	27	898,4	27	899,1	27	915
28	953,9	28	950,8	28	936	28	964,6
29	1032,7	29	1031,6	29	1031,8	29	1032,7
30	1078,6	30	1077,3	30	1080,1	30	1067,7
31	1085,8	31	1089,2	31	1094,3	31	1103,7
32	1116,9	32	1120,7	32	1124,4	32	1109,6
33	1110,4	33	1108,3	33	1110,9	33	1103,6
35	1147,8	35	1146,5	35	1145,8	35	1155,3
36	1168,5	36	1166	36	1171,7	36	1149,3
37	1168,2	37	1165,3	37	1168,6	37	1157
38	1170,3	38	1168,9	38	1170,1	38	1172
39	1129,1	39	1125,5	39	1126,1	39	1137,9
40	1083,7	40	1081,9	40	1084	40	1070,5
41	1031,1	41	1030	41	1035,2	41	1023,1
42	943,3	42	943,7	42	949	42	930,1
43	861,7	43	851,1	43	864,2	43	822,8
44	723,2	44	722,8	44	727,1	44	713,6
45	553,2	45	554	45	549,6	45	568
46	353	46	344,9	46	345,6	46	406,4
47	175,7	47	172,9	47	144,9	47	239,3
48	67,7	48	61,4	48	58,7	48	120,9
49	14,6	49	19,7	49	8,9	49	111,4
50	-12,8	50	-20,4	50	-15,5	50	-3,7

Tabela C.4 – Alturas elipsoidais da estação Manaus com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética (continuação).

51	-46,8	51	-34,9	51	-69,2	51	27,7
52	-776,4	52	-793,1	52	-805,3	52	-304,7
53	51,1	53	32,3	53	22,4	53	57,9
54	103,1	54	103,7	54	90,5	54	155,5
55	230,6	55	242	55	231,1	55	242,4
56	335	56	340,5	56	328,9	56	363,1
57	342,6	57	348,6	57	344,1	57	317,1
58	369,4	58	371,3	58	367,8	58	406,5
59	456,8	59	458	59	456,8	59	416,9
60	505,8	60	500,7	60	504,2	60	463,3
61	503,5	61	509,3	61	510,1	61	524,9
62	567,5	62	566,7	62	566,4	62	572,4
63	566,2	63	569,5	63	566,2	63	574,7
64	626,9	64	608,9	64	626,3	64	630,7
65	700,3	65	696,1	65	698,3	65	706,7
66	775,4	66	773,9	66	775,4	66	776,8
67	850	67	854,2	67	851,8	67	843,7
68	923,3	68	926,5	68	930,3	68	909,6
69	975,9	69	977,9	69	978,6	69	965,9
70	984,7	70	983,1	70	986	70	965,2
71	993,3	71	999,2	71	1000,6	71	987
72	997	72	995,1	72	997,6	72	988,4

Tabela C.5 – Alturas elipsoidais da estação Manaus com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Manaus							
ciclo	Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Mediana (cm)	Ciclo	Aqua AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Aqua Quartil (cm)
1	1017,8	1	999,6	1	997,4	1	1000,2
2	977,9	2	1005,6	2	1005,2	2	1011,8
4	856	4	855,9	4	859,3	4	856
6	654,1	6	658,2	6	655,7	6	658
8	313,3	8	323,9	8	335,2	8	330,9
9	211,9	9	223,3	9	225,2	9	233,5
10	298	13	103,9	13	99,8	13	108,2
11	190,1	14	164,6	14	165,9	14	164,4
12	246,8	15	221,7	15	220,5	15	221,7
13	110,3	16	268,5	16	268,5	16	268,5
14	164,4	17	399,8	17	399,8	17	399,8
15	221,7	18	445,3	18	443,9	18	442,1
16	300,3	19	526,8	19	522,2	19	519,6
17	361,7	20	580,5	20	582,5	20	581,9
18	443,9	21	663,2	21	655,8	21	699
19	519,6	22	729,9	22	732,1	22	729,9
20	581,9	23	778,9	23	781,6	23	790,7
21	608,5	24	840,7	24	834,1	24	841,9
22	694,6	25	830,8	25	832,6	25	830,8

Tabela C.5 – Alturas elipsoidais da estação Manaus com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil (continuação).

23	749,5	26	855,6	26	863,6	26	865,1
24	785,9	27	899,1	27	898,4	27	902,4
25	830,8	28	936	28	950,8	28	953,9
26	865,1	29	1031,8	29	1031,6	29	1032,7
27	902,4	30	1080,1	30	1077,3	30	1078,6
28	953,9	31	1094,3	31	1089,2	31	1085,8
29	1032,7	32	1084,8	32	1086,9	32	1072,4
30	1078,6	33	1110,9	33	1108,3	33	1110,4
31	1108,6	35	1145,8	35	1146,5	35	1147,8
32	1116,9	36	1171,7	36	1166	36	1168,5
33	1110,4	37	1168,6	37	1165,3	37	1168,2
35	1147,8	38	1170,1	38	1168,9	38	1170,3
36	1168,5	39	1126,1	39	1125,5	39	1129,1
37	1168,2	40	1084	40	1081,9	40	1083,7
38	1170,3	41	1035,2	41	1030	41	1031,1
39	1129,1	42	957,2	42	957	42	952,1
40	1083,7	43	864,2	43	851,1	43	861,7
41	1031,1	44	729,7	44	729,1	44	738,4
42	943,3	45	586,2	45	585,9	45	595
43	861,7	49	20,2	49	34,2	49	21,7
44	723,2	50	-15,5	50	-20,4	50	-12,8
45	553,2	51	-69,5	51	-44,9	51	-97,7
46	353	52	-680,9	52	-720,2	52	-68
47	175,7	53	157,7	53	176,7	53	-76,2
48	67,7	54	124,5	54	135,1	54	136,5
49	14,6	55	231,1	55	242	55	230,6
50	-12,8	56	375,6	56	377,5	56	380,3
51	-46,8	59	453,6	59	457,9	59	369,7
52	-135,9	60	504,2	60	500,7	60	505,8
53	51,1	61	510,1	61	509,3	61	503,5
54	103,1	62	566,4	62	566,7	62	567,5
55	230,6	63	611,9	63	608	63	611,9
56	335	64	626,3	64	608,9	64	626,9
57	342,6	65	698,3	65	696,1	65	700,3
58	369,4	66	775,4	66	773,9	66	775,4
59	424,6	67	851,8	67	854,2	67	850
60	464,8	68	930,3	68	926,5	68	923,3
61	521,8	69	978,6	69	977,9	69	975,9
62	567,5	70	986	70	983,1	70	984,7
63	566,2	71	1000,6	71	999,2	71	993,3
64	626,9	72	997,6	72	995,1	72	997
65	700,3						
66	775,4						
67	850						
68	923,3						
69	975,9						
70	984,7						
71	993,3						
72	997						

Tabela C.6 – Alturas elipsoidais da estação Manaus com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Manaus							
ciclo	AGC Aqua Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Aqua Mediana (cm)	Ciclo	AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Mediana (cm)
1	998,2	1	999,6	1	1000,4	1	1000,2
2	1005,2	2	1005,6	2	979,5	2	977,9
4	859,3	4	855,9	4	858,8	4	856
6	655,7	6	658,2	6	653,7	6	658
8	335,2	8	323,9	8	378,9	8	330,9
9	225,2	9	223,3	9	192,2	9	212,8
13	99,8	13	103,9	13	117	13	108,2
14	165,9	14	164,6	14	170,2	14	164,4
15	220,5	15	221,7	15	225,1	15	221,7
16	268,5	16	268,5	16	268,5	16	268,5
17	402,6	17	400,1	17	399,8	17	399,8
18	443,8	18	445,3	18	426,9	18	442,1
19	522,2	19	526,8	19	505,3	19	519,6
20	582,5	20	580,5	20	598,3	20	581,9
21	700,8	21	689,5	21	655,8	21	663,2
22	727,3	22	726,7	22	735,4	22	729,9
23	785,7	23	783,1	23	799,2	23	790,7
24	841,2	24	843,1	24	840,4	24	841,9
25	832,6	25	830,8	25	833,8	25	830,8
26	863,6	26	855,6	26	880,4	26	865,1
27	898,4	27	899,1	27	915	27	902,4
28	950,8	28	936	28	964,6	28	953,9
29	1031,6	29	1031,8	29	1032,7	29	1032,7
30	1077,3	30	1080,1	30	1067,7	30	1078,6
31	1089,2	31	1094,3	31	1103,7	31	1108,6
32	1072,9	32	1071	32	1107,3	32	1118
33	1108,3	33	1110,9	33	1103,6	33	1110,4
35	1146,5	35	1145,8	35	1155,3	35	1147,8
36	1166	36	1171,7	36	1149,3	36	1168,5
37	1165,3	37	1168,6	37	1157	37	1168,2
38	1168,9	38	1170,1	38	1172	38	1170,3
39	1125,5	39	1126,1	39	1137,9	39	1129,1
40	1081,9	40	1084	40	1070,5	40	1083,7
41	1030	41	1035,2	41	1023,1	41	1031,1
42	955	42	953,1	42	952,2	42	952,1
43	851,1	43	864,2	43	822,8	43	861,7
44	742,5	44	746,2	44	760	44	757,6
45	585,9	45	586,2	45	609,1	45	595
49	34,2	49	20,2	49	134,5	49	21,7
50	-20,4	50	-15,5	50	-3,7	50	-12,8
51	-67,8	51	-72,4	51	-34,5	51	-69,5
52	-6,2	52	-41,7	52	-118,7	52	-68
53	-67	53	-63,5	53	7,9	53	-29,8
54	135,1	54	124,5	54	158,7	54	136,5
55	242	55	231,1	55	242,4	55	230,6

Tabela C.6 – Alturas elipsoidais da estação Manaus com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana (continuação).

56	377,5	56	375,6	56	475,5	56	380,3
59	364,8	59	363,1	59	423	59	445,5
60	500,7	60	504,2	60	463,3	60	464,8
61	509,3	61	510,1	61	524,9	61	521,8
62	566,7	62	566,4	62	572,4	62	567,5
63	589,7	63	604,5	63	622	63	611,9
64	608,9	64	626,3	64	630,7	64	626,9
65	696,1	65	698,3	65	706,7	65	700,3
66	773,9	66	775,4	66	776,8	66	775,4
67	854,2	67	851,8	67	843,7	67	850
68	926,5	68	930,3	68	909,6	68	923,3
69	977,9	69	978,6	69	965,9	69	975,9
70	983,1	70	986	70	965,2	70	984,7
71	999,2	71	1000,6	71	987	71	993,3
72	995,1	72	997,6	72	988,4	72	997

ANEXO D - Estação Santa Luzia

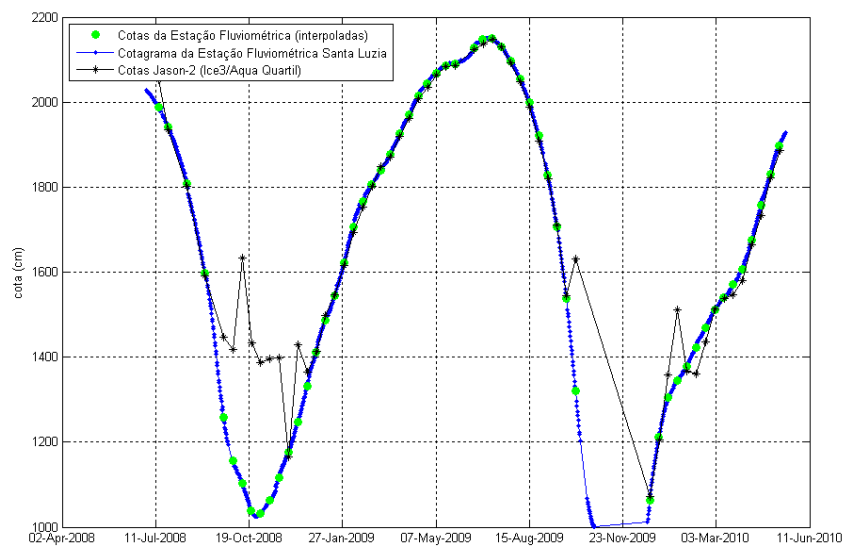


Figura D.1 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Santa Luzia

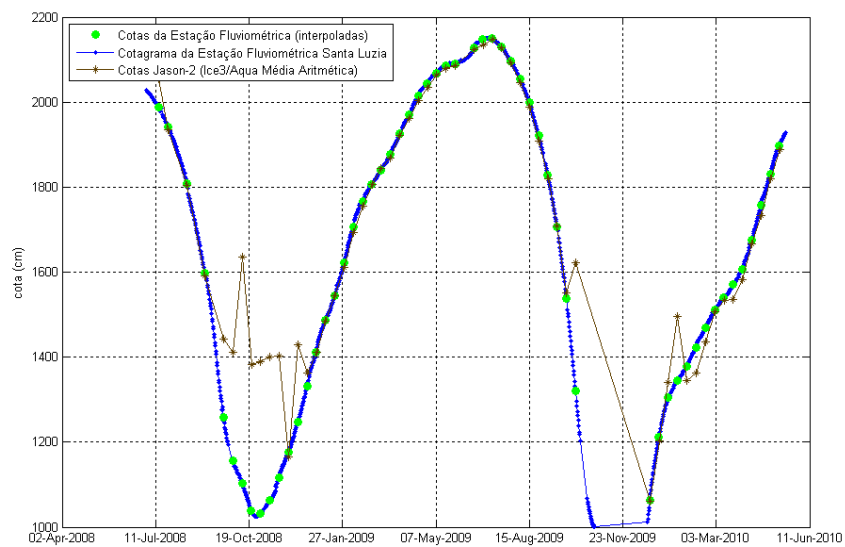


Figura D.2 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Santa Luzia

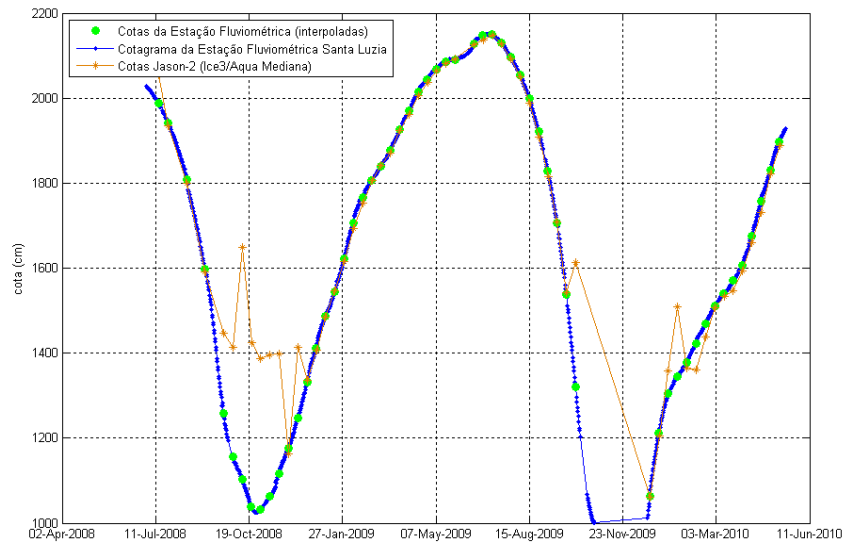


Figura D.3 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Santa Luzia

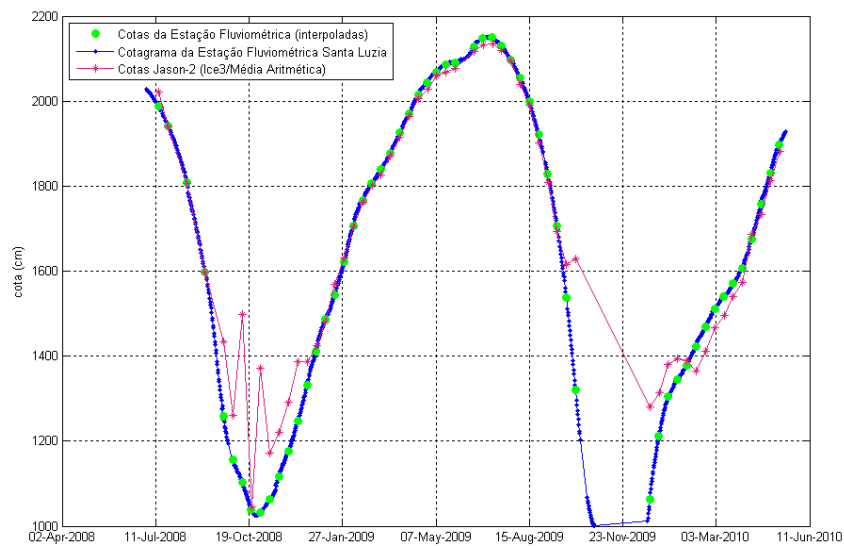


Figura D.4 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Média Aritmética) e da estação fluviométrica Santa Luzia

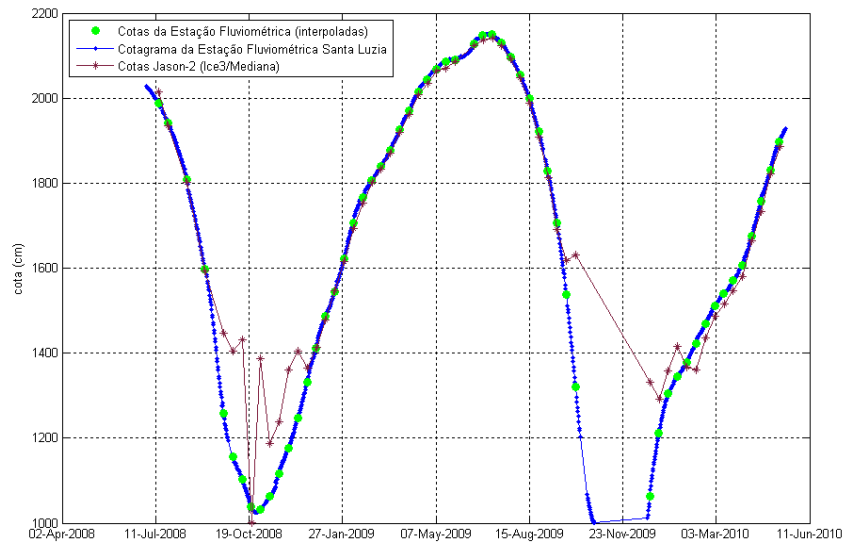


Figura D.5 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Mediana) e da estação fluviométrica Santa Luzia

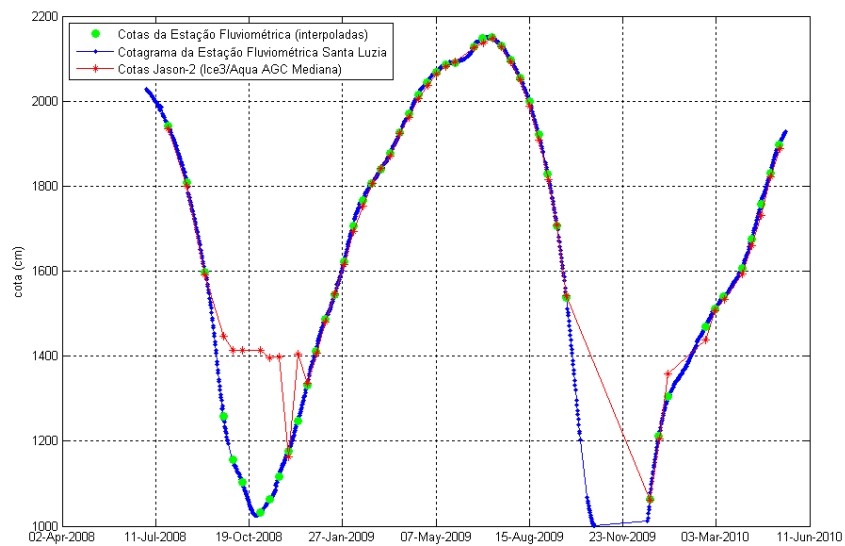


Figura D.6 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Santa Luzia

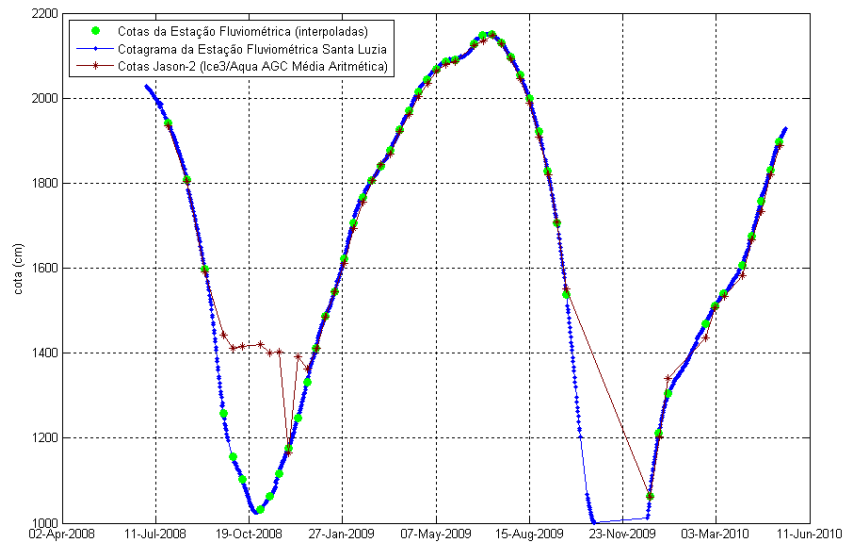


Figura D.7 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Santa Luzia

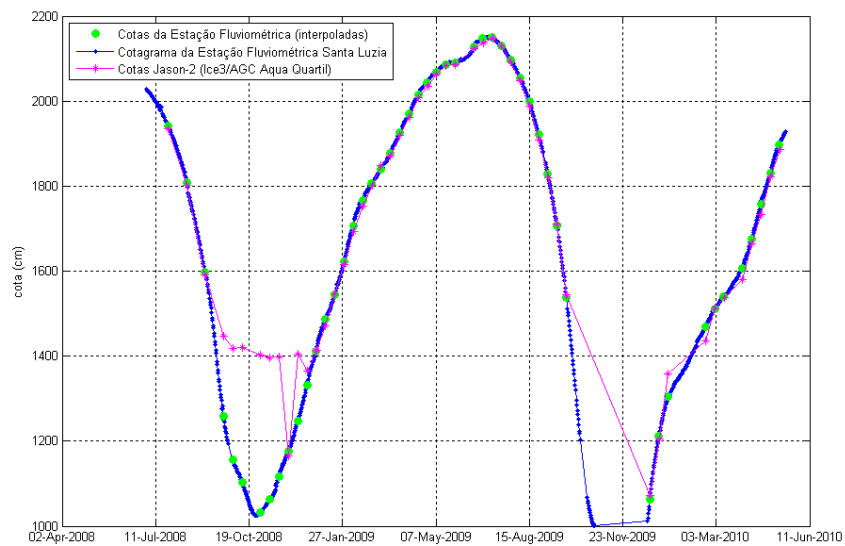


Figura D.8 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Santa Luzia

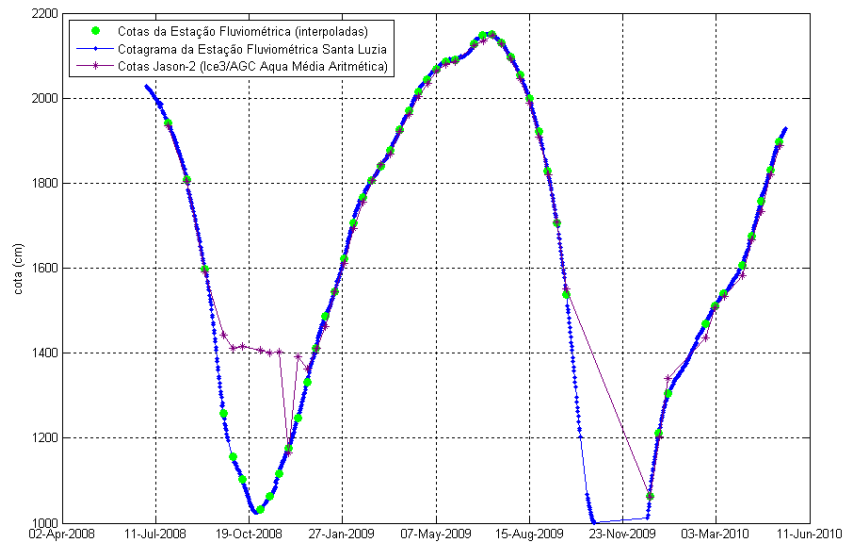


Figura D.9 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Santa Luzia

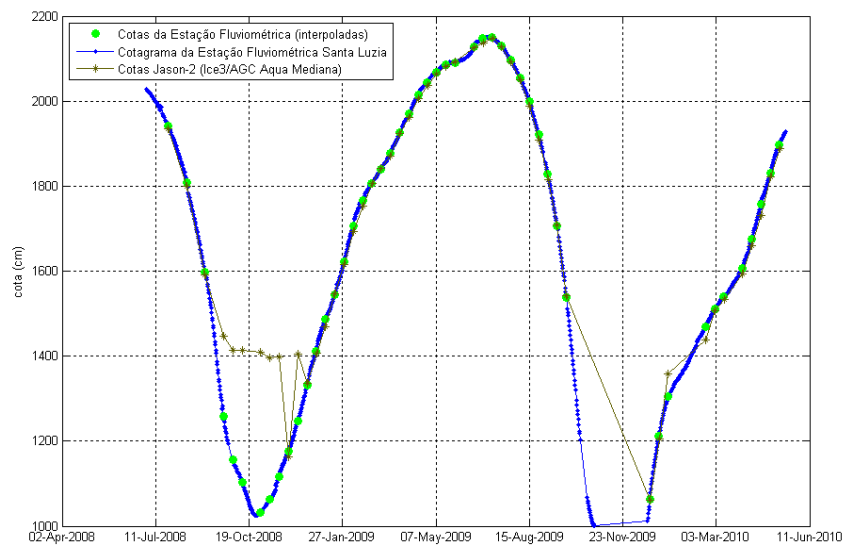


Figura D.10 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Santa Luzia

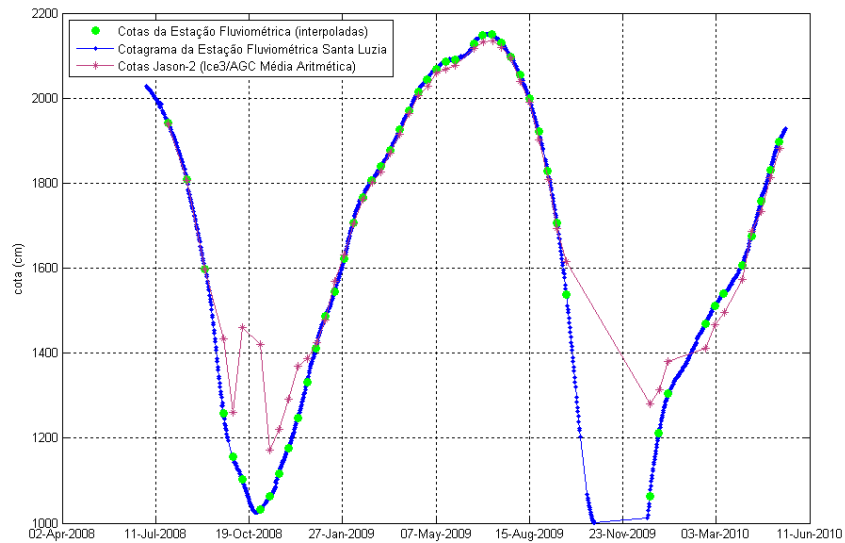


Figura D.11 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Santa Luzia

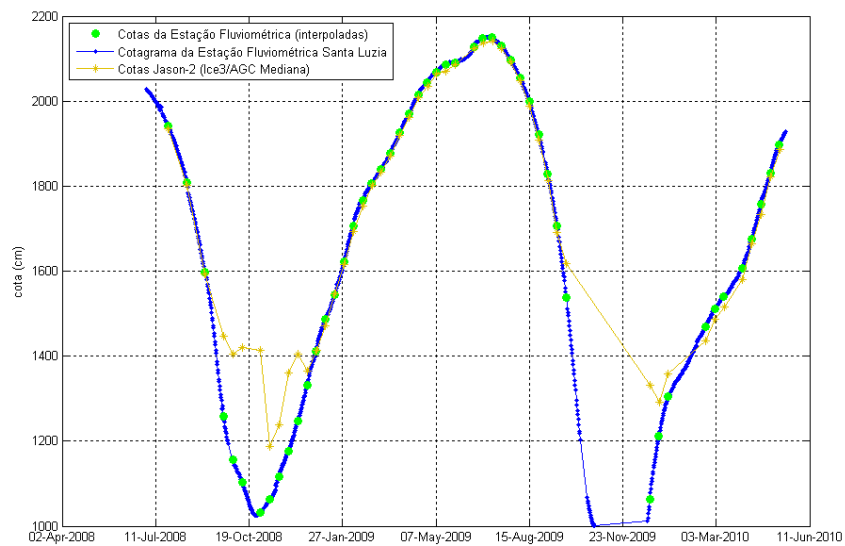


Figura D.12 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Mediana) e da estação fluviométrica Santa Luzia

Tabela D.1 – Etapas a e b do procedimento de validação relativa na estação Santa Luzia

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos total da estação						Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com IC 95%		
	Número de ciclos	Número de combinações	Média	Mediana	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
Santa Luzia									
1 Aqua Quartil	57	1596	-63,2	-8,1	-0,66	178,8	1458	-1,18	133,2
2 Aqua Média Aritmética	57	1596	-63,8	-8,2	-0,68	175,9	1491	-1,16	141,4
3 Aqua Mediana	57	1596	-62,8	-6,6	-0,74	178,8	1472	-1,20	136,8
4 Média Aritmética	57	1596	-35,3	-16,1	-0,36	132,8	1431	-0,31	80,9
5 Mediana	57	1596	-35,8	-8,3	-0,16	139,6	1428	-0,81	95,3
6 Aqua AGC Mediana	50	1225	-59,0	-4,6	-0,97	144,1	1114	-1,70	102,3
7 Aqua AGC Média Aritmética	50	1225	-60,5	-5,3	-0,99	144,8	1108	-1,78	99,6
8 AGC Aqua Quartil	50	1225	-59,4	-5,1	-0,95	143,7	1101	-1,72	97,5
9 AGC Aqua Média Aritmética	50	1225	-59,7	-4,8	-0,98	143,9	1105	-1,78	98,3
10 AGC Aqua Mediana	50	1225	-58,6	-4,6	-0,97	143,8	1113	-1,71	102,0
11 AGC Média Aritmética	50	1225	-43,3	-15,0	-0,80	128,7	1114	-0,43	80,7
12 AGC Mediana	50	1225	-46,2	-8,2	-0,47	136,8	1113	-0,86	96,4

Tabela D.2 - Etapa c.7 do procedimento de validação relativa na estação Santa Luzia

Santa Luzia	lim1	Lim2	lim3	lim4	dif 1	dif 2
1 Aqua Quartil	-18,4	17,2	-17,5	15,9	-0,9	-1,3
2 Aqua Média Aritmética	-15,1	13,0	-13,8	11,6	-1,2	-1,4
3 Aqua Mediana	-18,1	14,7	-16,1	12,5	-1,9	-2,1
4 Média Aritmética	-25,6	10,7	-24,7	9,0	-0,9	-1,7
5 Mediana	-15,5	10,0	-14,5	8,3	-1,0	-1,7
6 Aqua AGC Mediana	-16,1	14,0	-14,2	12,2	-1,9	-1,9
7 Aqua AGC Média Aritmética	-15,1	12,9	-13,9	11,4	-1,3	-1,5
8 AGC Aqua Quartil	-17,0	19,1	-15,3	16,8	-1,8	-2,2
9 AGC Aqua Média Aritmética	-13,6	12,4	-12,8	11,4	-0,9	-1,1
10 AGC Aqua Mediana	-17,1	15,2	-15,1	13,3	-1,9	-1,9
11 AGC Média Aritmética	-21,4	9,2	-20,1	7,4	-1,3	-1,8
12 AGC Mediana	-15,6	10,4	-14,5	9,1	-1,1	-1,4

Tabela D.3 – Cotas da estação fluviométrica Santa Luzia interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação.

Estação Fluviométrica Santa Luzia							
ciclo	data (dia/mês/ano)			hora (hh:mm:ss)			cota (cm)
1	14	7	2008	7	52	24	1988,7
2	24	7	2008	5	50	55	1942,2
4	13	8	2008	1	47	59	1808,7
6	1	9	2008	21	45	2	1597,3
8	21	9	2008	17	42	6	1259,5
9	1	10	2008	15	40	38	1155,4
10	11	10	2008	13	39	10	1103,3
11	21	10	2008	11	37	41	1039,1
12	31	10	2008	9	36	13	1033,3
13	10	11	2008	7	34	45	1063,1
14	20	11	2008	5	33	16	1115,7
15	30	11	2008	3	31	47	1175,5
16	10	12	2008	1	30	18	1246,4
17	19	12	2008	23	28	49	1332,3
18	29	12	2008	21	27	22	1411,0
19	8	1	2009	19	25	53	1486,3
20	18	1	2009	17	24	25	1545,1

Tabela D.3 – Cotas da estação fluviométrica Santa Luzia interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação (continuação).

21	28	1	2009	15	22	57	1621,4
22	7	2	2009	13	21	29	1706,5
23	17	2	2009	11	20	1	1767,4
24	27	2	2009	9	18	33	1807,2
25	9	3	2009	7	17	4	1839,0
26	19	3	2009	5	15	35	1876,9
27	29	3	2009	3	14	6	1925,8
28	8	4	2009	1	12	37	1969,3
29	17	4	2009	23	11	8	2014,3
30	27	4	2009	21	9	39	2044,3
31	7	5	2009	19	8	11	2068,3
32	17	5	2009	17	6	43	2086,0
33	27	5	2009	15	5	14	2090,3
35	16	6	2009	11	2	18	2128,4
36	26	6	2009	9	0	50	2148,4
37	6	7	2009	6	59	22	2149,0
38	16	7	2009	4	57	53	2129,1
39	26	7	2009	2	56	24	2096,3
40	5	8	2009	0	54	56	2053,9
41	14	8	2009	22	53	27	1999,3
42	24	8	2009	20	51	58	1920,6
43	3	9	2009	18	50	30	1828,3
44	13	9	2009	16	49	2	1706,1
45	23	9	2009	14	47	34	1537,3
46	3	10	2009	12	46	6	1320,0
54	21	12	2009	20	34	17	1062,6
55	31	12	2009	18	32	49	1210,9
56	10	1	2010	16	31	21	1304,9
57	20	1	2010	14	29	53	1344,7
58	30	1	2010	12	28	25	1378,6
59	9	2	2010	10	26	57	1422,7
60	19	2	2010	8	25	29	1469,1
61	1	3	2010	6	24	0	1512,0
62	11	3	2010	4	22	31	1540,8
63	21	3	2010	2	21	2	1571,3
64	31	3	2010	0	19	33	1606,0
65	9	4	2010	22	18	4	1675,1
66	19	4	2010	20	16	35	1757,0
67	29	4	2010	18	15	7	1831,4
68	9	5	2010	16	13	39	1897,5

Tabela D.4 – Alturas elipsoidais da estação Santa Luzia com os métodos de filtragem
Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Santa Luzia							
Ciclo	Aqua Quartil (cm)	Ciclo	Aqua Média Aritmética (cm)	Ciclo	Aqua Mediana (cm)	ciclo	Média Aritmética (cm)
1	1151,4	1	1154,9	1	1154,9	1	1122,4
2	1035	2	1035,3	2	1034,7	2	1039,3
4	901,8	4	903	4	899,9	4	906,3
6	690,1	6	690,2	6	691,2	6	697,6
8	547,6	8	543,1	8	547,6	8	533
9	517,2	9	511,6	9	514,6	9	360,9
10	732,9	10	734,9	10	749,9	10	597,6
11	534,6	11	483,6	11	524,8	11	145,7
12	487,9	12	489	12	487,9	12	471,2
13	496,5	13	499,3	13	496,5	13	271
14	497,8	14	502,2	14	497,8	14	319,6
15	264,3	15	264,5	15	264,1	15	391,2
16	530,2	16	530,2	16	512,6	16	487,3
17	464,5	17	461,9	17	435	17	487,7
18	513,7	18	510,6	18	507,8	18	524,7
19	597	19	585	19	583,6	19	579,2
20	646,8	20	644,3	20	646,8	20	668,1
21	715,9	21	711,4	21	715,6	21	731,3
22	793,1	22	793,9	22	793,1	22	803,9
23	853,7	23	855,5	23	853,7	23	862,3
24	902,8	24	906,5	24	905,9	24	902,7
25	948,8	25	945,1	25	941,3	25	927,2
26	971,3	26	968,3	26	971,3	26	969,7
27	1020,4	27	1022,7	27	1022,9	27	1016
28	1061,3	28	1062,3	28	1061,3	28	1063,7
29	1107,4	29	1103,3	29	1106,7	29	1105,4
30	1134,5	30	1133,9	30	1136,4	30	1127,4
31	1164	31	1163,2	31	1164,5	31	1159,7
32	1183	32	1179,3	32	1181,9	32	1167,6
33	1186,6	33	1186,7	33	1191,9	33	1177,2
35	1222,9	35	1223,4	35	1225,5	35	1216,3
36	1236,6	36	1233,6	36	1237,7	36	1231,9
37	1247,6	37	1248,5	37	1247,3	37	1234,3
38	1230,2	38	1228,2	38	1227,9	38	1218,8
39	1191,9	39	1191,9	39	1191,9	39	1194
40	1147,3	40	1146,7	40	1150,7	40	1139,1
41	1087,8	41	1087,5	41	1087,4	41	1091
42	1008,6	42	1008,9	42	1008,8	42	1002,5
43	919,6	43	919,4	43	914,9	43	907,5
44	810,3	44	807,9	44	808,4	44	793,8
45	644,1	45	650,8	45	642,3	45	716,4
46	731,2	46	722,1	46	714	46	727,8
54	172,1	54	161,4	54	161	54	379,7
55	305,3	55	301,9	55	305,3	55	414
56	459,1	56	440,3	56	458,4	56	481,5
57	610,4	57	594,7	57	609,3	57	494,2

Tabela D.4 – Alturas elipsoidais da estação Santa Luzia com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética (continuação).

58	466,8	58	444,5	58	463,9	58	488,5
59	460,4	59	461,7	59	460,4	59	463,8
60	536	60	535,9	60	538,8	60	512,5
61	614,3	61	607,3	61	605,8	61	567,5
62	638,3	62	632,4	62	633	62	594,8
63	646,5	63	635,5	63	646,8	63	640,9
64	679,8	64	681,5	64	694,2	64	673,4
65	763,8	65	766,3	65	760,2	65	785,4
66	832,3	66	832,2	66	830,4	66	833,1
67	921,8	67	918,5	67	922,6	67	912,9
68	986,6	68	988,1	68	989	68	980,8

Tabela D.5 – Alturas elipsoidais da estação Santa Luzia com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Santa Luzia							
ciclo	Mediana (cm)	Ciclo	Aqua AGC Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Aqua Quartil (cm)
1	1113,9	2	1034,7	2	1035,3	2	1035
2	1035	4	899,9	4	903	4	901,8
4	901,8	6	691,2	6	690,2	6	690,1
6	693,8	8	547,6	8	543,1	8	547,6
8	547,6	9	514,6	9	511,6	9	517,2
9	503,8	10	512,8	10	515,2	10	521,1
10	531,3	12	513	12	519,6	12	501,6
11	100,2	13	496,5	13	499,3	13	496,5
12	487,9	14	497,8	14	502,2	14	497,8
13	286,4	15	264,1	15	264,5	15	264,3
14	338,3	16	504,3	16	492,4	16	504,3
15	459,5	17	435	17	461,9	17	464,5
16	504,3	18	507,8	18	510,6	18	513,7
17	464,5	19	580	19	585,1	19	571
18	513,7	20	646,8	20	644,3	20	646,8
19	577,2	21	715,6	21	711,4	21	715,9
20	646,8	22	793,1	22	793,9	22	793,1
21	715,9	23	853,7	23	855,5	23	853,7
22	793,1	24	905,9	24	906,5	24	902,8
23	853,7	25	941,3	25	945,1	25	948,8
24	902,8	26	971,3	26	968,3	26	971,3
25	932,9	27	1022,9	27	1022,7	27	1020,4
26	971,3	28	1061,3	28	1062,3	28	1061,3
27	1020,4	29	1106,7	29	1103,3	29	1107,4
28	1061,3	30	1136,4	30	1133,9	30	1134,5
29	1107,4	31	1164,5	31	1163,2	31	1164
30	1134,5	32	1181,9	32	1179,3	32	1183
31	1164	33	1191,9	33	1186,7	33	1186,6
32	1170,7	35	1225,5	35	1223,4	35	1222,9

Tabela D.5 – Alturas elipsoidais da estação Santa Luzia com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil (continuação).

33	1186,6	36	1237,7	36	1233,6	36	1236,6
35	1222,9	37	1247,3	37	1248,5	37	1247,6
36	1236,6	38	1227,9	38	1228,2	38	1230,2
37	1240,9	39	1191,9	39	1191,9	39	1191,9
38	1222,4	40	1150,7	40	1146,7	40	1147,3
39	1191,9	41	1087,4	41	1087,5	41	1087,8
40	1147,3	42	1008,8	42	1008,9	42	1008,6
41	1087,8	43	914,9	43	919,4	43	919,6
42	1008,6	44	808,4	44	807,9	44	810,3
43	913,9	45	642,3	45	650,8	45	644,1
44	791,8	54	161	54	161,4	54	172,1
45	717,5	55	305,3	55	301,9	55	305,3
46	731,2	56	458,4	56	440,3	56	459,1
54	431,3	60	538,8	60	535,9	60	536
55	391	61	605,8	61	607,3	61	614,3
56	459,1	62	633	62	632,4	62	638,3
57	515,6	64	694,2	64	681,5	64	679,8
58	466,8	65	760,2	65	766,3	65	763,8
59	460,4	66	830,4	66	832,2	66	832,3
60	536	67	922,6	67	918,5	67	921,8
61	585,8	68	989	68	988,1	68	986,6
62	615,8						
63	646,5						
64	679,8						
65	763,8						
66	832,3						
67	921,8						
68	986,6						

Tabela D.6 – Alturas elipsoidais da estação Santa Luzia com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Santa Luzia							
Ciclo	AGC Aqua Média Aritmética (cm)	Ciclo	AGC Aqua Mediana (cm)	ciclo	AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Mediana (cm)
2	1035,3	2	1034,7	2	1039,3	2	1035
4	903	4	899,9	4	906,3	4	901,8
6	690,2	6	691,2	6	697,6	6	693,8
8	543,1	8	547,6	8	533	8	547,6
9	511,6	9	514,6	9	360,9	9	503,8
10	515,2	10	512,8	10	559,5	10	521,1
12	506,8	12	508,5	12	519,6	12	513
13	499,3	13	496,5	13	271	13	286,4
14	502,2	14	497,8	14	319,6	14	338,3
15	264,5	15	264,1	15	391,2	15	459,5
16	492,4	16	504,3	16	469,1	16	504,3

Tabela D.6 – Alturas elipsoidais da estação Santa Luzia com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana (continuação).

17	461,9	17	435	17	487,7	17	464,5
18	510,6	18	507,8	18	524,7	18	513,7
19	561,5	19	568,4	19	578,3	19	571
20	644,3	20	646,8	20	668,1	20	646,8
21	711,4	21	715,6	21	731,3	21	715,9
22	793,9	22	793,1	22	803,9	22	793,1
23	855,5	23	853,7	23	862,3	23	853,7
24	906,5	24	905,9	24	902,7	24	902,8
25	945,1	25	941,3	25	927,2	25	932,9
26	968,3	26	971,3	26	969,7	26	971,3
27	1022,7	27	1022,9	27	1016	27	1020,4
28	1062,3	28	1061,3	28	1063,7	28	1061,3
29	1103,3	29	1106,7	29	1105,4	29	1107,4
30	1133,9	30	1136,4	30	1127,4	30	1134,5
31	1163,2	31	1164,5	31	1159,7	31	1164
32	1179,3	32	1181,9	32	1167,6	32	1170,7
33	1186,7	33	1191,9	33	1177,2	33	1186,6
35	1223,4	35	1225,5	35	1216,3	35	1222,9
36	1233,6	36	1237,7	36	1231,9	36	1236,6
37	1248,5	37	1247,3	37	1234,3	37	1240,9
38	1228,2	38	1227,9	38	1218,8	38	1222,4
39	1191,9	39	1191,9	39	1194	39	1191,9
40	1146,7	40	1150,7	40	1139,1	40	1147,3
41	1087,5	41	1087,4	41	1091	41	1087,8
42	1008,9	42	1008,8	42	1002,5	42	1008,6
43	919,4	43	914,9	43	907,5	43	913,9
44	807,9	44	808,4	44	793,8	44	791,8
45	650,8	45	642,3	45	716,4	45	717,5
54	161,4	54	161	54	379,7	54	431,3
55	301,9	55	305,3	55	414	55	391
56	440,3	56	458,4	56	481,5	56	459,1
60	535,9	60	538,8	60	512,5	60	536
61	607,3	61	605,8	61	567,5	61	585,8
62	632,4	62	633	62	594,8	62	615,8
64	681,5	64	694,2	64	673,4	64	679,8
65	766,3	65	760,2	65	785,4	65	763,8
66	832,2	66	830,4	66	833,1	66	832,3
67	918,5	67	922,6	67	912,9	67	921,8
68	988,1	68	989	68	980,8	68	986,6

ANEXO E - Estação Uricurituba

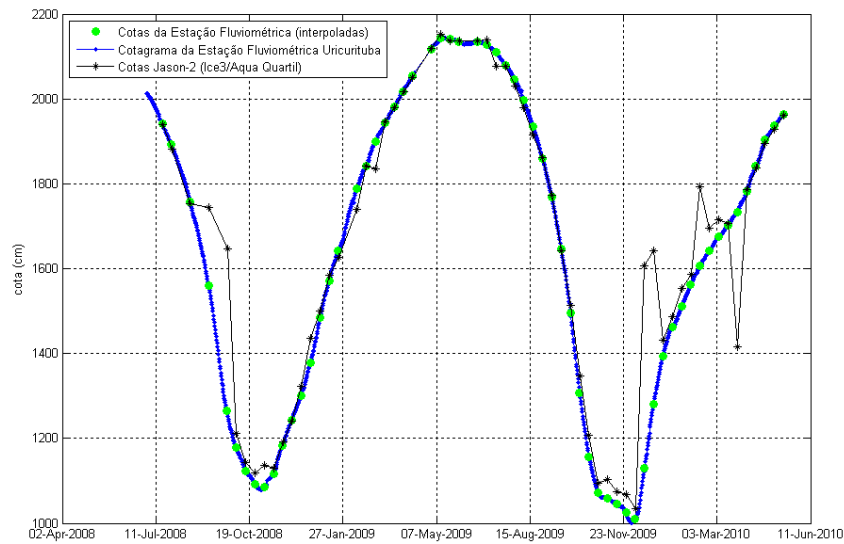


Figura E.1 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Uricurituba

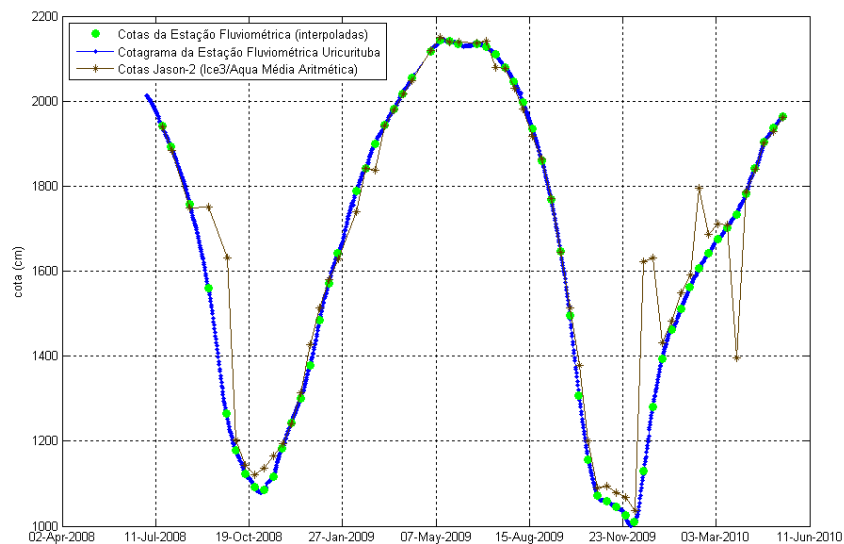


Figura E.2 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Uricurituba

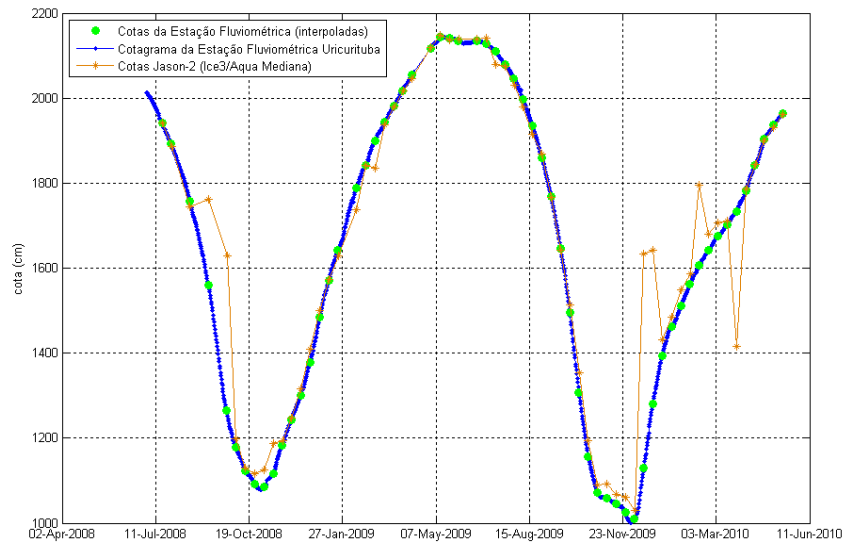


Figura E.3 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Uricurituba

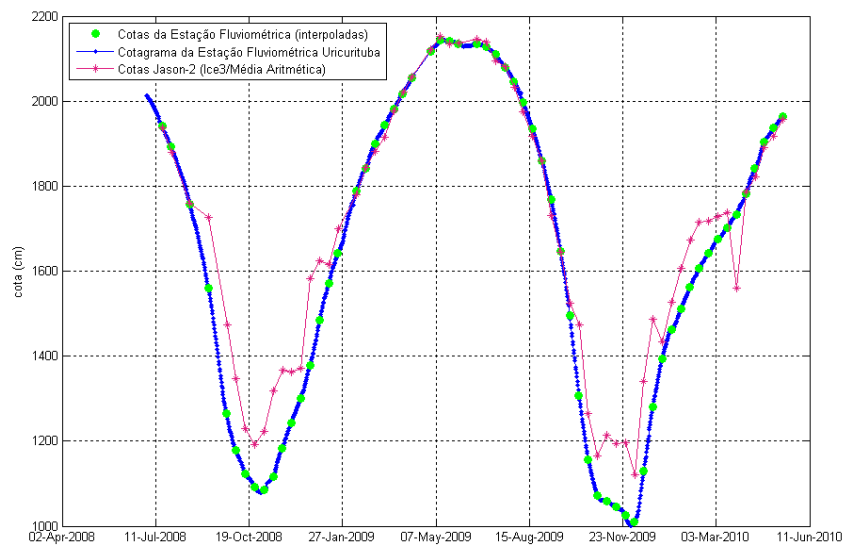


Figura E.4 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Média Aritmética) e da estação fluviométrica Uricurituba

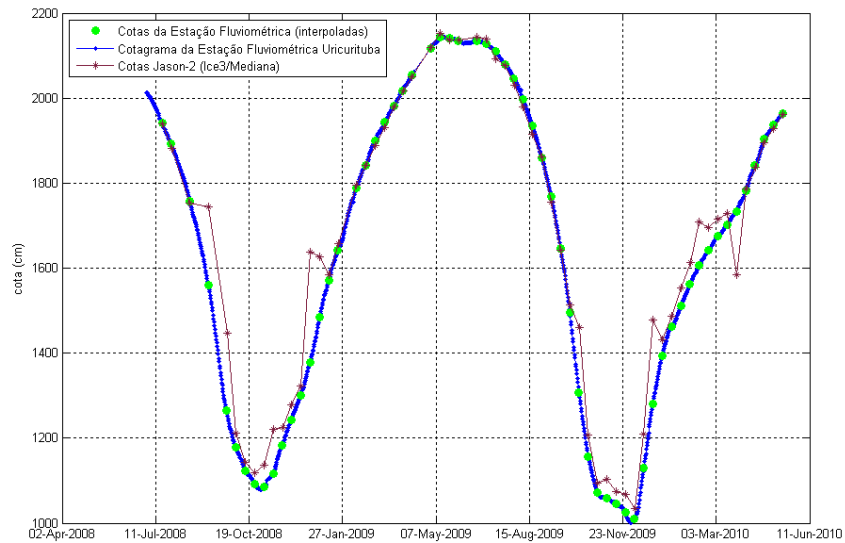


Figura E.5 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Mediana) e da estação fluviométrica Uricurituba

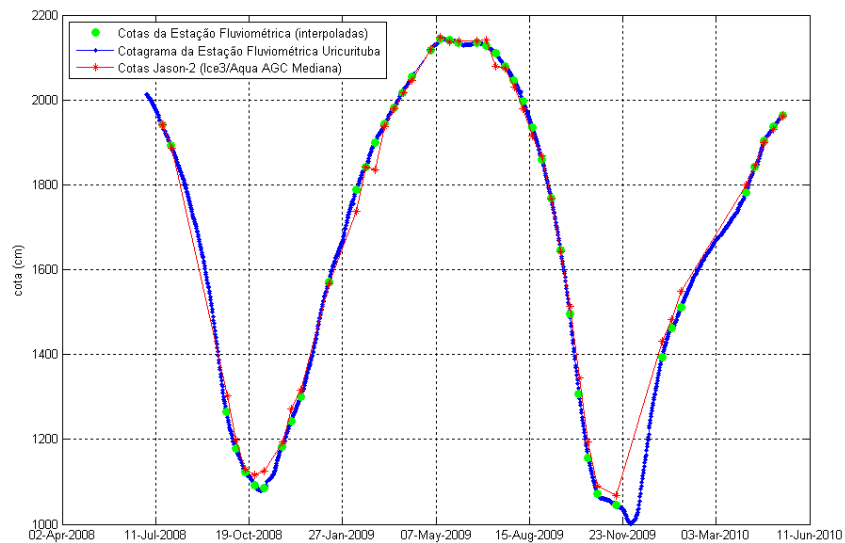


Figura E.6 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Uricurituba

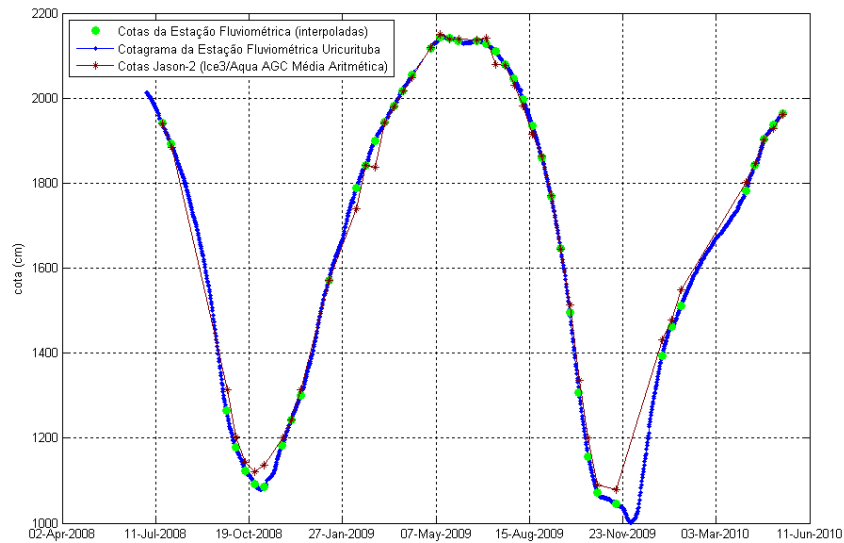


Figura E.7 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Uricurituba

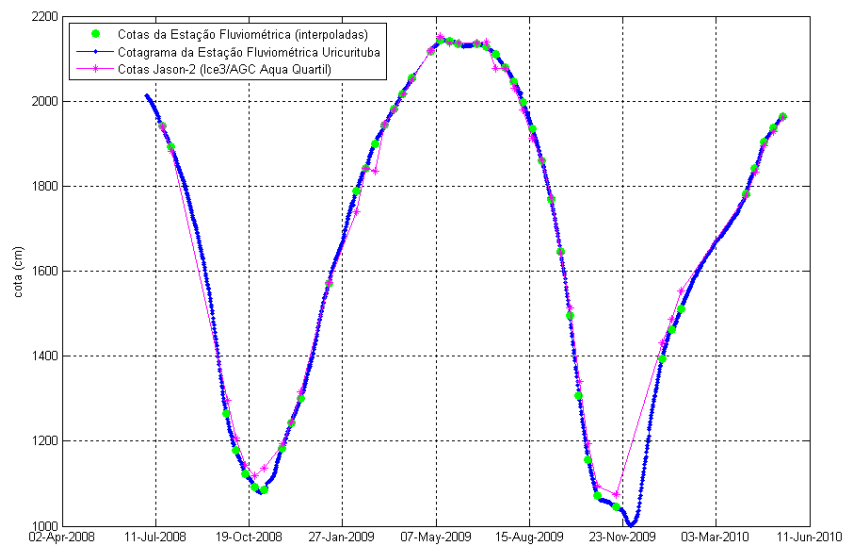


Figura E.8 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Uricurituba

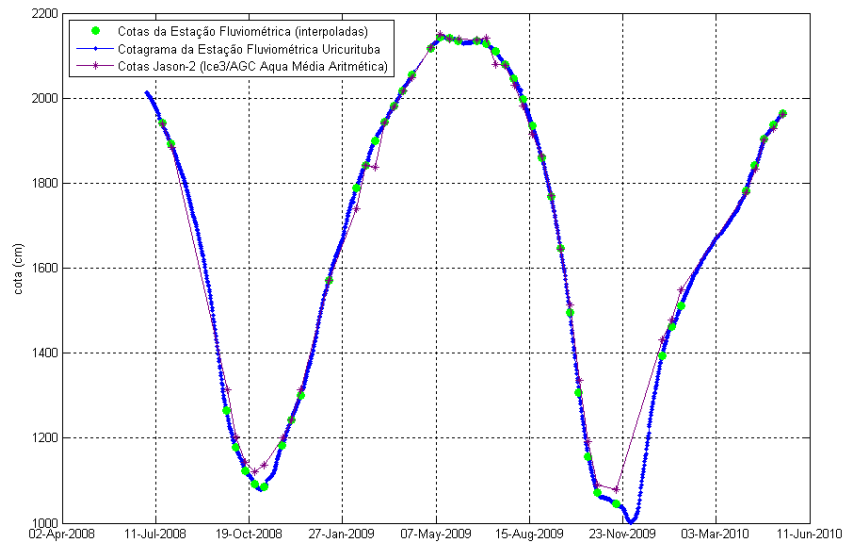


Figura E.9 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Uricurituba

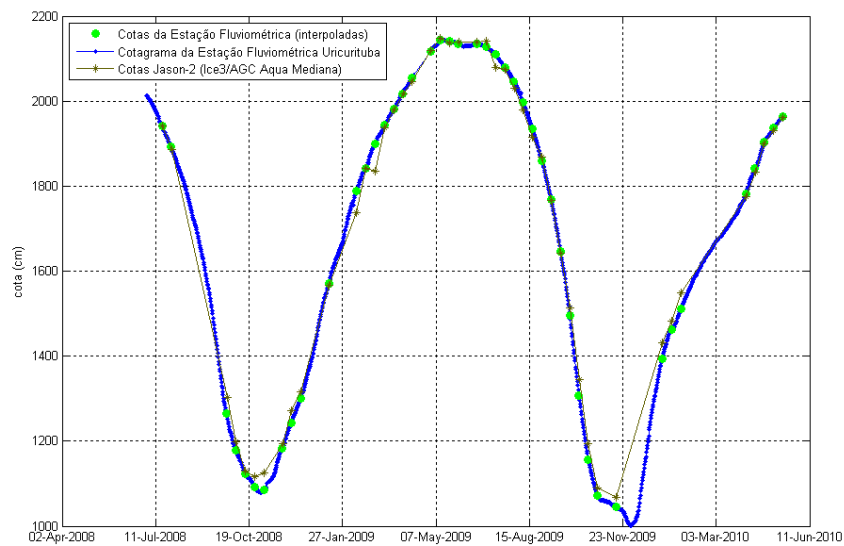


Figura E.10 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Uricurituba

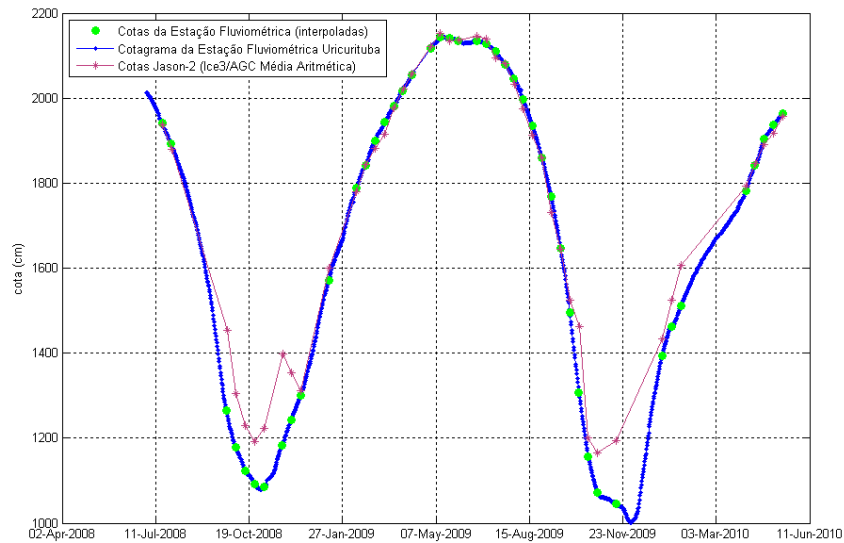


Figura E.11 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Uricurituba

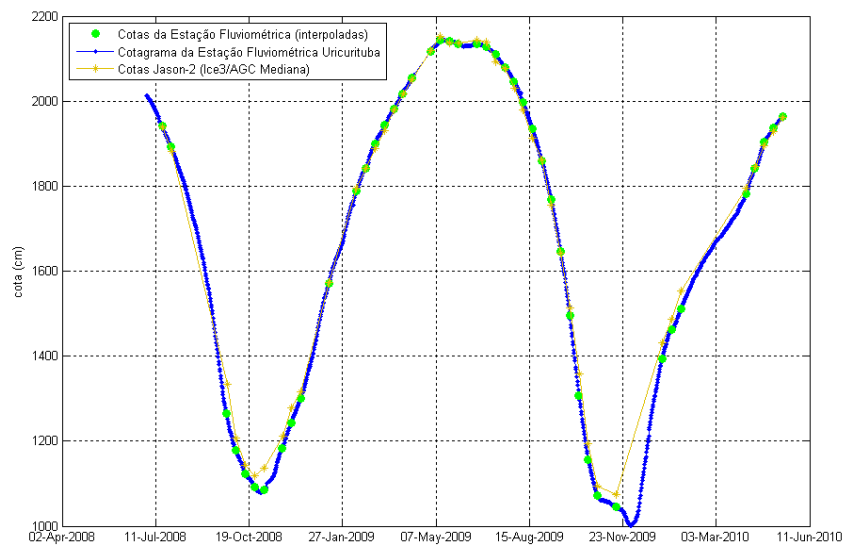


Figura E.12 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Mediana) e da estação fluviométrica Uricurituba

Tabela E.1 – Etapas a e b do procedimento de validação relativa na estação Uricurituba

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos total da estação						Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com IC 95%		
	Número de ciclos	Número de combinações	Média	Mediana	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
Uricurituba									
1 Aqua Quartil	62	1891	-2,4	1,7	-0,09	147,0	1664	-0,41	59,4
2 Aqua Média Aritmética	62	1891	-2,9	1,5	-0,07	148,2	1663	-0,30	59,8
3 Aqua Mediana	62	1891	-2,0	3,0	0,06	148,9	1664	-0,60	60,7
4 Média Aritmética	62	1891	-18,0	-9,5	-0,11	115,9	1824	-0,03	106,8
5 Mediana	62	1891	-12,7	-2,2	-0,55	88,8	1733	-0,60	64,8
6 Aqua AGC Mediana	45	990	2,7	1,1	0,13	31,1	934	0,16	25,7
7 Aqua AGC Média Aritmética	45	990	1,9	0,7	0,02	31,8	936	0,07	26,8
8 AGC Aqua Quartil	45	990	1,3	-1,1	0,13	31,9	939	0,12	27,0
9 AGC Aqua Média Aritmética	45	990	0,3	-1,0	0,05	31,6	938	0,05	26,7
10 AGC Aqua Mediana	45	990	1,2	-0,7	0,17	31,1	939	0,17	26,1
11 AGC Média Aritmética	45	990	-17,5	-6,3	-0,21	90,1	921	-0,18	75,6
12 AGC Mediana	45	990	-2,4	-2,7	-0,09	29,9	937	0,07	26,0

Tabela E.2 - Etapa c.7 do procedimento de validação relativa na estação Uricurituba

Uricurituba	lim1	lim2	lim3	lim4	dif 1	dif 2
1 Aqua Quartil	-60,2	66,1	-52,2	61,0	-8,0	-5,0
2 Aqua Média Aritmética	-58,5	62,9	-52,4	59,2	-6,1	-3,7
3 Aqua Mediana	-48,8	56,9	-43,0	53,0	-5,8	-3,9
4 Média Aritmética	-235,2	217,1	-225,7	194,1	-9,5	-23,0
5 Mediana	-65,8	70,6	-57,3	64,6	-8,4	-6,0
6 Aqua AGC Mediana	-51,6	52,2	-45,8	47,4	-5,8	-4,8
7 Aqua AGC Média Aritmética	-49,1	50,2	-44,3	47,2	-4,8	-3,0
8 AGC Aqua Quartil	-54,0	49,4	-48,4	46,6	-5,6	-2,8
9 AGC Aqua Média Aritmética	-51,1	48,2	-47,0	45,0	-4,1	-3,2
10 AGC Aqua Mediana	-52,3	49,2	-47,8	45,9	-4,5	-3,3
11 AGC Média Aritmética	-47,5	46,1	-42,1	42,2	-5,4	-3,9
12 AGC Mediana	-54,4	48,9	-49,4	45,2	-5,0	-3,7

Tabela E.3 – Cotas da estação fluviométrica Uricurituba interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação.

Estação Fluviométrica Uricurituba							
ciclo	data (dia/mês/ano)			Hora (hh:mm:ss)			cota (cm)
1	17	7	2008	19	17	49	1941,3
2	27	7	2008	17	16	20	1891,9
4	16	8	2008	13	13	23	1756,5
6	5	9	2008	9	10	27	1560,1
8	25	9	2008	5	7	31	1265,4
9	5	10	2008	3	6	3	1178,8
10	15	10	2008	1	4	35	1122,3
11	24	10	2008	23	3	7	1092,1
12	3	11	2008	21	1	38	1084,6
13	13	11	2008	19	0	9	1117,3
14	23	11	2008	16	58	41	1184,0
15	3	12	2008	14	57	12	1242,6
16	13	12	2008	12	55	43	1301,4
17	23	12	2008	10	54	14	1378,2
18	2	1	2009	8	52	46	1484,4
19	12	1	2009	6	51	18	1570,9
20	22	1	2009	4	49	50	1642,2

Tabela E.3 – Cotas da estação fluviométrica Uricurituba interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação (continuação).

22	11	2	2009	0	46	54	1788,6
23	20	2	2009	22	45	26	1842,8
24	2	3	2009	20	43	58	1899,5
25	12	3	2009	18	42	29	1944,2
26	22	3	2009	16	41	0	1981,9
27	1	4	2009	14	39	31	2017,8
28	11	4	2009	12	38	2	2055,6
30	1	5	2009	8	35	4	2117,2
31	11	5	2009	6	33	36	2142,9
32	21	5	2009	4	32	8	2142,0
33	31	5	2009	2	30	40	2134,3
35	19	6	2009	22	27	43	2135,6
36	29	6	2009	20	26	15	2127,0
37	9	7	2009	18	24	47	2109,8
38	19	7	2009	16	23	18	2080,1
39	29	7	2009	14	21	49	2045,3
40	8	8	2009	12	20	21	1996,9
41	18	8	2009	10	18	52	1934,3
42	28	8	2009	8	17	23	1859,6
43	7	9	2009	6	15	55	1769,3
44	17	9	2009	4	14	27	1647,0
45	27	9	2009	2	12	59	1496,1
46	7	10	2009	0	11	31	1307,9
47	16	10	2009	22	10	3	1156,8
48	26	10	2009	20	8	34	1072,3
49	5	11	2009	18	7	5	1057,9
50	15	11	2009	16	5	36	1045,1
51	25	11	2009	14	4	8	1024,6
52	5	12	2009	12	2	39	1009,5
53	15	12	2009	10	1	10	1130,7
54	25	12	2009	7	59	42	1281,5
55	4	1	2010	5	58	14	1392,7
56	14	1	2010	3	56	46	1462,6
57	24	1	2010	1	55	18	1510,9
58	2	2	2010	23	53	50	1561,5
59	12	2	2010	21	52	22	1605,7
60	22	2	2010	19	50	53	1641,6
61	4	3	2010	17	49	25	1675,1
62	14	3	2010	15	47	56	1701,9
63	24	3	2010	13	46	27	1733,7
64	3	4	2010	11	44	58	1782,9
65	13	4	2010	9	43	29	1842,3
66	23	4	2010	7	42	1	1903,1
67	3	5	2010	5	40	32	1936,7
68	13	5	2010	3	39	4	1963,5

Tabela E.4 – Alturas elipsoidais da estação Uricurituba com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Uricurituba							
Ciclo	Aqua Quartil (cm)	Ciclo	Aqua Média Aritmética (cm)	Ciclo	Aqua Mediana (cm)	ciclo	Média Aritmética (cm)
1	669,2	1	670,4	1	670,7	1	667,7
2	611,7	2	614,2	2	615,2	2	610
4	482,9	4	477,8	4	474,1	4	488,8
6	474,9	6	480,9	6	491,6	6	456,7
8	377,1	8	361,6	8	358,4	8	203,4
9	-59,1	9	-66,2	9	-71,8	9	76,8
10	-126,2	10	-127,3	10	-139,3	10	-39,5
11	-151,7	11	-150,2	11	-153,9	11	-77,4
12	-134,6	12	-134,4	12	-145,5	12	-47,4
13	-139,8	13	-104,7	13	-83,2	13	47,8
14	-77,6	14	-75,6	14	-76,4	14	98,1
15	-29,1	15	-28,3	15	-22,1	15	92,5
16	53,7	16	44	16	46,2	16	101,6
17	165,2	17	157,8	17	140,1	17	312,5
18	229,8	18	243,9	18	229,8	18	355,2
19	314,7	19	310,2	19	304,3	19	344,5
20	357	20	359,6	20	359,3	20	430,7
22	469,6	22	470,3	22	466,8	22	509,9
23	572,4	23	572,2	23	572,4	23	573,6
24	566,2	24	567,1	24	564,6	24	611,8
25	676,6	25	671,1	25	668,2	25	644,7
26	708,7	26	708,8	26	708,8	26	706,5
27	747,3	27	747,9	27	747,3	27	750,6
28	780,9	28	778,7	28	776,3	28	786,3
30	849,7	30	850,1	30	849,7	30	850,9
31	881,5	31	879,1	31	878	31	883
32	865,8	32	869,8	32	866	32	863,7
33	867,5	33	869,5	33	868,3	33	866
35	866,9	35	867,2	35	869,1	35	876,7
36	869,4	36	871,1	36	870,3	36	869,2
37	807,5	37	808,2	37	809,8	37	825,4
38	806,4	38	807,1	38	804,2	38	810,7
39	761,4	39	760	39	760,5	39	763,2
40	709,1	40	711,7	40	710,2	40	705,4
41	645,8	41	646,4	41	645,8	41	647
42	592,5	42	593,3	42	598,1	42	588,9
43	502,9	43	499,7	43	496	43	460,3
44	372,1	44	374	44	373,2	44	374,5
45	244,6	45	243,5	45	242,9	45	254,4
46	76,3	46	108	46	83,1	46	203,2
47	-63,3	47	-69	47	-74,9	47	-4,3
48	-175,1	48	-180,2	48	-180,5	48	-105,2
49	-167,3	49	-175,5	49	-179	49	-55
50	-195,5	50	-190,2	50	-202,6	50	-75,8
51	-203	51	-201,8	51	-208,8	51	-73,2

Tabela E.4 – Alturas elipsoidais da estação Uricurituba com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética (continuação).

52	-236,1	52	-232,3	52	-240,2	52	-148,3
53	336,8	53	352,1	53	362,6	53	70,2
54	372,6	54	361,3	54	372,6	54	217,5
55	162,4	55	161,1	55	162,1	55	163,9
56	217,5	56	212	56	214,7	56	256,8
57	284,5	57	279,8	57	278,8	57	336,5
58	316,3	58	320,9	58	317,4	58	403
59	523,4	59	524,3	59	525,9	59	445,3
60	425,5	60	417,2	60	409,9	60	447,4
61	445,3	61	440,8	61	436,3	61	459
62	435,7	62	439,1	62	441,6	62	468
63	145,1	63	126,2	63	145,1	63	289,3
64	516,7	64	516,5	64	516,6	64	516,5
65	566,5	65	570,2	65	574	65	551,7
66	625,5	66	630,7	66	628,7	66	619,6
67	658,1	67	658,8	67	661	67	646,8
68	690,8	68	691,7	68	690,8	68	687

Tabela E.5 – Alturas elipsoidais da estação Uricurituba com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Uricurituba							
ciclo	Mediana (cm)	Ciclo	Aqua AGC Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Aqua Quartil (cm)
1	669,2	1	670,7	1	670,4	1	669,2
2	611,7	2	615,2	2	614,2	2	611,7
4	482,9	8	33,5	8	42,9	8	25,6
6	474,9	9	-71,8	9	-66,2	9	-62,6
8	177,5	10	-139,3	10	-127,3	10	-126,2
9	-59,1	11	-153,9	11	-150,2	11	-151,7
10	-126,2	12	-145,5	12	-134,4	12	-134,6
11	-151,7	14	-74,9	14	-69,7	14	-76,8
12	-134,6	15	1,2	15	-27,1	15	-25,8
13	-48,6	16	46,2	16	44	16	46,2
14	-44,6	19	296,7	19	302	19	302,8
15	7,4	22	466,8	22	470,3	22	469,6
16	53,7	23	570,8	23	571,5	23	570,8
17	368,3	24	564,6	24	567,1	24	566,2
18	356,7	25	668,2	25	671,1	25	676,6
19	314,7	26	708,8	26	708,8	26	708,7
20	387,2	27	747,3	27	747,9	27	747,3
22	524,8	28	776,3	28	778,7	28	780,9
23	572,4	30	849,7	30	850,1	30	849,7
24	619,3	31	878	31	879,1	31	881,5
25	659,8	32	866	32	869,8	32	865,8
26	708,7	33	868,3	33	869,5	33	867,5

Tabela E.5 – Alturas elipsoidais da estação Uricurituba com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil (continuação).

27	747,3	35	869,1	35	867,2	35	866,9
28	780,9	36	870,3	36	871,1	36	869,4
30	849,7	37	809,8	37	808,2	37	807,5
31	881,5	38	804,2	38	807,1	38	806,4
32	865,8	39	760,5	39	760	39	761,4
33	867,5	40	710,2	40	711,7	40	709,1
35	873,1	41	644	41	645,3	41	643,6
36	869,4	42	598,1	42	593,3	42	592,5
37	823,3	43	496	43	499,7	43	502,9
38	806,4	44	373,2	44	374	44	372,1
39	761,4	45	242,9	45	243,5	45	244,6
40	709,1	46	75	46	67	46	70,8
41	645,8	47	-74,9	47	-69,8	47	-74,9
42	592,5	48	-180,5	48	-180,2	48	-175,1
43	484,7	50	-202,6	50	-190,2	50	-195,5
44	372,1	55	162,1	55	161,1	55	162,4
45	244,6	56	212,9	56	209	56	216,5
46	191	57	278,8	57	279,8	57	284,5
47	-63,3	64	529,7	64	531	64	508,1
48	-175,1	65	577,1	65	577,2	65	562,1
49	-167,3	66	628,7	66	630,7	66	625,5
50	-195,5	67	661	67	658,8	67	658,1
51	-203	68	690,8	68	691,7	68	690,8
52	-236,1						
53	-60,9						
54	208,3						
55	162,4						
56	217,5						
57	284,5						
58	343,8						
59	439						
60	425,5						
61	445,3						
62	457,7						
63	315,2						
64	516,7						
65	566,5						
66	625,5						
67	658,1						
68	690,8						

Tabela E.6 – Alturas elipsoidais da estação Uricurituba com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Uricurituba							
ciclo	AGC Aqua Média Aritmética (cm)	Ciclo	AGC Aqua Mediana (cm)	Ciclo	AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Mediana (cm)
1	670,4	1	670,7	1	667,7	1	669,2
2	614,2	2	615,2	2	610	2	611,7
8	42,9	8	33,5	8	184,1	8	64,6
9	-66,2	9	-71,8	9	34,6	9	-62,6
10	-127,3	10	-139,3	10	-39,5	10	-126,2
11	-150,2	11	-153,9	11	-77,4	11	-151,7
12	-134,4	12	-145,5	12	-47,4	12	-134,6
14	-69,7	14	-74,9	14	128,2	14	-57,8
15	-27,1	15	1,2	15	84,8	15	7,4
16	44	16	46,2	16	42,6	16	46,2
19	302	19	296,7	19	329,3	19	302,8
22	470,3	22	466,8	22	509,9	22	524,8
23	571,5	23	570,8	23	573,2	23	570,8
24	567,1	24	564,6	24	611,8	24	619,3
25	671,1	25	668,2	25	644,7	25	659,8
26	708,8	26	708,8	26	706,5	26	708,7
27	747,9	27	747,3	27	750,6	27	747,3
28	778,7	28	776,3	28	786,3	28	780,9
30	850,1	30	849,7	30	850,9	30	849,7
31	879,1	31	878	31	883	31	881,5
32	869,8	32	866	32	863,7	32	865,8
33	869,5	33	868,3	33	866	33	867,5
35	867,2	35	869,1	35	876,7	35	873,1
36	871,1	36	870,3	36	869,2	36	869,4
37	808,2	37	809,8	37	825,4	37	823,3
38	807,1	38	804,2	38	810,7	38	806,4
39	760	39	760,5	39	763,2	39	761,4
40	711,7	40	710,2	40	705,4	40	709,1
41	645,3	41	644	41	642,7	41	643,6
42	593,3	42	598,1	42	588,9	42	592,5
43	499,7	43	496	43	460,3	43	484,7
44	374	44	373,2	44	374,5	44	372,1
45	243,5	45	242,9	45	254,4	45	244,6
46	67	46	75	46	193,4	46	87,4
47	-77,8	47	-76,9	47	-69,8	47	-74,9
48	-180,2	48	-180,5	48	-105,2	48	-175,1
50	-190,2	50	-202,6	50	-75,8	50	-195,5
55	161,1	55	162,1	55	163,9	55	162,4
56	209	56	212,9	56	254,6	56	216,5
57	279,8	57	278,8	57	336,5	57	284,5
64	508,4	64	505,3	64	523,4	64	524,9
65	562,8	65	562,1	65	577,2	65	577,1
66	630,7	66	628,7	66	619,6	66	625,5
67	658,8	67	661	67	646,8	67	658,1
68	691,7	68	690,8	68	687	68	690,8

ANEXO F - Estação Itupiranga

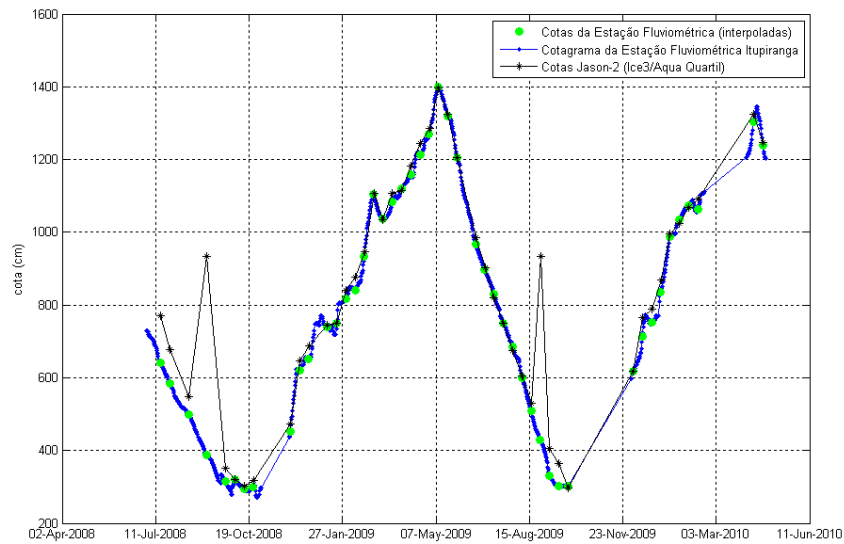


Figura F.1 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Itupiranga

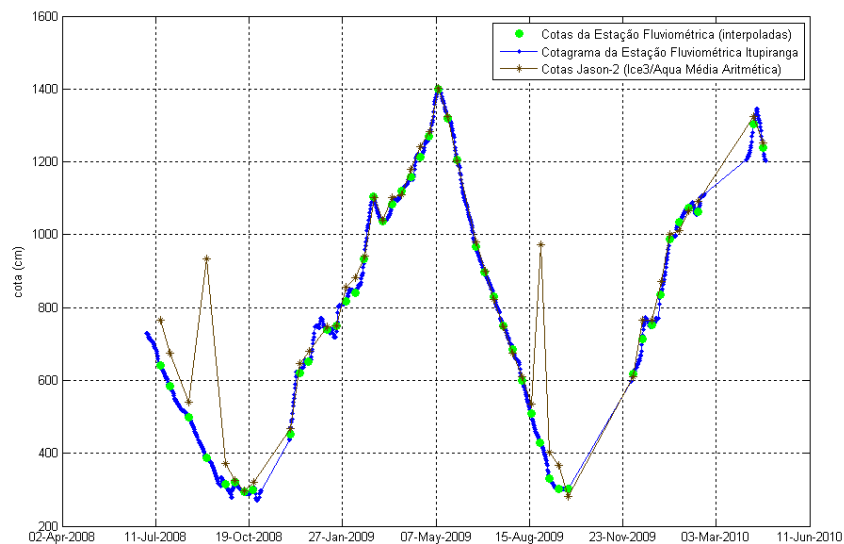


Figura F.2 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Itupiranga

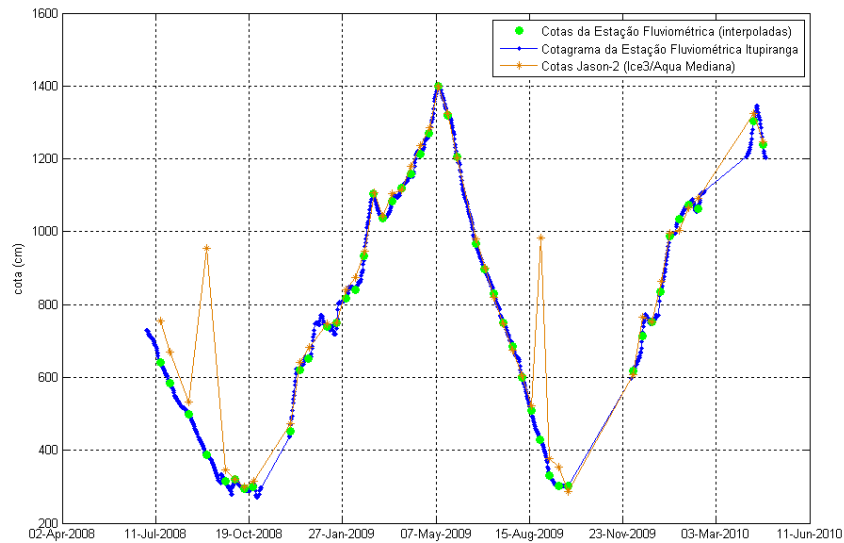


Figura F.3 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Itupiranga

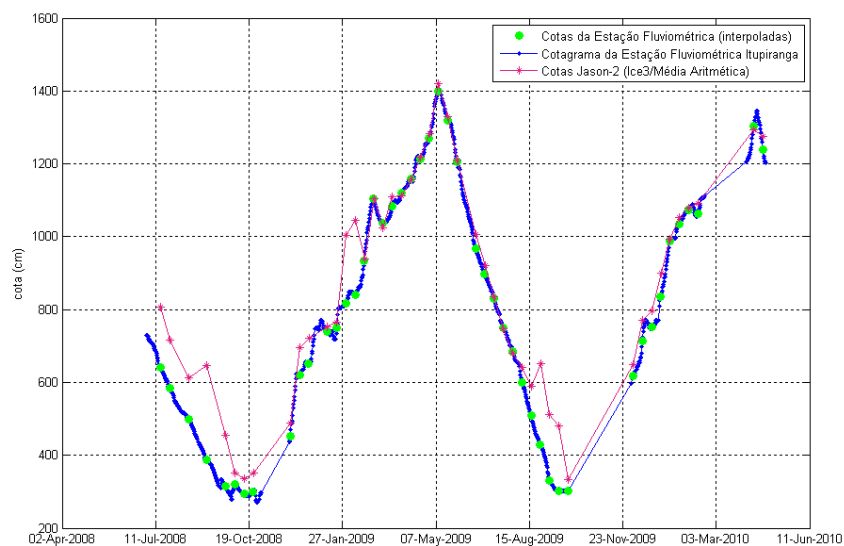


Figura F.4 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Média Aritmética) e da estação fluviométrica Itupiranga

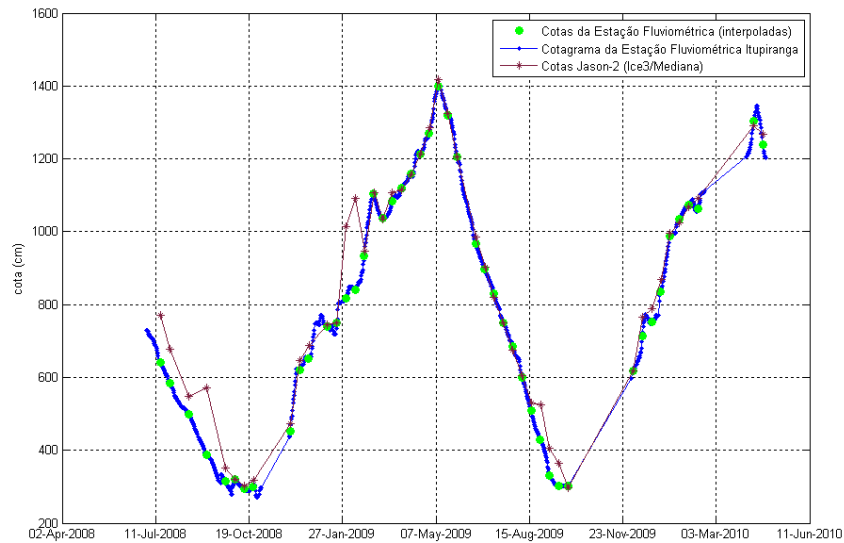


Figura F.5 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Mediana) e da estação fluviométrica Itupiranga

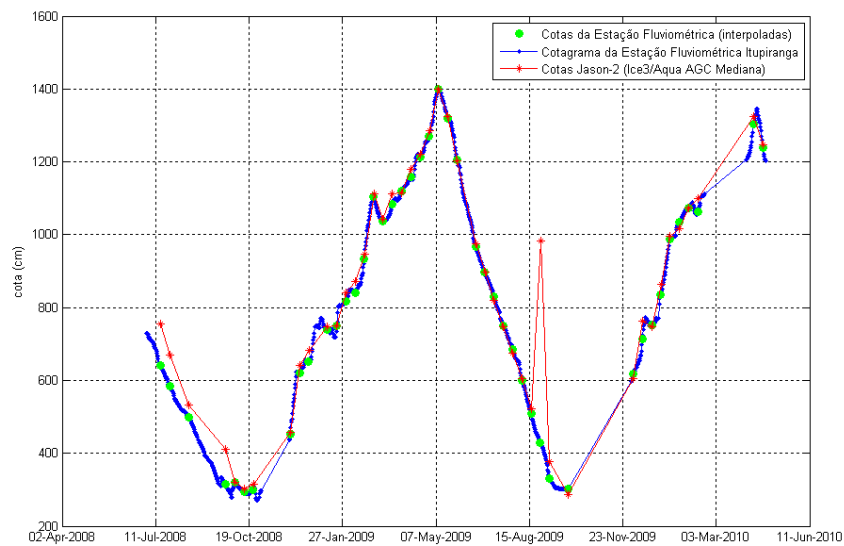


Figura F.6 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Itupiranga

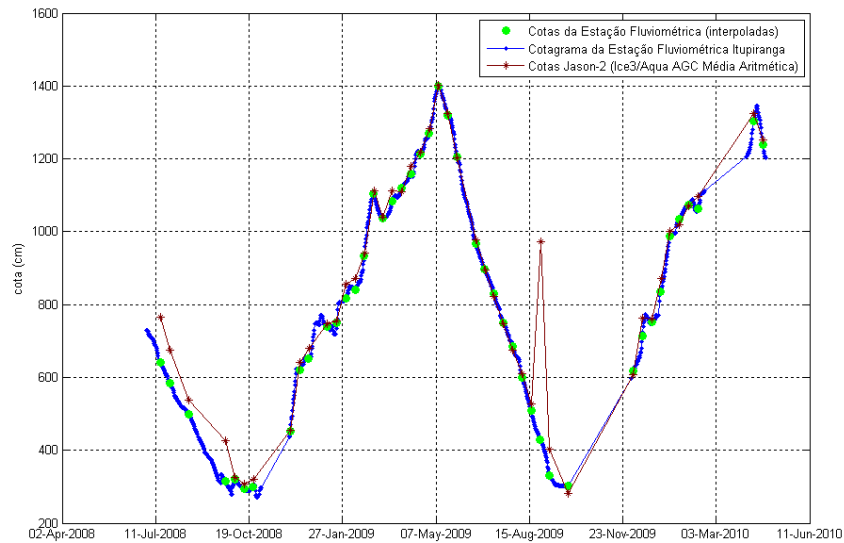


Figura F.7 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Média Aritmética) e da estação fluvimétrica Itupiranga

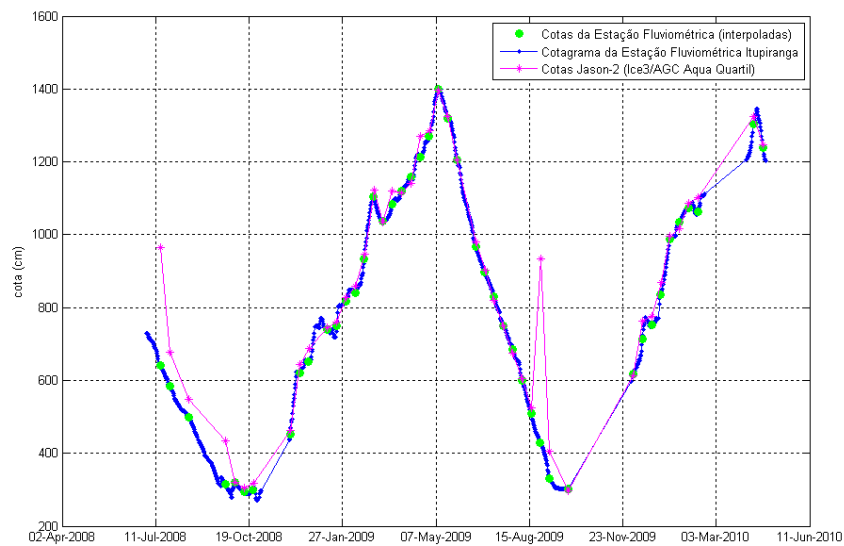


Figura F.8 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Quartil) e da estação fluvimétrica Itupiranga

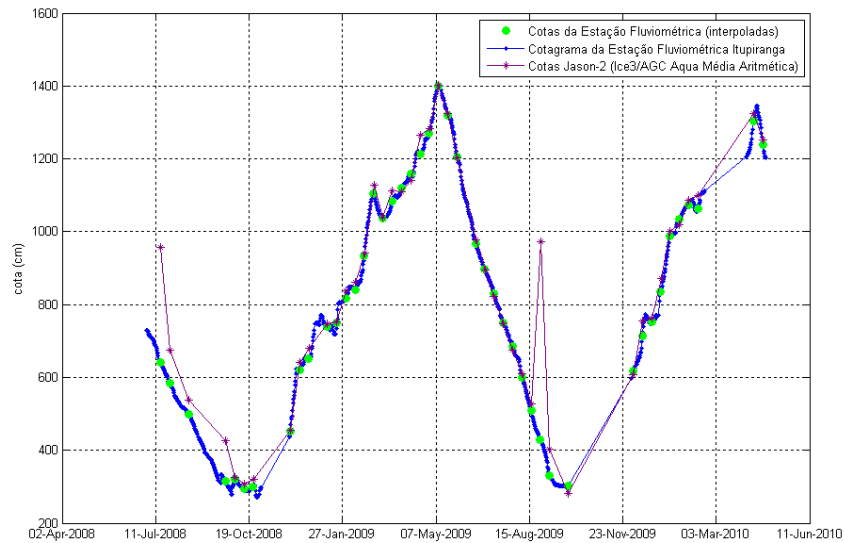


Figura F.9 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Média Aritmética) e da estação fluvimétrica Itupiranga

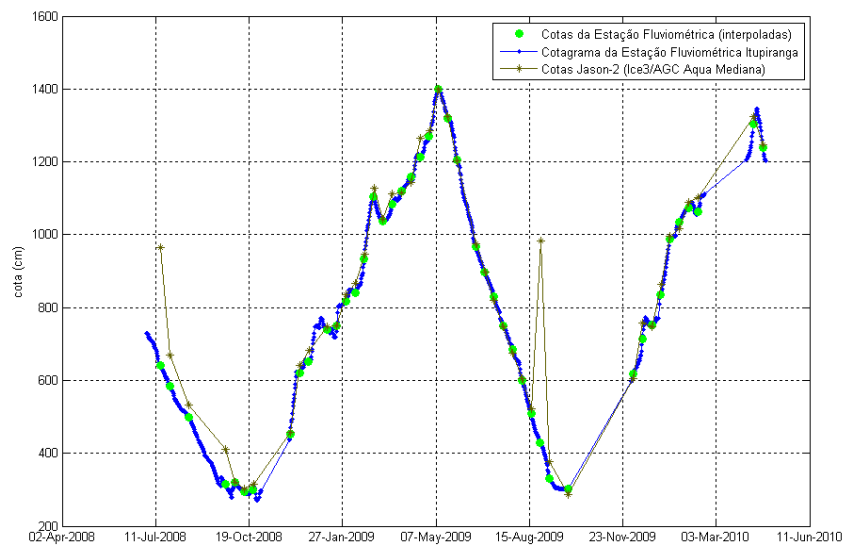


Figura F.10 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Mediana) e da estação fluvimétrica Itupiranga

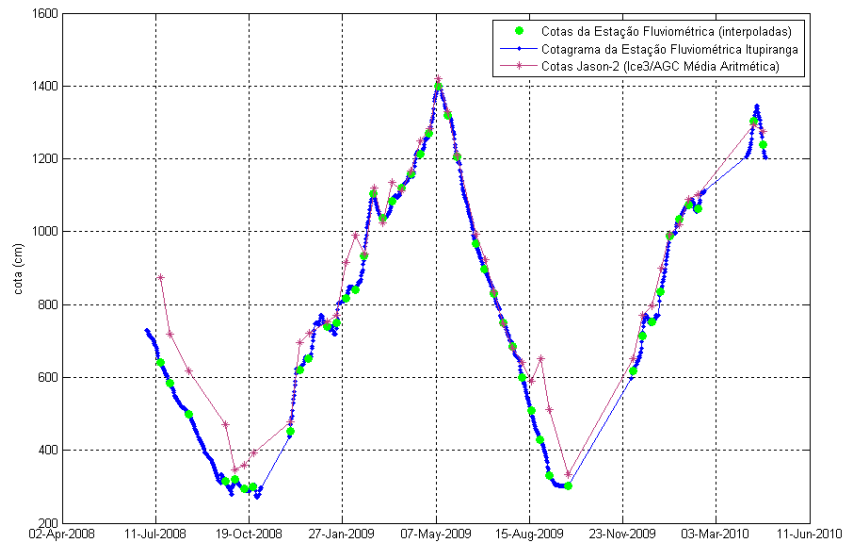


Figura F.11 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Itupiranga

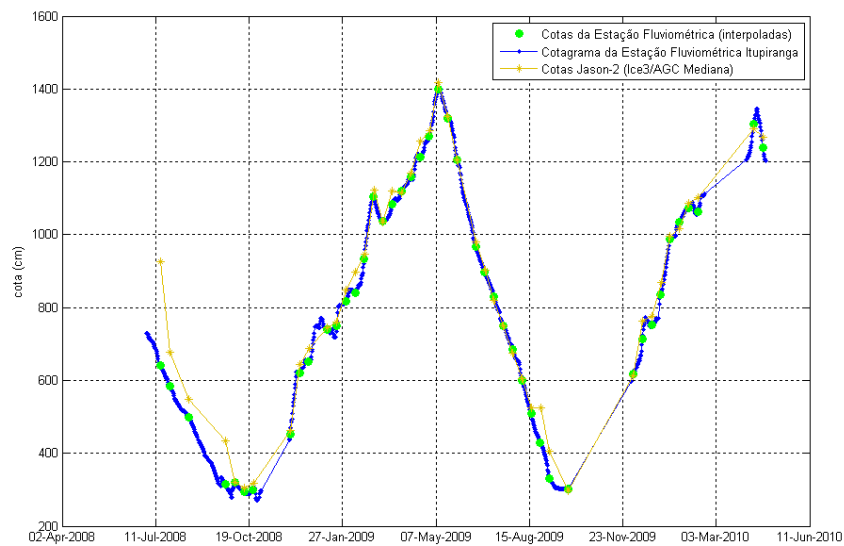


Figura F.12 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Mediana) e da estação fluviométrica Itupiranga

Tabela F.1 – Etapas a e b do procedimento de validação relativa na estação Itupiranga

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos total da estação						Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com IC 95%		
Itupiranga	Número de ciclos	Número de combinações	Média	Mediana	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
1 Aqua Quartil	47	1081	-19,4	-7,1	-0,68	150,8	991	-0,77	40,0
2 Aqua Média Aritmética	47	1081	-20,1	-9,1	-0,44	156,6	991	-0,63	41,3
3 Aqua Mediana	47	1081	-20,5	-8,9	-0,51	160,9	991	-0,87	36,3
4 Média Aritmética	47	1081	-23,7	-12,1	-0,02	99,4	991	-0,32	81,9
5 Mediana	47	1081	-20,5	-8,3	-0,66	79,4	982	-0,76	50,5
6 Aqua AGC Mediana	45	990	-2,0	-7,3	1,80	119,7	946	-0,94	39,1
7 Aqua AGC Média Aritmética	45	990	-2,9	-8,3	1,73	118,6	946	-0,86	44,0
8 AGC Aqua Quartil	45	990	-11,7	-5,9	0,74	125,9	907	-0,97	42,2
9 AGC Aqua Média Aritmética	45	990	-10,3	-7,1	0,94	131,8	908	-1,04	41,9
10 AGC Aqua Mediana	45	990	-10,8	-6,6	0,94	134,0	907	-1,08	37,8
11 AGC Média Aritmética	45	990	-23,6	-16,6	0,09	86,6	908	-0,36	67,1
12 AGC Mediana	45	990	-19,9	-7,9	-2,15	69,5	946	-0,34	42,3

Tabela F.2 - Etapa c.7 do procedimento de validação relativa na estação Itupiranga

Itupiranga	lim1	lim2	lim3	lim4	dif 1	dif 2
1 Aqua Quartil	-55,4	43,4	-49,4	39,1	-5,9	-4,3
2 Aqua Média Aritmética	-59,3	46,1	-53,3	41,2	-6,0	-4,9
3 Aqua Mediana	-50,2	36,0	-44,6	32,4	-5,6	-3,6
4 Média Aritmética	-81,2	75,1	-72,8	65,6	-8,4	-9,5
5 Mediana	-48,8	36,6	-45,0	34,3	-3,8	-2,3
6 Aqua AGC Mediana	-44,3	32,2	-39,9	28,8	-4,4	-3,4
7 Aqua AGC Média Aritmética	-47,5	35,3	-43,0	32,5	-4,5	-2,7
8 AGC Aqua Quartil	-48,5	42,9	-44,0	39,4	-4,5	-3,5
9 AGC Aqua Média Aritmética	-51,3	44,0	-45,4	39,2	-5,9	-4,8
10 AGC Aqua Mediana	-51,2	42,1	-45,3	38,4	-5,8	-3,7
11 AGC Média Aritmética	-107,6	86,7	-100,3	74,5	-7,3	-12,2
12 AGC Mediana	-57,3	46,2	-51,2	42,1	-6,1	-4,1

Tabela F.3 – Cotas da estação fluviométrica Itupiranga interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação.

Estação Fluviométrica Itupiranga							
ciclo	data (dia/mês/ano)				hora (hh:mm:ss)		cota (cm)
1	16	7	2008	6	42	28	640,1
2	26	7	2008	4	41	0	584,3
4	15	8	2008	0	38	3	498,7
6	3	9	2008	20	35	6	388,2
8	23	9	2008	16	32	10	314,1
9	3	10	2008	14	30	42	320,0
10	13	10	2008	12	29	14	294,0
11	23	10	2008	10	27	46	300,7
15	2	12	2008	2	21	51	453,4
16	12	12	2008	0	20	22	620,0
17	21	12	2008	22	18	54	652,8
19	10	1	2009	18	15	57	740,0
20	20	1	2009	16	14	30	748,9
21	30	1	2009	14	13	2	817,2
22	9	2	2009	12	11	34	840,0
23	19	2	2009	10	10	6	933,2

Tabela F.3 – Cotas da estação fluviométrica Itupiranga interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação (continuação).

24	1	3	2009	8	8	37	1103,7
25	11	3	2009	6	7	9	1037,9
26	21	3	2009	4	5	40	1084,0
27	31	3	2009	2	4	11	1120,0
28	10	4	2009	0	2	42	1159,0
29	19	4	2009	22	1	13	1214,4
30	29	4	2009	19	59	43	1271,1
31	9	5	2009	17	58	15	1399,2
32	19	5	2009	15	56	47	1318,0
33	29	5	2009	13	55	19	1206,5
35	18	6	2009	9	52	23	968,6
36	28	6	2009	7	50	54	897,7
37	8	7	2009	5	49	26	830,4
38	18	7	2009	3	47	57	751,1
39	28	7	2009	1	46	29	685,7
40	6	8	2009	23	45	0	600,6
41	16	8	2009	21	43	31	508,3
42	26	8	2009	19	42	3	429,6
43	5	9	2009	17	40	35	329,9
44	15	9	2009	15	39	7	303,1
45	25	9	2009	13	37	39	301,0
52	3	12	2009	23	27	18	618,9
53	13	12	2009	21	25	49	714,7
54	23	12	2009	19	24	21	751,3
55	2	1	2010	17	22	53	835,1
56	12	1	2010	15	21	26	989,2
57	22	1	2010	13	19	58	1034,9
58	1	2	2010	11	18	30	1074,2
59	11	2	2010	9	17	2	1062,7
65	11	4	2010	21	8	8	1302,7
66	21	4	2010	19	6	40	1238,5

Tabela F.4 – Alturas elipsoidais da estação Itupiranga com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Itupiranga							
ciclo	Aqua Quartil (cm)	Ciclo	Aqua Média Aritmética (cm)	ciclo	Aqua Mediana (cm)	ciclo	Média Aritmética (cm)
1	5119,9	1	5116,5	1	5105,8	1	5156,5
2	5026,5	2	5025,3	2	5019,9	2	5066
4	4898,1	4	4889,8	4	4883,3	4	4962,7
6	5283,7	6	5282,9	6	5303,7	6	4995,5
8	4702,3	8	4722,9	8	4695	8	4804,4
9	4671,1	9	4675,2	9	4669,8	9	4700,7
10	4651,5	10	4646	10	4648,9	10	4686,7
11	4667,6	11	4669,4	11	4666	11	4701,6
15	4823,9	15	4818,9	15	4823,4	15	4838,4
16	4996,1	16	4996,5	16	4991,9	16	5046,5
17	5037,3	17	5030,3	17	5032,5	17	5070,4

Tabela F.4 – Alturas elipsoidais da estação Itupiranga com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética (continuação).

19	5093,9	19	5098,6	19	5096,4	19	5103,6
20	5101,2	20	5099,9	20	5099,6	20	5114,6
21	5190,2	21	5205,8	21	5190,9	21	5353
22	5227,3	22	5231,7	22	5223,5	22	5393,8
23	5295,3	23	5291,8	23	5295,3	23	5289,6
24	5455,9	24	5452,3	24	5455,8	24	5453,3
25	5384,3	25	5389,5	25	5392,7	25	5373,4
26	5456,7	26	5451,4	26	5454,6	26	5460,6
27	5464,1	27	5460	27	5463,5	27	5461,7
28	5531,5	28	5528,9	28	5530,6	28	5505,5
29	5593,8	29	5592,5	29	5587	29	5568
30	5634,9	30	5632,6	30	5634,9	30	5632,3
31	5746,6	31	5751,9	31	5748,7	31	5771
32	5673,6	32	5673,6	32	5673,3	32	5678,4
33	5554,1	33	5553	33	5551,9	33	5560,2
35	5334,4	35	5330,4	35	5329,6	35	5356,4
36	5253	36	5249,6	36	5249,6	36	5271
37	5171	37	5171,1	37	5170,7	37	5184,2
38	5099	38	5097,2	38	5097,8	38	5097,9
39	5023,7	39	5025,1	39	5023,7	39	5029,9
40	4956,1	40	4960,6	40	4953,8	40	4990,2
41	4878,9	41	4885,3	41	4872,6	41	4939,3
42	5282,7	42	5322	42	5333,1	42	5001,8
43	4755,7	43	4752,2	43	4726,3	43	4862,7
44	4713,9	44	4717,7	44	4704,5	44	4830,2
45	4646,5	45	4631,1	45	4636,1	45	4683
52	4967,2	52	4959,4	52	4958,7	52	4999,9
53	5114,9	53	5115,2	53	5114,9	53	5120,5
54	5138,1	54	5115,9	54	5103,1	54	5146,4
55	5220,1	55	5222,6	55	5213,8	55	5251,1
56	5346,8	56	5351	56	5346,8	56	5343,9
57	5373,4	57	5361,3	57	5354,6	57	5403,5
58	5419,5	58	5415,5	58	5416,7	58	5427,5
59	5440,6	59	5441,1	59	5442,6	59	5441,1
65	5675,2	65	5674,5	65	5674,5	65	5642,2
66	5597,3	66	5601,2	66	5597,5	66	5624,2

Tabela F.5 – Alturas elipsoidais da estação Itupiranga com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Itupiranga							
ciclo	Mediana (cm)	Ciclo	Aqua AGC Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Aqua Quartil (cm)
1	5119,9	1	5104	1	5116,3	1	5314,5
2	5026,5	2	5020,6	2	5025,6	2	5027,5
4	4898,1	4	4883,3	4	4888,9	4	4898,1
6	4920,7	8	4759,8	8	4776,7	8	4783,7

Tabela F.5 – Alturas elipsoidais da estação Itupiranga com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil (continuação).

8	4702,3	9	4669,8	9	4675,2	9	4669,8
9	4671,1	10	4652,8	10	4657,6	10	4655,6
10	4651,5	11	4664,3	11	4671,4	11	4667,6
11	4667,6	15	4808,4	15	4803,7	15	4813,8
15	4823,9	16	4990	16	4990	16	4994,7
16	4996,1	17	5032,5	17	5030,3	17	5037,3
17	5037,3	19	5096,4	19	5098,6	19	5093,9
19	5093,9	20	5101,2	20	5105,4	20	5110,5
20	5101,2	21	5190,9	21	5205,8	21	5177,7
21	5363,4	22	5221,9	22	5221,6	22	5209,7
22	5440,4	23	5295,3	23	5291,8	23	5295,3
23	5295,3	24	5461,3	24	5461,3	24	5472,4
24	5455,9	25	5392,7	25	5389,5	25	5384,3
25	5384,3	26	5461,2	26	5463,2	26	5469,7
26	5456,7	27	5463,5	27	5460	27	5464,1
27	5464,1	28	5530,6	28	5528,9	28	5491,2
28	5506,9	29	5571,1	29	5569	29	5619,3
29	5563	30	5634,9	30	5632,6	30	5634,9
30	5634,9	31	5748,7	31	5751,9	31	5746,6
31	5767	32	5673,3	32	5673,6	32	5673,6
32	5673,6	33	5551,9	33	5553	33	5554,1
33	5554,1	35	5325,4	35	5327,8	35	5329,6
35	5334,4	36	5248,3	36	5245,6	36	5253
36	5253	37	5170,7	37	5171,1	37	5171
37	5171	38	5097,8	38	5097,2	38	5099
38	5099	39	5023,7	39	5025,1	39	5023,7
39	5023,7	40	4953,8	40	4960,6	40	4956,1
40	4956,1	41	4871,8	41	4878,5	41	4873,6
41	4878,9	42	5333,1	42	5322	42	5282,7
42	4873,9	43	4726,3	43	4752,2	43	4755,7
43	4755,7	45	4636,1	45	4631,1	45	4646,5
44	4713,9	52	4955,9	52	4956,9	52	4961,5
45	4646,5	53	5112,8	53	5113,7	53	5112,8
52	4967,2	54	5097,4	54	5110,2	54	5125,8
53	5114,9	55	5213,8	55	5222,6	55	5220,1
54	5138,1	56	5346,8	56	5351	56	5346,8
55	5220,1	57	5367	57	5370	57	5367
56	5346,8	58	5422,4	58	5419,7	58	5435,6
57	5373,4	59	5449,3	59	5447,9	59	5451,1
58	5419,5	65	5674,5	65	5674,5	65	5675,2
59	5440,6	66	5597,5	66	5601,2	66	5597,3
65	5641,6						
66	5618,4						

Tabela F.6 – Alturas elipsoidais da estação Itupiranga com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Itupiranga							
ciclo	AGC Aqua Média Aritmética (cm)	Ciclo	AGC Aqua Mediana (cm)	ciclo	AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Mediana (cm)
1	5306,4	1	5313,7	1	5224,9	1	5274,7
2	5025,6	2	5020,6	2	5067,6	2	5027,5
4	4888,9	4	4883,3	4	4967	4	4898,1
8	4776,7	8	4759,8	8	4821,7	8	4783,7
9	4675,2	9	4669,8	9	4696,2	9	4669,8
10	4657,6	10	4652,8	10	4709	10	4655,6
11	4671,4	11	4664,3	11	4742,5	11	4667,6
15	4803,7	15	4808,4	15	4827,5	15	4813,8
16	4990	16	4990	16	5046,8	16	4994,7
17	5030,3	17	5032,5	17	5070,4	17	5037,3
19	5098,6	19	5096,4	19	5103,6	19	5093,9
20	5102,2	20	5099,8	20	5121,4	20	5110,5
21	5186,9	21	5185,8	21	5266,7	21	5197,1
22	5209,9	22	5217,2	22	5339,4	22	5246,9
23	5291,8	23	5295,3	23	5289,6	23	5295,3
24	5478,2	24	5477,9	24	5468,9	24	5472,4
25	5389,5	25	5392,7	25	5373,4	25	5384,3
26	5463,2	26	5461,2	26	5485,2	26	5469,7
27	5460	27	5463,5	27	5461,7	27	5464,1
28	5489,9	28	5492,1	28	5515,3	28	5519,7
29	5614,7	29	5616,1	29	5599,5	29	5606
30	5632,6	30	5634,9	30	5632,3	30	5634,9
31	5751,9	31	5748,7	31	5771	31	5767
32	5673,6	32	5673,3	32	5678,4	32	5673,6
33	5553	33	5551,9	33	5560,2	33	5554,1
35	5327,8	35	5325,4	35	5344,4	35	5329,6
36	5245,6	36	5248,3	36	5274	36	5253
37	5171,1	37	5170,7	37	5184,2	37	5171
38	5097,2	38	5097,8	38	5097,9	38	5099
39	5025,1	39	5023,7	39	5029,9	39	5023,7
40	4960,6	40	4953,8	40	4990,2	40	4956,1
41	4878,5	41	4871,8	41	4939,7	41	4873,6
42	5322	42	5333,1	42	5001,8	42	4873,9
43	4752,2	43	4726,3	43	4862,7	43	4755,7
45	4631,1	45	4636,1	45	4683	45	4646,5
52	4956,9	52	4955,9	52	5000,6	52	4961,5
53	5106	53	5106,7	53	5119,6	53	5112,8
54	5114,1	54	5098,2	54	5146	54	5125,8
55	5222,6	55	5213,8	55	5251,1	55	5220,1
56	5351	56	5346,8	56	5343,9	56	5346,8
57	5368,5	57	5367	57	5370	57	5367
58	5436,2	58	5438,2	58	5437,9	58	5435,6
59	5449,9	59	5451,1	59	5452,5	59	5451,1
65	5674,5	65	5674,5	65	5642,2	65	5641,6
66	5601,2	66	5597,5	66	5624,2	66	5618,4

ANEXO G - Estação São Francisco

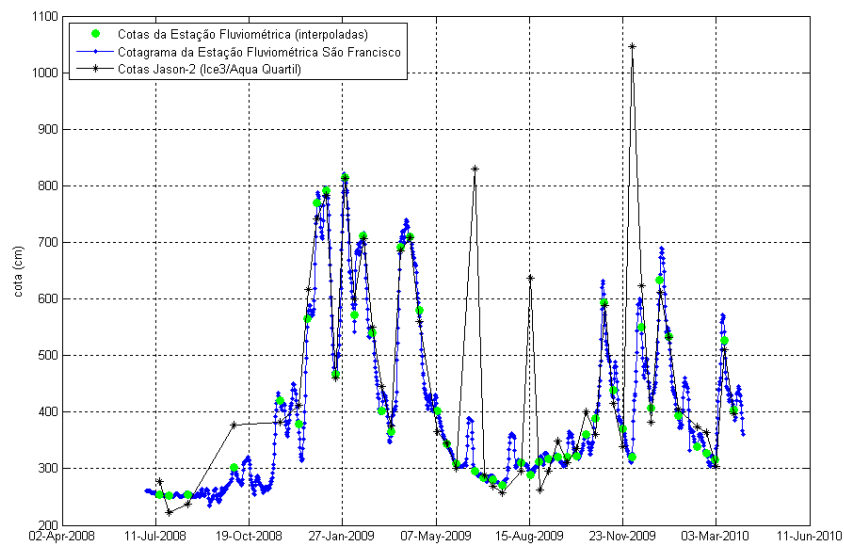


Figura G.1 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Quartil) e da estação fluviométrica São Francisco

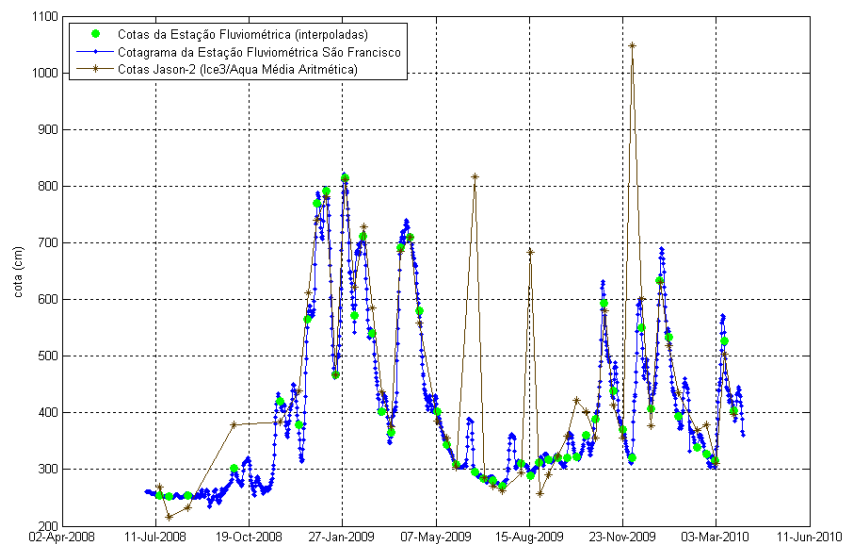


Figura G.2 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica São Francisco

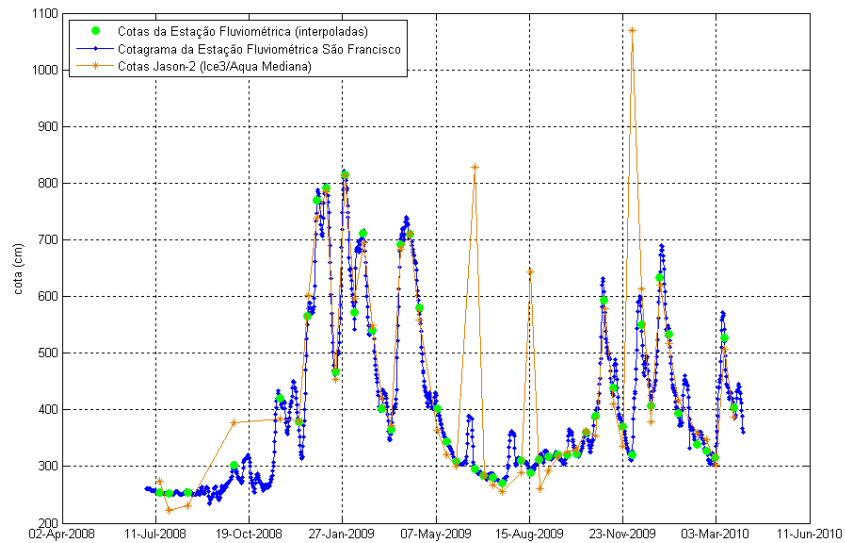


Figura G.3 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Mediana) e da estação fluviométrica São Francisco

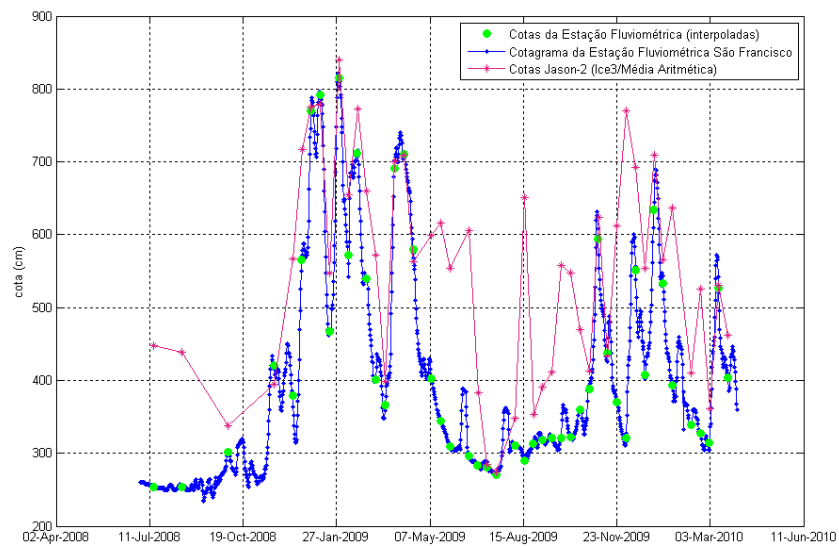


Figura G.4 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Média Aritmética) e da estação fluviométrica São Francisco

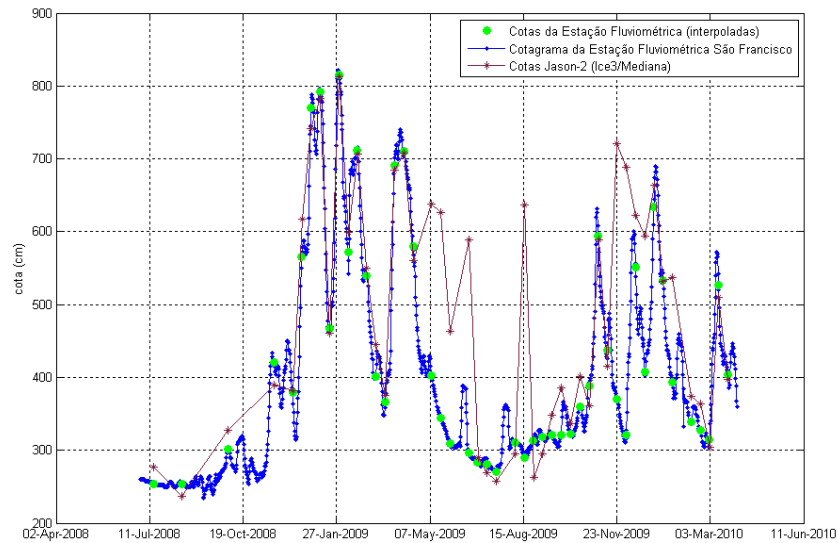


Figura G.5 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Mediana) e da estação fluviométrica São Francisco

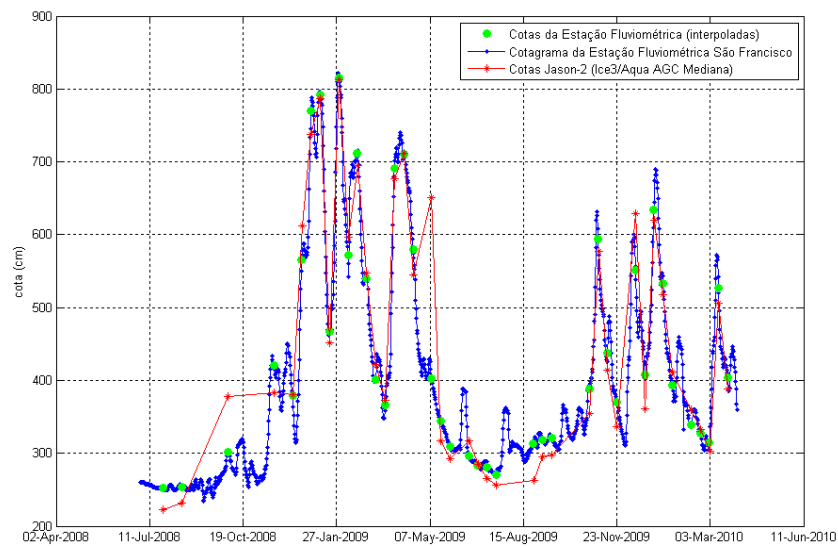


Figura G.6 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica São Francisco

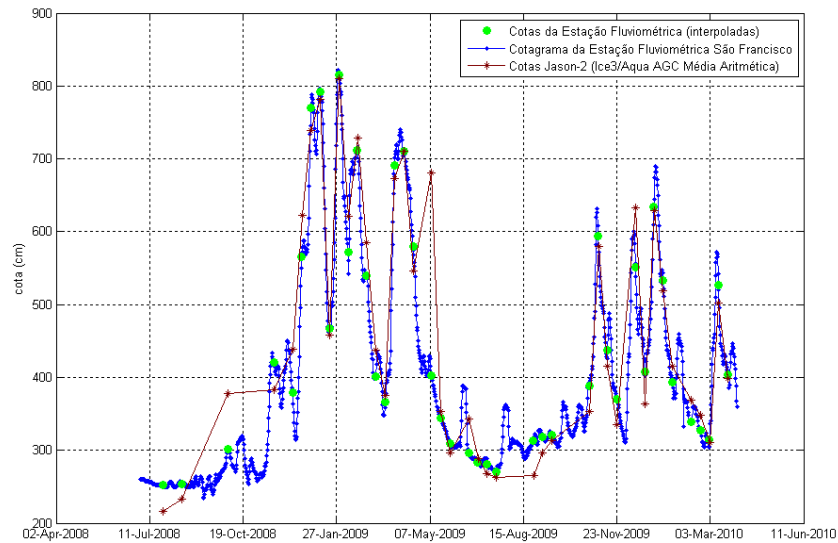


Figura G.7 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica São Francisco

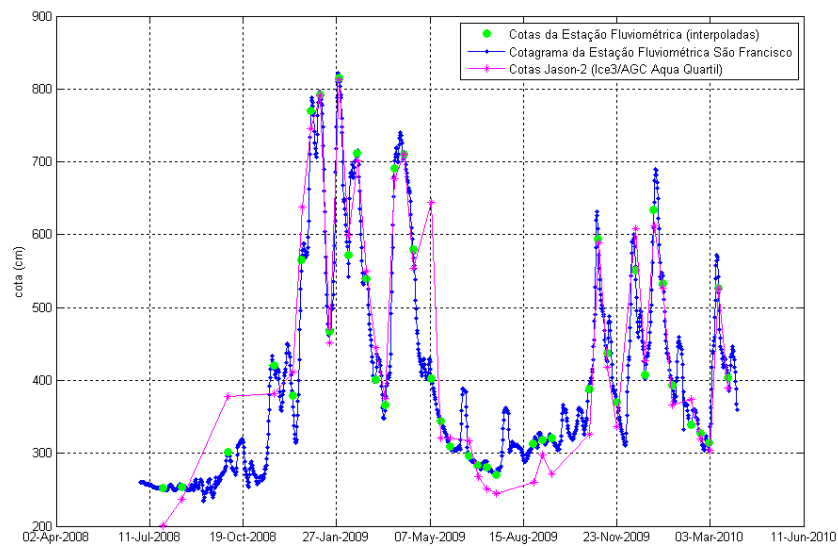


Figura G.8 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Quartil) e da estação fluviométrica São Francisco

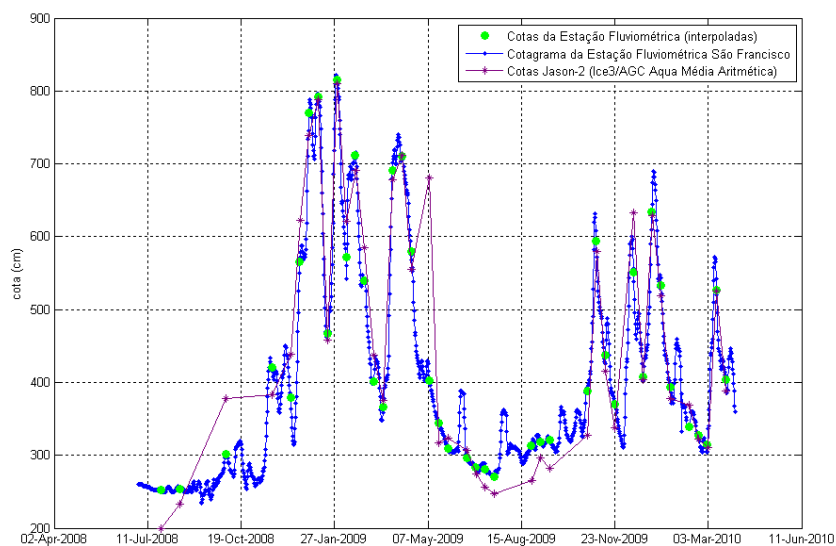


Figura G.9 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica São Francisco

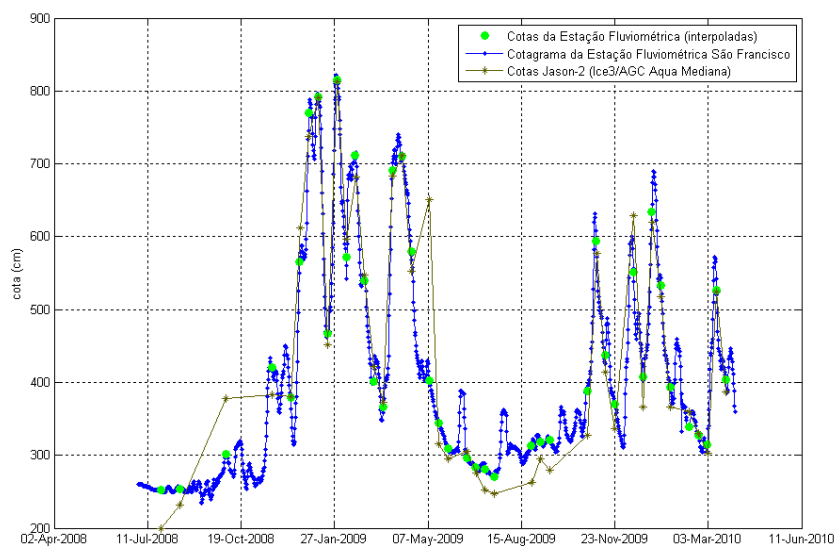


Figura G.10 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Mediana) e da estação fluviométrica São Francisco

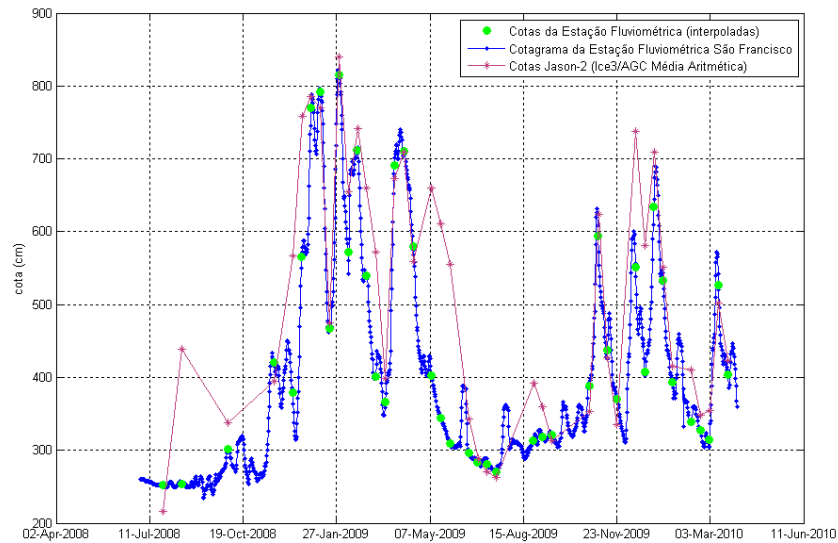


Figura G.11 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica São Francisco

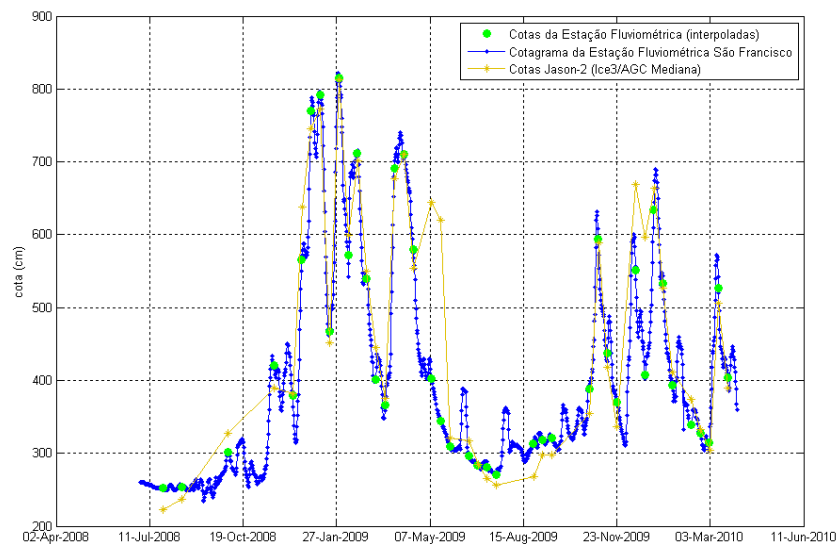


Figura G.12 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Mediana) e da estação fluviométrica São Francisco

Tabela G.1 – Etapas a e b do procedimento de validação relativa na estação São Francisco

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos total da estação						Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com IC 95%		
	Número de ciclos	Número de combinações	Média	Mediana	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
São Francisco									
1 Aqua Quartil	49	1176	15,1	-0,5	0,93	194,9	1077	1,21	77,4
2 Aqua Média Aritmética	49	1176	15,8	-0,9	0,87	197,1	1061	1,39	72,3
3 Aqua Mediana	49	1176	15,4	-1,0	0,98	200,0	1078	1,18	78,5
4 Média Aritmética	48	1128	14,0	10,9	0,22	154,5	1067	0,06	131,4
5 Mediana	48	1128	23,4	7,0	0,16	156,2	1003	0,39	111,2
6 Aqua AGC Mediana	42	861	-5,5	-2,0	-0,27	68,2	819	-0,03	39,5
7 Aqua AGC Média Aritmética	42	861	-7,7	-4,6	-0,20	76,3	820	0,05	47,1
8 AGC Aqua Quartil	42	861	-7,8	-5,0	-0,26	69,8	820	-0,09	44,8
9 AGC Aqua Média Aritmética	42	861	-8,1	-2,6	-0,24	77,3	820	0,06	47,5
10 AGC Aqua Mediana	42	861	-6,1	-4,2	-0,28	70,0	818	-0,01	41,4
11 AGC Média Aritmética	42	861	-13,9	-5,7	0,04	123,9	810	-0,12	108,5
12 AGC Mediana	42	861	4,3	1,8	-0,02	97,6	765	0,65	51,3

Tabela G.2 - Etapa c.7 do procedimento de validação relativa na estação São Francisco

São Francisco	lim1	lim2	lim3	lim4	dif 1	dif 2
1 Aqua Quartil	-69,4	63,2	-62,9	57,8	-6,4	-5,4
2 Aqua Média Aritmética	-86,3	78,1	-79,1	71,8	-7,1	-6,3
3 Aqua Mediana	-59,0	54,7	-53,2	48,6	-5,8	-6,0
4 Média Aritmética	-247,2	263,5	-234,8	248,0	-12,5	-15,5
5 Mediana	-69,5	72,9	-62,8	66,6	-6,6	-6,3
6 Aqua AGC Mediana	-56,6	55,7	-51,3	48,9	-5,3	-6,8
7 Aqua AGC Média Aritmética	-84,3	75,6	-79,3	66,8	-5,0	-8,8
8 AGC Aqua Quartil	-76,6	70,3	-69,6	62,0	-7,0	-8,3
9 AGC Aqua Média Aritmética	-51,7	58,0	-49,0	53,3	-2,7	-4,7
10 AGC Aqua Mediana	-63,0	59,4	-56,8	51,6	-6,2	-7,8
11 AGC Média Aritmética	-107,0	115,8	-94,8	105,0	-12,2	-10,8
12 AGC Mediana	-59,0	61,1	-53,9	54,2	-5,1	-6,9

Tabela G.3 – Cotas da estação fluviométrica São Francisco interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação.

Estação Fluviométrica São Francisco							
ciclo	data (dia/mês/ano)			Hora (hh:mm:ss)			cota (cm)
1	15	7	2008	6	17	13	254,0
2	25	7	2008	4	15	44	252,0
4	14	8	2008	0	12	48	254,0
9	2	10	2008	14	5	27	302,0
14	21	11	2008	3	58	6	420,0
16	10	12	2008	23	55	7	379,0
17	20	12	2008	21	53	38	565,5
18	30	12	2008	19	52	11	769,9
19	9	1	2009	17	50	42	791,6
20	19	1	2009	15	49	14	467,8
21	29	1	2009	13	47	46	815,3
22	8	2	2009	11	46	18	572,5
23	18	2	2009	9	44	50	711,5
24	28	2	2009	7	43	22	540,0
25	10	3	2009	5	41	53	401,8
26	20	3	2009	3	40	24	365,6

Tabela G.3 – Cotas da estação fluviométrica São Francisco interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação (continuação).

27	30	3	2009	1	38	55	690,9
28	8	4	2009	23	37	26	710,0
29	18	4	2009	21	35	57	579,4
31	8	5	2009	17	32	59	401,9
32	18	5	2009	15	31	31	344,6
33	28	5	2009	13	30	3	308,7
35	17	6	2009	9	27	7	296,0
36	27	6	2009	7	25	39	284,0
37	7	7	2009	5	24	11	280,9
38	17	7	2009	3	22	42	270,0
40	5	8	2009	23	19	45	310,0
41	15	8	2009	21	18	16	289,4
42	25	8	2009	19	16	47	312,7
43	4	9	2009	17	15	19	318,0
44	14	9	2009	15	13	51	320,7
45	24	9	2009	13	12	23	321,3
46	4	10	2009	11	10	55	322,0
47	14	10	2009	9	9	27	360,0
48	24	10	2009	7	7	58	388,0
49	3	11	2009	5	6	29	594,2
50	13	11	2009	3	5	1	438,0
51	23	11	2009	1	3	32	370,0
52	2	12	2009	23	2	3	321,2
53	12	12	2009	21	0	34	550,8
54	22	12	2009	18	59	6	407,7
55	1	1	2010	16	57	38	633,9
56	11	1	2010	14	56	10	532,9
57	21	1	2010	12	54	42	393,3
59	10	2	2010	8	51	46	339,6
60	20	2	2010	6	50	17	328,0
61	2	3	2010	4	48	49	315,1
62	12	3	2010	2	47	20	526,6
63	22	3	2010	0	45	51	403,3

Tabela G.4 – Alturas elipsoidais da estação São Francisco com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual São Francisco							
ciclo	Aqua Quartil (cm)	ciclo	Aqua Média Aritmética (cm)	ciclo	Aqua Mediana (cm)	Ciclo	Média Aritmética (cm)
1	44177,1	1	44168,3	1	44174,6	1	44347,5
2	44123,1	2	44115,9	2	44123,1	4	44338,6
4	44136,7	4	44132,4	4	44131,5	9	44237,8
9	44277,3	9	44278,4	9	44277,3	14	44294,7
14	44281,6	14	44283,2	14	44283,5	16	44466,5
16	44311,5	16	44339,2	16	44280	17	44617,2
17	44516,9	17	44512	17	44501,2	18	44675
18	44640,9	18	44640,2	18	44637,8	19	44679,5
19	44683,4	19	44681,9	19	44684	20	44447,8

Tabela G.4 – Alturas elipsoidais da estação São Francisco com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética (continuação)

20	44360,3	20	44367	20	44353,7	21	44739,9
21	44713	21	44710,7	21	44712,8	22	44554,4
22	44499,5	22	44521,8	22	44496,5	23	44672
23	44606,3	23	44628,8	23	44595,3	24	44559,8
24	44450,1	24	44484,9	24	44447,8	25	44471,4
25	44344,6	25	44337,3	25	44321,4	26	44298,7
26	44275	26	44275,3	26	44272,6	27	44599,9
27	44585	27	44584,7	27	44584	28	44609,1
28	44608,2	28	44609,9	28	44611	29	44462,3
29	44460	29	44458,2	29	44459	31	44499,3
31	44265,6	31	44284,8	31	44263,8	32	44515,8
32	44245,7	32	44255,7	32	44220,5	33	44453,7
33	44201	33	44204,4	33	44201	35	44505,2
35	44729,2	35	44716,9	35	44727,6	36	44283,1
36	44189,4	36	44186	36	44184,5	37	44184,7
37	44169	37	44170,7	37	44166,9	38	44174,2
38	44157,1	38	44162,2	38	44155,8	40	44248,5
40	44195	40	44193,7	40	44189,4	41	44550,5
41	44536,4	41	44583,5	41	44543,8	42	44253,8
42	44162,8	42	44157,2	42	44160,8	43	44290,3
43	44195	43	44190,3	43	44192	44	44311,3
44	44248,6	44	44223,7	44	44217,4	45	44457,5
45	44209,9	45	44259,1	45	44226,2	46	44447
46	44236	46	44322,5	46	44230	47	44369,3
47	44301,2	47	44301,5	47	44262,7	48	44313,4
48	44261	48	44256,2	48	44254	49	44524,3
49	44488,5	49	44480,3	49	44477,7	50	44333,4
50	44314,9	50	44314,6	50	44311,1	51	44512,2
51	44239,5	51	44254,9	51	44236,2	52	44669,7
52	44945,6	52	44947	52	44969,3	53	44591,7
53	44522,8	53	44501,5	53	44513,1	54	44454
54	44281,4	54	44277,2	54	44278,1	55	44609,5
55	44511,8	55	44529,5	55	44520,2	56	44465,8
56	44431,9	56	44418,5	56	44416,1	57	44536,9
57	44305,2	57	44334,7	57	44317,7	59	44310,4
59	44273,6	59	44268,5	59	44259,2	60	44425,1
60	44264	60	44278,9	60	44247,5	61	44260,6
61	44203,9	61	44210,4	61	44202,2	62	44430,1
62	44410,5	62	44404	62	44406,3	63	44362,4
63	44297,7	63	44297,2	63	44287,6		

Tabela G.5 – Alturas elipsoidais da estação São Francisco com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual São Francisco							
ciclo	Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Média Aritmética (cm)	Ciclo	AGC Aqua Quartil (cm)
1	44177,1	2	44123,1	2	44115,9	2	44100,6

Tabela G.5 – Alturas elipsoidais da estação São Francisco com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil (continuação)

4	44136,7	4	44131,5	4	44132,4	4	44136,7
9	44227,1	9	44277,3	9	44278,4	9	44277,3
14	44289,7	14	44283,5	14	44283,2	14	44281,6
16	44281,2	16	44280	16	44339,2	16	44311,5
17	44516,9	17	44512,5	17	44522,4	17	44537,4
18	44640,9	18	44637,9	18	44639,4	18	44645,9
19	44683,4	19	44687,4	19	44681,8	19	44691
20	44360,3	20	44351,9	20	44357,6	20	44352,2
21	44713	21	44712,8	21	44710,7	21	44713
22	44499,5	22	44496,5	22	44521,8	22	44499,5
23	44606,3	23	44595,3	23	44628,8	23	44601,1
24	44450,1	24	44447,8	24	44484,9	24	44450,1
25	44344,6	25	44321,4	25	44337,3	25	44344,6
26	44275	26	44272,6	26	44275,3	26	44275
27	44585	27	44577,4	27	44573,3	27	44577,4
28	44608,2	28	44611,3	28	44610,3	28	44610,6
29	44460	29	44445,2	29	44445,7	29	44454,5
31	44538,3	31	44550,5	31	44580,3	31	44544,4
32	44525,9	32	44216,6	32	44253	32	44220,4
33	44363,5	33	44192,8	33	44196,3	33	44220,4
35	44488,5	35	44217,5	35	44243,5	35	44217,5
36	44189,4	36	44184,3	36	44189,1	36	44167,5
37	44169	37	44164,9	37	44168,1	37	44151,3
38	44157,1	38	44155,8	38	44163,4	38	44144
40	44195	42	44162,8	42	44164,8	42	44159,8
41	44536,4	43	44195	43	44196,2	43	44197,9
42	44162,8	44	44197,6	44	44213	44	44171,9
43	44195	48	44254,2	48	44253,7	48	44226,4
44	44248,6	49	44477,7	49	44480,3	49	44488,5
45	44285,3	50	44314	50	44315,9	50	44317,8
46	44236	51	44236	51	44235,1	51	44236
47	44301,2	53	44529,5	53	44533,1	53	44508,2
48	44261	54	44261	54	44263,3	54	44326,5
49	44488,5	55	44520,2	55	44529,5	55	44511,8
50	44314,9	56	44417,1	56	44418,7	56	44426,9
51	44621,3	57	44311,5	57	44315,5	57	44265,9
52	44588,7	59	44259,2	59	44268,5	59	44273,6
53	44522,8	60	44232	60	44247,9	60	44219,2
54	44494,4	61	44202,9	61	44211	61	44203,9
55	44563,5	62	44406,5	62	44401,5	62	44426
56	44431,9	63	44288,7	63	44298,9	63	44290,2
57	44437,6						
59	44273,6						
60	44264						
61	44203,9						
62	44410,5						
63	44297,7						

Tabela G.6 – Alturas elipsoidais da estação São Francisco com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual São Francisco							
Ciclo	AGC Aqua Média Aritmética (cm)	Ciclo	AGC Aqua Mediana (cm)	ciclo	AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Mediana (cm)
2	44100	2	44100	2	44115,9	2	44123,1
4	44132,4	4	44131,5	4	44338,6	4	44136,7
9	44278,4	9	44277,3	9	44237,8	9	44227,1
14	44283,2	14	44283,5	14	44294,7	14	44289,7
16	44339,2	16	44280	16	44466,5	16	44281,2
17	44522,4	17	44512,5	17	44658,7	17	44537,4
18	44639,4	18	44637,9	18	44685,9	18	44645,9
19	44687,5	19	44690,9	19	44669,9	19	44672,2
20	44357,6	20	44351,9	20	44374,7	20	44352,2
21	44710,7	21	44712,8	21	44739,9	21	44713
22	44521,8	22	44496,5	22	44554,4	22	44499,5
23	44590,8	23	44581,5	23	44641,2	23	44601,1
24	44484,9	24	44447,8	24	44559,8	24	44450,1
25	44337,3	25	44321,4	25	44471,4	25	44344,6
26	44275,3	26	44272,6	26	44298,7	26	44275
27	44577,6	27	44583,5	27	44573,3	27	44577,4
28	44612	28	44611,9	28	44609,2	28	44610,6
29	44455,8	29	44452,7	29	44458,7	29	44454,5
31	44580,3	31	44550,5	31	44560,6	31	44544,4
32	44217,1	32	44216,4	32	44510,4	32	44519,4
33	44223,1	33	44194,7	33	44454,7	33	44220,4
35	44207,1	35	44205,3	35	44243,5	35	44217,5
36	44174,5	36	44175,6	36	44189,1	36	44184,3
37	44156,5	37	44151,9	37	44171,1	37	44165,2
38	44146,9	38	44146,8	38	44163,4	38	44155,8
42	44164,8	42	44162,8	42	44292	42	44168
43	44196,2	43	44195	43	44259,8	43	44197,9
44	44181,8	44	44179,4	44	44213	44	44197,6
48	44228	48	44227,7	48	44253,7	48	44254,2
49	44480,3	49	44477,7	49	44524,3	49	44488,5
50	44315,9	50	44314	50	44326,8	50	44317,8
51	44237,6	51	44236,2	51	44235,1	51	44236
53	44533,1	53	44529,5	53	44638,1	53	44568,6
54	44303,9	54	44266	54	44480,7	54	44497,1
55	44529,5	55	44520,2	55	44609,5	55	44563,5
56	44418,7	56	44417,1	56	44451,3	56	44426,9
57	44278	57	44265,9	57	44315,5	57	44311,5
59	44268,5	59	44259,2	59	44310,4	59	44273,6
60	44221,8	60	44229,6	60	44247,9	60	44232
61	44211	61	44202,9	61	44254	61	44203,9
62	44426	62	44424	62	44401,5	62	44406,5
63	44288,9	63	44286,6	63	44323,2	63	44290,2

ANEXO H - Estação Usina Paineiras

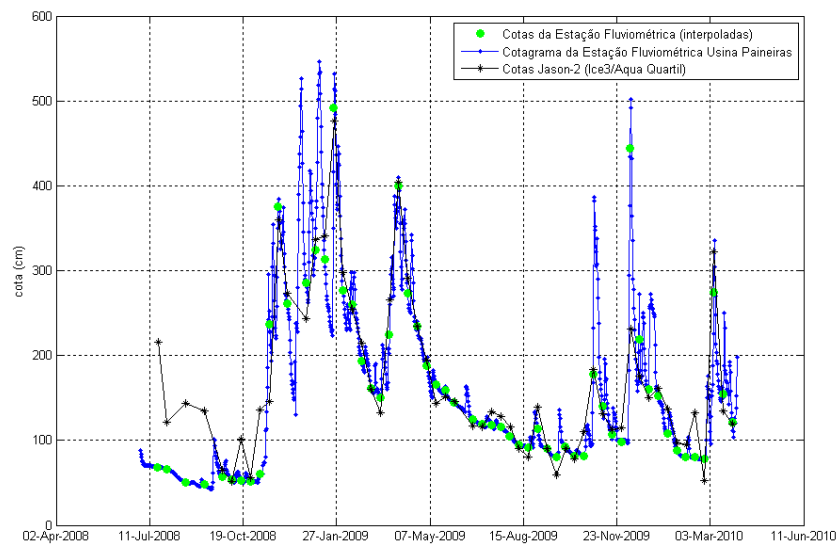


Figura H.1 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

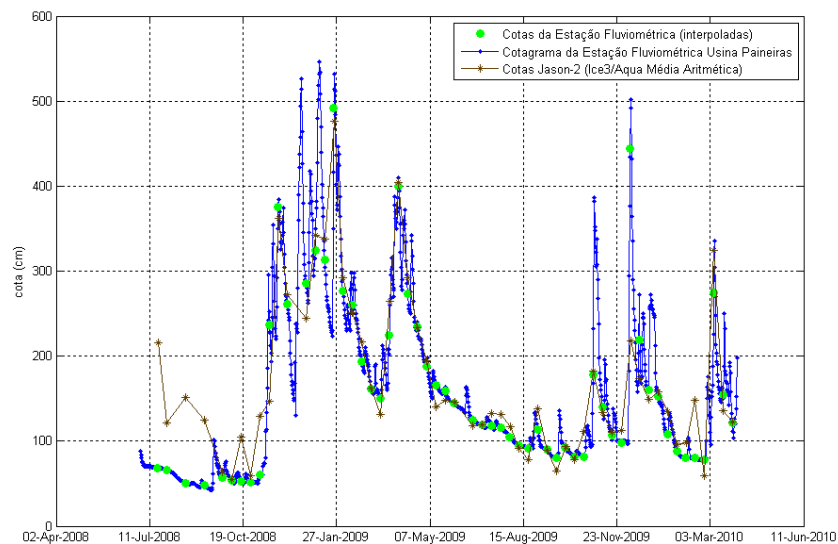


Figura H.2 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

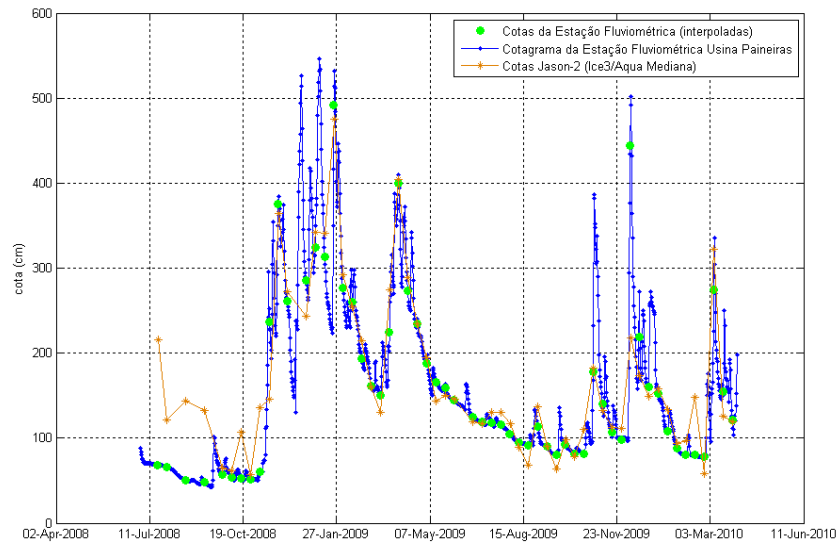


Figura H.3 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

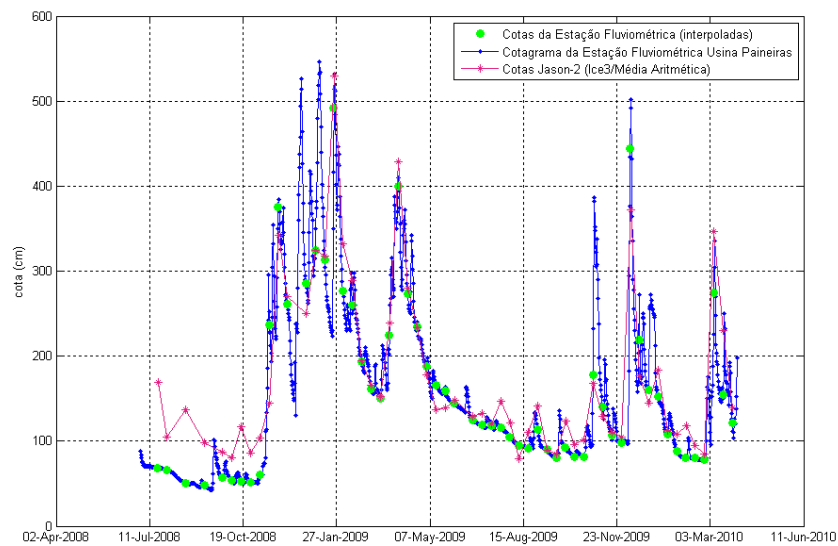


Figura H.4 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Média Aritmética) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

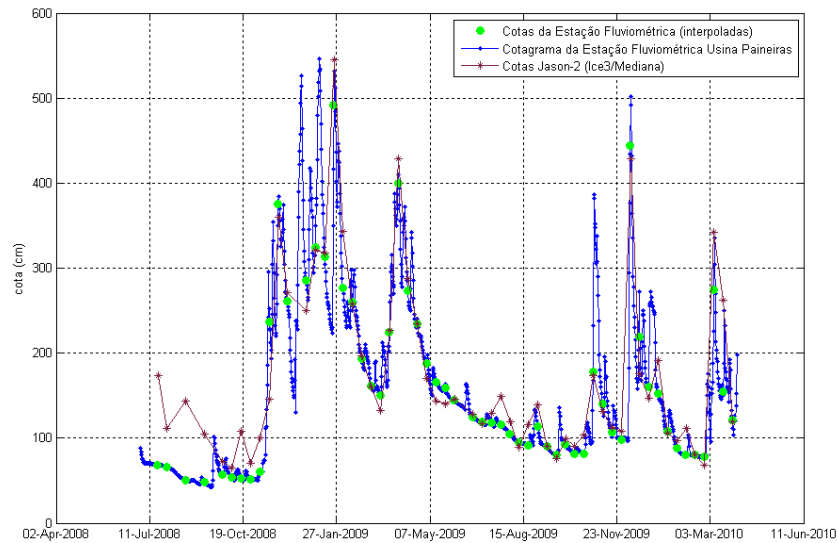


Figura H.5 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Mediana) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

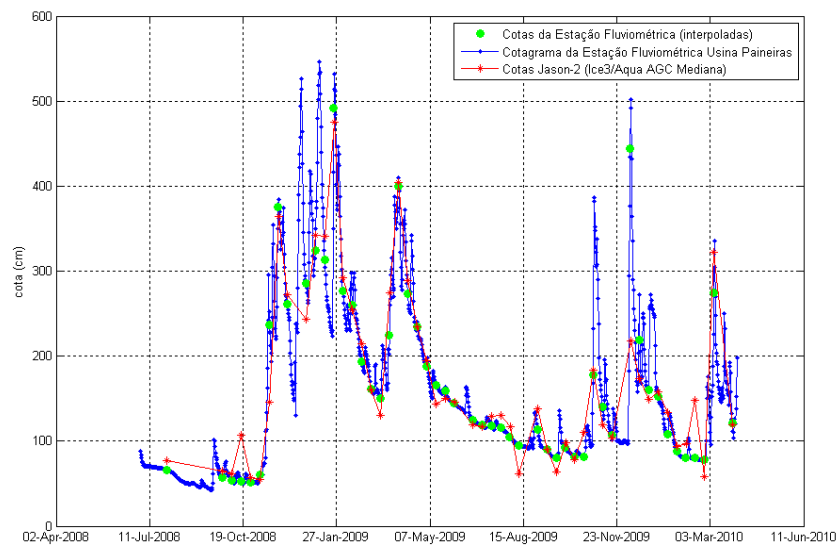


Figura H.6 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

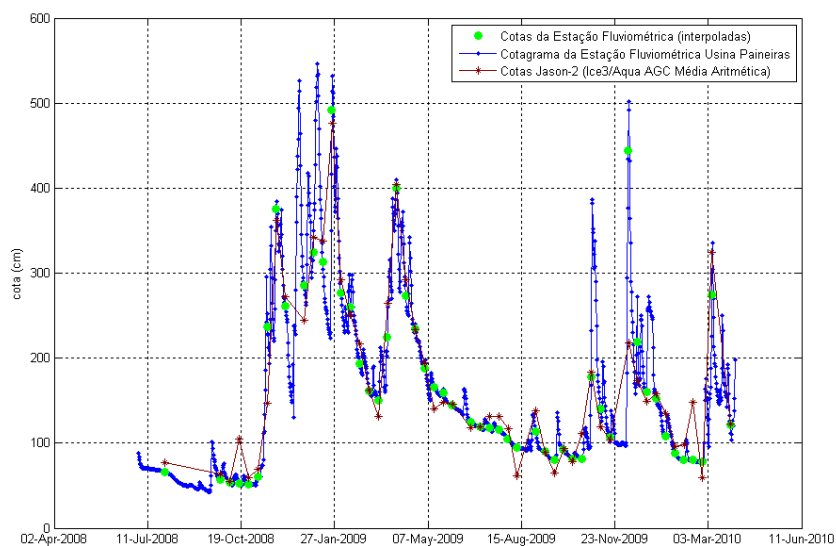


Figura H.7 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

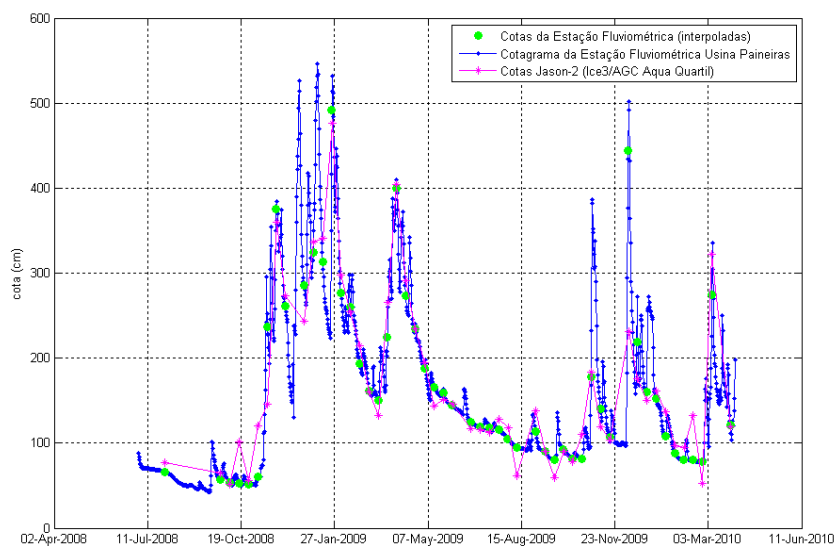


Figura H.8 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

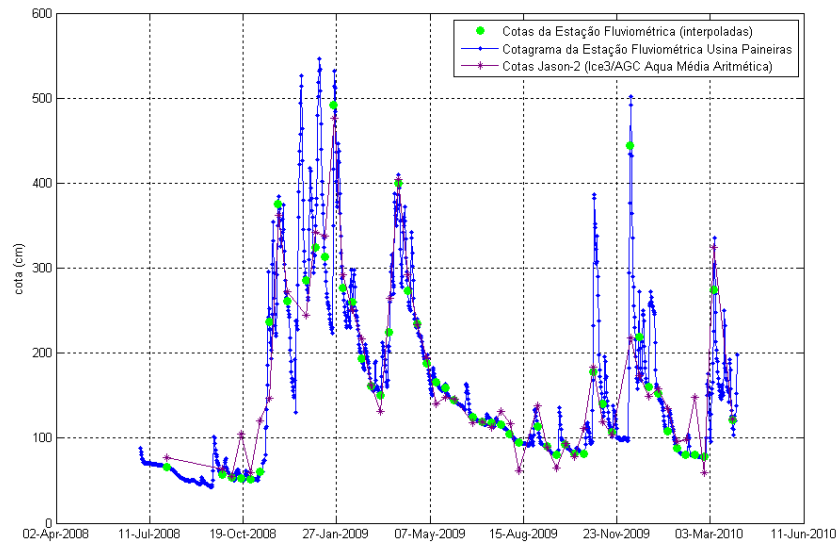


Figura H.9 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

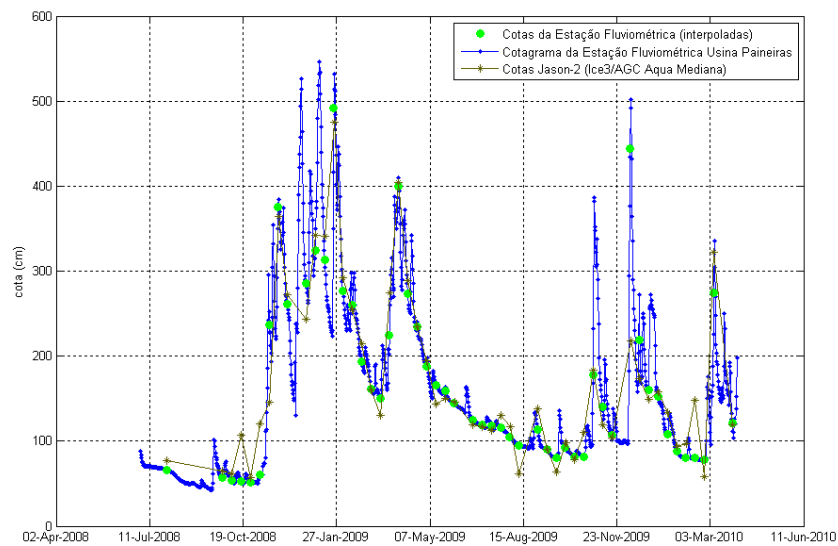


Figura H.10 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

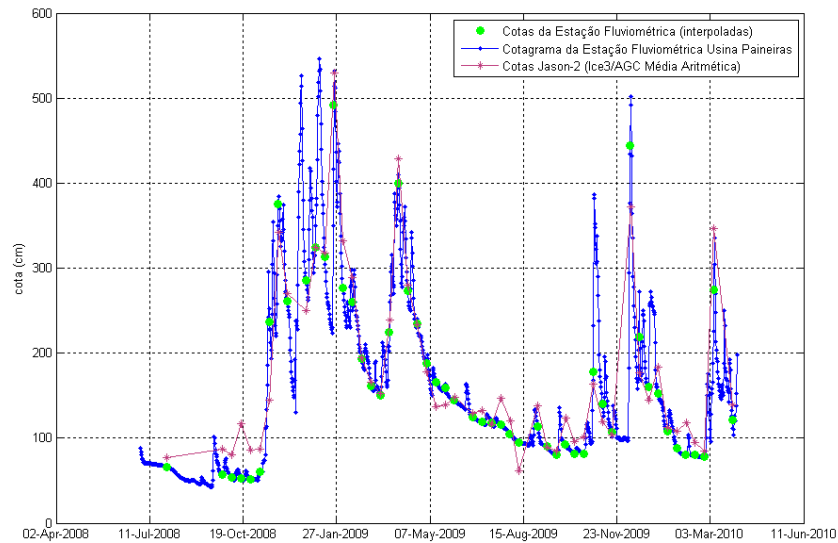


Figura H.11 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

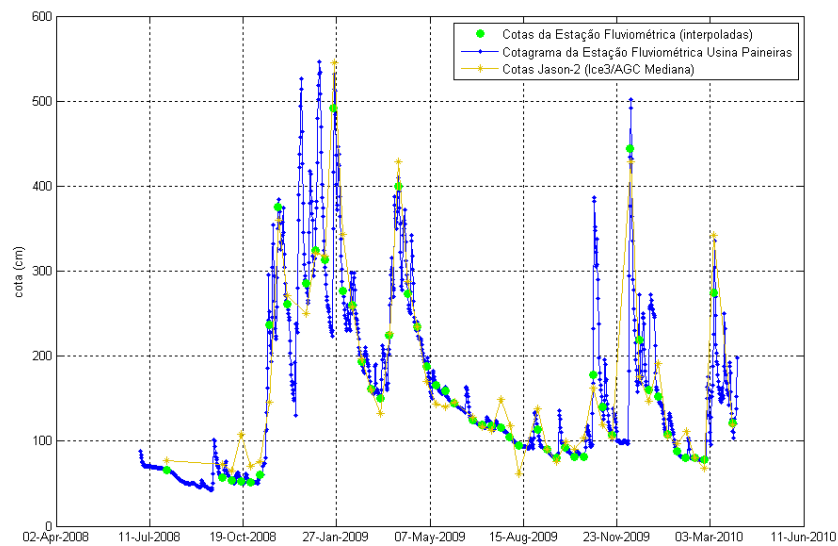


Figura H.12 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Mediana) e da estação fluviométrica Usina Paineiras

Tabela H.1 – Etapas a e b do procedimento de validação relativa na estação Usina Paineiras

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos total da estação						Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com IC 95%		
	Número de ciclos	Número de combinações	Média	Mediana	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
Usina Paineiras									
1 Aqua Quartil	58	1653	-16,0	-6,8	-0,92	64,9	1549	-0,36	43,6
2 Aqua Média Aritmética	58	1653	-15,4	-6,3	-0,96	66,4	1553	-0,32	44,1
3 Aqua Mediana	58	1653	-16,7	-7,6	-0,91	67,1	1559	-0,32	45,8
4 Média Aritmética	58	1653	-6,2	-5,3	0,02	47,7	1548	-0,06	39,1
5 Mediana	58	1653	-5,5	-5,0	0,15	48,2	1523	-0,06	37,6
6 Aqua AGC Mediana	52	1326	-2,4	-0,5	-1,12	57,5	1265	0,35	34,7
7 Aqua AGC Média Aritmética	52	1326	-2,0	-0,5	-1,13	57,3	1265	0,37	34,3
8 AGC Aqua Quartil	52	1326	-4,1	-2,1	-1,01	55,9	1262	0,20	34,8
9 AGC Aqua Média Aritmética	52	1326	-3,7	-1,5	-1,06	58,4	1264	0,27	35,9
10 AGC Aqua Mediana	52	1326	-4,4	-2,4	-1,04	58,7	1264	0,27	36,3
11 AGC Média Aritmética	52	1326	-0,8	-1,7	0,24	42,1	1241	0,05	33,7
12 AGC Mediana	52	1326	-0,4	-2,7	0,40	38,2	1245	0,09	30,7

Tabela H.2 - Etapa c.7 do procedimento de validação relativa na estação Usina Paineiras

Usina Paineiras	lim1	lim2	lim3	lim4	dif 1	dif 2
1 Aqua Quartil	-57,1	52,2	-52,1	47,2	-4,9	-5,0
2 Aqua Média Aritmética	-53,2	47,3	-49,4	43,2	-3,9	-4,1
3 Aqua Mediana	-55,1	48,9	-51,0	44,0	-4,0	-4,9
4 Média Aritmética	-66,8	57,6	-62,3	51,5	-4,5	-6,1
5 Mediana	-61,5	51,9	-58,4	46,7	-3,1	-5,2
6 Aqua AGC Mediana	-49,9	45,7	-45,9	41,6	-4,0	-4,1
7 Aqua AGC Média Aritmética	-52,7	47,7	-48,1	43,5	-4,6	-4,2
8 AGC Aqua Quartil	-57,8	52,8	-52,7	48,4	-5,1	-4,4
9 AGC Aqua Média Aritmética	-54,8	48,7	-49,9	44,5	-4,9	-4,2
10 AGC Aqua Mediana	-53,9	47,9	-49,7	43,8	-4,3	-4,0
11 AGC Média Aritmética	-65,1	60,2	-59,7	53,8	-5,5	-6,4
12 AGC Mediana	-52,5	44,5	-48,0	41,1	-4,5	-3,4

Tabela H.3 – Cotas da estação fluviométrica Usina Paineiras interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação.

Estação Fluviométrica Usina Paineiras							
ciclo	data (dia/mês/ano)			hora (hh:mm:ss)			cota (cm)
1	19	7	2008	18	14	29	68,0
2	29	7	2008	16	13	1	66,0
4	18	8	2008	12	10	4	51,0
6	7	9	2008	8	7	7	47,9
8	27	9	2008	4	4	12	57,2
9	7	10	2008	2	2	44	54,0
10	17	10	2008	0	1	15	53,0
11	26	10	2008	21	59	47	52,0
12	5	11	2008	19	58	19	60,4
13	15	11	2008	17	56	50	236,9
14	25	11	2008	15	55	21	375,0
15	5	12	2008	13	53	52	261,2
17	25	12	2008	9	50	55	285,4
18	4	1	2009	7	49	27	324,3
19	14	1	2009	5	47	59	313,0
20	24	1	2009	3	46	31	491,4

Tabela H.3 – Cotas da estação fluviométrica Usina Paineiras interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação (continuação).

21	3	2	2009	1	45	3	276,7
22	12	2	2009	23	43	35	259,8
23	22	2	2009	21	42	7	193,3
24	4	3	2009	19	40	38	161,6
25	14	3	2009	17	39	9	150,0
26	24	3	2009	15	37	41	225,0
27	3	4	2009	13	36	12	399,7
28	13	4	2009	11	34	43	273,3
29	23	4	2009	9	33	14	234,6
30	3	5	2009	7	31	44	188,1
31	13	5	2009	5	30	16	166,2
32	23	5	2009	3	28	48	159,1
33	2	6	2009	1	27	20	145,2
35	21	6	2009	21	24	24	124,7
36	1	7	2009	19	22	56	119,0
37	11	7	2009	17	21	27	117,9
38	21	7	2009	15	19	58	116,2
39	31	7	2009	13	18	30	105,0
40	10	8	2009	11	17	1	95,0
41	20	8	2009	9	15	32	92,0
42	30	8	2009	7	14	4	114,0
43	9	9	2009	5	12	36	90,0
44	19	9	2009	3	11	8	80,3
45	29	9	2009	1	9	40	92,8
46	8	10	2009	23	8	12	82,0
47	18	10	2009	21	6	43	82,0
48	28	10	2009	19	5	14	177,5
49	7	11	2009	17	3	46	140,0
50	17	11	2009	15	2	17	106,8
51	27	11	2009	13	0	48	98,0
52	7	12	2009	10	59	19	443,6
53	17	12	2009	8	57	50	218,9
54	27	12	2009	6	56	23	160,0
55	6	1	2010	4	54	55	152,6
56	16	1	2010	2	53	27	108,0
57	26	1	2010	0	51	59	88,0
58	4	2	2010	22	50	31	80,0
59	14	2	2010	20	49	3	80,0
60	24	2	2010	18	47	34	78,0
61	6	3	2010	16	46	5	274,8
62	16	3	2010	14	44	36	154,3
63	26	3	2010	12	43	7	121,4

Tabela H.4 – Alturas elipsoidais da estação Usina Paineiras com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Usina Paineiras							
ciclo	Aqua Quartil (cm)	ciclo	Aqua Média Aritmética (cm)	ciclo	Aqua Mediana (cm)	ciclo	Média Aritmética (cm)
1	-14,4	1	-14,4	1	-14,4	1	-61,2
2	-108,2	2	-108,4	2	-108,4	2	-124,8
4	-86,5	4	-79	4	-86	4	-93,5
6	-95,6	6	-105	6	-97,6	6	-131,9
8	-165,2	8	-166,5	8	-165,1	8	-143,3
9	-178,3	9	-174,6	9	-168,3	9	-150,1
10	-128,8	10	-125,2	10	-123,2	10	-113,4
11	-173,5	11	-171,2	11	-173,4	11	-144,5
12	-93,8	12	-101,3	12	-94,2	12	-126,8
13	-84,4	13	-83,3	13	-84,4	13	-85
14	130,3	14	132,6	14	133,9	14	112,6
15	43,1	15	42,4	15	42,4	15	39,9
17	13,7	17	15,1	17	13,9	17	20,4
18	106,2	18	111,7	18	111,7	18	94,4
19	111,5	19	107,8	19	110,5	19	88,1
20	246,3	20	245,9	20	245,6	20	300,1
21	67,6	21	62,1	21	62,1	21	101,8
22	24,1	22	21,2	22	24,6	22	58,4
23	-15	23	-13,6	23	-15	23	-35,4
24	-69,2	24	-67,9	24	-69,2	24	-64,6
25	-97,5	25	-99,1	25	-100,2	25	-77,2
26	36,1	26	34,5	26	44,3	26	8,7
27	174,4	27	173,9	27	174,4	27	199
28	61,5	28	61,7	28	59	28	50,1
29	4,4	29	3,9	29	4,4	29	3,9
30	-35,7	30	-35,6	30	-35,7	30	-52,4
31	-86,8	31	-89,7	31	-86,8	31	-92,8
32	-78,9	32	-81,5	32	-79,8	32	-90,8
33	-84,1	33	-84	33	-84,7	33	-81,4
35	-112,7	35	-111,5	35	-110,7	35	-101,2
36	-114,3	36	-110,9	36	-113,5	36	-97,4
37	-96,6	37	-98	37	-99,8	37	-109,6
38	-101,4	38	-98,6	38	-99,3	38	-83,3
39	-113,9	39	-113,4	39	-113,1	39	-108,9
40	-140	40	-138,4	40	-140,2	40	-150,2
41	-150,1	41	-152,1	41	-161,7	41	-120,1
42	-90,6	42	-91,4	42	-93,2	42	-88,8
43	-139,8	43	-140,2	43	-139,8	43	-140,7
44	-170,7	44	-165,2	44	-166,2	44	-145,7
45	-139,1	45	-136	45	-131,5	45	-106,7
46	-151,9	46	-151,7	46	-151,4	46	-134
47	-119,6	47	-118,2	47	-119,7	47	-129
48	-46,6	48	-47,3	48	-47,7	48	-62,2
49	-98,6	49	-96,3	49	-97,8	49	-100,9
50	-117,8	50	-120,2	50	-117,8	50	-119,9
51	-115,3	51	-117,6	51	-118	51	-124,8

Tabela H.4 – Alturas elipsoidais da estação Usina Paineiras com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética (continuação)

52	0,7	52	-12	52	-12	52	141,6
53	-54,7	53	-56,7	53	-55,9	53	-53,4
54	-79,9	54	-80,9	54	-80,9	54	-85,6
55	-68,9	55	-72,1	55	-72,1	55	-46,7
56	-93,5	56	-95,1	56	-96,1	56	-117,3
57	-133,3	57	-133,9	57	-136,1	57	-121,5
58	-134,7	58	-131,3	58	-133,3	58	-112
59	-97,7	59	-81,9	59	-81,9	59	-135,7
60	-177,3	60	-170,7	60	-172	60	-145,2
61	92,6	61	94,2	61	92,6	61	117
62	-95,3	62	-93,9	62	-104,1	62	-0,3
63	-110,4	63	-107,6	63	-110,5	63	-90,9

Tabela H.5 – Alturas elipsoidais da estação Usina Paineiras com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Usina Paineiras							
ciclo	Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Aqua Quartil (cm)
1	-55,9	2	-152,9	2	-152,9	2	-152,9
2	-118,4	8	-165,1	8	-166,5	8	-165,2
4	-86,5	9	-168,3	9	-174,6	9	-178,3
6	-124,8	10	-123,2	10	-125,2	10	-128,8
8	-157,5	11	-173,4	11	-171,2	11	-173,5
9	-165,1	12	-174,9	12	-160,9	12	-109,5
10	-121,9	13	-84,4	13	-83,3	13	-84,4
11	-159,5	14	133,9	14	132,6	14	130,3
12	-130,1	15	42,4	15	42,4	15	43,1
13	-84,4	17	13,9	17	15,1	17	13,7
14	130,3	18	111,7	18	111,7	18	106,2
15	41	19	110,5	19	107,8	19	111,5
17	19,9	20	245,6	20	245,9	20	246,3
18	90,6	21	62,1	21	62,1	21	67,6
19	87,8	22	24,6	22	21,2	22	24,1
20	315,3	23	-15	23	-13,6	23	-15
21	113,4	24	-69,2	24	-67,9	24	-69,2
22	28,1	25	-100,2	25	-99,1	25	-97,5
23	-32,7	26	44,3	26	34,5	26	36,1
24	-69,2	27	174,4	27	173,9	27	174,4
25	-97,5	28	59	28	61,7	28	61,5
26	-2,9	29	4,4	29	3,9	29	4,4
27	198,3	30	-35,7	30	-35,6	30	-35,7
28	58,3	31	-86,8	31	-89,7	31	-86,8
29	4,4	32	-79,8	32	-81,5	32	-78,9
30	-60,1	33	-84,7	33	-84	33	-84,1
31	-86,8	35	-110,7	35	-111,5	35	-112,7

Tabela H.5 – Alturas elipsoidais da estação Usina Paineiras com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil (continuação).

32	-89,9	36	-113,5	36	-110,9	36	-114,3
33	-84,1	37	-100,3	37	-98,2	37	-117,9
35	-102,4	38	-99,3	38	-98,6	38	-101,4
36	-113,4	39	-113,1	39	-113,4	39	-112,2
37	-100,3	40	-168,9	40	-168,9	40	-168,9
38	-81,1	42	-92,3	42	-92,3	42	-92,3
39	-110,6	43	-139,8	43	-140,2	43	-139,8
40	-140,4	44	-166,2	44	-165,2	44	-170,7
41	-113,6	45	-131,5	45	-136	45	-139,1
42	-90,6	46	-151,4	46	-151,7	46	-151,9
43	-139,8	47	-119,7	47	-118,2	47	-119,6
44	-153,5	48	-46,9	48	-46,9	48	-46,9
45	-131	49	-110,6	49	-110,6	49	-110,6
46	-139,3	50	-126	50	-126	50	-126
47	-126,3	52	-12	52	-12	52	0,7
48	-56,6	53	-55,9	53	-56,7	53	-54,7
49	-98,6	54	-80,9	54	-80,9	54	-79,9
50	-117,8	55	-72,1	55	-72,1	55	-68,9
51	-122	56	-96,1	56	-95,1	56	-93,5
52	198,6	57	-136,1	57	-133,9	57	-133,3
53	-54,7	58	-133,3	58	-131,3	58	-134,7
54	-83,6	59	-81,9	59	-81,9	59	-97,7
55	-38,6	60	-172	60	-170,7	60	-177,3
56	-123,8	61	92,6	61	94,2	61	92,6
57	-133,3	63	-110,5	63	-107,6	63	-110,4
58	-118,4						
59	-150,1						
60	-161,4						
61	112,1						
62	31,9						
63	-110,4						

Tabela H.6 – Alturas elipsoidais da estação Usina Paineiras com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Usina Paineiras							
ciclo	AGC Aqua Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Aqua Mediana (cm)	Ciclo	AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Mediana (cm)
2	-152,9	2	-152,9	2	-152,9	2	-152,9
8	-166,5	8	-165,1	8	-143,3	8	-157,5
9	-174,6	9	-168,3	9	-150,1	9	-165,1
10	-125,2	10	-123,2	10	-113,4	10	-121,9
11	-171,2	11	-173,4	11	-144,5	11	-159,5
12	-109,5	12	-109,5	12	-142,4	12	-153,6
13	-83,3	13	-84,4	13	-85	13	-84,4
14	132,6	14	133,9	14	112,6	14	130,3

Tabela H.6 – Alturas elipsoidais da estação Usina Paineiras com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana (continuação).

15	42,4	15	42,4	15	39,9	15	41
17	15,1	17	13,9	17	20,4	17	19,9
18	111,7	18	111,7	18	94,4	18	90,6
19	107,8	19	110,5	19	88,1	19	87,8
20	245,9	20	245,6	20	300,1	20	315,3
21	62,1	21	62,1	21	101,8	21	113,4
22	21,2	22	24,6	22	58,4	22	28,1
23	-13,6	23	-15	23	-35,4	23	-32,7
24	-67,9	24	-69,2	24	-64,6	24	-69,2
25	-99,1	25	-100,2	25	-77,2	25	-97,5
26	34,5	26	44,3	26	8,7	26	-2,9
27	173,9	27	174,4	27	199	27	198,3
28	61,7	28	59	28	50,1	28	58,3
29	3,9	29	4,4	29	3,9	29	4,4
30	-35,6	30	-35,7	30	-52,4	30	-60,1
31	-89,7	31	-86,8	31	-92,8	31	-86,8
32	-81,5	32	-79,8	32	-90,8	32	-89,9
33	-84	33	-84,7	33	-81,4	33	-84,1
35	-111,5	35	-110,7	35	-101,2	35	-102,4
36	-110,9	36	-113,5	36	-97,4	36	-113,4
37	-116,9	37	-117,9	37	-114,4	37	-117,9
38	-98,6	38	-99,3	38	-83,3	38	-81,1
39	-113,4	39	-113,1	39	-109,7	39	-112,2
40	-168,9	40	-168,9	40	-168,9	40	-168,9
42	-92,3	42	-92,3	42	-92,3	42	-92,3
43	-140,2	43	-139,8	43	-140,7	43	-139,8
44	-165,2	44	-166,2	44	-145,7	44	-153,5
45	-136	45	-131,5	45	-106,7	45	-131
46	-151,7	46	-151,4	46	-134	46	-139,3
47	-118,2	47	-119,7	47	-129	47	-126,3
48	-46,9	48	-46,9	48	-66,4	48	-68
49	-110,6	49	-110,6	49	-110,6	49	-110,6
50	-126	50	-126	50	-126	50	-126
52	-12	52	-12	52	141,6	52	198,6
53	-56,7	53	-55,9	53	-53,4	53	-54,7
54	-80,9	54	-80,9	54	-85,6	54	-83,6
55	-72,1	55	-72,1	55	-46,7	55	-38,6
56	-95,1	56	-96,1	56	-117,3	56	-123,8
57	-133,9	57	-136,1	57	-121,5	57	-133,3
58	-131,3	58	-133,3	58	-112	58	-118,4
59	-81,9	59	-81,9	59	-135,7	59	-150,1
60	-170,7	60	-172	60	-145,2	60	-161,4
61	94,2	61	92,6	61	117	61	112,1
63	-107,6	63	-110,5	63	-90,9	63	-110,4

ANEXO I - Estação Pousada Taiamã

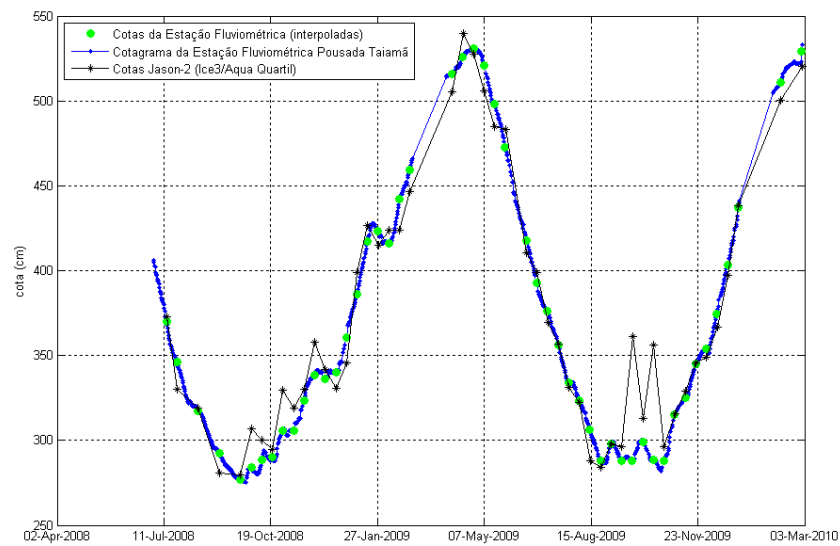


Figura I.1 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

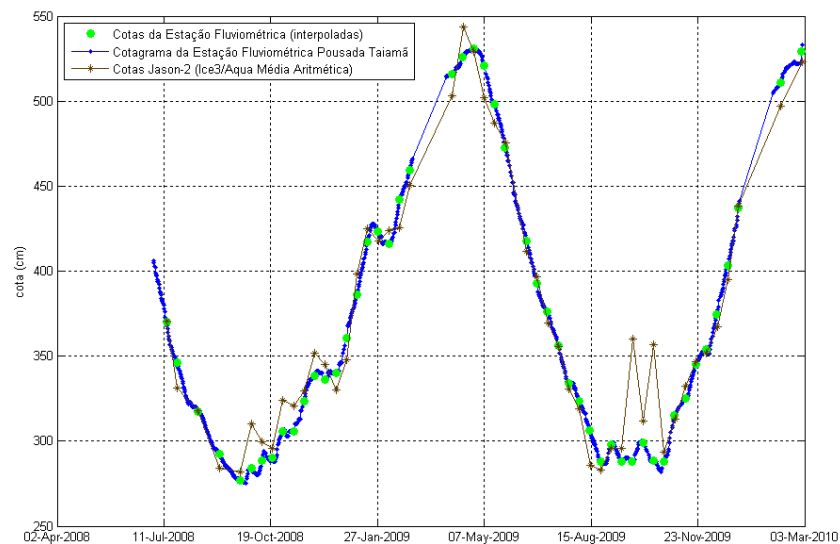


Figura I.2 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

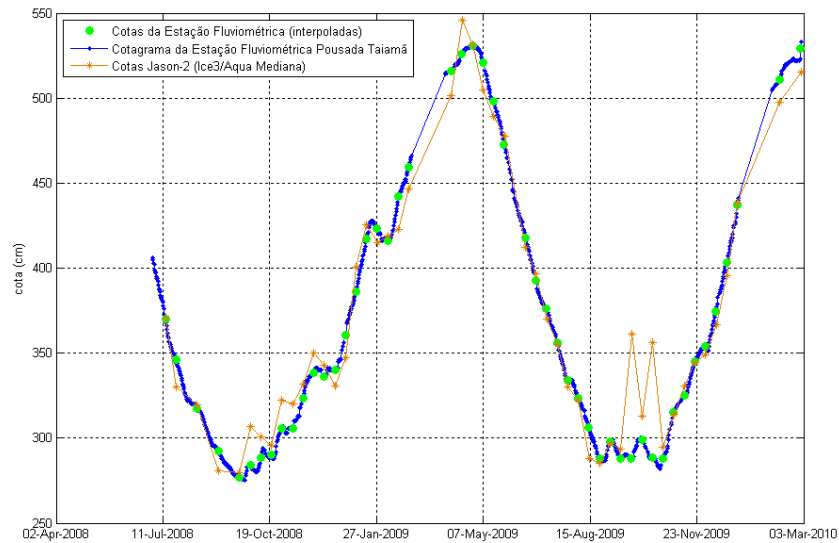


Figura I.3 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

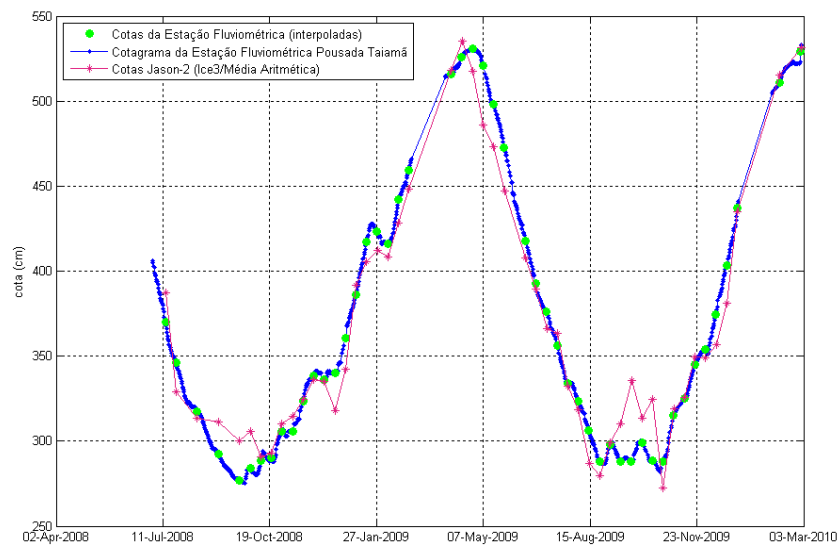


Figura I.4 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Média Aritmética) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

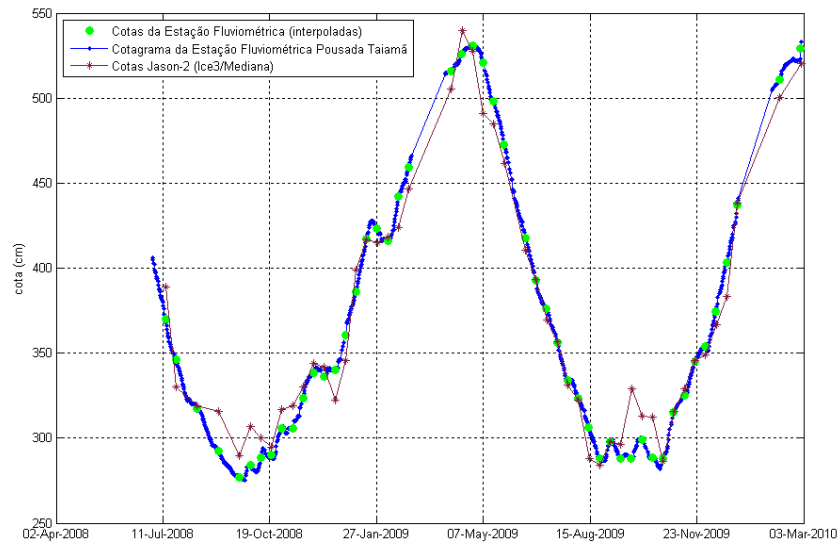


Figura I.5 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Mediana) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

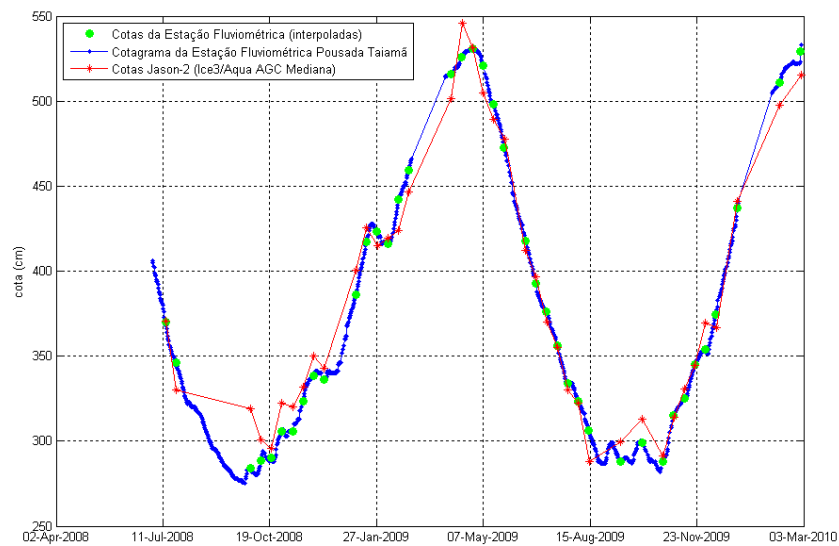


Figura I.6 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Mediana) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

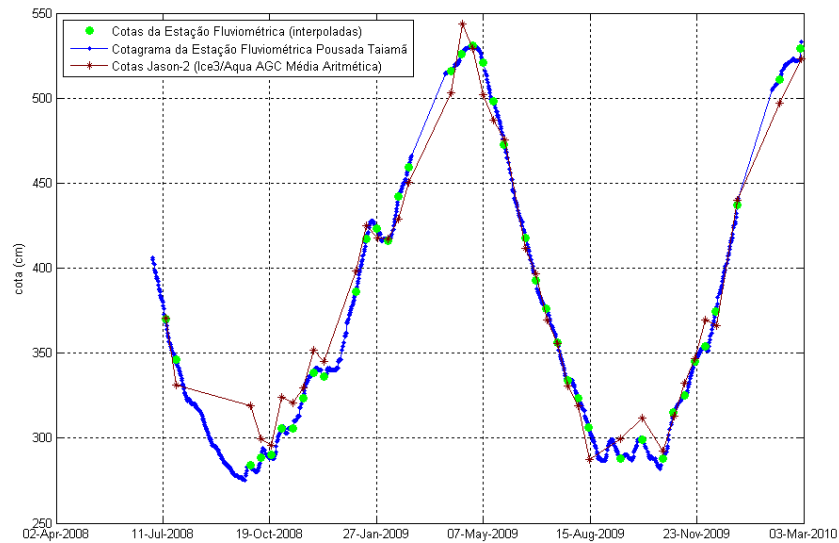


Figura I.7 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/Aqua AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

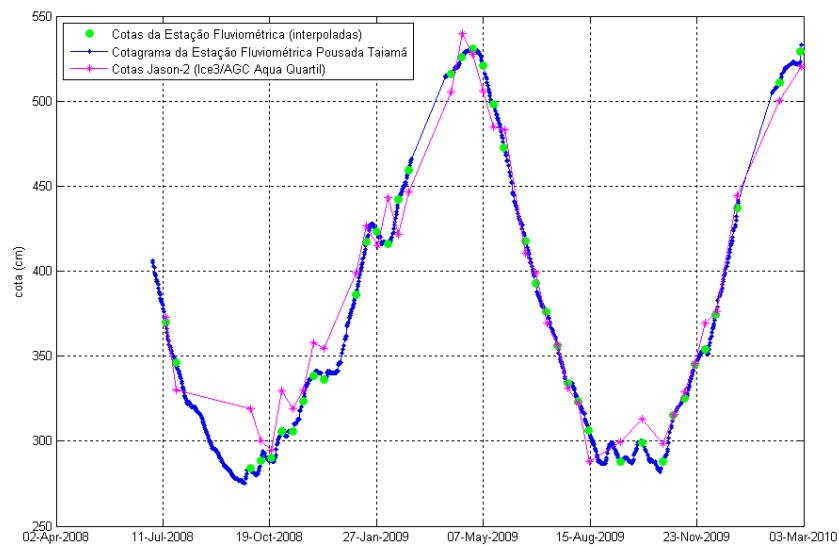


Figura I.8 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Quartil) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

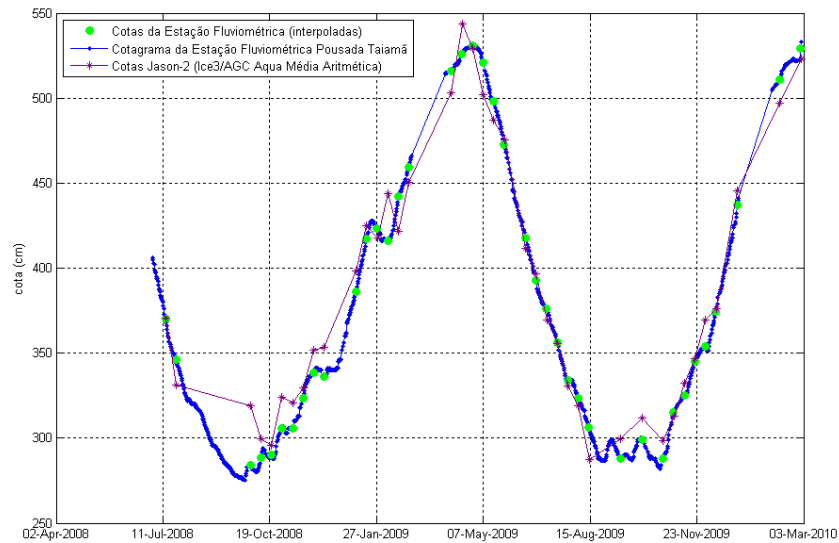


Figura I.9 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Média Aritmética) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

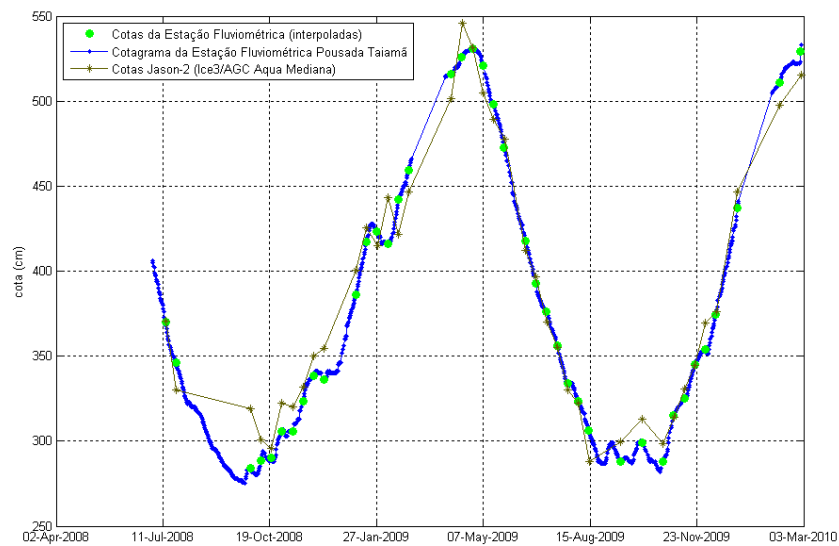


Figura I.10 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Aqua Mediana) e da estação fluviométrica Pousada Taiamã

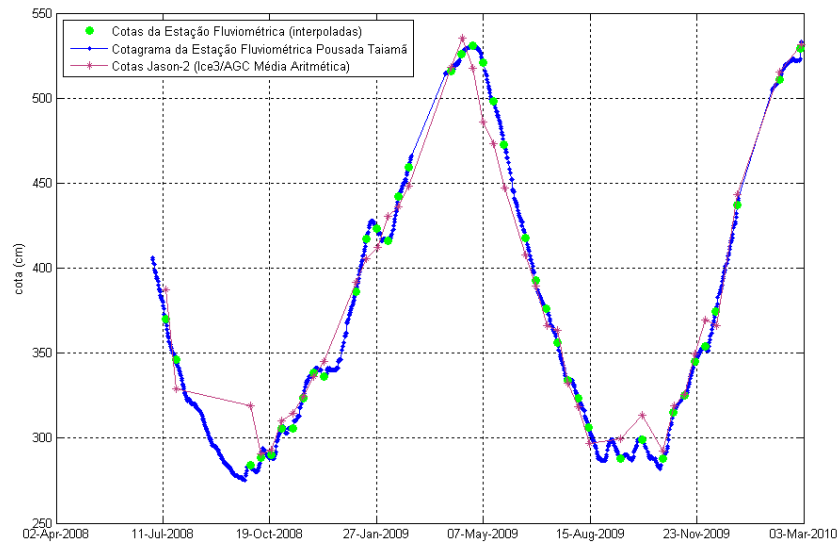


Figura I.11 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Média Aritmética) e da estação fluviométrica Pousada Taiaimã

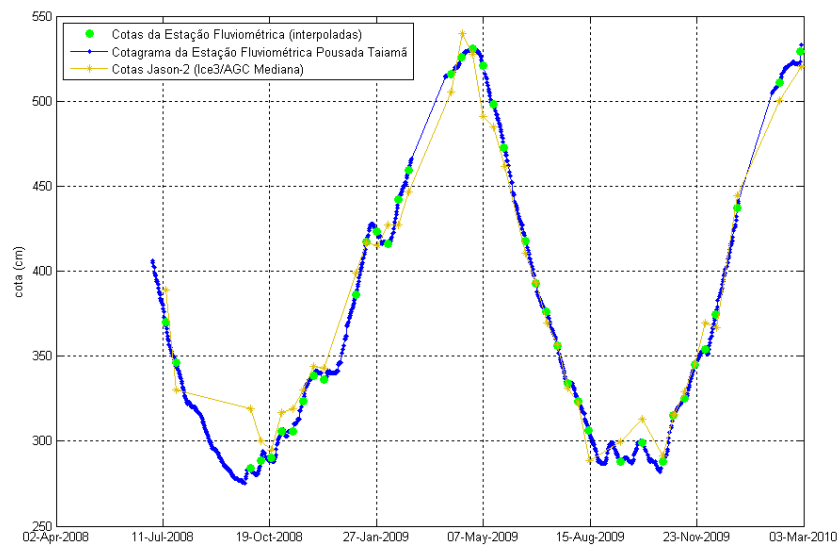


Figura I.12 – Comparação entre os dados da estação virtual (Ice3/AGC Mediana) e da estação fluviométrica Pousada Taiaimã

Tabela I.1 – Etapas a e b do procedimento de validação relativa na estação Pousada Taiamã

Estação	Erro médio quadrático da amostra de resíduos total da estação						Erro médio quadrático da amostra de resíduos da estação com IC 95%		
	Número de ciclos	Número de combinações	Média	Mediana	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)	Número de combinações	Assimetria	Erro médio quadrático (cm)
Pousada Taiamã									
1 Aqua Quartil	50	1225	0,5	-2,0	0,91	24,7	1132	0,08	15,3
2 Aqua Média Aritmética	50	1225	0,2	-2,4	0,96	24,4	1131	0,03	14,8
3 Aqua Mediana	50	1225	0,3	-2,5	0,94	24,7	1131	0,12	14,9
4 Média Aritmética	50	1225	-0,7	-1,3	0,33	22,4	1156	0,04	18,8
5 Mediana	50	1225	-3,2	-4,4	0,37	19,0	1156	0,13	16,1
6 Aqua AGC Mediana	40	780	-3,9	-4,2	-0,02	16,9	743	0,01	15,0
7 Aqua AGC Média Aritmética	40	780	-3,8	-4,1	-0,07	16,3	741	0,03	14,3
8 AGC Aqua Quartil	40	780	-3,8	-3,6	-0,07	18,4	747	-0,01	16,6
9 AGC Aqua Média Aritmética	40	780	-3,6	-3,6	-0,10	18,0	745	-0,03	16,1
10 AGC Aqua Mediana	40	780	-3,8	-3,7	-0,06	18,4	745	-0,02	16,5
11 AGC Média Aritmética	40	780	-0,7	0,6	-0,27	18,4	732	-0,13	15,3
12 AGC Mediana	40	780	-3,7	-3,9	-0,08	17,5	743	0,06	15,2

Tabela I.2 - Etapa c.7 do procedimento de validação relativa na estação Pousada Taiamã

Pousada Taiamã	lim1	lim2	lim3	lim4	dif 1	dif 2
1 Aqua Quartil	-34,0	28,0	-29,9	24,3	-4,1	-3,7
2 Aqua Média Aritmética	-32,7	26,3	-28,9	22,7	-3,8	-3,6
3 Aqua Mediana	-33,5	26,3	-29,4	22,8	-4,1	-3,6
4 Média Aritmética	-40,7	35,7	-36,4	31,4	-4,3	-4,3
5 Mediana	-38,5	28,1	-33,8	24,1	-4,7	-4,0
6 Aqua AGC Mediana	-37,1	28,4	-32,7	24,4	-4,4	-4,0
7 Aqua AGC Média Aritmética	-35,1	27,0	-30,7	23,5	-4,4	-3,5
8 AGC Aqua Quartil	-40,0	33,8	-35,7	29,0	-4,3	-4,9
9 AGC Aqua Média Aritmética	-39,3	33,1	-34,8	28,6	-4,5	-4,5
10 AGC Aqua Mediana	-39,6	33,1	-35,5	28,8	-4,1	-4,4
11 AGC Média Aritmética	-31,5	33,5	-27,8	29,4	-3,7	-4,1
12 AGC Mediana	-35,4	27,6	-31,5	24,4	-3,9	-3,2

Tabela I.3 – Cotas da estação fluviométrica Pousada Taiamã s interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação.

Estação Fluviométrica Pousada Taiamã							
ciclo	data (dia/mês/ano)			hora (hh:mm:ss)			cota (cm)
1	13	7	2008	7	25	59	369,9
2	23	7	2008	5	24	31	346,0
4	12	8	2008	1	21	34	317,4
6	31	8	2008	21	18	37	292,7
8	20	9	2008	17	15	42	277,0
9	30	9	2008	15	14	13	284,0
10	10	10	2008	13	12	45	288,6
11	20	10	2008	11	11	17	290,0
12	30	10	2008	9	9	49	306,0
13	9	11	2008	7	8	21	306,0
14	19	11	2008	5	6	52	323,7
15	29	11	2008	3	5	23	338,7
16	9	12	2008	1	3	54	336,0
17	18	12	2008	23	2	25	340,0
18	28	12	2008	21	0	57	360,6
19	7	1	2009	18	59	29	386,3

Tabela I.3 – Cotas da estação fluviométrica Pousada Taiamã s interpoladas para a época da passagem do satélite Jason-2 no local da estação (continuação).

20	17	1	2009	16	58	1	417,0
21	27	1	2009	14	56	33	423,2
22	6	2	2009	12	55	5	416,0
23	16	2	2009	10	53	37	442,4
24	26	2	2009	8	52	9	459,2
28	7	4	2009	0	46	13	516,0
29	16	4	2009	22	44	44	526,0
30	26	4	2009	20	43	15	531,0
31	6	5	2009	18	41	46	520,9
32	16	5	2009	16	40	18	498,0
33	26	5	2009	14	38	50	472,5
35	15	6	2009	10	35	54	418,0
36	25	6	2009	8	34	26	392,7
37	5	7	2009	6	32	57	376,0
38	15	7	2009	4	31	29	356,2
39	25	7	2009	2	30	0	334,0
40	4	8	2009	0	28	32	323,5
41	13	8	2009	22	27	3	306,2
42	23	8	2009	20	25	34	288,0
43	2	9	2009	18	24	6	298,1
44	12	9	2009	16	22	38	288,0
45	22	9	2009	14	21	10	288,0
46	2	10	2009	12	19	42	299,0
47	12	10	2009	10	18	13	288,3
48	22	10	2009	8	16	45	288,0
49	1	11	2009	6	15	16	315,1
50	11	11	2009	4	13	48	325,0
51	21	11	2009	2	12	19	345,0
52	1	12	2009	0	10	50	353,7
53	10	12	2009	22	9	21	374,2
54	20	12	2009	20	7	52	403,3
55	30	12	2009	18	6	25	437,1
59	8	2	2010	10	0	33	510,7
61	28	2	2010	5	57	36	529,1

Tabela I.4 – Alturas elipsoidais da estação Pousada Taiamã com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Pousada Taiamã							
ciclo	Aqua Quartil (cm)	ciclo	Aqua Média Aritmética (cm)	ciclo	Aqua Mediana (cm)	ciclo	Média Aritmética (cm)
1	10992,8	1	10990,8	1	10990,5	1	11007,1
2	10950,1	2	10951	2	10950,1	2	10948,8
4	10939,1	4	10938,2	4	10939,5	4	10933,6
6	10900,9	6	10903,9	6	10900,9	6	10931
8	10899,5	8	10902	8	10899,6	8	10920,1
9	10926,8	9	10929,9	9	10927	9	10925,9
10	10920	10	10919,4	10	10920,6	10	10910,5
11	10914,8	11	10916	11	10915,5	11	10912,9
12	10949,4	12	10944	12	10942,3	12	10929,9
13	10939,3	13	10940,8	13	10940,4	13	10934,5

Tabela I.4 – Alturas elipsoidais da estação Pousada Taiamã com os métodos de filtragem Aqua Quartil, Aqua Média Aritmética, Aqua Mediana e Média Aritmética (continuação).

14	10950,3	14	10949,8	14	10951,6	14	10944,6
15	10977,8	15	10971,9	15	10970,1	15	10956,4
16	10961,8	16	10965,1	16	10963,1	16	10955,3
17	10950,9	17	10950	17	10950,7	17	10938,2
18	10965,8	18	10967,9	18	10967,2	18	10962,2
19	11018,9	19	11018,2	19	11020,6	19	11011,8
20	11046,7	20	11045,1	20	11045,4	20	11025,7
21	11034,7	21	11037,8	21	11035,2	21	11032,1
22	11044	22	11043,7	22	11038,9	22	11028,5
23	11044	23	11045,3	23	11042,9	23	11048,1
24	11066,5	24	11070,7	24	11066,5	24	11068,2
28	11125,4	28	11123,3	28	11121,7	28	11138,2
29	11159,6	29	11163,4	29	11165,9	29	11155,2
30	11147,6	30	11149,1	30	11151,5	30	11137,3
31	11125,7	31	11122,1	31	11124,8	31	11105,9
32	11104,7	32	11107	32	11109,3	32	11093,1
33	11103	33	11095,4	33	11097,7	33	11067,2
35	11030,7	35	11031,8	35	11032	35	11027,9
36	11018,8	36	11016,5	36	11016,7	36	11009,3
37	10989,7	37	10989,4	37	10989,9	37	10986
38	10976,5	38	10975,5	38	10975,3	38	10983,6
39	10951,3	39	10950,7	39	10950,4	39	10952,2
40	10942,3	40	10938,9	40	10942,3	40	10938,4
41	10908,1	41	10905,9	41	10907,9	41	10906,7
42	10903,9	42	10902,8	42	10905,1	42	10899,4
43	10917,7	43	10916	43	10916,6	43	10919,1
44	10916,4	44	10916	44	10913,4	44	10930,2
45	10981,2	45	10979,9	45	10981,2	45	10955,5
46	10932,7	46	10931,8	46	10932,7	46	10933,4
47	10976,3	47	10977	47	10976,3	47	10944,4
48	10916,3	48	10913,6	48	10914,8	48	10892,6
49	10935,7	49	10933	49	10933,8	49	10938,9
50	10948,9	50	10952,1	50	10950,8	50	10945,7
51	10965,9	51	10966,8	51	10964,6	51	10969,7
52	10968,8	52	10972	52	10968,8	52	10969,2
53	10986,8	53	10987,1	53	10986,8	53	10976,9
54	11017,5	54	11014,9	54	11015,5	54	11001,3
55	11058	55	11058,3	55	11058	55	11055
59	11120,3	59	11117,3	59	11117,7	59	11135,1
61	11140,6	61	11140,6	61	11135,5	61	11151,6

Tabela I.5 – Alturas elipsoidais da estação Pousada Taiamã com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Pousada Taiamã							
ciclo	Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Mediana (cm)	ciclo	Aqua AGC Média Aritmética (cm)	Ciclo	AGC Aqua Quartil (cm)
1	11008,9	1	10990,5	1	10990,8	1	10992,8

Tabela I.5 – Alturas elipsoidais da estação Pousada Taiaã com os métodos de filtragem Mediana, Aqua AGC Mediana, Aqua AGC Média Aritmética e AGC Aqua Quartil (continuação).

2	10950,1	2	10950,1	2	10951	2	10950,1
4	10939,1	9	10939,2	9	10939,2	9	10939,2
6	10935,9	10	10920,6	10	10919,4	10	10920
8	10909,7	11	10915,5	11	10916	11	10914,8
9	10926,8	12	10942,3	12	10944	12	10949,4
10	10920	13	10940,4	13	10940,8	13	10939,3
11	10914,8	14	10951,6	14	10949,8	14	10950,3
12	10937	15	10970,1	15	10971,9	15	10977,8
13	10939,3	16	10963,1	16	10965,1	16	10974,3
14	10950,3	19	11020,6	19	11018,2	19	11018,9
15	10964,2	20	11045,4	20	11045,1	20	11046,7
16	10961,8	21	11035,2	21	11037,8	21	11034,7
17	10942,1	22	11039,2	22	11037	22	11063,1
18	10965,8	23	11044	23	11048,9	23	11041,8
19	11018,9	24	11066,5	24	11070,7	24	11066,5
20	11036,5	28	11121,7	28	11123,3	28	11125,4
21	11034,7	29	11165,9	29	11163,4	29	11159,6
22	11038,2	30	11151,5	30	11149,1	30	11147,6
23	11044	31	11124,8	31	11122,1	31	11125,7
24	11066,5	32	11109,3	32	11107	32	11104,7
28	11125,4	33	11097,7	33	11095,4	33	11103
29	11159,6	35	11032	35	11031,8	35	11030,7
30	11147,6	36	11016,7	36	11016,5	36	11018,8
31	11111,2	37	10989,9	37	10989,4	37	10989,7
32	11104,7	38	10975,3	38	10975,5	38	10976,5
33	11081,8	39	10950,4	39	10950,7	39	10951,3
35	11030,7	40	10942,3	40	10938,9	40	10942,3
36	11013,3	41	10908,1	41	10907,5	41	10908
37	10989,7	44	10919,8	44	10919,8	44	10919,8
38	10976,5	46	10932,7	46	10931,8	46	10932,7
39	10951,3	48	10911,1	48	10912,4	48	10918,5
40	10942,3	49	10933,8	49	10933	49	10935,7
41	10908,1	50	10950,8	50	10952,1	50	10948,9
42	10903,9	51	10964,6	51	10966,8	51	10965,9
43	10917,7	52	10989,5	52	10989,5	52	10989,5
44	10916,4	53	10986,7	53	10986,3	53	10996,2
45	10949,2	55	11061,3	55	11060,2	55	11064,6
46	10932,7	59	11117,7	59	11117,3	59	11120,3
47	10932,5	61	11135,5	61	11135,5	61	11140,6
48	10906,3						
49	10935,7						
50	10948,9						
51	10965,9						
52	10968,8						
53	10986,8						
54	11003,2						
55	11058						
59	11120,3						
61	11140,6						

Tabela I.6 – Alturas elipsoidais da estação Pousada Taiamã com os métodos de filtragem AGC Aqua Média Aritmética, AGC Aqua Mediana, AGC Média Aritmética e AGC Mediana.

Altura Elipsoidal da Estação Virtual Pousada Taiamã							
Ciclo	AGC Aqua Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Aqua Mediana (cm)	ciclo	AGC Média Aritmética (cm)	ciclo	AGC Mediana (cm)
1	10990,8	1	10990,5	1	11007,1	1	11008,9
2	10951	2	10950,1	2	10948,8	2	10950,1
9	10939,2	9	10939,2	9	10939,2	9	10939,2
10	10919,4	10	10920,6	10	10910,5	10	10920
11	10916	11	10915,5	11	10912,9	11	10914,8
12	10944	12	10942,3	12	10929,9	12	10937
13	10940,8	13	10940,4	13	10934,5	13	10939,3
14	10949,8	14	10951,6	14	10944,6	14	10950,3
15	10971,9	15	10970,1	15	10956,4	15	10964,2
16	10973,4	16	10974,4	16	10965,1	16	10963,1
19	11018,2	19	11020,6	19	11011,8	19	11018,9
20	11045,1	20	11045,4	20	11025,7	20	11036,5
21	11037,8	21	11035,2	21	11032,1	21	11034,7
22	11064	22	11063,1	22	11050,5	22	11047,2
23	11041,9	23	11041,8	23	11055,9	23	11047
24	11070,7	24	11066,5	24	11068,2	24	11066,5
28	11123,3	28	11121,7	28	11138,2	28	11125,4
29	11163,4	29	11165,9	29	11155,2	29	11159,6
30	11149,1	30	11151,5	30	11137,3	30	11147,6
31	11122,1	31	11124,8	31	11105,9	31	11111,2
32	11107	32	11109,3	32	11093,1	32	11104,7
33	11095,4	33	11097,7	33	11067,2	33	11081,8
35	11031,8	35	11032	35	11027,9	35	11030,7
36	11016,5	36	11016,7	36	11009,3	36	11013,3
37	10989,4	37	10989,9	37	10986	37	10989,7
38	10975,5	38	10975,3	38	10983,6	38	10976,5
39	10950,7	39	10950,4	39	10952,2	39	10951,3
40	10938,9	40	10942,3	40	10938,4	40	10942,3
41	10907,5	41	10908,1	41	10916,9	41	10908,8
44	10919,8	44	10919,8	44	10919,8	44	10919,8
46	10931,8	46	10932,7	46	10933,4	46	10932,7
48	10918,5	48	10918,5	48	10912,4	48	10911,1
49	10933	49	10933,8	49	10938,9	49	10935,7
50	10952,1	50	10950,8	50	10945,7	50	10948,9
51	10966,8	51	10964,6	51	10969,7	51	10965,9
52	10989,5	52	10989,5	52	10989,5	52	10989,5
53	10996,2	53	10996,2	53	10986,3	53	10986,7
55	11065,4	55	11066,4	55	11063,2	55	11064,6
59	11117,3	59	11117,7	59	11135,1	59	11120,3
61	11143,2	61	11135,5	61	11135,5	61	11140,6

ANEXO J – Estações de validação com o correspondente conjunto de ciclos (ausentes de ciclos espúrios) e frequência de ocorrência na amostra de validação obtida com o método de filtragem Aqua AGC Mediana.

Tabela J.1 - Estações Boa Vista, Itupiranga e Pousada Taiamã com o correspondente conjunto de ciclos (ausentes de ciclos espúrios) e frequência de ocorrência na amostra de validação obtida com o método de filtragem Aqua AGC Mediana.

Boa Vista		Itupiranga		Pousada Taiamã	
ciclo	frequência	ciclo	frequência	ciclo	frequência
1	51	4	36	1	38
2	51	9	37	2	32
4	50	10	38	9	24
6	51	11	38	10	39
8	48	15	38	11	39
10	50	16	40	12	38
12	50	17	38	13	38
13	48	19	38	14	39
14	45	20	37	15	39
15	49	21	40	16	39
16	51	22	37	19	38
17	51	23	38	20	39
18	48	24	38	21	38
19	50	25	38	22	39
20	48	26	39	23	34
21	49	27	36	24	36
24	48	28	40	28	36
26	46	29	38	29	34
27	34	30	38	30	39
29	52	31	37	31	36
30	52	32	38	32	38
31	52	33	36	33	39
32	52	35	38	35	38
33	50	36	37	36	39
36	52	37	36	37	38
37	45	38	37	38	39
38	50	39	34	39	38
39	52	40	37	40	39

Tabela J.1 - Estações Boa Vista, Itupiranga e Pousada Taiamã com o correspondente conjunto de ciclos (ausentes de ciclos espúrios) e frequência de ocorrência na amostra de validação obtida com o método de filtragem Aqua AGC Mediana (continuação).

40	51	41	38	41	34
41	52	43	14	44	37
42	52	45	32	46	35
43	51	52	33	48	39
44	52	53	14	49	39
45	52	54	36	50	39
46	48	55	32	51	39
47	49	56	40	52	33
48	52	57	31	53	38
49	49	58	37	55	39
50	48	59	25	59	38
51	50	65	36	61	38
52	31	66	40		
53	51				
54	29				
55	39				
58	50				
60	45				
61	51				
64	38				
67	47				
68	42				
69	48				
70	45				
71	47				

Tabela J.2 - Estações Santa Luzia, São Francisco e Usina Paineiras com o correspondente conjunto de ciclos (ausentes de ciclos espúrios) e frequência de ocorrência na amostra de validação obtida com o método de filtragem Aqua AGC Mediana.

Santa Luzia		São Francisco		Usina Paineiras	
Ciclo	frequência	ciclo	frequência	ciclo	frequência
2	39	2	37	2	46
4	39	4	37	8	46
6	39	14	33	9	46
15	38	16	38	10	24
17	34	17	15	11	48
18	39	18	36	12	45
19	39	19	38	14	45
20	38	20	37	15	46
21	39	21	38	17	25
22	35	22	33	18	45
23	35	23	37	19	45
24	39	24	37	20	45
25	36	25	36	21	46
26	39	26	37	22	45
27	39	27	37	23	45
28	39	28	38	24	45
29	39	29	36	25	43
30	39	32	37	26	29
31	39	33	37	27	47
32	39	35	36	28	46
33	36	36	38	29	46
35	39	37	37	30	46
36	39	38	37	31	41
37	39	42	30	32	45
38	39	43	37	33	46
39	39	44	37	35	45
40	39	48	36	36	45
41	38	49	37	37	46
42	38	50	37	38	46
43	37	51	36	39	46
44	33	54	32	40	38
45	30	55	37	42	45

Tabela J.2 - Estações Santa Luzia, São Francisco e Usina Paineiras com o correspondente conjunto de ciclos (ausentes de ciclos espúrios) e frequência de ocorrência na amostra de validação obtida com o método de filtragem Aqua AGC Mediana (continuação).

54	39	56	37	43	46
55	39	57	36	44	45
61	39	59	36	45	46
62	39	60	38	46	45
64	39	61	37	47	44
65	34	62	37	48	46
67	39	63	37	49	44
68	39			50	45
				53	24
				54	45
				55	46
				56	43
				57	46
				58	45
				60	45
				61	27
				63	46

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)