



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Luiz Carlos da Silva

ESTRUTURAÇÃO DE BANCO DE DADOS FLUVIAIS DA BACIA DO RIO MACAÉ (RJ)

Dissertação de Mestrado

**Rio de Janeiro
Março/2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Luiz Carlos da Silva

ESTRUTURAÇÃO DE BANCO DE DADOS FLUVIAIS DA BACIA DO RIO MACAÉ (RJ)

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geologia).

Área de concentração:
Paleontologia e Estratigrafia

Orientadores:
Prof. Dr. Leonardo Fonseca Borghi de Almeida
(IGEO/UFRJ)
Prof^a. Dr^a. Mônica dos Santos Marçal
(IGEO/UFRJ)

**Rio de Janeiro
Março/2011**

SILVA, Luiz Carlos da.
Estruturação de Banco de Dados Fluviais da Bacia do Rio
Macaé (RJ).

198 p.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2011.

1. Banco de Dados Fluviais; 2. Dinâmica Fluvial; 3.
Hidrossedimentologia; 4. Geomorfologia Fluvial; 5. Bacia do
Rio Macaé.

Rio de Janeiro
Março/2011

Luiz Carlos da Silva

ESTRUTURAÇÃO DE BANCO DE DADOS FLUVIAIS DA BACIA DO RIO MACAÉ (RJ)

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Ciências (Geologia).

Área de concentração:
Paleontologia e Estratigrafia

Orientadores:
Prof. Dr. Leonardo Fonseca Borghi de Almeida
(IGEO/UFRJ)
Prof^a. Dr^a. Mônica dos Santos Marçal
(IGEO/UFRJ)

Aprovada em: 24/ 04 / 2011

Por:

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane - IGEO/UFRJ
Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. André de Souza Avelar – IGEO/UFRJ

Prof. Dr. Manoel do Couto Fernandes – IGEO/UFRJ

Dedicado às nascentes, fontes, olhos d'água, córregos, arroios, igarapés, riachos, ribeirões, furos, paranás e rios que foram poluídos, contaminados, assoreados e erradicados por aqueles que um dia tiveram sua sede aplacada em suas águas cristalinas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo geral	5
2.2. Objetivos específicos	5
3. BACIA DO RIO MACAÉ-RJ: ASPECTOS FÍSICOS E AMBIENTAIS.....	6
3.1. Localização e histórico de ocupação	6
3.2. Aspectos geológicos e geomorfológicos	7
3.3. Solos e a cobertura vegetal	19
3.4. Dinâmica climática	23
4. EMBASAMENTO TEÓRICO.....	26
4.1 Sistemas fluviais e metodologias de recuperação de rios	26
4.1.1. Sistema fluvial - dinâmica e controles	26
4.1.2. Parâmetros geológicos, pedológicos e climáticos	29
4.1.3. Parâmetros da cobertura vegetal	30
4.1.4. Parâmetros geomorfológicos e morfológicos	31
4.1.5. Parâmetros hidrológicos	34
4.1.6. Parâmetros sedimentológicos	35
4.1.7. Parâmetros antrópicos	36
4.2. Abordagem dos Estilos Fluviais e das condições fluviais	37
4.3. Banco de Dados Fluviais (BDF) como instrumento de análise ambiental	43
4.3.1. Modelagem de dados	43
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
5.1. O Sistema de gerenciamento de banco de dados e parâmetros fluviais	44
5.2. Monitoramento hidrossedimentológico	51
5.3. Sistematização de procedimentos de coleta de dados de campo e de laboratório	55
6. RESULTADOS.....	58
6.1. Estruturação e implementação do Banco de Dados Fluviais (BDF)	58
6.1.1. A base de dados	58
6.1.2. A estrutura de consulta e análise dos dados	69
6.2. Dinâmica fluvial atual do rio Macaé-RJ	73
6.2.1. Monitoramento das seções transversais	74
6.2.1.1 Nível d'água	74

i. Velocidade média do fluxo.....	74
ii. Vazão (débito ou volume).....	78
iii. Descarga de sedimentos em suspensão (Qss).....	83
iv. Curva de transporte de sedimentos.....	86
v. Relação largura/profundidade.....	90
6.2.1.2. Forma da calha.....	95
vi. Variação da profundidade média na seção transversal.....	95
vii. Alterações na forma das seções transversais (erosão e preenchimento).....	98
viii. Raio hidráulico nas seções transversais.....	116
6.2.1.3. Descrição dos sedimentos de fundo.....	119
ix. Granulometria das amostras de sedimentos de fundo por perfil.....	119
x. Granulometria dos sedimentos de fundo no conjunto de perfis.....	128
xi. Grau de arredondamento das amostras de sedimentos de fundo.....	133
6.2.2. Dinâmica dos processos geomorfológicos do rio Macaé no período monitorado (de outubro/2007 a outubro/2010).....	140
6.2.3. Dinâmica dos processos hidrossedimentológicos do rio Macaé no período monitorado (de outubro/2007 a outubro/2010).....	143
6.2.4 Estágio da condição fluvial.....	145
7. CONCLUSÕES	146
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
APÊNDICE A - Ficha de Levantamento de Dados de Sistemas Fluviais	
APÊNDICE B - Artigo a ser submetido à Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), da Associação Brasileira de Recursos Hídricos	
ANEXO A - Dados Pluviométricos - Agência Nacional de Águas (ANA) - Estação Fazenda São João (cód. 2242005) – Nova Friburgo-RJ	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 – Mapa de Localização da Bacia do Rio Macaé – Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	8
Figura 3-2 – Geologia da Bacia do Rio Macaé – Fonte: Adaptado de Silva & Cunha (2001).....	12
Figura 3-3 - Domínios e Regiões Morfoestruturais utilizadas como base para a subdivisão das formas de relevo reconhecidas para o Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Silva (2002).....	16
Figura 3-4 - Compartimentação Geomorfológica da bacia do rio Macaé. Fonte: Silva (2002).....	18
Figura 3-5 - Distribuição dos Solos da Bacia do Rio Macaé – Fonte: Adaptado de Filho <i>et al.</i> (2000).....	21
Figura 3-6 – Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Rio Macaé referente a 2005 - Fonte: Villas Boas (2010).....	22
Figura 3-7 - Médias Pluviométricas para a bacia do rio Macaé no período de 1968 a 2008. (1a) Estação Fazenda São João, alto curso e (1b) Estação Fazenda Oratório, baixo curso. Fonte: Nascimento <i>et al.</i> 2009.....	25
Figura 3-8 - Totais Inter-Anuais Sazonais de Verão e Inverno, referentes à série histórica de 1968 – 2008. Gráficos 2A e 2C alto curso; Gráficos 2B e 2D baixo curso da bacia do rio Macaé. Fonte: Nascimento <i>et al.</i> 2009.....	25
Figura 4-1 – Procedimentos para identificar os estilos fluviais (River Styles) nos três contextos de vales – Fonte: Adaptado de Brierley <i>et al.</i> ,(2002).....	39
Figura 4-2 – Características de vales e exemplos de estilos fluviais. Fonte: Adaptado de Brierley <i>et al.</i> (2002).....	40
Figura 4-3 – Os cinco estágios das condições geomorfológicas de um rio. Fonte: Adaptado de Brierley <i>et al.</i> (2002).....	42
Figura 5-1 Fluxograma do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados para a Bacia.....	45
Figura 5-2A – localização das seções de monitoramento na bacia do rio Macaé – Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	53
Figuras 5-2B - Seção Transversal SSP-2. Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	53
Figura 5-2C - Seção Transversal SSP-3 . Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	53
Figura 5-2D – Seção Transversal SBO-4 – Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	54

Figura 5-2E – Seção Transversal SSA-5 – Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	54
Figura 5-2F – Seção Transversal SSA-6 – Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	54
Figura 5-2G – Seção Transversal SCE-7 - Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	55
Figura 5-2H – Seção Transversal SAN-8 - Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	55
Figura 5-2I – Seção Transversal SSPE-1 - Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	55
Figura 5-2J – Seção Transversal SSPE-2 - Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.....	55
Figura 6-1 - Diagrama de Estrutura de Dados (DED) do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados – Águas de Superfície, gerado no <i>software</i> ArgoCASEGEO.....	59
Figura 6-2 – Tabelas da base de dados, destacando seus atributos, chaves primárias e relacionamentos.....	61
Figura 6-3 – Tela de abertura do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dado de Águas de Superfície.....	63
Figura 6-4 – Formulário “Identificação da Região e Sub Região Hidrográfica”.....	63
Figura 6-5 – Formulário “Bacia Hidrográfica”.....	64
Figura 6-6 – Formulário “Canal Fluvial”.....	65
Figura 6-7 – Formulário “Identificação da Seção Transversal”.....	66
Figura 6-8 – Formulário “Vale na Seção Transversal”.....	67
Figura 6-9 – Formulário “Canal Fluvial na Seção Transversal”.....	68
Figura 6-10 – Formulário “Seção Transversal Canal: Largura e Profundidade”.....	69
Figura 6-11 – Visualização dos dados da tabela IdentifcSeçãoTransv.....	69
Figura 6-12 – Estruturação da consulta experimental para identificar as seções transversais no rio Macaé.....	71
Figura 6-13 – Resultado da consulta para identificar as seções transversais no rio Macaé.....	71
Figura 6-14 – Dados da tabela SeçãoTransvLargXProf.....	72
Figura 6-15 – Dados da tabela SeçãoTransvLagXProf exportados para a Planilha Excel.....	72
Figura 6-16 – Gráfico gerado no Excel a partir dos dados importados da tabela SeçãoTransvLagXProf.....	73

Figura 6-17 – Fluxograma dos dados hidrossedimentológicos.....	74
Figura 6-18 - Velocidade média do fluxo do rio Macaé, na confluência com o rio Bonito, no alto curso.....	75
Figura 6-19 - Velocidade média do fluxo do rio Mace, na confluência com o rio Sana, no médio curso	76
Figura 6-20 - Velocidade média do fluxo do rio Macaé, na confluência com o rio D’Antas, no baixo curso.....	77
Figura 6-21 - Velocidade média do fluxo do rio Mace, na confluência com o rio São Pedro, no baixo curso retificado.....	77
Figura 6-22 - Valores da vazão, na confluência com o rio Bonito, no alto curso.....	79
Figura 6-23 - Valores da vazão do rio Macaé, na confluência com rio Sana, médio curso.....	80
Figura 6-24 - Valores da vazão do rio Macaé, na confluência do rio D’Antas, no baixo curso.....	81
Figura 6-25 - Valores da vazão do rio Macaé, na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retificado.....	82
Figura 6-26 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio Bonito, no alto curso.....	83
Figura 6-27 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, seção SSA-5.....	84
Figura 6-28 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, seção SSA-6.....	84
Figura 6-29 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio D’Antas, no baixo curso, na seção SCE-7.....	85
Figura 6-30 - Descarga de sedimentos em suspensão do Rio Macaé na confluência do rio D’Antas, no baixo curso, na seção SAN-8.....	85
Figura 6-31 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retificado, na seção SSP-2.....	86
Figura 6-32 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retificado, na seção SSP-3.....	86
Figura 6-33 - Curva do transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio Bonito, no alto curso, período outubro 2007 a outubro/2010.....	87

Figura 6-34 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio Sana, seção SSA-5 no médio curso, período outubro 2007 a outubro/2010.....	87
Figura 6-35 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do Sana, seção SSA-6 no médio curso, no período outubro 2007 a outubro/2010.....	88
Figura 6-36 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do D'Antas, seção SCE-7 no baixo curso no período outubro 2007 a outubro/2010.....	88
Figura 6-37 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio D'Antas, seção SAN-8 no baixo curso, no período outubro 2007 a outubro/2010.....	89
Figura 6-38 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, seção SSP-2 no baixo curso retelinizado, no período outubro 2007 a outubro/2010.....	89
Figura 6-39 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, seção SSP-3 no baixo curso retelinizado, no período outubro 2007 a outubro/2010.....	90
Figura 6-40 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio Bonito, no alto curso, na seção SBO-4.....	91
Figura 6-41 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, na seção SSA-5.....	92
Figura 6-42 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, na seção SSA-6.....	92
Figura 6-43 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio D'Antas, no baixo curso, na seção SCE-7.....	93
Figura 6-44 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio D'Antas, no baixo curso, na seção SAN-8.....	93
Figura 6-45 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retelinizado, na seção SSP-2.....	94
Figura 6-46 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retelinizado, na seção SSP-3.....	94
Figura 6-47 - Variação da profundidade média no rio Macaé na confluência do rio São Pedro, seção SBO-4 no alto curso.....	95
Figura 6-48 - Variação da profundidade média no rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, nas seções SSA-5 e SSA-6.....	96
Figura 6-49 - Variação da profundidade média do rio Macaé na confluência do rio D'Antas, no baixo curso, nas seções SAN-8 e SCE-7.....	97

Figura 6-50 - Variação da profundidade média do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retificado, nas seções SSP-2 e SSP-3.....	97
Figura 6-51 A - Configuração da seção transversal SBO-4 do rio Macaé à jusante da confluência do rio Bonito - outubro/2007.....	99
Figura 6-51 B - Configuração da seção transversal SBO-4 do rio Macaé à jusante da confluência do rio Bonito - julho/2008.	99
Figura 6-51 C - Configuração da seção transversal SBO-4 do rio Macaé à jusante da confluência do rio Bonito - outubro/2010.	99
Figura 6-52 A - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana- março/2008.	100
Figura 6-52 B - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana- julho/2008.	100
Figura 6-52 C - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana - outubro/2008.	101
Figura 6-52 D - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana - março/2009.	101
Figura 6-52 E - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana- outubro/2010.	101
Figura 6-53 A – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana- outubro/2007.....	102
Figura 6-53 B – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana - julho/2008.	102
Figura 6-53 C – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana - março/2009.....	103
Figura 6-53 D – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana- outubro/2009.	103
Figura 6-53 E – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana - março/2010.	103
Figura 6-53 F – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana - outubro/2010.	104
Figura 6-54 A - Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D’Antas - outubro/2007. .	105

Figura 6-54 B - Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas - julho/2008.....	105
Figura 6-54 C - Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas - março/2009.	105
Figura 6-54 D – Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas - outubro/2009.	106
Figura 6-54 E - Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas - outubro/2010.	106
Figura 6-55 A - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - outubro/2007.	107
Figura 6-55 B - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - março/2008.	107
Figura 6-55 C - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - julho/2008.	108
Figura 6-55 D - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - outubro/2008.	108
Figura 6-55 E - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - março/2009.	108
Figura 6-55 F - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - outubro/2009.	109
Figura 6-55 G - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - outubro/2010.	109
Figura 6-56 A – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - outubro/2007.	110
Figura 6-56 B – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - março/2008.....	110
Figura 6-56 C – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - julho/2008.	111
Figura 6-56 D – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - outubro/2008.....	111
Figura 6-56 E – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - março/2009.....	111

Figura 6-55 F – Evolução da seção SSP-2 do rio Macaé na confluência do rio São Pedro - outubro/2009.	112
Figura 6-56 G – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - março/2010.....	112
Figura 6-57 A - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - outubro/2007.	113
Figura 6-56 B - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - março/2008.	113
Figura 6-57 C - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - julho/2008.	114
Figura 6-57 D - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - outubro/2008.	114
Figura 6-57 E - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - março/2009.	114
Figura 6-57 F - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - outubro/2009.....	115
Figura 6-57 G - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - março/2010.....	115
Figura 6-57 H - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - outubro/2010.....	116
Figura 6-58 - Raio hidráulico da seção SBO-4 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Bonito.	117
Figura 6-59 - Raio hidráulico das seções SSA-5 e SSA-6 do rio Macaé, à montante e à jusante da confluência do rio Sana.	117
Figura 6-60 - Raio hidráulico das seções SCE-7 e SAN-8 do rio Macaé, à montante e à jusante da confluência do rio D'Antas.	118
Figura 6-61 - Raio hidráulico das seções SSP-2 e SSP-3 do rio Macaé, à montante e à jusante da confluência do rio São Pedro.....	118
Figura 6-62 A - Granulometria da seção SBO-4 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Bonito.	120
Figura 6-62 B - Granulometria média do perfil SBO-4 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Bonito no período entre 2007/10.	120

Figura 6-63 A - Granulometria da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana.	121
Figura 6-63 B - Granulometria média da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana, no período entre 2007/10.	121
Figura 6-64 A - Granulometria do perfil SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana.	122
Figura 6-64 B - Granulometria média da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana, no período entre 2007/10.	123
Figura 6-65 A - Granulometria do perfil SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas.	124
Figura 6-65 B - Granulometria média da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas, no período entre 2007/10.	124
Figura 6-66 A - Granulometria da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas.	125
Figura 6-66 B - Granulometria média da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas, no período entre 2007/10.	125
Figura 6-67 A - Granulometria da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro.	126
Figura 6-67 B - Granulometria média da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro, no período entre 2007/10.	126
Figura 6-68 A - Granulometria da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro.	127
Figura 6-68 B - Granulometria média da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro, no período entre 2007/10.	128
Figura 6-69 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de outubro/2007.	129
Figura 6-70 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de março/2008.	129
Figura 6-71 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de outubro/2008.	130
Figura 6-72 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de março/2009.	131

Figura 6-73 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de outubro/2009.	132
Figura 6-74 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de março/2010.	133
Figura 6-75 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de outubro/2010.....	133
Figura 6-76 - Grau de arredondamento das amostras da seção SBO-4 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Bonito.....	134
Figura 6-77 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana.	135
Figura 6-77 B - Grau de arredondamento médio das amostra da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana, no período entre 2007/10.	135
Figura 6-78 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana.	136
Figura 6-78 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana, no período entre 2007/10.....	136
Figura 6-79 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas.	137
Figura 6-79 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas, no período entre 2007/10.....	137
Figura 6-80 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas.....	138
Figura 6-80 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas, no período entre 2008/10.	138
Figura 6-81 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro.....	139
Figura 6-81 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro, no período entre 2008/10.	139
Figura 6-82 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro.....	140
Figura 6-82 B - Grau de arredondamento médio das amostra da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro, no período entre 2008/10.	140

AGRADECIMENTOS

À Nádia e Anícia (esposa e filha) pelo apoio e incentivo para essa jornada.

À orientadora Prof^a Dra. Mônica dos Santos Marçal por ter prontamente aberto as portas do LAGESOLOS/UFRJ e se dispor a me guiar num momento crítico da minha carreira acadêmica.

Ao orientador Prof. Dr. Leonardo Fonseca Borghi de Almeida, cujo apoio tornou possível a continuação deste trabalho no PPGL.

À Prof^a Dra. Maria Naíse de Oliveira Peixoto pela sua dedicação para me fazer aprender sobre os rios e como ajudar na sua preservação e por seu valioso suporte para o meu ingresso no PPGL.

Ao Prof. Dr. Renato Rodriguez Cabral Ramos, pela contribuição para o meu ingresso no PPGL.

Ao professor e amigo Henrique Dayan por ter, desde a graduação, me apoiado, incentivado e ajudado a descobrir na geologia um horizonte para os meus objetivos acadêmicos.

Ao Grupo de Geomorfologia Fluvial LAGESOLOS/UFRJ, que desde 2007 vem se dedicando ao monitoramento da Bacia do Rio Macaé: Frederico Nascimento, Flávia Lopes, André Polly, Raphael Nunes, Guilherme Hissa, Daniel de Oliveira, Paulo, Renato Higel, Frank, Pilar Amadeu, Dalila, Juliana Cabral, Daniel Otranto e Pedro Magalhães. Sem o esforço dessas pessoas, tanto em campo quanto no laboratório, este trabalho não seria realizado.

À Christina Barreto Pinto, secretária do PPGL/IGEO/UFRJ, pelo valioso apoio e por sua disposição sempre em ajudar.

Ao Thiago Muniz e a Tatiana T. Guerra do LAGESOLOS pela força dada.

RESUMO

Esta dissertação teve como seu ponto de partida a massa de dados hidrossedimentológicos levantada até outubro de 2010 através do monitoramento do rio Macaé (RJ), que tem sido realizado duas vezes por ano – na estação seca e na estação chuvosa - desde outubro de 2007 pelo Grupo de Geomorfologia Fluvial do LAGESOLOS/UFRJ, em sete seções transversais localizadas neste rio.

Este estudo teve como meta a estruturação e construção de um Banco de Dados Fluviais, que servisse como ferramenta para o registro, armazenamento e análise de dados fluviais, buscando-se compreender os processos geomorfológicos e hidrossedimentológicos atuantes na bacia do rio Macaé, visando apreender a dinâmica atual do rio Macaé (RJ).

Partiu-se inicialmente da elaboração dos parâmetros ambientais interescares (escala da bacia e escala do canal) relevantes para compreensão de sistemas fluviais, sendo seguido da sistematização dos procedimentos de coleta de informações empíricas de dados hidrossedimentológicos e geomorfológicos de sistemas fluviais voltados para a alimentação do banco de dados, sendo para tal elaborado o formulário “Ficha de levantamento de dados de sistemas fluviais”.

Com o emprego do *software Microsoft Office Access 2007* ® foi criado o Banco de Dados Fluviais (BDF_{sup} – Macaé-RJ) e assim estabelecida uma base de dados fluviais através da qual se deu a geração de gráficos, onde é mostrado, ao longo do período de monitoramento, a evolução de parâmetros hidrossedimentológico, tais como: velocidade média do fluxo; vazão; descarga de sedimentos em suspensão; curva de transporte de sedimentos; relação largura/profundidade; variação da profundidade média da seção transversal; raio hidráulico; granulometria dos sedimentos de fundo e grau de arredondamento dos sedimentos de fundo.

Através da análise da evolução destes parâmetros apresentada nestes gráficos, foi possível apreender a dinâmica dos processos geomorfológicos e hidrossedimentológicos do rio Macaé (RJ) durante o período de monitoramento, assim como também validar este Banco de Dados Fluviais como um importante instrumento de suporte para o gerenciamento de recursos hídricos.

Palavras Chaves: Banco de Dados Fluviais; Dinâmica Fluvial; Hidrossedimentologia; Geomorfologia Fluvial; Bacia do rio Macaé.

ABSTRACT

This dissertation had as its starting point the mass of data hydrosedimentological lifted until October 2010 by monitoring the river Macaé (RJ), which has been held twice a year - in the dry and rainy seasons - from October 2007 by Fluvial Geomorphology Group of LAGESOLOS / UFRJ, in seven cross sections located on this river.

This study was aimed at structuring and building a database River, which served as a tool for recording, storage and analysis of river, trying to understand the geomorphological processes acting on and hydrosedimentological Macaé River basin, aiming to seize current dynamics of the river Macaé (RJ).

It started from the initial preparation of environmental parameters inter scalar (basin scale and scale of the channel) are relevant to understanding of river systems, being followed by the systematization of procedures for gathering empirical information and data hydrosedimentological geomorphological river systems aimed at feeding the database, being prepared for such a form "Data Collection Sheet of River Systems".

With the use of the software Microsoft ® Office Access 2007 created the River Database (BDFsup - Macaé-RJ) and thus established a database of river through which we gave charting, which is shown throughout the period monitoring the evolution of hydrosedimentological parameters such as: mean flow velocity; flow; suspended sediment discharge; sediment transport curve; width / depth relation; variation of the average depth of the cross section; hydraulic radius; texture of sediments background and roundness of the bed load.

By analyzing the evolution of these parameters presented in these charts, it was possible to grasp the dynamics of geomorphological processes and hydrosedimentological River Macaé (RJ) during the monitoring period, as well as validate this Database River as an important instrument of support for water resources management.

Keywords: Fluvial Database; Fluvial dynamics; hydrosedimentology, Fluvial Geomorphology, Macaé river watershed.

1. INTRODUÇÃO

Em paralelo a demanda crescente pelo abastecimento de água nas áreas urbanas e rurais, vem ocorrendo uma crescente degradação das bacias hidrográficas afetando diretamente os seus canais fluviais. A compreensão dos ajustes geomorfológicos e hidrossedimentológicos vem a ser uma base importante para a apreensão das mudanças naturais e dos efeitos diretos das atividades humanas na alteração dos sistemas fluviais e dos processos atuantes nas suas áreas contribuintes.

Os sistemas fluviais correspondem a um conjunto de canais fluviais, de variados tamanhos, que se conectam conformando uma bacia de drenagem ou bacia hidrográfica (Horton, 1945; Chorley & Kennedy, 1971; Schumm, 1977; Dunne & Leopold, 1978). Estudos voltados à compreensão de diversos problemas que afetam atualmente a grande parte dos canais fluviais têm despertado, cada vez mais atenção, não apenas nos meios acadêmicos, mas, sobretudo, nos organismos de gestão ambiental e da sociedade civil.

A organização interescalar sobre as informações referentes à dinâmica de evolução do sistema fluvial associado aos procedimentos de monitoramento geomorfológico e hidrossedimentológico dos canais fluviais podem fornecer, de forma integrada, a compreensão da evolução dos processos geológicos e geomorfológicos, além de permitir a identificação de impactos ambientais nos curso d'água, e de subsidiar propostas sustentáveis de manejo dos rios.

A compreensão da evolução da dinâmica fluvial requer entendimento sistêmico da paisagem, pois apresentam diversidades de comportamento que refletem a interação de todos os fatores ambientais. Os problemas ambientais só poderão ser melhor identificados e compreendidos a partir do entendimento de que a paisagem, em uma bacia hidrográfica, comporta-se como um sistema aberto que interage com todos os elementos bióticos e abióticos (FISRWG, 1998).

As intervenções antrópicas têm se intensificado nas últimas quatro décadas, induzindo (auto) ajustes que muitas vezes não respondem de forma adequada ou esperada pela sociedade. Tais intervenções tem conduzido a uma crescente ocorrência de desastres, tais como enchentes, diminuição da oferta hídrica, entre outros, e a diversos tipos de impactos ambientais, como assoreamento de canais, etc.

Os estudos de planejamentos em bacias hidrográficas, muitas vezes, não consideram a dinâmica do comportamento natural e (auto) ajustes dos rios. Por outro lado, o manejo adequado e sustentável se estabelece com a real compreensão da evolução dos parâmetros que

interagem no sistema da bacia hidrográfica. Assim, compreender o processo de evolução fluvial e de suas diversas interações e respostas com os subsistemas envolvidos, torna-se possível identificar as prováveis mudanças geomorfológicas irreversíveis e associar à sua condição natural frente aos impactos relacionados ao aumento do aporte sedimentar, ao longo do tempo.

No Brasil muitas são as propostas e projetos voltados à gestão e planejamento dos recursos hídricos, porém, historicamente, muitas das medidas tomadas comprometeram a estrutura dos rios e seu *habitat* ecológico. Assim se configura o caso da bacia do rio Macaé, localizada no norte fluminense, que possui um histórico de intervenções no seu sistema fluvial remontando desde o século XVII, passando do modelo econômico das monoculturas do café e do açúcar, ao atual modelo econômico de exploração de *comodities*. Contudo, embora esta bacia já tenha constituído um Comitê de Bacias desde 2003, a região é, ainda, carente de projetos e estratégias de reabilitação de suas áreas degradadas (Marçal & Luz, 2003; Marçal *et al.* 2009).

Como destacado por Thorne (1998), a condição de um canal fluvial em um dia particular depende, de certa maneira, da sequência de eventos de fluxos significativos responsáveis pela erosão, transporte e deposição ocorridos nas semanas, meses e, algumas vezes, nos anos anteriores. E sendo a dinâmica fluvial um conjunto de processos que aglutinam eventos de curta, média e de longa duração, a obtenção de dados e a análise de informações para a compreensão dos fatos observados deve se dá de forma continuada, o médio ou a longo prazo.

Para tal, faz-se necessário dispor de uma estrutura que permita o armazenamento e análise contínua de dados geomorfológicos, hidrológicos, sedimentológicos acerca da bacia e dos seus canais fluviais. Com isso, um acervo de dados de campo é crucial para um estudo geomorfológico fluvial e, de forma ideal, o monitoramento a longo prazo representaria o melhor caminho para obter uma compreensão inequívoca de um sistema fluvial em particular ou de um estudo de canal fluvial.

Assim a estruturação de um Banco de Dados Fluviais que se aglutinem informações referentes especificamente à compreensão do sistema fluvial, se estabelece como um instrumento de organização, caracterização e análise da dinâmica fluvial, podendo integrar as diferentes informações ambientais de uma bacia hidrográfica.

Neste sentido, tomando como base os conhecimentos hoje existentes sobre os sistemas fluviais e considerando a estrutura metodológica que vem sendo desenvolvida pelo Grupo de

Geomorfologia Fluvial do LAGESOLOS/UFRJ acerca do estudo da dinâmica evolutiva de pequenas bacias de drenagem, buscou-se estabelecer um exame da dinâmica de processos geomorfológicos e hidrossedimentológicos na bacia do rio Macaé, a partir da estrutura de registro, armazenamento e análise de dados, a qual comporá o Banco de Dados Fluviais – Águas Superficiais (BDF_{sup} – Macaé-RJ).

Por ser a dinâmica fluvial um conjunto de processos que aglutinam eventos de curta, média e de longa duração, a obtenção de dados e a análise de informações para a compreensão dos fatos observados deve se dá de forma continuada a curto, médio e a longo prazo. Para tal faz-se necessário dispor de uma estrutura que permita o armazenamento e análise contínua de dados hidrossedimentológicos e geomorfológicos acerca da bacia e dos seus canais fluviais.

Poucas são as estruturas de banco de dados disponíveis voltadas para o estudo dos sistemas fluviais. No Brasil a Agência Nacional de Águas (ANA), mantém o Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb, o qual disponibiliza ao público séries históricas de cotas, vazões, chuvas, clima, qualidade da água, descarga líquida, granulometria, curva de descarga e perfil transversal.

Esta agência governamental também disponibiliza aos interessados os *softwares* Hidro – Sistema de Informações Hidrológicas e SisCAH 1.0 – Sistema Computacional para Análises Hidrológicas. O primeiro trata-se de uma aplicação de banco de dados do tipo cliente/servidor. Os principais objetivos deste banco de dados são: gerenciamento de base de dados hidrometeorológicos centralizada em um banco de dados relacional; entrada de dados das entidades que operam uma rede hidrometeorológica; cálculos de funções hidrometeorológicas básicas e a visualização de dados por meio de gráficos, imagens, etc. O segundo *software* é um aplicativo para tratamento de séries históricas de dados hidrológicos. Ele utiliza como base de dados os arquivos formatos TXT e MDB disponibilizados na internet por esta agência através do HidroWeb.

Nos EUA, o Departamento de Agricultura mantém no estado da Geórgia, desde 1967 o “*Little River Experimental Watershed Database*”, que consiste num programa de pesquisas hidrológicas voltado para a compreensão dos processos hidrológicos básicos e da qualidade da água e os efeitos das práticas agrícolas nos recursos naturais da região e no meio ambiente (Bosch *et al.*, 2007).

A empresa norte americana *River Morph LLC* comercializa o “*River Morph – Stream Restoration Software*”, que consiste num programa para ajudar em todos os aspectos da recuperação de rios. Este programa inclui a avaliação, monitoramento e a forma natural do

canal. Ele consiste de uma interface gráfica com diversas ferramentas ligadas a um banco de dados.

O Banco de Dados Fluviais proposto neste trabalho apresenta, em relação aos bancos de dados citados, a vantagem de ter uma estrutura de dados totalmente adaptada aos dados hidrossedimentológicos e geomorfológicos monitorados pelo Grupo de Geomorfologia Fluvial do LAGESOLOS/UFRJ, permitindo inclusive futuros ajustes à novas necessidades de monitoramento.

A relevância deste trabalho, se deve pela sua importância para os estudos dos sistemas fluviais, e também pelo fato de ser este ambiente significativamente representativo dos processos geomorfológicos e antrópicos atuantes na bacia hidrográfica como um todo. E também, atender a uma necessidade premente de disponibilizar uma importante ferramenta de suporte à decisão para o gerenciamento de recursos hídricos.

Esta pesquisa contribuirá para a apresentação dos processos hidrossedimentológicos e com a organização e estruturação do Banco de Dados Fluviais, pelo fato de estar voltada para os estudos dos sistemas fluviais significativamente representativos dos processos geomorfológicos e antrópicos atuantes na bacia hidrográfica. E onde com frequência se depara com pequenos cursos fluviais e sub-bacias hidrográficas sujeitas a vários tipos de intervenções, desde o desmatamento vinculado aos diversos ciclos econômicos, até as derivações, represamentos, retificações e outras obras, definindo diferentes graus de alteração em suas características e funcionamento.

Tal iniciativa permitirá integrar e interpolar toda diversidade de informações relacionadas à evolução da paisagem e, assim, atender a uma necessidade premente de disponibilizar uma importante ferramenta de suporte à decisão para o gerenciamento de recursos hídricos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Esta pesquisa objetiva apresentar a estruturação e a implementação de um Banco de Dados Fluviais para a bacia do rio Macaé-RJ (BDF_{sup} – Macaé-RJ) priorizando águas superficiais e estabelecer critérios de coleta de dados acerca da dinâmica geomorfológica e hidrossedimentológica no rio Macaé, com base na abordagem dos estilos fluviais (Brierley & Fryirs, 2000). Serão apresentadas, ainda, informações sobre dados geomorfológicos e hidrossedimentológicos referentes ao canal do rio Macaé, no período de outubro de 2007 a outubro de 2010, obtidos a partir do emprego desta ferramenta.

2.2. Objetivos específicos

- Levantamento de parâmetros ambientais interescares (escala da bacia e escala do canal) relevantes para compreensão do sistema fluvial da bacia do rio Macaé-RJ;
- Estruturação e construção de um Banco de Dados Fluviais voltado para a compreensão dos processos geomorfológicos e hidrossedimentológicos no canal do rio Macaé;
- Sistematização de procedimentos de coleta de informações empíricas para a alimentação do Banco de Dados Fluviais (BDF_{sup} – Macaé-RJ);
- Avaliação e validação do (BDF_{sup} – Macaé-RJ) como instrumento de planejamento de bacia hidrográfica.

3. BACIA DO RIO MACAÉ-RJ: ASPECTOS FÍSICOS E AMBIENTAIS

3.1. Localização e histórico de ocupação

A bacia do rio Macaé se localiza no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, possuindo uma área de 1.765 km² de extensão. Sua abrangência corresponde a 82% no município de Macaé, que compreende 1448 km² e partes dos municípios de: Nova Friburgo onde estão situadas as nascentes (142 km²); Casimiro de Abreu (83 km²); Rio das Ostras (11 km²); Conceição de Macabu (70 km²) e Carapebus (11 km²).

Em sua calha principal, o rio Macaé recebe contribuição de outras sub-bacias que apresentam concentrações urbanas de menor porte: Lumiar, São Pedro da Serra, Glicério, Sana, Cachoeiros de Macaé, Córrego do Ouro, Serra da Cruz e Quilombo. O rio Macaé nasce na serra de Macaé próximo ao pico do Tinguá (1.560 m de altitude), em Nova Friburgo e seu curso se desenvolve por cerca de 136 km, desaguando no oceano Atlântico, junto à cidade de Macaé. O acesso à bacia se dá pela BR 101, que corta o seu baixo curso, próximo a cidade de Macaé e pela RJ 116 através do Distrito de Lumiar em Nova Friburgo, por onde são acessadas suas cabeceiras de drenagens (Figura 3-1).

A antiga vila São João de Macaé tornou município no início do séc. XIX, seu território foi inicialmente ocupado basicamente por fazendas, engenhos de cana-de-açúcar e um povoado em crescimento. Na década de 40 do século XX, a cultura da cana-de-açúcar atinge o apogeu como sua principal atividade econômica, enquanto a agricultura do café se expandia para a região serrana devido as condições de solo e clima favoráveis. Nesta década, foram também iniciadas obras de retificação no leito do baixo curso do rio Macaé e alguns de seus tributários, pelo extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), com o propósito de diminuir as áreas alagadas e melhorar qualidade de vida da população local, que utilizava estas áreas para as atividades agrícolas de fruticultura e a pecuária bovina.

Já a partir da década de 70, a cultura da cana-de-açúcar começa o seu declínio, ocorrendo o abandono destas áreas e em alguns casos sendo substituídas pela atividade agropecuária, principalmente nas áreas do alto e médio curso da bacia. Tem a partir da metade dessa década as atividades de prospecção de petróleo na Bacia de Campos, sendo a cidade de Macaé transformada, pela Petrobras, numa base das suas atividades operacionais, dando início assim a um novo ciclo econômico neste município, a qual tem gerado expansão urbana acelerada e graves problemas ambientais.

De acordo com Marçal & Luz (2003) a região da bacia hidrográfica vem apresentando como principais ações que alteram o meio ambiente, causando reflexos sobre os processos

geomorfológicos, as atividades relacionadas à agropecuária, que afetam, sobremaneira, a cobertura vegetal; as áreas urbanas, que modificam acentuadamente a dinâmica hidrológica; e mais recentemente, a atividade do turismo, que acelera e acentua os problemas ambientais existentes devido, principalmente, à falta de infra-estrutura.

No início da década de 2000 o Decreto nº 34.243/03 instituiu o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé, que compreende a bacia do rio Jurubatiba, bacia do rio Imboassica e a bacia da lagoa de Imboassica, como integrante do sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos. O qual tem, dentre seus objetivos, o de adotar as bacias hidrográficas da sua área de atuação como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento.

3.2. Aspectos geológicos e geomorfológicos

Do ponto de vista geológico, o Estado do Rio de Janeiro apresenta um mapeamento geológico na escala 1:400.000, executado em 2001, através do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, do Serviço Geológico do Brasil/CPRM, que tem como base cartográfica, as folhas 1:250.000 que cobrem todo o estado, tendo sido elaborado por Silva & Cunha, (2001).

De acordo com este mapeamento, na região da bacia do rio Macaé destacam-se as seguintes unidades geológicas (Figura 3-2):

- **Complexo Região dos Lagos:** datado do período Paleoproterozóica, este complexo é constituído por ortognaisses bandados/dobrados, cinzentos, de composição tonalítica a granítica, com abundantes paleodiques anfibolíticos deformados. Em alguns locais encontram-se parcialmente fundidos, com geração de venulações graníticas sintectônicas à deformação regional. Ortognaisses caracterizam-se por foliações com mergulhos fracos, ora para nordeste, ora para sudeste, e por forte e persistente lineação de estiramento, com indicação de transporte para NW. Está presente no baixo curso da bacia, nas proximidades da desembocadura, estendendo, principalmente, na direção NE;
- **Complexo Paraíba do Sul - Unidade São Fidélis:** datada do Meso/Neoproterozóico, compreende a maior parte da área de ocorrência do Complexo Paraíba do Sul, a qual é constituída essencialmente por metassedimentos detríticos, pelito-grauvaqueanos: granada-biotita-(sillimanita) gnaisses quartzo-feldspáticos (metagrauvas), com ocorrência generalizada de bolsões e veios de leucossomas graníticos derivados de fusão

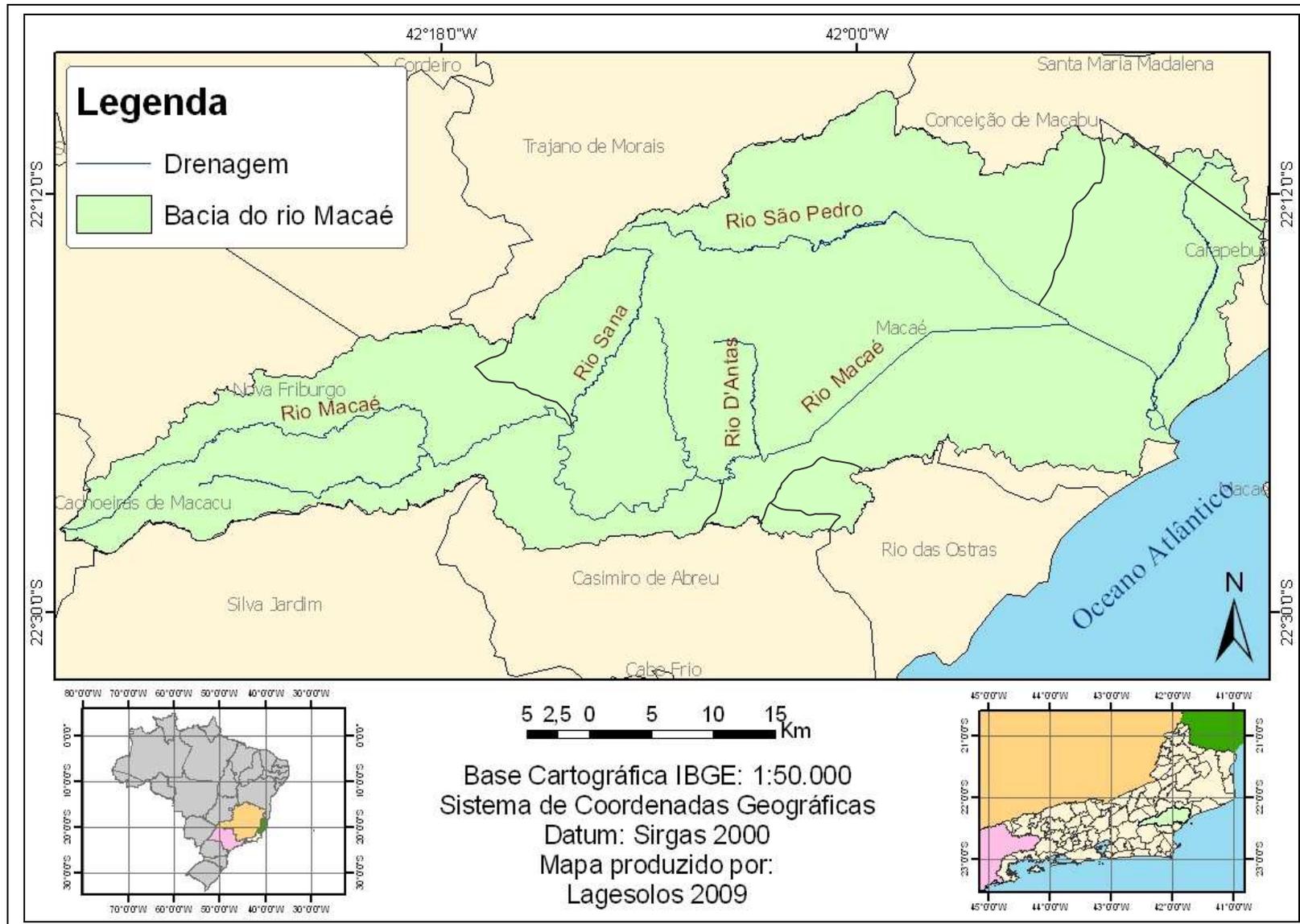


Figura 3-1 – Localização da Bacia do Rio Macaé – Fonte: LAGESOLOS/UF RJ

parcial *in situ* e injeções. Variedades portadoras de cordierita e sillimanita (kinzigitos), comumente apresentando horizontes de xistos grafitosos, exibem contatos transicionais com os granada-biotita gnaisses. São também observadas intercalações de quartzitos (qz), rochas metacarbonáticas e calcissilicáticas (ca), além de corpos de anfibolitos e concentrações manganésíferas. Em domínios menos deformados podem ser percebidas localmente estruturas de ressedimentação, decorrentes de fluxos turbidíticos (metaturbiditos). Esta unidade geológica tem grande ocorrência na bacia, abrangendo, praticamente, toda a sua extensão;

- **Complexo Búzios:** também datado do Meso/proterozóico, é formado por cianita-sillimanita-granada-biotita xisto e gnaisse quartzo feldspático intercalado com granada anfibolito e gnaisse calcissilicático. Manifesta a ocorrência, regionalmente, de fusão *in situ* com formação de estruturas turbidíticas nos domínios com baixa taxa de deformação. A sua manifestação se dá no baixo curso desta bacia;
- **Suíte Desengano:** é datada do período Neoproterozóico/Cambriano, sendo formada de granito tipo S com granada, muscovita e biotita de granulação grossa, texturas granoblástica e porfirítica, com forte foliação transcorrente. Pode ser observado localmente domínios e “manchas” charnockíticas portadoras de granada e ortopiroxênio, além da ocorrência freqüente de xenólitos e restitos de paragneisse parcialmente fundidos (migmatitos de injeção). Nesta suíte foram englobados os granitos Santa Tereza, Quartéis, Carapebus, Serra da Concórdia e Cassarotiba. São plútons sintectônicos associados a um regime transpressivo dextral, de direção NE-SW apresentando discreta a forte foliação milonítica sobreposta à textura magmática. Manifesta-se disperso pela bacia, se apresentando em forma de lentes estreitas, de 1 a 4 km de largura e alongadas, com até 100 km de comprimento, tendo marcadamente orientação NE;
- **Granito São Pedro e Granito Sana:** datados do Cambriano, apresentam, em geral, formas circulares discordantes das estruturas regionais NE-SW das encaixantes, com as quais mostram contatos abruptos e térmicos. Eles são compostos, principalmente, de horblenda-biotita granitóides do tipo L, de granulação fina a média, textura equigranular porfirítica localmente com foliação de fluxo magmático preservada. Frequentemente apresentam enclaves tanto das rochas encaixantes, de natureza gnáissica e com formato anguloso ou parcialmente assimilados, como demáficos microgranulares, com formatos variados. O Granito São Pedro, é formado por um conjunto de pequenas rochas as quais

ocupam uma área de formato quase circular e o Granito Sana constitui-se em um grande plúton, estando ambos localizados no alto-médio curso da bacia;

- **Depósitos Colúvio-aluvionares:** são datados do Terciário estendendo-se até os dias atuais. Apresentam fácies proximais formadas de cascalhos, areias e lamas resultantes da ação de processos de fluxos gravitacionais e aluviais de transporte de material de alteração das vertentes; rampas de colúvio, com predomínio de material fino, as quais se originaram do acúmulo de material detrítico, e depósitos de tálus com predomínio de material grosseiro junto à base e à meia-encosta dos morros. São materiais que sofreram transporte por gravidade, por movimentos de massa do tipo rastejo ou escorregamentos. São constituídos por materiais de espessura, extensão e granulometria variadas, que envolve desde argila até blocos de rocha e matacões provenientes do embasamento. Na porção mais distal deste conjunto ocorrem sedimentos arenosos e lamosos, eventualmente com cascalheiras, localizados em regiões de baixa declividade e ao longo das drenagens. São geralmente bem estratificados, refletindo deposição a partir de fluxos torrenciais canalizados e não canalizados. Localizam-se, preferencialmente, no médio curso da bacia.;
- **Depósitos Praiais Marinhos e/ou Lagunares:** são datados do período Holocênico, sendo as fácies praias marinhas constituídas por areias quartzosas esbranquiçadas, finas a médias, bem selecionadas, apresentando estratificação plano-paralela com mergulho suave em direção ao mar. Elas são recobertas por pacote eólico constituído por areias com características semelhantes, de granulometria mais fina, na forma de depósitos eólicos mantiformes, quando ocorrentes muito próximos à linha de costa, ou na forma de dunas transgressivas, quando mais interiorizadas. Os depósitos praias lagunares são formados pela sedimentação subaérea que margeiam os corpos aquosos costeiros. Tais depósitos se deram por ocasião da fase de submersão, que antecedeu o nível máximo de 5,1 ka, quando o litoral foi invadido pelo mar, formando sistemas lagunares que se estabeleceram por trás das ilhas-barreiras, como nas desembocaduras do rio Paraíba do Sul ou nos cursos inferiores de rios, como nos casos de Macaé e São João. Após 5.1 ka, em consequência do abaixamento do nível relativo do mar, essas lagunas tenderam à ressecção, ao mesmo tempo em que eram colmatadas e substituídas por áreas pantanosas. As subidas do nível marinho, que ocorreram entre 3,9 - 3,6 ka e 2,8 - 2,5 ka, promoveram a reocupação parcial dessas lagunas. Estes depósitos se manifestam junto à linha de costa, estendendo-se a partir da borda esquerda da desembocadura da bacia.

- **Depósitos Flúvio-Lagunares:** datados do Holocênio, estes depósitos estão geneticamente relacionados a episódios distintos de progradação fluvial sobre um ambiente transicional/marinho raso, possivelmente em função de variações climáticas e/ou glácio-eustáticas. São formados por cascalhos, areias e lamas resultantes da ação de processos de fluxos gravitacionais e aluviais de transporte de material de alteração das vertentes. Estão localizados a partir da confluência dos rios Macaé e São Pedro até a desembocadura da bacia.

Com relação à ocorrência de estruturas geológicas, na região da bacia tem-se a ocorrência de zonas de cisalhamento, sendo observadas e mapeadas numerosas falhas em toda sua extensão, as quais apresentam, predominantemente, orientação NE-SW.

Os ambientes de sedimentação quaternária (Depósitos Colúvio-Aluvionares; Depósitos Praiais Marinhos/Lagunares; Depósitos Flúvios-Lagunares) que ocorrem na região da bacia do rio Macaé, assim como na região costeira do Estado do Rio de Janeiro, estão associados a sistemas deposicionais de origem continental e transicional/marinho. Instalados parcialmente sobre os depósitos continentais ocorre um complexo de ambientes resultantes de processos costeiros afetados pelas variações que o nível relativo do mar sofreu no Quaternário, controladas pela glácio-eustasia, que fizeram com que a planície costeira evoluísse para leste.

As variações do nível do mar exerceram enorme influência sobre a construção das planícies costeiras. No decorrer dos ciclos transgressivos e regressivos marinhos, resultantes dessas variações basicamente controladas pela glácio-eustasia, instalou-se sobre os depósitos continentais um conjunto de ambientes sedimentares. De acordo com Martin *et al.* (1997) o litoral norte do Estado do Rio de Janeiro sofreu variações do nível relativo do mar, que geraram ao longo da sua faixa costeira depósitos quaternários marinhos, lagunares e áreas de pântanos. Trechos deste litoral foi invadido pelo mar há 5.100 anos AP formando sistemas lagunares que se estabeleceu por detrás de ilhas barreiras. E, após o rebaixamento do nível do mar por volta de 4.900 anos AP, algumas lagunas passaram por processo de dessecamento ao mesmo tempo em que eram colmatadas e substituídas por áreas pantanosas.

As características dos depósitos arenosos pleistocênicos ocorrentes na área de estudo sugerem que estejam relacionados ao evento interglacial ocorrido há 120 ka, correlacionado ao período interglacial Riss/Wurm (+ Sangamoniano), do Hemisfério Norte. A fase regressiva subsequente, correspondente ao último glacial, estendeu-se até 17 ka, levando o nível do mar a aproximadamente 120m abaixo do atual. Nestas condições, a planície costeira que se

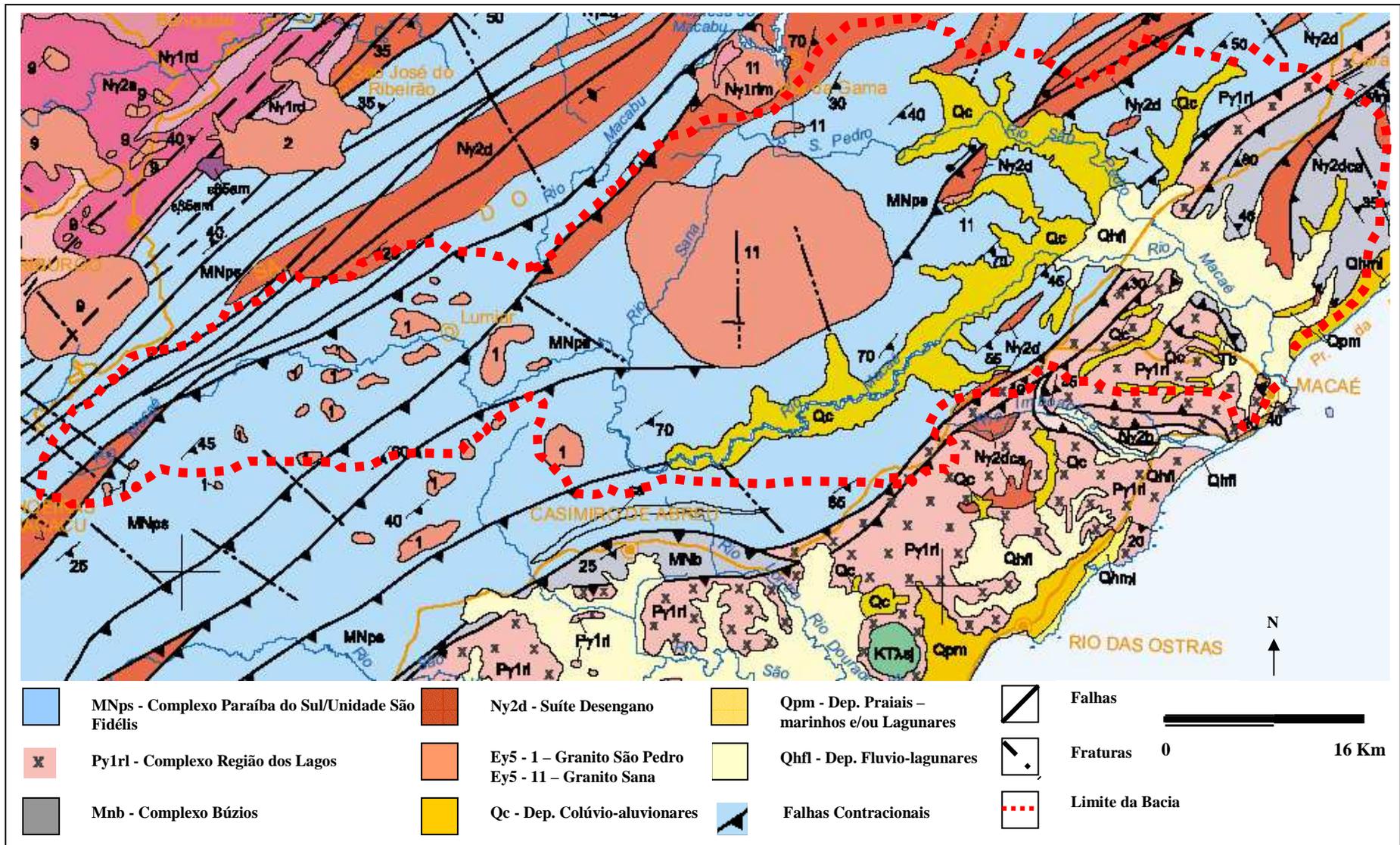


Figura 3-2 – Geologia da Bacia do Rio Macaé – Fonte: Adaptado de Silva & Cunha (2001)

Os ambientes de sedimentação quaternária (Depósitos Colúvio-Aluvionares; Depósitos Praiais Marinhos/Lagunares; Depósitos Flúvios-Lagunares) que ocorrem na região da bacia do rio Macaé, assim como na região costeira do Estado do Rio de Janeiro, estão associados a sistemas deposicionais de origem continental e transicional/marinho. Instalados parcialmente sobre os depósitos continentais ocorre um complexo de ambientes resultantes de processos costeiros afetados pelas variações que o nível relativo do mar sofreu no Quaternário, controladas pela glácio-eustasia, que fizeram com que a planície costeira evoluísse para leste.

As variações do nível do mar exerceram enorme influência sobre a construção das planícies costeiras. No decorrer dos ciclos transgressivos e regressivos marinhos, resultantes dessas variações basicamente controladas pela glácio-eustasia, instalou-se sobre os depósitos continentais um conjunto de ambientes sedimentares. De acordo com Martin *et al.* (1997) o litoral norte do Estado do Rio de Janeiro sofreu variações do nível relativo do mar, que geraram ao longo da sua faixa costeira depósitos quaternários marinhos, lagunares e áreas de pântanos. Trechos deste litoral foi invadido pelo mar há 5.100 anos AP formando sistemas lagunares que se estabeleceu por detrás de ilhas barreiras. E, após o rebaixamento do nível do mar por volta de 4.900 anos AP, algumas lagunas passaram por processo de dessecação ao mesmo tempo em que eram colmatadas e substituídas por áreas pantanosas.

As características dos depósitos arenosos pleistocênicos ocorrentes na área de estudo sugerem que estejam relacionados ao evento interglacial ocorrido há 120 ka, correlacionado ao período interglacial Riss/Wurm (+ Sangamoniano), do Hemisfério Norte. A fase regressiva subsequente, correspondente ao último glacial, estendeu-se até 17 ka, levando o nível do mar a aproximadamente 120m abaixo do atual. Nestas condições, a planície costeira que se estendia até a quebra da plataforma continental de hoje, era retrabalhada pelos sistemas fluviais.

Do ponto de vista geomorfológico, partindo do estudo da diferenciação do relevo no Estado do Rio de Janeiro realizado com base na utilização da metodologia de desnivelamento altimétrico, Silva (2002) apresenta uma nova proposta de mapeamento geomorfológico para o Estado, onde após os diversos compartimentos morfoestruturais reconhecidos (Degraus Escarpados, Degraus e/ou Serras Reafeiçoados, Morros, Colinas, Planícies fluviais e Flúvio-Marinhas) terem sido analisados pelos dados de orientação e contiguidade espacial, levou à identificação dos grandes conjuntos de formas de relevo que estão associados às principais estruturas geológicas regionais denominados de Domínios Morfoestruturais.

Assim, dois grandes domínios morfoestruturais são identificados no relevo fluminense: o Domínio Morfoestrutural do Planalto Atlântico e o Domínio Morfoestrutural das

Depressões Tectônicas Cenozóicas. Nestes domínios são distinguidas diferentes feições de relevo que, devidamente, agrupadas, são denominados de Regiões Morfoestruturais (Figura 3-3).

O Domínio Morfoestrutural do Planalto Atlântico é caracterizado como sendo o trecho do relevo do Sudeste brasileiro que engloba um extenso planalto maturamente dissecado e desnivelado, compreendendo desde a costa recortada à região serrana, onde se apresenta na forma de escarpas abruptas e quase lineares, condicionada por linhas de falha ou, ainda, se desfaz em formas de morros, também alinhados segundo recortes derivados da imposição estrutural, nele são identificadas as seguintes Regiões Morfoestruturais:

- a) Região do Planalto e Escarpas da Serra da Mantiqueira;
- b) Região do Planalto e Escarpas da Serra da Bocaina;
- c) Região do Planalto e Escarpas da Serra dos Órgãos;
- d) Região do Planalto e Escarpas do Norte Fluminense.

O Domínio Morfoestrutural das Depressões Tectônicas Mesozóica-Cenozóicas é formado pelas seguintes Regiões Morfoestruturais:

- a) Região da Depressão Interplanáltica Médio Paraíba do Sul;
- b) Região do Rift da Guanabara;
- c) Região da Depressão Interplanáltica Pomba-Muriaé;
- d) Região de Colinas e Morros do Leste Fluminense;
- e) Região dos Tabuleiros Costeiros.

Para a região da Bacia do Rio Macaé, Silva (2002) identifica os seguintes Domínios e Unidades morfoestruturais:

- **Planalto e Escarpas da Serra dos Órgãos:** posicionada entre as Unidades Geomorfológicas de colinas/morros e maciços costeiros e Alinhamento de cristas Paraíba do Sul, esta unidade se distribui continuamente de Itaguaí, ao sul do Estado, até o município de Campos de Goitacazes, ao norte. Contém segmentos de grande representatividade areal e de altitudes elevadas, chegando a atingir 1700m. Destacam-se as subunidades: conjuntos Serra dos Órgãos, Serra da Botija e Serra do Sambe;
- **Unidades Morfoestruturais do Domínio das Depressões Tectônicas Cenozóicas:**
 - a) Região das Colinas e Morros do Leste do Estado do Rio de Janeiro - esta região estende-se de Cabo Frio, na porção mais ao sul, a Bom Jesus de Itabapoana, ao norte. Os compartimentos geomorfológicos reconhecidos para a área em questão permitem identificar uma orientação

geral, concordante com os lineamentos regionais (NE-SW) e secundariamente com orientações NW-SE, N-S e E-W.

A faixa litorânea da bacia é caracterizada por seqüências sedimentares continentais (Grupo Barreiras e aluviões quaternários) e marinhos regressivas e transgressivas, associadas respectivamente ao desenvolvimento de cristas de praia (*beach ridge*) e sistemas de restingas (*barrier systems*) - Dias & Silva *apud* Silva, (2002).

Na porção norte da bacia, que é limitada pelo rio Itabapoana ao norte e pelo Cabo de São Tomé ao sul, ocorrem compartimentos de degraus escarpados: Serra da Pedra Lisa; degraus reafeiçoados: Santo Antônio do Imbé; Serra da Onça, Serra do Cristal e morros: Volta do Cágado; Morro da Onça; Mangueira, com orientação preferencial seguindo a estruturação NE-SW. Estes compartimentos são cortados indistintamente por colinas: Barra Seca; Serra do Mico, que possuem orientação geral NW-SE, desprezando em geral o controle litológico do embasamento e do Grupo Barreiras. Localmente, na altura da folha Barra Seca, encontra-se um alinhamento NE-SW de morros entre os compartimentos de colinas, coincidindo com a ocorrência de rochas da suíte charnockítica que se destacam em meio ao Grupo Barreiras.

A porção sul da bacia estende-se do Cabo de São Tomé até a região de Cabo Frio e é caracterizada pelas orientações preferenciais N-S e E-W dada pelos próprios limites entre as classes de desnivelamento. Nela tem-se a ocorrência de degraus escarpados: Agulha dos Vinhais; Serra da Pedra Branca; Serra da Agulha dos Machados; Serra São Pedro; Serra Santa Cruz; Serra da Pedra Selada e Serra São Jorge e degraus reafeiçoados: Bairro dos Passos; Serra da Boa Fé; Sodrelândia; Córrego Vermelho e Frade, que mostram um elevado grau de dissecação. Essas direções coincidem com contatos litológicos e falhas do embasamento (Nascimento *et al.*, *apud* Silva, *op. cit.*). Ressalta-se, no entanto, que mesmo nesta porção, os diques de diabásio possuem direção NE-SW, sendo que alguns são contínuos por dezenas de quilômetros. Na região de Cabo Frio e Búzios a direção NE-SW é observada, sendo identificada pelo alinhamento de morros: Fazenda Serra Seca, apesar das direções NW-SE presentes no embasamento. No domínio de colinas também com esta orientação, onde se encaixa o rio São João, apresenta falhas nessa direção acompanhadas de silicificação.

b) Unidade dos Terraços e das Planícies Fluviais e/ou Flúvio-Marinhas - estas unidades morfológicas encontram-se distribuídas descontinuamente ao longo do litoral e das principais bacias de drenagem do Estado, separadas pelos maciços costeiros, morros, colinas e/ou tabuleiros.

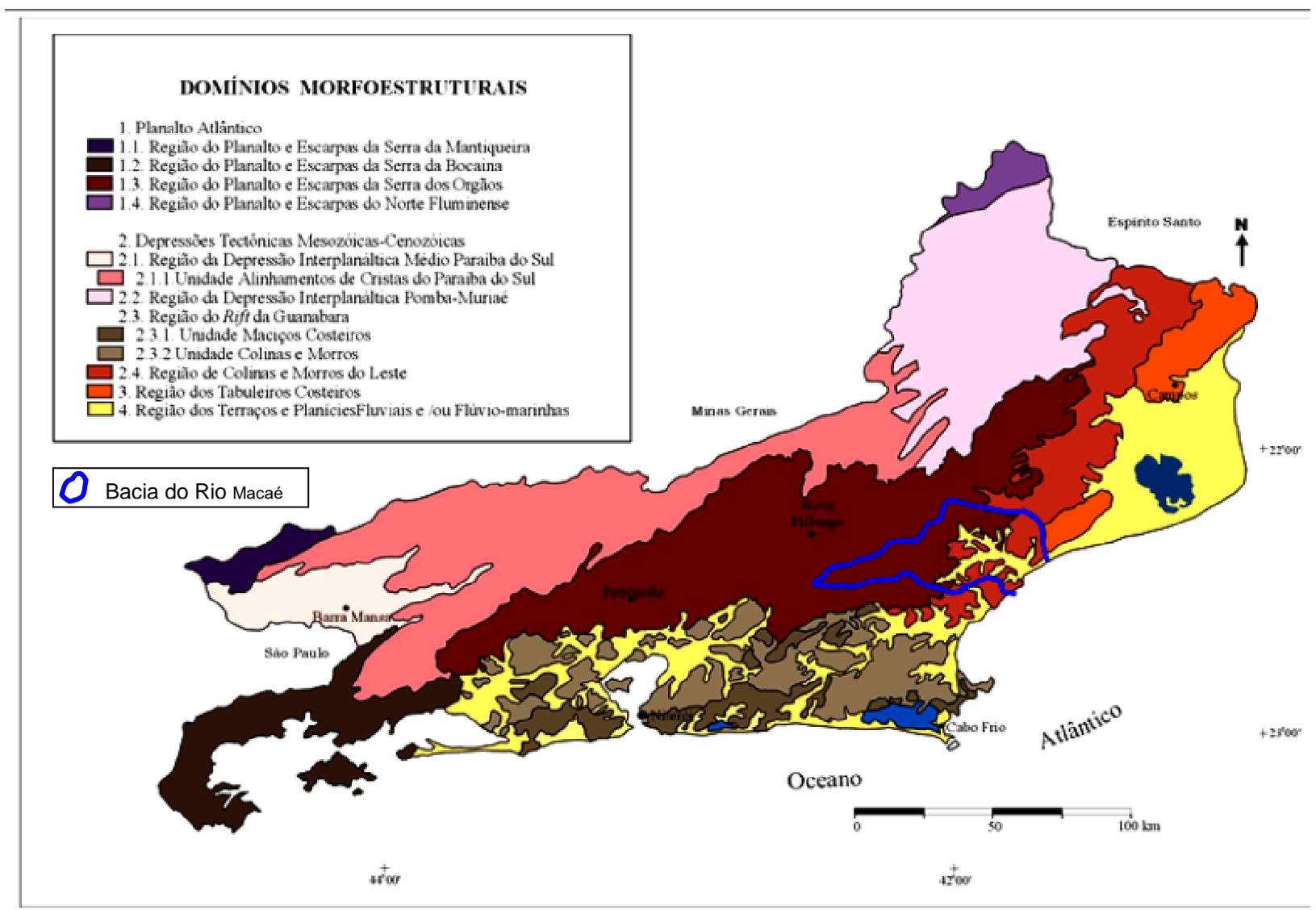


Figura 3-3 - Domínios e Regiões Morfoestruturais utilizadas como base para a subdivisão das formas de relevo reconhecidas para o Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Silva (2002)

Na área da orla costeira da bacia, as características geomorfológicas refletem a diversidade de ambientes e processos genéticos e evolutivos que serão aqui brevemente enfocados, sendo apresentados aspectos gerais de evolução das regiões sedimentares da bacia da Guanabara, região dos Lagos e região do delta do rio Paraíba do Sul.

As planícies flúvio-marinhas se estendem ao longo do litoral em direção às falésias dos Tabuleiros Costeiros ou às Colinas, Morros e Maciços Costeiros e escarpas da Serra do Mar, interpenetrando-se nos estuários, angras, enseadas e lagoas (RADAMBRASIL, apud Silva, 2002).

Apresentam uma série de ambientes diversificados e complexos afetados por oscilações eustáticas e climáticas e pelo controle de tectonismo regional, refletindo esses condicionamentos na distribuição espacial de sua morfologia.

As áreas correspondentes as planícies flúvio-marinhas ocupam grande parte da região do *Rift* da Guanabara presentes na carta morfoestrutural Rio de Janeiro, cartas de Macaé e Campos, sendo tais feições entremeadas por colinas, morros e maciços litorâneos (Figura 3-4).

Ao longo desta faixa costeira observam-se, ainda, inúmeros vales encaixados nos Tabuleiros Costeiros, tendo como partes componentes a planície fluvial, a planície flúvio-marinha e as encostas laterais das Colinas e Maciços Costeiros. A proximidade com o litoral é marcada pela influência marinha na formação de mangues, que alcançam vários quilômetros para o interior a partir das desembocaduras dos rios, como nos rios Itabapoana, Macaé e São João.

Silva (2002) destaca na área da Bacia do Macaé um significativo número de feição geomorfológica correspondentes a variedade de formas de relevos ali existentes, tais como planícies fluviais e/ou flúvio-marinhas e colinas suaves, conforme vistos na Figura 3-4.

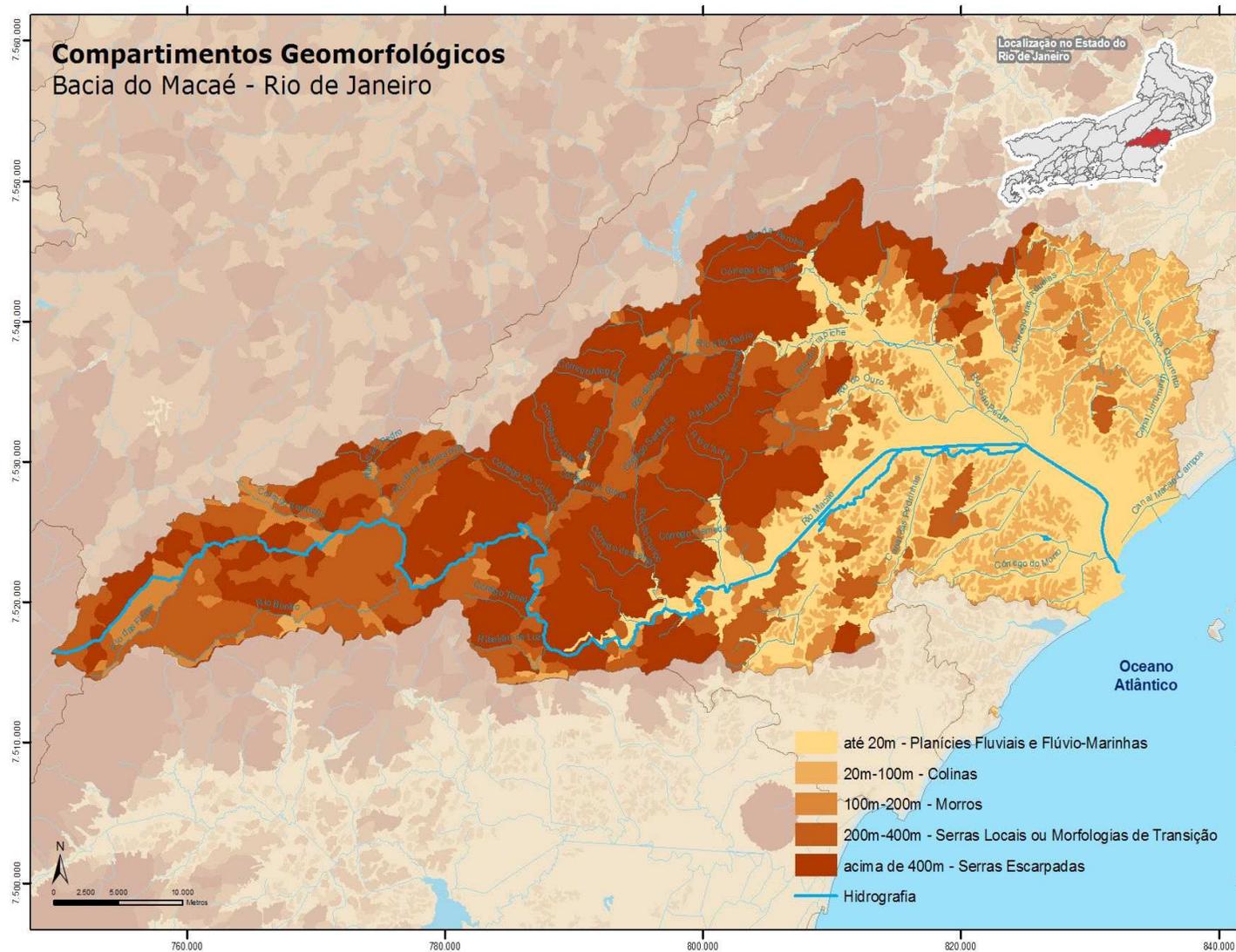


Figura 3-4: Compartimentação Geomorfológica da bacia do rio Macaé. Fonte: Silva (2002).

3.3. Solos e a cobertura vegetal

Os solos têm um papel atuante na percolação das águas das chuvas para o lençol subterrâneo, alterando assim o escoamento superficial direto numa bacia hidrográfica e influenciando dessa maneira indiretamente no fluxo de águas corrente nos canais fluviais da bacia (Suguio & Bigarella, 1990).

A bacia do rio Macaé, de acordo com Filho *et al.* (2000), é formada pelas seguintes classes de solos (Figura: 3-5):

- **Cambissolo Álico** - são solos pouco evoluídos, de características bastante variáveis, mas em geral pouco profundos ou rasos e com teores de silte relativamente elevados. Apresentam seqüência de horizontes do tipo A-Bi-C, com modesta diferenciação entre eles. Devido a seu desenvolvimento ainda incipiente, as características desses solos são em geral bastante influenciadas pelo material de origem. É a classe de solo predominante no alto e médio cursos da bacia;
- **Solos Litólicos Álicos** - são solos minerais pouco desenvolvidos, rasos, constituídos por um horizonte A assentado diretamente sobre a rocha, ou sobre um horizonte C ou B incipiente pouco espesso. É comum possuírem elevados teores de minerais primários menos resistentes ao intemperismo, assim como cascalhos e calhaus de rocha semi-intemperizada na massa do solo. Estão associados com Cambissolos, se manifestando, principalmente, no médio e baixo cursos da bacia;
- **Latossolo Vermelho-Amarelo Álico** - tem uma marcante presença na bacia, principalmente no seu médio e baixo cursos. Esta classe de solo tem a sua ocorrência, em geral, associada a relevos movimentados. Ele se caracteriza por sua baixa fertilidade.
- **Solos Aluviais Distróficos** - são solos minerais pouco evoluídos, desenvolvidos a partir de depósitos aluviais recentes, datados do Quaternário. Apresentam estratificação de camadas, sem relação genética entre si. Têm seqüência de horizontes do tipo A-C, eventualmente com evidências de gleização em sub superfície. Sua ocorrência se dá no médio e principalmente no baixo curso da bacia;
- **Podzólico Amarelo Álico** - são solos com horizonte B textural de coloração amarelada, em geral profundos, bem drenados e apresentam seqüência de horizontes do tipo A-Bt-C ou A-E-Bt-C. São relacionados aos sedimentos do Grupo Barreiras e congêneres. Em geral, ocorrem em relevo suave, com rampas longas e apresentam um certo potencial erosivo, mesmo em áreas de declive pouco acentuado. Sua ocorrência na bacia se dá em duas faixas ao longo do litoral nas duas bordas da sua desembocadura;

- **Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico** – se apresenta em relevo que varia de suave ondulado a montanhoso, estando associado com latossolos. São predominantemente cauliniticos, com argila de baixa atividade, geralmente bem drenados, de textura média/argilosa ou média/muito argilosa. Está presente na foz da bacia;
- **Gleissolo Pouco Húmico Salino Solódico e Gleissolo Pouco Húmico Álico** – São solos minerais, hidromórficos, com horizonte A ou H seguido de horizonte glei, desde que não simultâneo. São solos relativamente recentes, pouco evoluídos, e originados de sedimentos de idade quaternária. Apresentam horizonte superficial pouco desenvolvido, do tipo A moderado, com uma tendência geral de serem encontrados em áreas relativamente encharcadas, mas ainda com fortes restrições de drenagem. A primeira classe ocorre nas áreas de influência marinha mais próximas à costa, praticamente na foz da bacia, enquanto a segunda classe localiza-se no baixo curso se estendendo em direção ao médio curso.
- **Solos Orgânicos Distróficos** – são solos hidromórficos, formados em ambientes palustres, que apresentam camadas de constituição orgânica pelo menos nos primeiros 40 cm superficiais. De ocorrência em locais deprimidos da planície litorânea, em geral nos baixos cursos dos rios, originados de acumulações orgânicas sobre sedimentos fluviais ou fluvio-marinhos, de idade quaternária. São solos muito mal drenados.

Em meados do século. XIX, a cobertura original de ombrófia densa presente na região da bacia do rio Macaé, começou a passar por um processo de intensa modificação à medida que a economia canavieira se intensificava no Norte-Fluminense, restando, atualmente, esparsos fragmentos desta vegetação na região (Esteves, 1998). Esta floresta ombrófila densa ainda pode ser encontrada com maior grau de preservação, no domínio geomorfológico de escarpas serranas, transformados em Áreas de Preservação Ambiental (APAs), os quais compreendem as localidades de Macaé de Cima e Sana e também está presente nas Colinas e Maciços Costeiros (Veiga, 2002).

De acordo com Marçal *et al.* (2009), nestas últimas três décadas, expressivas modificações sucederam-se no uso e cobertura vegetal da bacia, onde a classe Floresta ombrófila, até então presente no alto curso da bacia, foi em grande parte devastada, dando lugar à expansão de pastos e áreas agricultáveis. Por outro lado, as áreas de pastagem localizadas no médio e baixo curso da bacia, sofreram forte expansão, estimulada pela produção de carne e leite. Tendo ocorrido o mesmo processo para as áreas agrícolas, presentes também no médio e baixo curso da bacia, utilizadas para a produção de alimentos primários, voltadas para agricultura comercial e de subsistência (Figura 3-6).

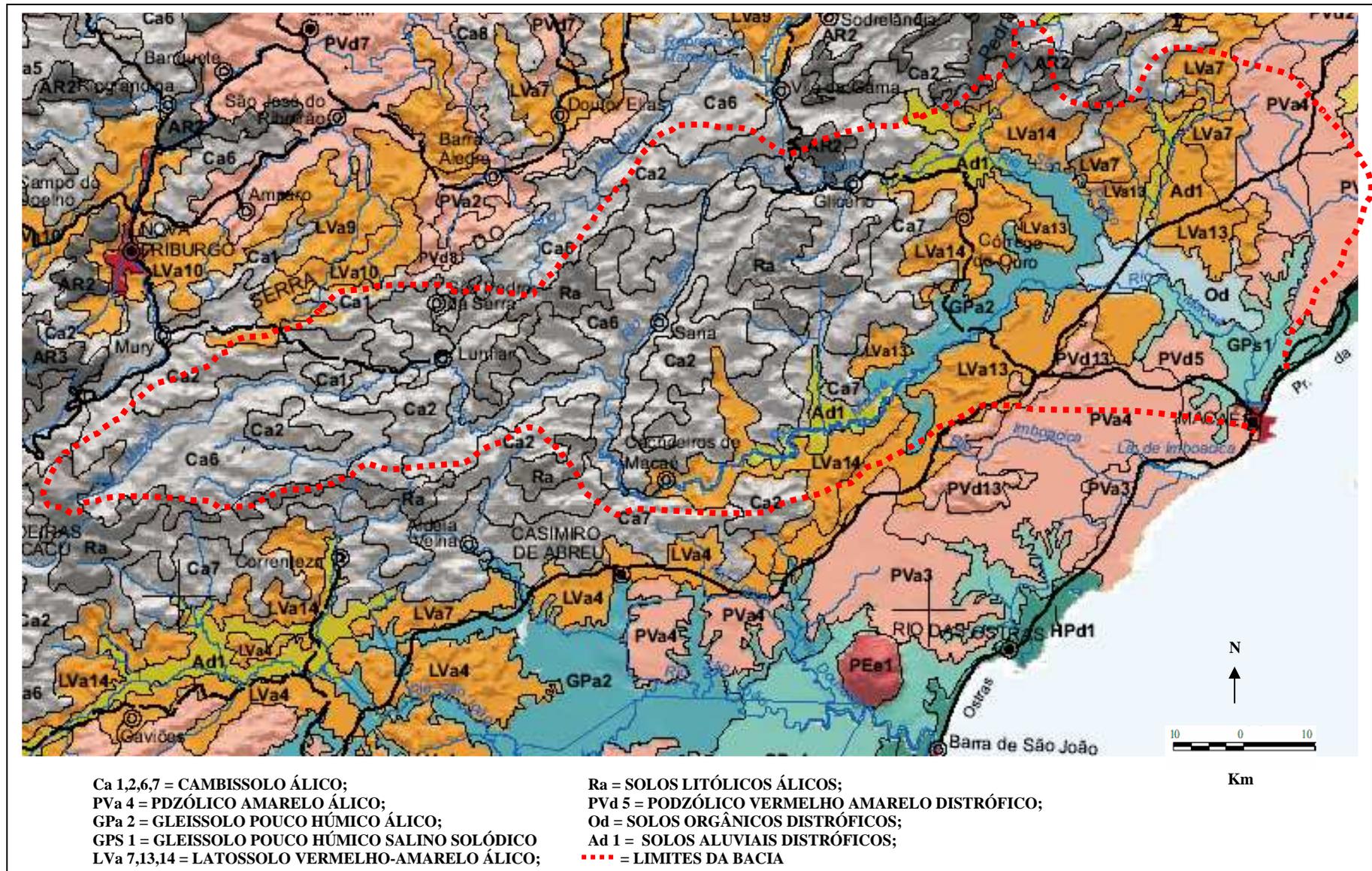


Figura 3-5 - Distribuição dos solos da Bacia do Rio Macaé – Fonte: Adaptado de Filho *et al.* (2000)



Figura 3-6 – Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Rio Macaé referente a 2005 - Fonte: Lima (2010).

3.4. Dinâmica climática

O clima tem um papel importante na dinâmica dos sistemas fluviais e o sudeste brasileiro é uma região de notável diversificação climática por ocupar terrenos de importantes variações de latitude e longitude; estando localizado sob a trajetória preferida pelas frentes polares (correntes perturbadas de sul) e se encontra, ainda, na área de instabilidade provocada pelo sistema de circulação do anticiclone polar das altas latitudes e o sistema de circulação do Anticiclone do Atlântico Sul das baixas latitudes (Nimer, 1979)

Segundo este autor, a orografia da região é um dos fatores determinantes na sua variedade climática, tanto no que se refere à temperatura, quanto à precipitação. Por sua posição geográfica próxima ao litoral e pelos meses de verão de intensa radiação solar recebida, têm-se na região elevados índices de umidade do ar e de temperatura, levando à ocorrência de chuvas frequentes de distribuição diferenciada devido, ainda, à existência de inúmeras elevações altimétricas ao longo de sua costa (Serra do Mar e Maciços Costeiros), que contribuem para a ocorrência de eventos pluviométricos de elevadas magnitudes.

Na região litorânea e serras adjacentes existe um comportamento semelhante com pequenas variações, de acordo com o posicionamento geográfico: municípios localizados nas baixadas costeiras, no sopé ou baixa encosta da Serra do Mar e no reverso da Serra do Mar. As amplitudes médias de variação térmica parecem ser ligeiramente maiores somente nas estações localizadas no reverso da Serra do Mar, ou seja, mais interioranas, permanecendo com valores bem próximos para áreas localizadas nas baixadas e sopés de elevações (variando acima de 22°C nos meses de verão a, aproximadamente, 20°C durante os meses de inverno). Apenas nas áreas que se encontram a altitudes relativamente elevadas (Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo) é que se observa uma queda geral dos valores das normais térmicas (20°C nos meses de verão e cerca de 15°C no inverno).

De acordo com a classificação Thornthwaite/Köppen, a região da bacia do rio Macaé, apresenta na sua faixa litorânea o clima Aw (tropical seco) com 3 a 6 meses de estiagem, caracterizando-se por altas temperaturas, moderado índice pluviométrico e alta taxa de evaporação. Nas posições mais elevadas da Serra dos Órgãos, nas altitudes superiores a 900 m seu clima é Cfa ou Cwb (subtropical de altitude úmido/superúmido e superúmido), nas altitudes intermediárias, entre 450 e 900 m o clima se torna Cwa e Cfa (subtropical variando de úmido a superúmido, tornando-se Aw ou Af (tropical seco a superúmido) nas cotas inferiores a 450 m (EMBRAPA, 2003).

A Bacia do Rio Macaé, no seu alto curso nas áreas serranas, tem um clima caracterizado pela elevada pluviosidade, chegando a alcançar regimes pluviométricos acima de 2.500 mm anuais, com médias térmicas que atingem menos de 18°C, nos meses de junho e julho (CIDE, 1989).

No seu médio e baixo cursos, que inclui as áreas menos elevadas, as precipitações pluviométricas giram em torno de 1200 mm anuais, concentradas, principalmente, nos meses de verão, devido ao encontro das massas de ar Equatorial Continental (quente) e Tropical Atlântica (úmida) e a presença constante do fator da maritimidade (CIDE, *op. cit.*).

A partir da análise da série histórica de 40 anos obtidos para dados de pluviosidade da Agência Nacional de Águas (ANA), Nascimento *et al.* (2010), apontam que os maiores totais pluviométricos apresentam-se alternadamente entre o alto e médio curso da bacia do rio Macaé, sendo que as tendências sazonais mostram que os verões estão mais chuvosos e os invernos mais secos e o gráfico de Schröder demonstra que a variabilidade pluviométrica é maior no seu baixo curso. Há o predomínio de dois regimes pluviométricos distintos: de outubro a março, ocorre o período chuvoso registrando as maiores médias pluviométricas e coincidindo com as estações primavera e verão. Em contrapartida, o período mais seco tem ocorrido durante os meses de abril a setembro, correspondendo às estações de outono e inverno (Figura 3-7).

Na análise desses autores, a estação verão no alto curso, apresenta a regularidade de elevados totais pluviométricos alcançando 1.234,3 mm no ano de 1991, sendo que a tendência ao longo da série histórica mostra uma leve redução dos totais pluviométricos. Os verões no baixo curso da bacia, apresenta um aumento da variabilidade pluviométrica associado a uma tendência de aumento dos totais, tendo sido atingida a marca de 1.012 mm de chuva em 2008. E no inverno, em ambas as estações utilizadas, ocorre redução dos totais pluviométricos durante a série histórica utilizada. A variação entre os invernos chega a 150 mm tornando a tendência de redução mais acentuada, tendo sido registrados mínimos abaixo dos 50 mm (Figura 3-8).

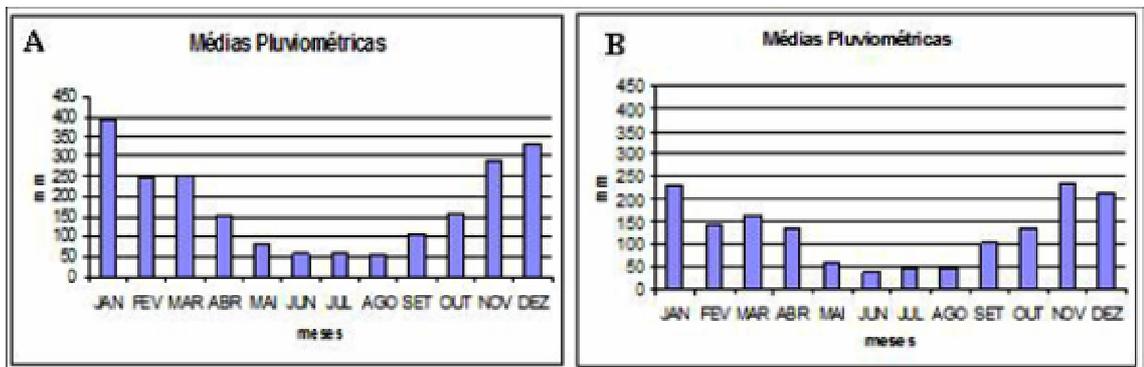


Figura 3-7 - Médias Pluviométricas para a bacia do rio Macaé no período de 1968 a 2008. (1a) Estação Fazenda São João, alto curso e (1b) Estação Fazenda Oratório, baixo curso. Fonte: Nascimento *et al.* (2010).

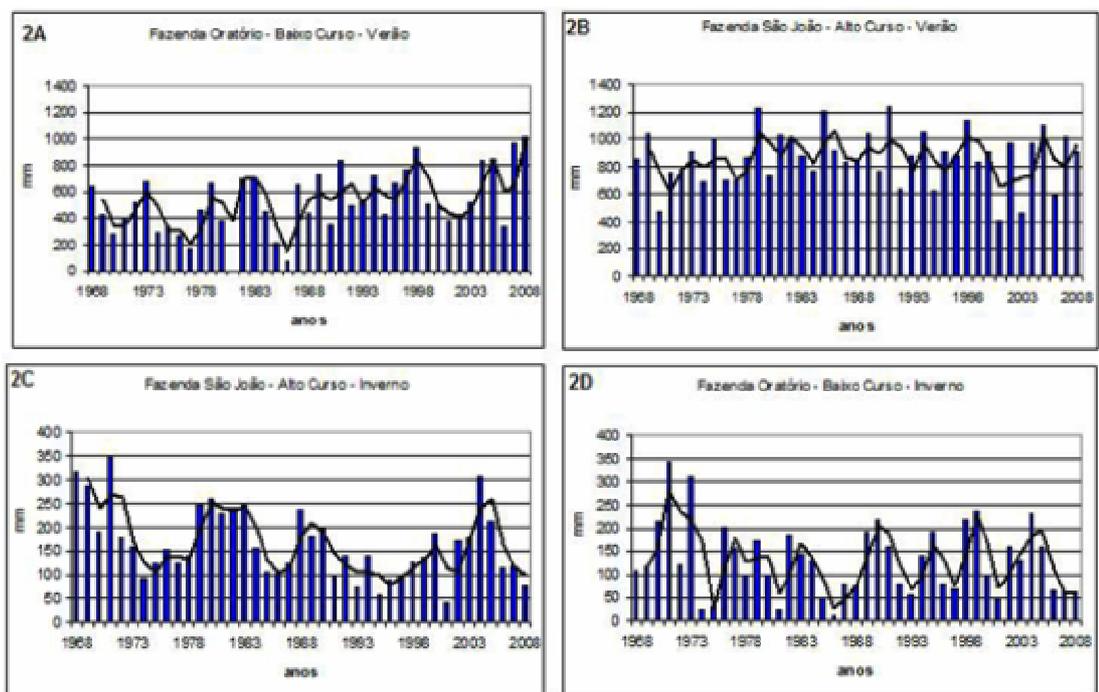


Figura 3-8 - Totais Inter-Anuais Sazonais de Verão e Inverno, referentes à série histórica de 1968 – 2008. Gráficos 2A e 2C alto curso; Gráficos 2B e 2D baixo curso da bacia do rio Macaé. Fonte: Nascimento *et al.* (2010).

4. EMBASAMENTO TEÓRICO

4.1 Sistemas fluviais e metodologias de recuperação de rios

4.1.1. Sistema fluvial - dinâmica e controles

No esquema idealizado de um sistema fluvial em Schumm (1977), ele é composto de três componentes geomorfológicos e dinâmicos, respectivamente:

- i. Zona 1 – área de onde provém a água e os sedimentos, por isso associada à bacia de drenagem; apesar de ser primariamente uma zona de produção de sedimentos, a estocagem de materiais ocorre de modo importante nesta zona;
- ii. Zona 2 – zona de transferência, onde, para canais estáveis, a entrada de sedimentos (*input*) pode igualar a saída (*output*);
- iii. Zona 3 – zona de deposição predominante, eventualmente através de leques aluviais, planícies fluviais, deltas, ou mesmo em águas profundas.

Cada zona pode ser considerada como sendo um sistema aberto, tendo seus próprios elencos de atributos morfológicos, os quais podem ser relacionados à descarga de água e ao movimento de sedimentos, e “*para compreender qualquer parte do sistema fluvial, deve-se conhecer algo acerca da quantidade e tipo de sedimentos, da forma como a água é fornecida a partir da área fonte e dos controles climáticos e geológicos sobre aqueles sedimentos e o suprimento de água*” (Schumm *op. cit.*, p.2).

Neste raciocínio, destaca-se a importância da bacia hidrográfica no funcionamento dos sistemas fluviais. A bacia de drenagem pode ser considerada um exemplo de sistema geomorfológico complexo, que se caracteriza como um sistema aberto aos fluxos de energia e matéria, apresentando um aninhamento hierárquico, sendo formada por subsistemas, de cujas interações resulta a organização do sistema como um todo integrado. A ocorrência de interações não-lineares entre seus componentes gera mecanismos de realimentação que são determinantes nos seus processos de auto ajuste, estabilidade e evolução (Mattos & Perez Filho, 2004).

Normalmente, os sistemas fluviais funcionam dentro de limites naturais de fluxo, movimento de sedimentos, temperatura e outras variáveis, o que é denominado de “equilíbrio dinâmico”. Quando mudanças nestas variáveis vão além dos seus limites naturais, o equilíbrio dinâmico pode ser perdido, frequentemente resultando em ajustes nos ecossistemas, cujas resultantes poderão conflitar com as necessidades da sociedade. Em algumas circunstâncias, um novo equilíbrio dinâmico poderá, eventualmente, se desenvolver, mas o

prazo no qual isto acontecerá pode ser longo, e as mudanças necessárias para alcançar este novo equilíbrio, significativas (FISRWG,1998).

Este tipo de equilíbrio ocorre em função da relação entre a carga e a descarga, bem como das características do escoamento superficial, da vegetação e dos solos, sendo que um canal fluvial é dito em equilíbrio quando nele não se verifica nem erosão, nem deposição de material em qualquer ponto do seu curso. Assim, nas condições de equilíbrio fluvial, o rio é capaz de transportar todo o material fornecido pelas vertentes. O ajuste de um rio às várias condições hidrológicas reflete-se na sua morfologia, isto é, em seus perfis longitudinal e transversal. O perfil longitudinal de equilíbrio da corrente apresenta forma côncava contínua, com declividade suficiente para transportar a carga do rio. Quando existe equilíbrio entre a entrada e a saída de sedimentos, o perfil longitudinal é mantido (Suguo & Bigarella, 1979). A maioria dos autores reconhece que existe uma estreita relação de equilíbrio entre a declividade e o comprimento do canal.

Um sistema em equilíbrio não está inerte e até mesmo o fluxo mais estável está constantemente respondendo a pequenos distúrbios, embora, em média, assumirá uma forma característica. Isto é denominado como equilíbrio de estado-constante (*steady-state*). Este estado de equilíbrio cobre a variação sazonal e a variação anual (causada por variações normais associadas ao tipo de clima). Em todos os rios ocorrem ocasionalmente distúrbios suficientemente grandes para perturbar o equilíbrio de estado-constante e mudar o caráter do rio.

Em termos biológicos, o distúrbio é classificado de acordo com a duração e os mesmos princípios se aplicam aos sistemas geomorfológicos. Os distúrbios refletem, normalmente, em mudanças na taxa de erosão e sedimentação, no tamanho das partículas de sedimentos transportadas no leito e em suspensão, no tamanho do canal, na forma da sua seção transversal - que pode tornar-se mais funda, ou mais larga e mais rasa - e na forma do leito do canal. Os dois tipos de distúrbios identificados são:

- i. Pulso – evento de curta e discreta duração, como por exemplo, as enchentes;
- ii. Pressão - perturbação que ocorre continuamente durante períodos longos, como mudança climática, desmatamento de uma bacia, remoção da vegetação ribeirinha, entre outras (Rutherford *et al.*, (2000).

Os processos que alteram o escoamento superficial numa bacia, tais como urbanização, estabelecimento/expansão de pastagens, desmatamento e cultivos, tendem a modificar a carga

de sedimentos. Pode ser esperado então que os canais reajam a uma nova relação de descarga e sedimento e ao regime alterado do fluxo, especialmente em relação à frequência-magnitude características de descargas elevadas. Os canais fluviais modificam-se por mudanças na frequência do fluxo e por mudanças no aporte de sedimentos, sendo que estas duas alterações podem não coincidir no tempo. Assim, os canais podem exibir diferentes respostas a mudanças nas condições da superfície da bacia dependendo da magnitude relativa da mudança no fluxo e de mudança no aporte de sedimentos a partir do estado original ou anterior ao distúrbio (Dunne & Leopold, 1978).

Os rios espelham, de maneira indireta, as condições naturais e as atividades humanas desenvolvidas na bacia hidrográfica, sofrendo, em função da escala e intensidade de mudanças nesses dois elementos, alterações, efeitos e/ou impactos no comportamento da descarga, da carga sólida e dissolvida e da poluição das águas. Na maioria das vezes, os fatores naturais, como topografia, geologia, solos, clima e vegetação podem iniciar os desequilíbrios que serão agravados pelas atividades humanas na bacia hidrográfica, especialmente pelo manejo inadequado dos solos urbano e rural (Cunha, 2003).

Segundo esta autora, a capacidade de erosão das margens e do leito fluvial, bem como o transporte e a deposição da carga do rio, dependem, entre outros fatores, da velocidade do fluxo, e a sua alteração acarreta modificações de imediato nessas condições. A velocidade das águas de um rio depende de fatores como: declividade do perfil longitudinal, volume das águas, forma da seção transversal, coeficiente de rugosidade do leito e eficiência do fluxo, sendo a alteração neste último fator causada pelo surgimento de obstáculos.

É possível, segundo Schumm (1977), ver o sistema fluvial de duas formas: ou como um sistema físico ou como um sistema histórico. Para este autor, na realidade o sistema fluvial é um sistema físico com uma história, e o pesquisador precisa levar em consideração a forma como analisá-lo, já que isto influencia como são visualizadas as relações de causa e efeito entre processos e materiais identificados. Ao discutir os componentes do sistema fluvial, são estabelecidas uma série de variáveis independentes (causais) que influenciam a morfologia e a dinâmica do sistema fluvial. E na medida em que certas variáveis, atuando na Zona 1, determinam os produtos hidrológicos da Zona 1, estes por sua vez estabelecem a natureza da morfologia do canal e dos depósitos sedimentares nas Zonas 2 e 3.

As variáveis que são significativas na morfologia e nos mecanismos da Zona 1, listadas em ordem hierárquica por Schumm (*op.cit.*), são:

- i. Tempo;

- ii. Relevo inicial;
- iii. Geologia (litologia, estrutura);
- iv. Clima;
- v. Vegetação (tipo e densidade);
- vi. Relevo ou volume do sistema acima do nível de base;
- vii. Hidrologia (escoamento superficial e aporte de sedimentos por unidade de área dentro da Zona 1);
- viii. Morfologia da rede de drenagem;
- ix. Morfologia das vertentes;
- x. Hidrologia (descarga de água e sedimentos para Zonas 2 e 3);
- xi. Morfologia do canal e do vale e características dos sedimentos - Zona 2;
- xii. Morfologia do sistema deposicional e características dos sedimentos – Zona 3.

O tempo, o relevo inicial, a geologia e o clima são variáveis independentes dominantes que influenciam o progresso da denudação de uma paisagem e as características hidrológicas presentes nas bacias hidrográficas. A cobertura vegetal (tipo e densidade) depende da litologia, dos solos associados e do clima (fatores iii e iv). A medida que o tempo passa, o relevo ou massa remanescente acima do nível de base é determinada por fatores do i ao iv. O relevo, por sua vez, influencia fortemente o escoamento superficial e o aporte de sedimentos por unidade área dentro da bacia de drenagem (fator vii).

O escoamento superficial atuando sobre o substrato resulta em uma morfologia da rede de drenagem característica, e condiciona a morfologia das vertentes dentro das limitações impostas pelas condições de relevo, clima, litologia e tempo. Este conjunto de variáveis influencia fortemente os volumes de escoamento superficial e de sedimentos que são produzidos na Zona 1.

Esta breve exposição das variáveis controladoras da dinâmica fluvial permite visualizar a importância do estabelecimento de inter-relações entre os diversos atributos e parâmetros geológicos, geomorfológicos, vegetacionais, hidrológicos e sedimentológicos utilizados na caracterização das redes fluviais e suas bacias de drenagem.

4.1.2. **Parâmetros geológicos, pedológicos e climáticos**

A estrutura geológica, os tipos de rochas e o manto de intemperismo, juntamente com a altitude e orientação da bacia hidrográfica somados ao relevo, a forma e a declividade da

bacia de drenagem, são os elementos mais importantes na definição das características hidrológicas de um sistema fluvial (Suguio & Bigarella, 1990).

As características geológicas, pedológicas e climáticas devem ser consideradas quando se pretende entender o tipo de relevo de uma área qualquer e a dinâmica dos processos a ele inerentes (Marques, 2003). Dos elementos que desempenham importante papel na definição das características de um sistema fluvial destacam: a altitude e orientação da bacia hidrográfica; o relevo, forma e declividade da bacia de drenagem, e a estrutura geológica, tipos de rochas e manto de intemperismo. (Suguio & Bigarella, 1990). O regime dos rios e canais depende, em grande parte, da quantidade de água que eles recebem, que varia em função da intensidade e quantidade de chuvas, da natureza do solo ou rocha sobre os quais eles fluem e da topografia da superfície (Cunha, 2003).

O soerguimento da crosta terrestre ou a subsidência produzem erosão dos canais fluviais ou deposição na medida em que o gradiente é alterado e ocorrem mudanças nos níveis de base locais ou regionais. Devido às rápidas taxas em que ocorrem, os soerguimentos modernos também podem causar modificações nos canais fluviais no presente. Tem sido mencionado a produção de grandes quantidades de sedimentos na Zona 1 por terremotos, e este aumento na carga de sedimentos causa ajustamentos nos canais. Tem sido documentadas mudanças nos padrões de drenagem, assim como inversões nas linhas de drenagem, e transformações no perfil longitudinal dos rios e nos terraços fluviais, devido ao arqueamento da superfície terrestre, assim sendo, a neotectônica não deve ser ignorada como uma razão possível para a moderna instabilidade dos rios (Schumm, 1977).

As flutuações climáticas têm produzido as principais mudanças na morfologia dos canais fluviais que são refletidas nos processos erosivos e deposicionais. Destaca-se que durante o Período Quaternário diversas mudanças sucederam-se nos sistemas fluviais com as variações nos climas, como por exemplo: as deposições fluviais associadas às glaciações a partir de rios que drenam de geleiras continentais e de geleiras de montanhas; o aumento na carga de sedimentos transportados pelas águas originadas do degelo, formando vales e planícies de lavagem glacial; as incisões nos canais fluviais formando terraços, causadas pela redução da carga de sedimentos devido ao término da erosão glacial e dos fluxos de detritos nos vales (Schumm, *op.cit.*).

4.1.3. Parâmetros da cobertura vegetal

No estudo da dinâmica fluvial proposta por de Brierley & Fryirs, (1999); Fryirs & Brierley, (2000) e Fryirs, (2003), a distribuição granulométrica, o conjunto das feições

geomorfológicas e o padrão de vegetação exercem forte controle sobre a rugosidade do leito e as interações hidrológicas, sendo os distúrbios antrópicos, neste contexto, responsáveis por uma série de ajustes associados ao aporte sedimentar, como por exemplo, na carga de fundo dos rios, sobre as zonas ripárias e nas encostas adjacentes.

A estrutura e a função geomorfológica de muitos rios estão naturalmente atreladas à cobertura e a composição da vegetação e a carga de detritos de grandes peças de madeiras (*large wood debris*). Esta interação induz a controles diretos da distribuição da energia do fluxo de água, ditando, a nível da escala local, padrões de erosão e deposição nos diferentes estágios do fluxo (Brierley *et al.* 2002).

Modificações na vegetação alteram alguns aspectos do ciclo hidrológico com efeito concomitante na água coletada no sistema de canal, podendo incluir a quantidade, tempo e localização da água que alcança os canais (Dunne & Leopold, 1978).

Não se pode questionar o enorme e significativo efeito da vegetação nas formas de relevo e nas taxas de erosão. “A densidade da cobertura vegetal é fator importante na remoção de sedimentos, no escoamento superficial e na perda de solo”. Áreas com alta densidade de cobertura vegetal tendem apresentar baixas taxas de *runoff* (escoamento superficial) e erosão, enquanto aquelas parcialmente cobertas ou sem vegetação, ao contrário (Guerra, 2003).

4.1.4. **Parâmetros geomorfológicos e morfológicos**

De acordo com Brierley & Fryirs (1999), os processos geomorfológicos determinam a estrutura ou molde físico de um sistema fluvial, provendo a estrutura sobre a qual uma ampla gama de processos biofísicos interagem. A morfologia do rio, as características dos sedimentos, o regime de fluxo e a vegetação ripária são dinamicamente ajustadas, a tal ponto que, uma modificação em uma variável pode modificar outras partes do sistema fluvial, impactando diretamente na disponibilidade de habitats, na viabilidade e funcionamento dos ecossistemas aquáticos (Brierley & Fryirs, 2000).

O leito fluvial corresponde ao espaço ocupado pelo escoamento das águas que, por sua vez, está relacionado com a frequência das descargas e a topografia do canal fluvial (Cunha, 2003), de acordo com Christofolletti (1981) sendo subdividido em: leito vazante (onde está localizado o talvegue); leito menor; leito maior e leito maior excepcional.

Os leitos dos canais fluviais podem ser geralmente classificados como substrato rochoso (*bedrock*) ou de aluvião (canais aluviais), sendo que mudanças no suprimento de

sedimentos e no regime hidráulico podem converter canais de substrato rochoso em canais aluviais ou vice-versa (Howard, 1987).

Os canais fluviais apresentam dois grupos principais de formas de leito (*bedforms*), as quais consistem em “qualquer irregularidade produzida no leito de um canal aluvial pela interação entre o fluxo de água e a movimentação de sedimentos” (Simon & Richardson *apud* Kelher & Melhorn, 1981). São elas:

- i. Depressão (*pool*), soleira (*riffle*) e barra (*point bar*), as quais tendem dar a alguns canais suas morfologias básicas;
- ii. Pequenas ondulações (*ripples*), dunas e antidunas, as quais são controladas pela fase fluída e não são, geralmente, uma parte significativa da morfologia em canais de leito de cascalhos. Havendo disponibilidade de areia, as pequenas ondulações e as dunas migrantes em baixo regime fluxo podem ser superpostas e parcialmente mascararem a depressão, a soleira e a barra mais estáveis.

A compreensão da morfologia, morfometria e das relações espaciais de formas características em canais aluviais facilitarão as deduções acerca dos processos os quais interagem para produzirem estas formas. Em muitos canais de leito de cascalhos, as depressões, soleiras e barras são produzidas em fluxo relativamente altos e são modificadas apenas nos baixos fluxos (Kelher & Melhorn, 1981).

Padrões ou morfologia de canais configuram a fisionomia que o rio apresenta ao longo do seu curso. Sua geometria é resultante do ajuste do canal à sua seção transversal e reflete o inter-relacionamento entre as variáveis descarga líquida, carga sedimentar, declive, largura e profundidade do canal, velocidade do fluxo e rugosidade do leito (Cunha, 2003). As definições e as principais características dos quatro padrões básicos de canais fluviais segundo Riccomini *et al.*, (2003) são as seguintes:

- i. Canais retilíneos (*straight*) - são menos frequentes na natureza, estando a sua existência condicionada a controles por linhas tectônicas, cordões arenosos ou planícies deltaicas. Apresentam uma morfologia de canais simples com barras longitudinais, certa homogeneidade no volume de material do leito e sucessões de depressões (*pools*) e soleiras ou umbrais (*riffles*) ao longo do leito. Sua razão largura/profundidade $\epsilon < 40$;

- ii. Canais anastomosados (*anastomosed*) - possuem uma morfologia com dois ou mais canais com ilhas largas e estáveis, sendo sua relação largura/profundidade normalmente < 10 ;
- iii. Canais meandrantos (*meandering*) - suas morfologias apresentam canais simples de gradiente moderadamente baixo predominando o transporte em suspensão de sedimentos finos mais selecionados. Sua relação largura/profundidade é < 40 ;
- iv. Canais entrelaçados (*braided*) - apresentam morfologia de dois ou mais canais com barras e pequenas ilhas, tendo uma relação largura/profundidade normalmente > 40 e comumente > 300 .

A morfologia do canal de um rio aluvial é a consequência do transporte e da deposição de sedimentos pelo rio. O modo predominante do transporte dos sedimentos controla a natureza da acreção sedimentar e, conseqüentemente, as principais características da morfologia do canal (Church, 2006). Esta morfologia, de acordo com Berger (1998), é um geoindicador¹ de mudanças ambientais relacionadas à carga de sedimentos, taxas de fluxo, clima, uso da terra e remoção de materiais de superfície.

As características físicas dos canais, tais como razão largura/profundidade, sinuosidade e tipos de padrões, são significativamente afetadas por mudanças na taxa de fluxo e descarga de sedimentos, e pelo tipo de carga de sedimentos em termos da razão carga em suspensão/carga de fundo. As mudanças na morfologia fluvial refletem mudanças no balanço hidrológico e no escoamento superficial e/ou no suprimento de sedimentos devido a mudanças no uso da terra, tais como aragem para plantio, colheita, e plantio de floresta, ou a mudanças climáticas, ou mesmo uma combinação de ambas (*International Union of Geological Sciences*, 2006).

Summerfield (1991) identifica três principais tipos de canais fluviais: canais de leitos rochosos (*bedrock channels*), como sendo aqueles que são incrustados em rochas; canais aluviais (*alluvial channels*), aqueles cujas margens e leitos são compostos de sedimentos transportados pelo rio; e canais semi-controlados (*semi-controlled channels*), um tipo intermediário que apenas é controlado localmente por substratos rochosos. Segundo este autor, embora o tamanho dos canais aluviais seja controlado amplamente pela descarga de água que flui nele, o seu padrão e forma estão relacionados primariamente à quantidade, tamanho dos sedimentos transportados e ao gradiente do assoalho do vale, sendo estabelecida uma

¹ Segundo Osterkamp (2002), geoindicadores são observações de séries temporais, pelas quais mudanças a curto prazo na superfície da terra, hidrosfera e biosfera podem ser reconhecidas, quantificadas e relacionadas a uma causa.

classificação da forma do canal fluvial baseada no padrão e na carga de sedimentos. Nesta forma são identificados os padrões de canais relacionando-os respectivamente: ao gradiente do vale, a taxa entre largura/profundidade, a taxa entre carga de fundo/carga total e o grau de estabilidade relativa apresentada pelo canal.

4.1.5. Parâmetros hidrológicos

A bacia de drenagem é mais do que uma unidade geomorfológica segundo Ayoade (1988), ela é também uma unidade hidráulica e hidrológica, tendo um fator unificador na água como um recurso natural. Dentre os principais elementos que caracterizam a hidrologia de uma bacia hidrográfica, Villela & Mattos (1975) destacam a existência de uma estreita correspondência entre o regime hidrológico e os seguintes elementos:

- i. Área de drenagem – que consiste na área plana (projeção horizontal) entre os divisores topográficos;
- ii. Forma da bacia – importante elemento na determinação do tempo de concentração, ou seja, tempo que leva a água dos limites da bacia para chegar à saída da mesma. Esta forma está relacionada à geologia do terreno;
- iii. Sistema de drenagem – conjunto composto pelo rio principal e seus tributários;
- iv. Ordem dos cursos de água – uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia;
- v. Densidade de drenagem – índice que fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia;
- vi. Extensão média do escoamento superficial – distância média que a água da chuva tem que percorrer sobre o terreno de uma bacia até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água;
- vii. Sinuosidade do curso d'água – fator controlador da velocidade de escoamento, representando a relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento do talvegue.

Na análise do canal fluvial como exemplo de sistema morfológico, Christofolletti (1980) distingue o fluxo e o material sedimentar como elementos fundamentais na estruturação do sistema de geometria hidráulica em rios aluviais. Estes elementos e caracterizam por diversas variáveis e atributos mensuráveis nas seções transversais do canal

fluvial. As seguintes variáveis hidrológicas são definidas para os elementos de fluxos e material sedimentar:

- i. Largura do canal – constitui a largura da superfície da camada de água recobrando o canal;
- ii. Profundidade – compreende a espessura do fluxo medida entre a superfície do leito e a superfície de água;
- iii. Velocidade do fluxo – representa o comprimento da coluna de água que passa em determinado perfil, por unidade de tempo;
- iv. Volume ou débito – significa a quantidade de água escoada por unidade de tempo;
- v. Gradiente de energia – forma o gradiente de inclinação da superfície da água;
- vi. Relação largura/profundidade – resulta da divisão da largura pela profundidade de canal;
- vii. Área – compreende o espaço ocupado pelo fluxo no perfil transversal do canal, considerando a largura e a profundidade;
- viii. Perímetro úmido – corresponde a linha que assinala a extensão limitante recoberta pelas águas;
- ix. Raio hidráulico – constitui o valor adimensional resultante da relação entre a área e o perímetro úmido;
- x. Concentração de sedimentos – significa a quantidade de material detrítico por unidade de volume de água transportado pelo fluxo;
- xi. Granulometria – são as classes de diâmetro do material do leito e das margens;
- xii. Rugosidade do leito – representa a variabilidade topográfica verificada na superfície do leito, pela disposição e ajustamento do material detrítico e pelas formas topográficas do leito.

Mudanças ocorridas na vazão, de acordo com Cunha (2003), implicam em alterações e ajustamentos em diversas variáveis tais como: largura, profundidade média, velocidade média das águas, rugosidade do leito e concentração de sedimentos.

4.1.6. Parâmetros sedimentológicos

Conforme já mencionado anteriormente, Schumm (1977) considerou um sistema fluvial idealizado como consistindo de três zonas. Embora em todas as três zonas ocorram os processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos, em cada uma delas se dá o

predomínio de um processo. Segundo o autor, a produção de sedimentos é a quantidade total de sedimentos em movimento numa bacia de drenagem. É normalmente calculada a partir das medições da concentração de sedimentos nas águas do rio, as quais não incluem a carga de fundo, ou a partir do total de sedimentos depositados num reservatório, que é a medida da carga total de sedimentos.

Apesar de a precipitação ser o fator climático dominante que influencia na produção de sedimentos, o efeito da temperatura também precisa ser considerado, devido ao fato de que mais precipitação é exigida para produzir uma dada quantidade de escoamento superficial num clima quente do que num clima frio.

Embora a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos, exerçam uma importante influência na morfologia do canal, a quantidade, natureza e o balanço dos tipos de sedimentos carregados também são importantes, sendo que a carga de sedimentos de um canal fluvial inclui:

- i. Carga de fundo (*bedload*);
- ii. Carga suspensa (*suspended load*);
- iii. Carga lavada (*washed load*), (Richards, 1985).

O balanço dos componentes da carga total depende da distribuição das áreas fontes dentro de uma bacia hidrográfica e dos processos hidrológicos que transportam sedimentos e solutos para o rio. A produção de sedimentos, segundo este autor, é controlada pela interação entre relevo, uso da terra, resistência do solo e fatores climáticos, sendo o calibre dos sedimentos, como também a quantidade, um controle importante da morfologia do canal aluvial, como já apresentado.

4.1.7. Parâmetros antrópicos

Um importante fator a influenciar na produção de sedimentos é o uso do solo. Atividades humanas desenvolvidas em um trecho do rio podem alterar, de diferentes formas e escalas de intensidades, a dinâmica do equilíbrio entre descarga líquida, erosão, transporte e deposição de sedimentos. Segundo Gregory e Klimek *apud* Mello (2006), a alteração do canal por intermédio de aprofundamento, de alargamento, de retificação, de concretagem ou de desvios promove, com frequência, mudanças na velocidade dos fluxos, variação de trechos em erosão e/ou sedimentação, impede a troca de água entre as margens e rios, influencia na hidrologia dos solos adjacentes e dos canais tributários.

Onde é modificado o uso da terra, altera-se o *input* de sedimentos ou a capacidade de transporte na bacia de drenagem, os canais comumente respondem modificando o volume de sedimentos armazenado, através de incisão ou agradação. Estas mudanças freqüentemente acompanham a urbanização ou a construção de barragens (Reid e Dunne, 1996).

De acordo com Guerra (2003), o desmatamento e o uso agrícola da terra podem acelerar os processos de formação de ravinas, e em regiões onde se tem a ocorrência de chuvas concentradas nos períodos em que os solos estão sem a cobertura vegetal, nas fases em que seguintes à colheita, um grande volume de material pode ser erodido das encostas.

Ao abordar os efeitos do crescimento urbano nos canais, é assinalado que as pontes e estruturas em concreto tendem a retardar o escoamento das águas e funcionar como barreira, favorecendo a acumulação de entulhos e dejetos, alterando as áreas de deposição e erosão ao longo dos rios. Essas transformações podem modificar a intensidade e frequência dos processos fluviais e a geometria dos rios, interferindo diretamente na vazão e nos picos de cheias, que junto com a diminuição do tempo de resposta dos canais ao volume precipitado e com o incremento significativo do escoamento superficial, tendem a provocar enchentes com graves danos (Turk *apud* Mello, 2006).

4.2. Abordagem dos estilos fluviais e das condições fluviais

Em programas voltados para a recuperação de rios, principalmente, nos EUA e na Austrália, recorrentes referências são feitas sobre a importância de compreender e avaliar a condição dos rios como uma base para definir estratégias sustentáveis de reabilitação dos canais fluviais.

Assim, conforme Fryirs (2003), o termo condição fluvial, nestes casos, é usado para definir o desempenho global de um sistema complexo que é construído a partir de suas partes. A condição geomorfológica do rio é uma medida da capacidade de um rio em executar suas funções naturais dentro das configurações do vale que ele ocupa, sendo esta condição avaliada no contexto do seu Estilo Fluvial (River Style) e de sua história evolucionária.

A identificação e caracterização de um estilo fluvial (River Style) não se resume a uma simples avaliação visual do rio, mas da compreensão de como o rio opera ou se comporta dentro das características do seu vale, sendo o grau de confinamento do vale ao longo do canal fluvial o primeiro passo para a sua identificação (Figuras 4-1 e 4-2).

Um Estilo Fluvial é definido como uma seção do rio ao longo na qual condições limites são suficientemente uniformes, de tal forma que o rio mantém uma estrutura quase

consistente, ou seja, são canais fluviais que têm uma estrutura característica de rio, analisada em termos da geometria do canal (tamanho e forma), da forma do canal em planta e do conjunto de unidades geomorfológicas presentes no canal do rio (Brierley & Fryirs, 2000; Brierley *et al.*, 2002; Fryirs, 2003).

Nesta perspectiva, é proposta uma classificação de segmentos do rio denominada “Estilos Fluviais” (*River Styles*) para o reconhecimento de padrões de comportamento dos canais fluviais, articulando-os com a estrutura física e a vegetação ripária, e utilizada por Brierley & Fryirs (1999) na apreensão da morfologia e dinâmica dos canais, como também para a fundamentação da elaboração de proposta de recuperação e planejamento dos ambientes fluviais. Salienta-se que este método propõe-se a identificar o comportamento natural do sistema de drenagem e a partir daí avaliar as condições e velocidades das transformações na sua dinâmica de evolução.

Os tipos de “condição geomorfológica de rios”, fundamentam-se nas transformações históricas e pré-históricas dos rios, reconstituídas a partir da análise de unidades geomorfológicas da paisagem, dos vales e dos canais fluviais em diferentes níveis hierárquicos e no raciocínio ergódico (*ergodic reasoning*)².

O procedimento para se estipular as condições geomorfológicas dos rios deve obedecer a três etapas: o primeiro passo é o de identificar o tipo de rio (estilo fluvial) e suas respectivas capacidades de ajuste no contexto do vale; o segundo passo é estimar a evolução do rio como base para a identificação de mudanças geomorfológicas irreversíveis e de referência das condições “naturais” (ou “primitivas”); o terceiro passo é o de determinar a condição geomorfológica de cada estilo fluvial dentro da bacia de drenagem (Fryirs, 2003).

De acordo com Brierley & Fryirs (2000), a estrutura dos estilos fluviais (*River Styles*) têm quatro estágios: (1) uma ampla pesquisa de base na bacia de drenagem sobre o caráter e o comportamento do rio; (2) avaliação da evolução do rio e das suas condições geomorfológicas na bacia de drenagem; (3) avaliação da trajetória futura de mudança e do potencial de recuperação geomorfológica do rio; (4) e as aplicações e implicações na gestão do rio.

² Em linhas gerais consiste na substituição do espaço pelo tempo na compreensão da evolução da paisagem, a partir de uma situação em que nem sempre podemos observar uma sequência temporal em que se deu o seu desenvolvimento.

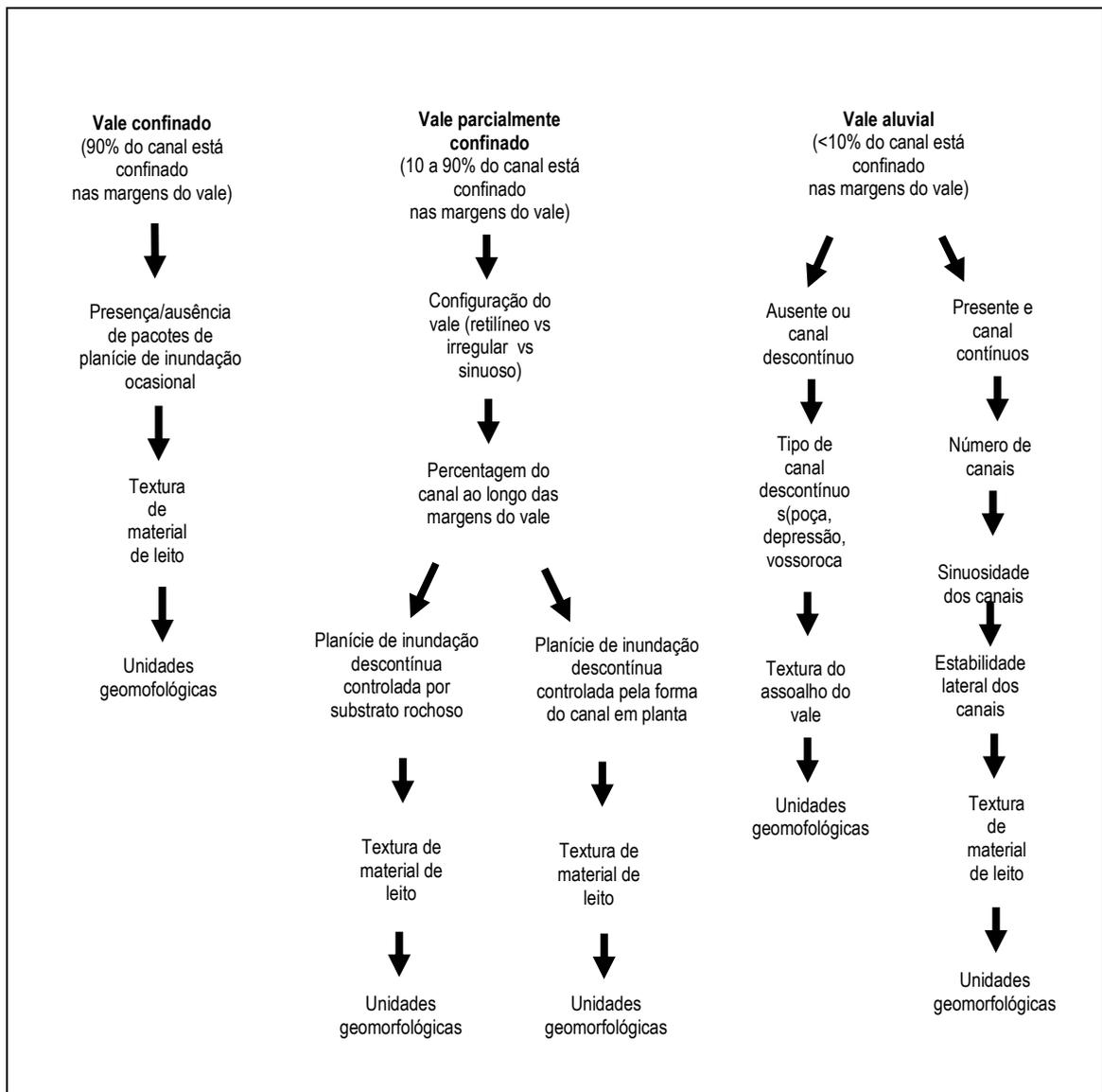


Figura 4.1 – Procedimentos para identificar os estilos fluviais (River Styles) nos três contextos de vales – Fonte: Adaptado de Brierley *et al.*,(2002)

Vista esquemática da forma em planta de estílos fluviais em vale confinado, parcialmente confinado e Aluvial com canais contínuos e descontínuos

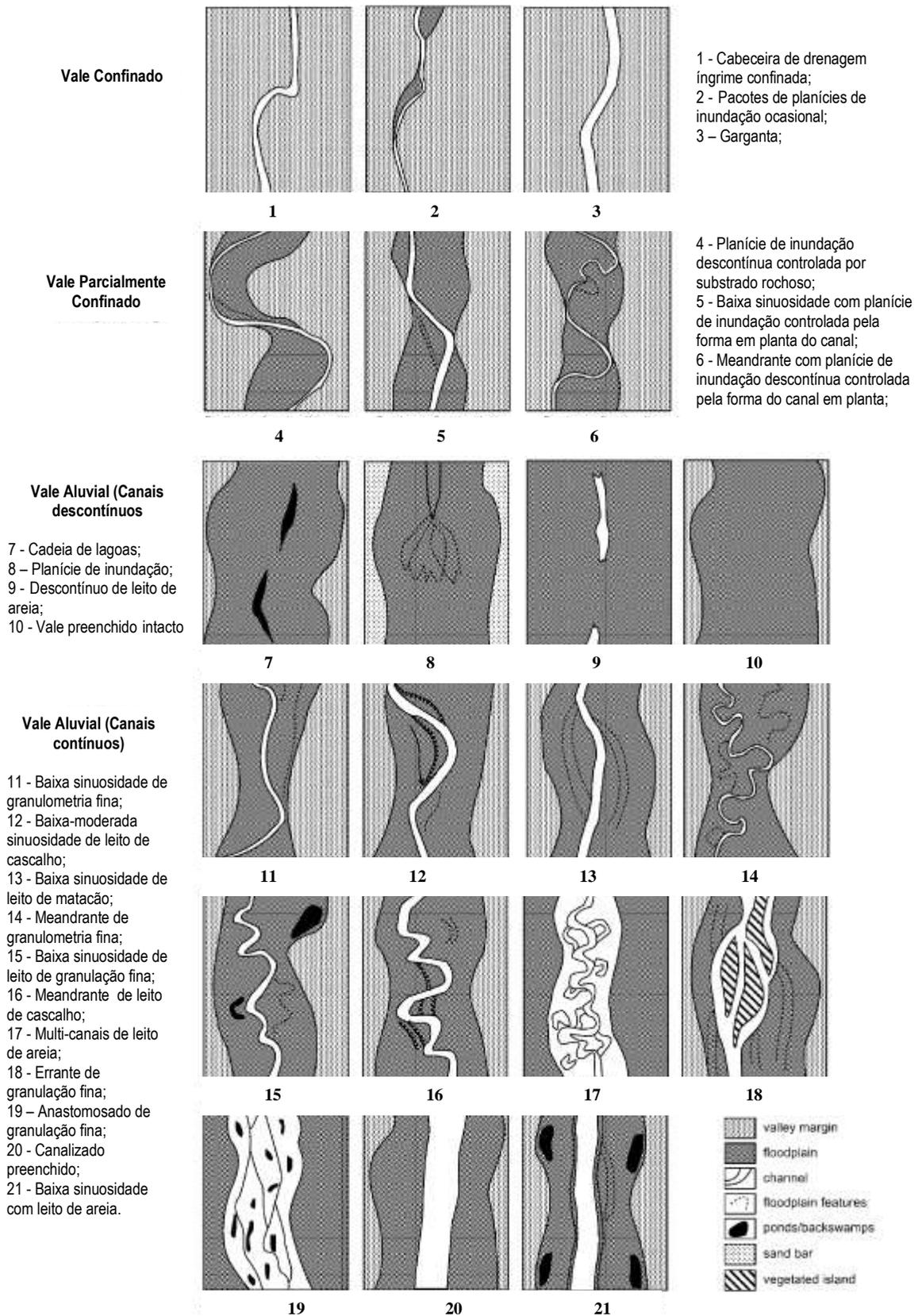


Figura 4-2 – Características de vales e exemplos de estílos fluviais. Fonte: Adaptado de Brieley *et al.* (2002)

A partir do reconhecimento de características geomorfológicas e atributos comportamentais dos canais fluviais, são identificados cinco estágios de evolução fluvial, que permitem definir: (1) o modo de operação dos canais fluviais; (2) os processos atuantes e (3) a estrutura do canal fluvial; prognósticos acerca da direção (caminhos, tendências) de mudanças em andamento no canal fluvial, e as condições de mudanças no regime de fluxo, na transferência de sedimentos e nos padrões de vegetação do rio (Brierley & Fryirs, 1999). Os cinco estágios evolutivos ou de condição geomorfológica de um rio são: (Figura 4-3)

- i. **Intacto** (*Intact*) – condição na qual o rio preserva as características geomórficas e os atributos comportamentais consistentes com a sua condição pré-distúrbio; os canais frequentemente exibem associações de vegetação ribeirinhas intactas ou remanescentes, sendo capazes de retornar às suas condições intacta após distúrbios como enchentes, incêndios, etc.;
- ii. **Degradado** (*Degraded*) – o rio distanciou-se significativamente de sua condição de “intacta” sem ter sido iniciada sua recuperação; os canais estão sempre num estágio de desequilíbrio, tentando ajustar-se aos distúrbios;
- iii. **Ponto de mutação** (*Turned point*) – o rio está num estágio de transição tal que seus futuros ajustes poderão levá-lo ou em direção de um contínuo caminho de degradação (ii), ou em direção à sua restauração (iv), ou em direção à criação de uma “nova” condição (v);
- iv. **Restauração** (*Restoration*) – o rio mostra sinais de recuperação “natural” (não induzida diretamente), tendo se tornado moderadamente capaz de recuperar-se de distúrbios. Seu canal é capaz de refazer-se após sofrer pequenos distúrbios; sua estrutura e função são robustas e operam de maneira à auto ajustar-se e auto manter-se. Estes canais readquirem uma condição “intacta” que se aproxima das características e do comportamento anteriores ao distúrbio;
- v. **Criação** (*Creation*) – em vez de retornar à condição de restauração, as mudanças nas condições da bacia são tão profundas que os processos de recuperação do rio estão levando os canais em direção a uma nova condição; em alguns casos, isto reflete condições nas quais o regime de fluxo, a transferência de sedimentos e os padrões de vegetação foram alterados de maneira irreversível; eles não apresentam alguns atributos da forma e da função exibidos pelo rio anteriormente ao distúrbio.

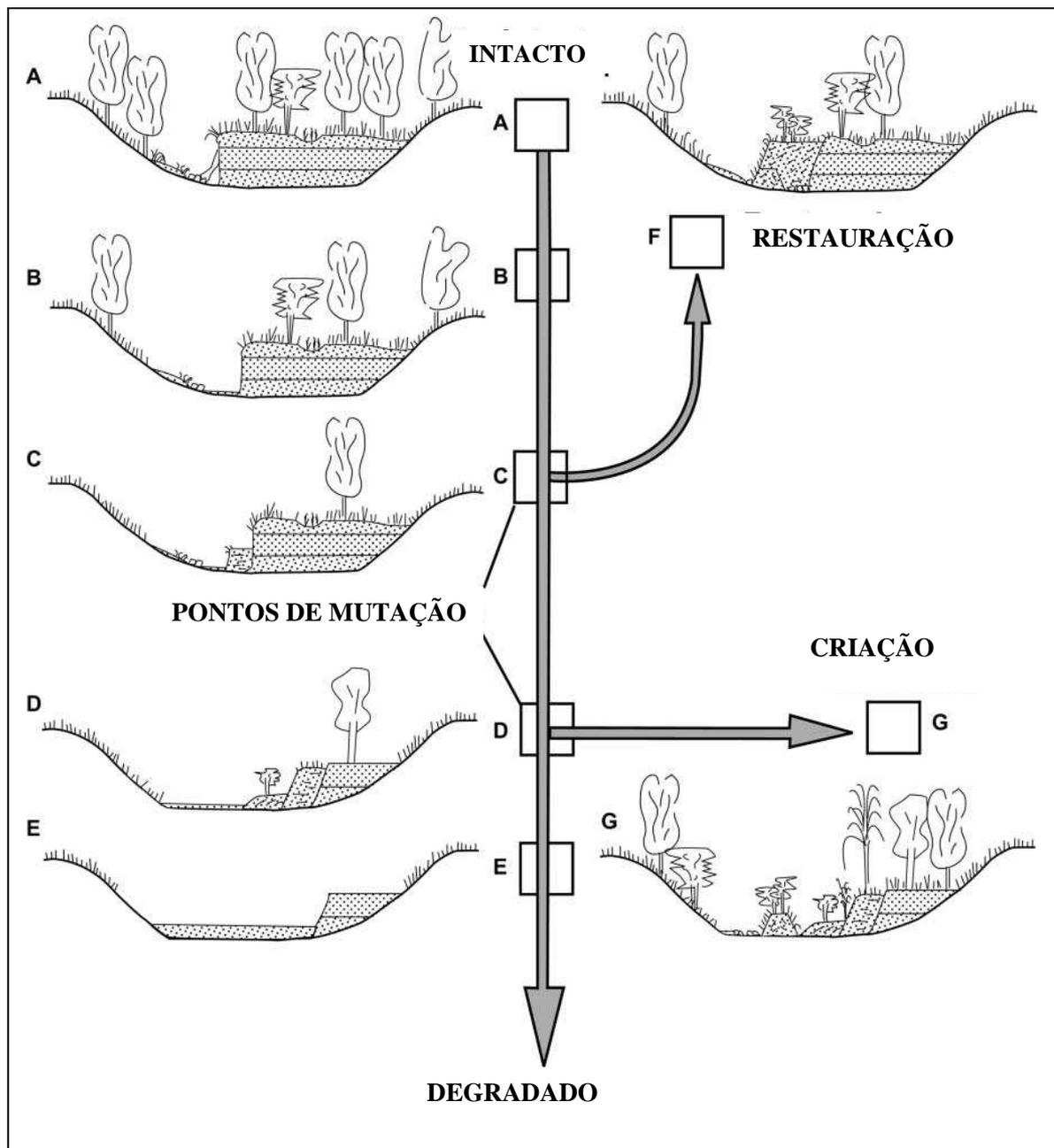


Figura 4-3 – Os cinco estágios das condições geomorfológicas de um rio. Fonte: Adaptado de Brierley *et al.* (2002).

A análise da dinâmica fluvial atual do rio Macaé que se pretende alcançar neste trabalho será norteada sob a luz da abordagem dos estilos fluviais e também sob as óticas da escala da bacia hidrográfica e da escala do canal fluvial. Destacando-se que a compreensão da dinâmica dos canais fluviais permite a identificação de propostas de recuperação de rios.

4.3. Banco de Dados Fluviais (BDF) como instrumento de análise ambiental

De acordo com Mello (2008), um banco de dados é uma lista de dados organizada que proporciona um meio de encontrar informações rápidas e facilmente, a partir de um ponto de referência escolhido. Por sua vez, um Banco de Dados Fluviais consiste num BD cuja base de dados se constituiu exclusivamente de parâmetros geológicos, geomorfológicos, hidrossedimentológicos e antrópicos, dos processos atuantes na dinâmica de um canal fluvial e/ou numa bacia hidrográfica.

4.3.1. Modelagem de dados

Um modelo de dados é um conjunto de conceitos que podem ser usados para descrever a estrutura e as operações em um banco de dados. O modelo busca sistematizar o entendimento a respeito de objetos e fenômenos que serão representados em um sistema informatizado (Queiroz & Ferreira, 2006).

No processo de modelagem é necessário construir uma abstração dos objetos e fenômenos do mundo real, de modo a obter uma forma de representação conveniente, embora simplificada, que seja adequada às finalidades das aplicações. A modelagem de dados geográficos é uma atividade complexa porque envolve a discretização do espaço como parte do processo de abstração, visando obter representações adequadas aos fenômenos geográficos.

Um modelo conceitual de dado, de acordo com estes autores, se refere a uma técnica usada para modelar um banco de dados, incluindo suas notações. Esquemas conceituais, por outro lado, se referem ao resultado de uma modelagem, ou seja, um conjunto de diagramas que usa um determinado modelo conceitual como uma linguagem para expressar estruturas de dados específicas para uma aplicação. Esquemas conceituais são construídos para abstrair partes específicas do mundo real e representar, esquematicamente, como os dados devem ser coletados, como eles serão organizados e relacionados entre si. Esses esquemas servem também como uma documentação da base de dados.

Em síntese, vemos que nas etapas da elaboração de um banco de dados e especificamente de um banco de dados fluviais, o pesquisador, apesar de dispor de ferramentas relativamente acessíveis na área de informática, para o uso e domínio destas, necessita de um aprofundamento e uma constante atualização de conhecimentos envolvendo *softwares*, linguagens de programação, técnicas de análise e processamento de dados, etc., para que os produtos alcançados com tais ferramentas atendam seus objetivos dentro dos parâmetros de adequação e confiabilidade pretendidos.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. O Sistema de gerenciamento de banco de dados e parâmetros fluviais

Esta pesquisa parte do pressuposto que o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica se dá em função de fatores e processos nela atuantes, tais como geológicos, hidrossedimentológicos³, geomorfológicos, morfológicos, climáticos, uso do solo e cobertura vegetal, entre outros. A condição dos seus canais fluviais pode ser compreendida, a partir da análise das variações a médio e longo prazos de tais parâmetros, expressos quantitativamente ao longo desse período.

Assim, o desenvolvimento desta pesquisa apóia-se em fundamentos teóricos amplamente debatidos na literatura científica, ligados à dinâmica e controles do sistema fluvial; às relações de carga e descarga fluviais; às condições do equilíbrio fluvial; à dinâmica fluvial de erosão, transporte e deposição de sedimentos; a frequência e magnitude do fluxo, como também nos elementos hidrológicos atuantes no canal fluvial. (Schumm, 1977; Dunne & Leopold, 1978; Suguio & Bigarella, 1979; Summerfield, 1991; FISRWG, 1998; Rutherford *et al.*, 2000).

Todos esses parâmetros são relacionados e integrados com base na abordagem sobre a definição de Estilos Fluviais para o reconhecimento de padrões de comportamento dos canais fluviais e sobre a avaliação da sua condição, conforme Brierley & Fryirs (2000).

O Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), conforme visto no seu fluxograma (Figura 5-1), se baseia em duas linhas de abordagens, a primeira referente às águas de superfície e a segunda abordagem futura, voltada para as águas subterrâneas, a qual, não será discutida nesta pesquisa. A primeira, na qual está estruturado o (BDF_{sup} – Macaé-RJ), direciona-se, principalmente, aos dados geomorfológicos nas escalas da bacia de drenagem e do vale fluvial.

Os dados geomorfológicos na escala da bacia têm o propósito de possibilitar os diagnósticos físicos da bacia hidrográfica. Enquanto a nível da escala do vale fluvial buscam identificação dos seus atributos físicos. Na escala do canal, os dados hidrossedimentológicos estão voltados para apreenderem a variação que ocorre na seção transversal do canal, dos seus diversos atributos mensuráveis. Estes três elementos, diagnósticos físicos, atributos físicos e dados hidrossedimentológicos são detalhados no fluxograma da Figura 5-1.

³ Processos que regem o deslocamento de partículas sólidas, compreendendo a desagregação, separação ou erosão, transporte, decantação ou sedimentação, depósito e consolidação. (Bordas & Semmelmann, 2007).

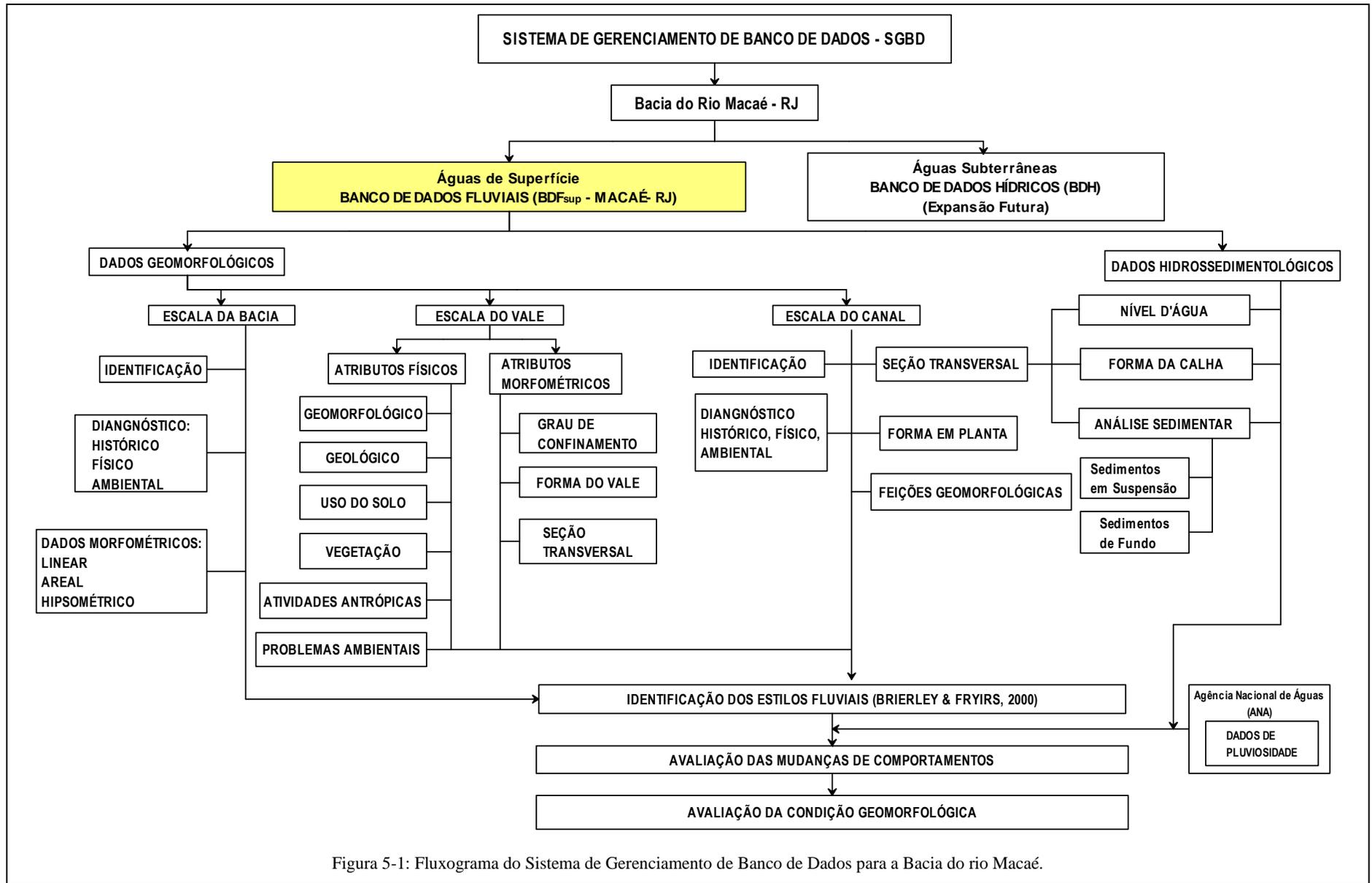


Figura 5-1: Fluxograma do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados para a Bacia do rio Macaé.

O Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície (SGBD), onde está inserido o Banco de Dados Fluvial (BDF_{sup} – Macaé-RJ), está fundamentado em preceitos acerca do levantamento, armazenamento e análise das três componentes básicas da informação geográfica que são: atributo, espaço e tempo. Buscando a partir daí estabelecer respostas que identifiquem: o que? onde? e quando? dos fenômenos geográficos (Câmara, 2005; Medeiros, 1999; Lisboa Filho, 2000 e Mello, 2008).

A caracterização da Bacia do Rio Macaé através da descrição e interpretação dos seus contextos geológico, geomorfológico, pedológico, climático, da cobertura vegetal e do uso do solo, procedimento o qual constitui num importante passo para o conhecimento da dinâmica desta bacia, se deu, principalmente, por meio dos dados disponibilizados no LAGESOLOS/UFRJ, os quais envolveram levantamentos de campo, a análise de imagens de satélite, fotos aéreas, cartas topográficas e o emprego dos softwares ArcGis9.2[®] e SPRING 5.0.5.

Na modelagem dos dados georreferenciados que constituem a base de dados a ser utilizada no Banco de Dados Fluviais (BDF_{sup} – Macaé-RJ), empregou-se a metodologia proposta por Lisboa (2000). Sendo a definição do *software* para a execução da modelagem conceitual do BDF baseada prioritariamente nos seguintes critérios: ser um programa de acesso gratuito; ser operacionalmente pouco complexo; possibilitar transmitir as informações de identificação dos elementos, seus vínculos e relacionamentos e que demonstre a idéia de conjuntos e subconjuntos, pois essas características simplificam o processo de modelagem.

Foi selecionado o *software* ArgoCASEGEO, o qual se trata de uma ferramenta CASE (*Computer-Aided Software Engineering*), livre e de código fonte aberto, que permite a modelagem de Banco de Dados com base no modelo conceitual UML-GeoFrame. Esta ferramenta também suporta aspectos simples de modelagem temporal, bem como a geração automática de esquemas lógicos de bancos de dados, em formato *Shapefile* (formato de dado vetor geoespacial) ou TerraLib (biblioteca livre para construção de aplicativos geográficos). Este aplicativo tem como base o *software* ArgoUML e está sendo desenvolvido no Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Na modelagem lógica do sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), visando à identificação das partes componentes de cada subsistema e seus relacionamentos internos e externos, foi utilizada a técnica Diagramática de Entidade-Relacionamento (DER), que objetiva a modelagem de um sistema pela análise dos dados e da forma como se inter-relacionam.

Como destaca Neves (2006) as entidades são objetos reais ou abstratos que têm uma identidade própria, sendo representadas por retângulos, os relacionamentos são ligações reais entre duas ou mais entidades, sendo representadas por ponteiros (setas) e os atributos são características que definem uma entidade ou um relacionamento.

As estruturas lógicas do DER estão expressas em termos de Diagrama de Estrutura de Dados (DED), sendo os tipos de relacionamentos entre entidades mapeados através das cardinalidades: um-para-um (sem simbologia); um-para-muitos (1.*) e muitos-para-muitos (*.*) posicionados junto ao ponteiro.

Para a criação e desenvolvimento deste banco utilizou-se o *software Microsoft Office Access 2007*®, por se tratar de um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) totalmente funcional, que além de fornecer todos os recursos de definição, manipulação e controle de dados necessários para se trabalhar com grandes volumes de dados, também gera produtos compatíveis com vários *softwares* de SIGs, como por exemplo, SPRING, TERRALIB e TERRAVIEW, e que permite a elaboração de uma estrutura de banco de dados capaz de armazenar, converter e combinar a variedade de parâmetros considerados necessários aos estudos da dinâmica dos canais fluviais.

Para a análise e interpretação dos dados foi empregado o *software Microsoft Excel 2002* na construção de tabelas e gráficos. Foram utilizadas as ferramentas estatísticas disponibilizadas neste *software* denominadas de ‘linha de tendência polinomial’ a qual mostra-se adequada para analisar dados que apresentam flutuações e ‘linha de tendência de média móvel’ que suaviza flutuações em dados e mostra um padrão ou tendência mais claramente e seus respectivos R-quadrado ou Coeficiente de Determinação⁴ Estas linhas de tendências serviram, a título de exercício, para estabelecer graficamente as tendências dos dados e as suas previsões.

Convém destacar que na escolha dos *softwares Access 2007* e *Excel 2002* teve grande peso o fato deles poderem ser obtidos gratuitamente nesta universidade através do programa MSDNAA (*Microsoft Developer Network Academic Alliance*)⁵.

No estabelecimento dos parâmetros que são relevantes para a compreensão dos processos geomorfológicos atuantes na dinâmica das bacias hidrográficas, teve-se como ponto

⁴ R-quadrado ou Coeficiente de Determinação é um valor de 0 a 1 que revela o grau de correspondência entre os valores estimados para a linha de tendência, sendo está mais confiável o quanto mais próximo de 1 for este valor.

⁵ O MSDNAA (*Microsoft Developer Network Academic Alliance*) trata-se de um acordo entre instituições acadêmicas e a empresa Microsoft, que permite a utilização educacional e acadêmica de sua plataforma de *softwares*, servidores e ferramentas de desenvolvimento gratuitamente.

de partida a importância destes destacada nas literaturas científicas e nos trabalhos de campo desenvolvidos na área fluvial, tendo por base autores como Horton, (1945); Leopold *et al.*, (1964); Schumm, (1977); Suguio & Bigarella, (1979); Christofolletti, (1980); Summerfield, (1991); FISRWG, (1998); Rutherford *et al.*, (2000); Fryirs & Brierley (2000); Brierley *et al.* (2002); Fryirs (2003).

Baseado em Brierley & Fryirs, (1999); Fryirs & Brierley, (2000), a fase inicial dos levantamentos de dados se dá a partir da análise histórica dos estágios da evolução do rio Macaé, assim como da sua bacia hidrográfica. Esta análise é feita através do levantamento de documentação histórica tais como trabalhos acadêmicos, documentos oficiais, arquivos antigos, relatos e notas, fotografias aéreas antigas, velhas cartas topográficas, etc., relacionadas à bacia e ao rio Macaé, de modo a permitir compor o quadro da sua sequência evolucionária. E, conforme é sugerido por esses autores, nos casos onde não foi possível a análise através da documentação histórica, aplicou-se o “raciocínio ergódico” (*ergodic reasoning*) substituindo o espaço pelo tempo na compreensão da evolução da paisagem.

Neste trabalho, fundamentado nos conceitos de Leopold, L.B. *et al.* (1964), entende-se o processo de erosão (*cut*) e o processo de preenchimento (*fill*), como sendo respectivamente o corte e a sedimentação do leito do canal fluvial ocorrido durante períodos relativamente curtos de tempo compreendendo minutos, horas, dias e mesmo estações. Por sua vez o processo de agradiação e o processo de degradação são definidos como processos similares aos de erosão e de preenchimento que ocorrem em um longo período de tempo compreendendo anos.

Baseado nestes autores citados, alguns destes parâmetros que estão compondo o Banco de Dados Fluvial foram definidos conforme são mostrados a seguir.

Para compor a análise linear da bacia hidrográfica e do canal fluvial:

PARAMETRO	DEFINIÇÃO	FÓRMULA
Comprimento do Rio Principal (L)	definido segundo Christofolletti, (1980);	
Número de Canais (N)	definido pelo método de Strahler;	
Gradiente de Canais (Gc)	calculado pela expressão de Horton, (1945). Onde: Gc = Gradiente de canal (%); Hm = amplitude topográfica máxima da bacia (m); L = comprimento do canal principal (km);	$Gc = \frac{Hm}{L} \quad (1)$

A análise morfométrica da bacia hidrográfica é feita, de acordo com Christofolletti (1980), a partir da ordenação dos canais fluviais, a qual é estabelecida pelos parâmetros:

Hierarquia Fluvial	baseada no sistema de hierarquização de Strahler;	
--------------------	---	--

A análise areal da bacia hidrográfica e do canal fluvial se dá a partir dos parâmetros:

PARÂMETRO	DEFINIÇÃO	FÓRMULA
Área da Bacia (A)	obtida com o auxílio de planímetro, de papel milimetrado ou de <i>softwares</i> específicos, e expressa em km ² (Christofolletti, 1980);	
Perímetro da Bacia (P)	corresponde ao comprimento linear do divisor topográfico da bacia hidrográfica, sendo expresso em Km;	
Densidade de drenagem (Dd)	calculada pela expressão de Christofolletti (1980), sendo as bacias classificadas em: baixa densidade: < 5,0 km/km ² ; média densidade: 5,0 - 13,5 km/km ² ; alta densidade: 13,5 - 155,5 km/km ² e muito alta densidade : > 155,5 km/km ² . Onde: Dd = densidade de drenagem (km/km ²); L _t = comprimento total dos canais (km); A = a área da bacia (km ²);	$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (2)$
Densidade de Rios (Dr)	obtida pela expressão de Horton (1945). Onde: Dr = densidade de rios (nº de canais/Km ²); N = nº total de canais e A = a área da bacia (km ²);	$Dr = \frac{N}{A} \quad (3)$
Índice de Sinuosidade (Is)	calculado pela expressão de Schumm (1963), onde valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo; valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores interme-diários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. Onde: Is = índice de sinuosidade L = comprimento do canal principal; dv = a distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal.	$Is = \frac{L}{dv} \quad (4)$
Área da seção transversal ou área molhada (A)	calculada pela expressão de Christofolletti (1980). Onde: W = largura; h = profundidade média da seção transversal (m).	$A = W \cdot h \quad (5)$
Perímetro molhado da	definido conforme Christofolletti	

seção transversal (P)	(1980);	
Raio Hidráulico (Rh)	calculado de acordo com a expressão de Suguio & Bigarella, (1990). Onde: Rh = raio hidráulico (m); A = área da seção transversal (m ²); P = perímetro da seção transversal (m).	$Rh = \frac{A}{P} \quad (6)$

Para a análise hipsométrica é utilizado o parâmetro:

Amplitude altimétrica (H)	calculada segundo a expressão de Christofolletti (1981). Onde: H = amplitude altimétrica (m); Hmax = maior altitude (m); Hmin = menor altitude (m).	$H = H_{max} - H_{min} \quad (7)$
---------------------------	---	-----------------------------------

Os parâmetros hidrossedimentológicos mais relevantes na apreensão dos processos atuantes no canal fluvial são:

PARÂMETRO	DEFINIÇÃO	FÓRMULA
Vazão ou Débito (Q)	expresso pela expressão de Christofolletti (1981): Onde: Q = vazão (m ³ /s); W = largura do canal (m); h = profundidade média na seção do perfil transversal do canal (m); V = velocidade do fluxo de água (m/s); A = área da seção do perfil transversal (m ²).	$Q = (W \cdot h) \cdot V$ ou $Q = V \cdot A \quad (8)$
Descarga de Sedimentos em Suspensão Diária (Q _{ss})	calculada pela expressão de Carvalho <i>et al.</i> (2000): Onde: Q _{ss} = descarga de sedimento em suspensão (t/dia); Q = descarga líquida diária em m ³ /s; C = concentração média de sedimento medida em mg/l ou PPM; 0,0864 = constante do fator de transformação de unidades.	$Q_{ss} = 0,0864 Q \cdot C \quad (9)$
Descarga de Sedimentos de Fundo Diária (Q _{sa})	aplicando-se a fórmula de Schoklitsch em Carvalho <i>et al.</i> (2000): Onde: Q _{sa} = descarga sólida de arrasto (kg/s); D = diâmetro médio das partículas (mm); S = gradiente de energia (m/m); Q = descarga líquida (m ³ /s); L = largura da seção transversal (m); q = descarga (m ³ /s.m); q ₀ = descarga crítica (m ³ /s.m);	$Q_{sa} = \frac{7.000}{D^{1/2}} \cdot S^{3/2} \cdot (q - q_0)$ na qual $q_0 = \frac{1,944 \cdot 10^{-8} \cdot D}{S^{1/3}} \quad (10)$ $q_0 = \frac{1,944 \cdot 10^{-8} \cdot D}{S^{1/3}} \quad (11)$
Para o cálculo do gradiente de energia	Onde: S = gradiente de energia; Q = vazão (m ³ /s); A = área da seção transversal (m ²); R = raio hidráulico	

(S), Carvalho *et al.* sugerem empregar a fórmula de Manning em Carvalho *et al.* (2000):

(m); n = coeficiente de rugosidade (seu valor para o caso de leitos de areia, de fina a média, varia de 0,020 a 0,027; para areias de 1 a 2 mm, o valor varia de 0,26 a 0,035; para pedregulhos de 2 a 64 mm, n varia de 0,26 a 0,038, e para argilas n é igual a 0,030).

$$S = \left[\frac{Q \cdot n}{A \cdot R^{2/3}} \right]^2 \quad (12)$$

5.2. Monitoramento hidrossedimentológico

Visando padronizar e facilitar as aquisições dos dados em campo, como também, daqueles obtidos em análises laboratoriais, os procedimentos de coleta de dados deverão ser devidamente registrados nos formulários padronizados para a coleta de dados denominado de “**Ficha de Levantamento de Dados de Sistemas Fluviais**” (APÊNDICE A), a qual foi criada devidamente em conformidade com a modelagem dos dados ora implementados no BDF.

Fundamentou-se o seu conteúdo nas propostas de Thorne (1998), no seu trabalho as “Fichas de Reconhecimento de Rios”, como também, na estrutura de coleta de dados voltada para o monitoramento da bacia do rio Macaé, empregada desde 2007 pelo Grupo de Geomorfologia Fluvial do LAGESOLOS/UFRJ.

Esta ficha de levantamento de dados é alimentada com partes de dados de gabinete, de campo e de laboratório, sendo subdividida nos seguintes itens:

- 1- Data e Equipe do Levantamento, onde são anotadas as datas de início e término da atividade de campo, os membros que compuseram a equipe e informações relativas à hospedagem;
- 2- Dados da Região Hidrográfica onde, baseado na Resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos e na definição da Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, são identificadas a Região Hidrográfica, a Sub Região Sub1 e a Sub Região Sub2 na qual se insere o rio em estudo.
- 3- Dados da Bacia procede-se a identificação e localização da bacia hidrográfica a qual pertence o rio em estudo, e é feito um quadro da sua evolução histórica e são levantados alguns índices lineares, areais, hipsométricos e dados climáticos da bacia;
- 4- Dados do Canal Fluvial, procede-se a identificação e a análise histórica do canal fluvial e são levantados alguns índices lineares, areais, hipsométricos relativos ao mesmo;

- 5- Localização da Seção Transversal, nele são identificadas geograficamente as posições das seções transversais, sua codificação e as referências para a sua localização;
- 6- Dados do Vale na Área da Seção Transversal, aqui são coletadas informações geomorfológicas, geológicas, de uso do solo, da cobertura vegetal e atividades antrópicas na área do vale onde se situa a seção transversal;
- 7- Dados do Canal Fluvial na Área da Seção Transversal, nele são levantados alguns índices lineares, areais, hipsométricos, dados hidrológicos e sedimentométricos, assim como antrópicos referentes ao canal fluvial no trecho da seção transversal. Neste item também é feita a identificação do estilo fluvial do rio para aquele trecho.
- 8- Anotações, são informações que, a critério do pesquisador, constarão na ficha mas não farão parte do BDF.

Os dados que inicialmente alimentarão o BDF_{sup} – Macaé-RJ serão aqueles que atualmente estão armazenados no Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos (LAGESOLOS - UFRJ), obtidos pelo Grupo de Geomorfologia Fluvial sobre as características sedimentológicas e hidrológicas do canal fluvial, nos 8 monitoramentos realizados na Bacia do rio Macaé desde outubro de 2007 até outubro de 2010, correspondendo a: 50 medições do fluxo de água nas seções transversais; 27 coletas e análises de amostras de sedimentos em suspensão; 39 coletas e análises de sedimentos de fundo e 55 medições de largura e profundidade de seções transversais são coletadas informações somado a um conjunto de novos dados definidos nesta pesquisa.

Este monitoramento realizado pelo Grupo de Geomorfologia Fluvial do LAGESOLOS/UFRJ ocorre em nove seções localizadas na Bacia do rio Macaé, sendo sete no rio Macaé e duas no seu afluente rio São Pedro.

A identificação e localização destas seções de monitoramentos são as seguintes (Figura 5-2A):

- . Seção 2 (SSP-2) – localizada no baixo-curso do rio Macaé no seu trecho retificado, aproximadamente 100m à montante da desembocadura do rio São Pedro (Figura 5-2B);
- . Seção 3 (SSP-3) - localizada no baixo-curso do rio Macaé no seu trecho retificado, aproximadamente 800m à jusante da desembocadura do rio São Pedro (Figura 5-3C);
- . Seção 4 (SBO-4) – localizada no alto-curso do rio Macaé no distrito de Lumiar, Município de Nova Friburgo, à jusante da confluência do rio Bonito (Figura 5-2 D);

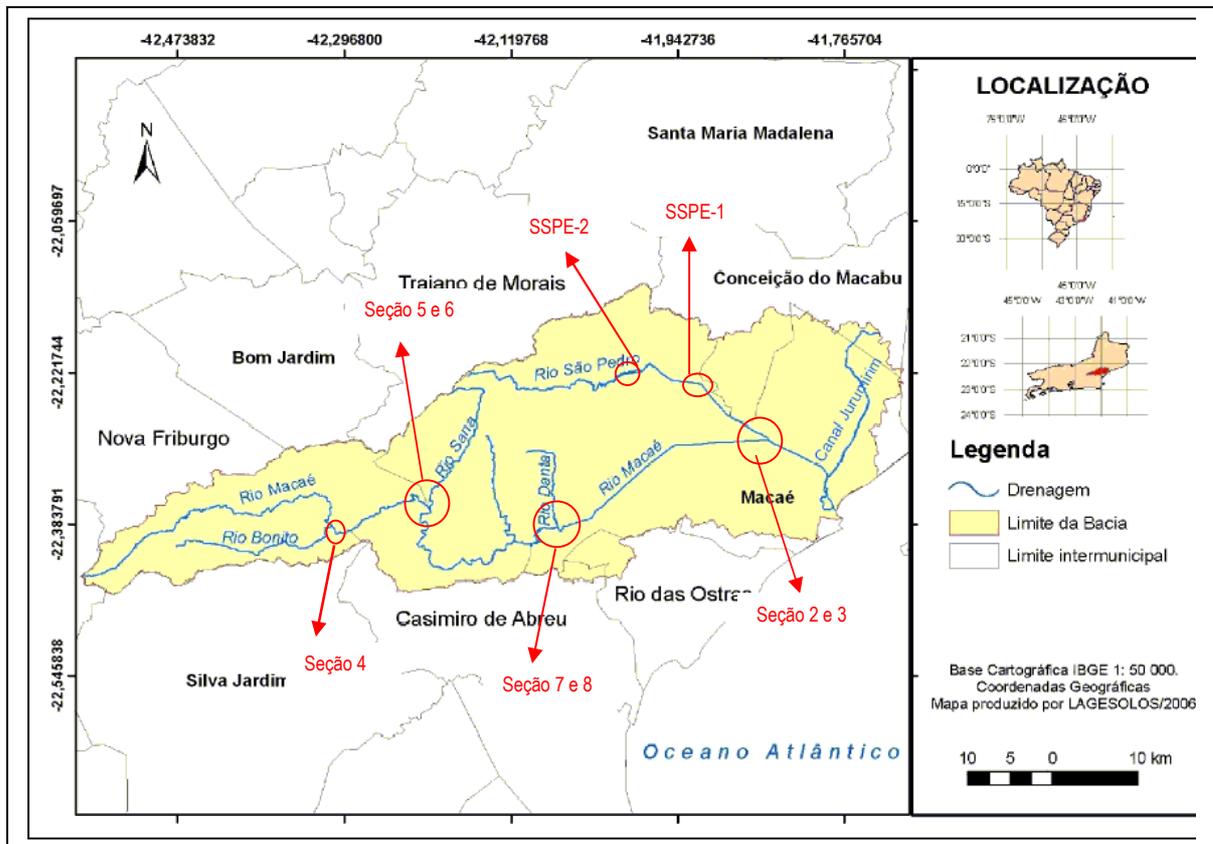


Figura 5-2 A– localização das seções de monitoramento na bacia do rio Macaé – Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.



Figuras 5-2 B- Seção Transversal SSP-2
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.



Figura 5-2 C- Seção transversal SSP-3
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.



Figura 5-2D – Seção Transversal SBO-4 – Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.

- . Seção 5 (SSA-5) – localizada no médio-curso do rio Macaé na divisa dos municípios de Macaé, Casimiro de Abreu e Nova Friburgo, à montante da confluência do rio Sana (Figura 5-2E);
- . Seção 6 (SSA-6) - localizada no médio-curso do rio Macaé na divisa dos municípios de Macaé, Casimiro de Abreu e Nova Friburgo, à jusante da confluência do rio Sana, no Portal do Sana (Figura 5-2F);



Figura 5-2E – Seção Transversal SSA-5
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.



Figura 5-2F – Seção Transversal SSA-6
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.

- . Seção 7 (SCE-7) – localizada no baixo-curso do rio Macaé, à montante da confluência do rio D´Antas, antes da estação de tratamento d´água da CEDAE (Figura 5-2G);

. Seção 8 (SAN-8) – localizada no baixo-curso do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D`Antas próximo do início da retificação do rio Macaé (Figura 5-2H);



Figura 5-2G – Seção Transversal SCE-7
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.



Figura 5-2H – Seção Transversal SAN-8
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.

. Seção SSPE1 – localizada no baixo-curso do rio São Pedro, no seu trecho retificado a uns 5 km à montante da BR 101 (Figura 5-2I);

. Seção SSPE2 – localizada no baixo-curso de rio São Pedro, logo após a cidade de Trapiche antes da retificação do rio (Figura 5-2J).



Figura 5-2I – Seção Transversal SSPE-1
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.



Figura 5-2J – Seção Transversal SSPE-2
Fonte: LAGESOLOS/UFRJ.

5.3. Sistematização de procedimentos de coleta de dados de campo e de laboratório

Os procedimentos de coleta de dados de campo, assim como as análises laboratoriais, foram baseados nas propostas dos autores: Brierley & Fryirs (2000), Carvalho (1994) e Chevallier (2007). Para a análise da relação entre o regime de transporte de sedimentos e a morfologia do canal fluvial foram utilizados os parâmetros propostos por Church (2006).

A coleta de dados morfométricos e hidrossedimentológicos deu-se das seguintes formas:

- a) Na medição da velocidade do fluxo de água, empregaram-se inicialmente flutuadores, os quais foram substituídos por molinete digital, em 2010;
- b) As medidas da profundidade do canal foram feitas com trena comum ou com canos de PVC graduados e em alguns casos com o auxílio de um bote, em 2010 passou-se a empregar um ecobatímetro - marca EAGLE modelo CUDA 168 Portable - para esta medição;
- c) A coleta de amostras de sedimentos de fundo se deu em pontos distintos do canal (próximo as margens direita e esquerda e no centro do canal), tendo sido feita manualmente com o emprego de um saco plástico;
- d) A coleta de sedimentos em suspensão foi realizada ao longo do canal fluvial em profundidades variadas ao longo da seção transversal, empregando inicialmente garrafas comuns, sendo em 2010 substituído por um amostrador tipo AMS-1.

Em laboratório, as análises da granulometria das amostras de sedimentos foi realizada através do peneiramento e a classificação de acordo com a escala de Wentworth (1922), na análise do grau de arredondamento empregou-se uma lupa simples, que, em 2010 foi substituída por um microscópio óptico, empregando-se ampliação de 10 e 20 vezes, e a classificação sendo feita, geralmente, por comparação visual de figuras, sendo assim uma adaptação da metodologia de Powers (1953). A análise das amostras dos sedimentos em suspensão se deu inicialmente pelo método de evaporação sendo mudado, posteriormente, para o processo de filtração. Observamos que não foi possível proceder a calibração entre os diferentes métodos empregados.

Os dados pluviométricos referentes à bacia do rio Macaé, de grande relevância para a interpretação e compreensão da dinâmica fluvial, foram compilados diretamente do Portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH da Agência Nacional de Águas (ANA), não fazendo parte deste BDF_{sup} - Macaé-RJ. No ANEXO A, constam os gráficos das séries históricas da Estação Fazenda São João (cód. 2242005) – Nova Friburgo-RJ, localizada no alto curso do rio Macaé, referentes às Chuvas Médias Anuais de 2007, 2008,

2009 e 2010 e as Chuvas Médias Diárias para os meses de março e outubro para cada um desses anos, com exceção do mês de outubro de 2010, por não estar ainda disponível no portal e, excepcionalmente para o mês de julho/2008, por ter ocorrido monitoramento neste período.

6. RESULTADOS

6.1. Estruturação e implementação do Banco de Dados Fluviais (BDF_{sup} - Macaé-RJ)

Empregando as ferramentas disponíveis no *software* de modelagem de banco de dados geográfico ArgoCASEGEO foi obtido o diagrama visto na Figura 6-1. Este diagrama é formado de classes de objeto geográfico, representadas por retângulos. Cada classe de objeto contém seus respectivos atributos definidos a partir dos parâmetros anteriormente definidos, os quais possuem fundamental importância na caracterização da dinâmica dos canais fluviais, como também de elementos voltados para a sua identificação e localização no tempo e no espaço.

O diagrama de relacionamento é constituído de um pacote contendo: a classe Região Hidrográfica que tem um relacionamento de associação um-para-muitos com a classe SubRegião_Sub1, que se tem um relacionamento de associação um-para-muitos com a classe SubRegião_Sub2. Esta classe, por sua vez, tem um relacionamento de associação um-para-muitos com a classe BaciaHidrog, a qual esta mantém um relacionamento de associação um-para-muitos com a classe CanalFluvial, a qual por sua vez tem um relacionamento de associação um-para-muitos com as classes LocalSeçãoTransv; CanalFluvialSeçãoTransv e ValeSeçãoTransv (Figura 6-1).

6.1.1. A base de dados

Com o emprego do *software Microsoft Office Access 2007*®, foi criada a base de dados, estruturada como um banco de dados relacional, denominado Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície, composta por 9 tabelas descritas a seguir (Figura 6-2):

i. Tabela RegHidrog

É a tabela a qual todas as demais estarão vinculadas. Seus campos possuem atributos que visam a identificação das 12 Regiões Hidrográficas brasileiras definidas pelo CNRH através da Resolução nº 32/2003;

ii. Tabela SubRegHidrogSub1

Vinculada à tabela RegHidrog, possui campos nos quais seus atributos identifica as sub-regiões hidrográficas sub1 que formam cada uma das regiões hidrográficas brasileiras conforme é estabelecido CNRH através da Resolução nº 32/2003 e pelo Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Recursos Hídricos;

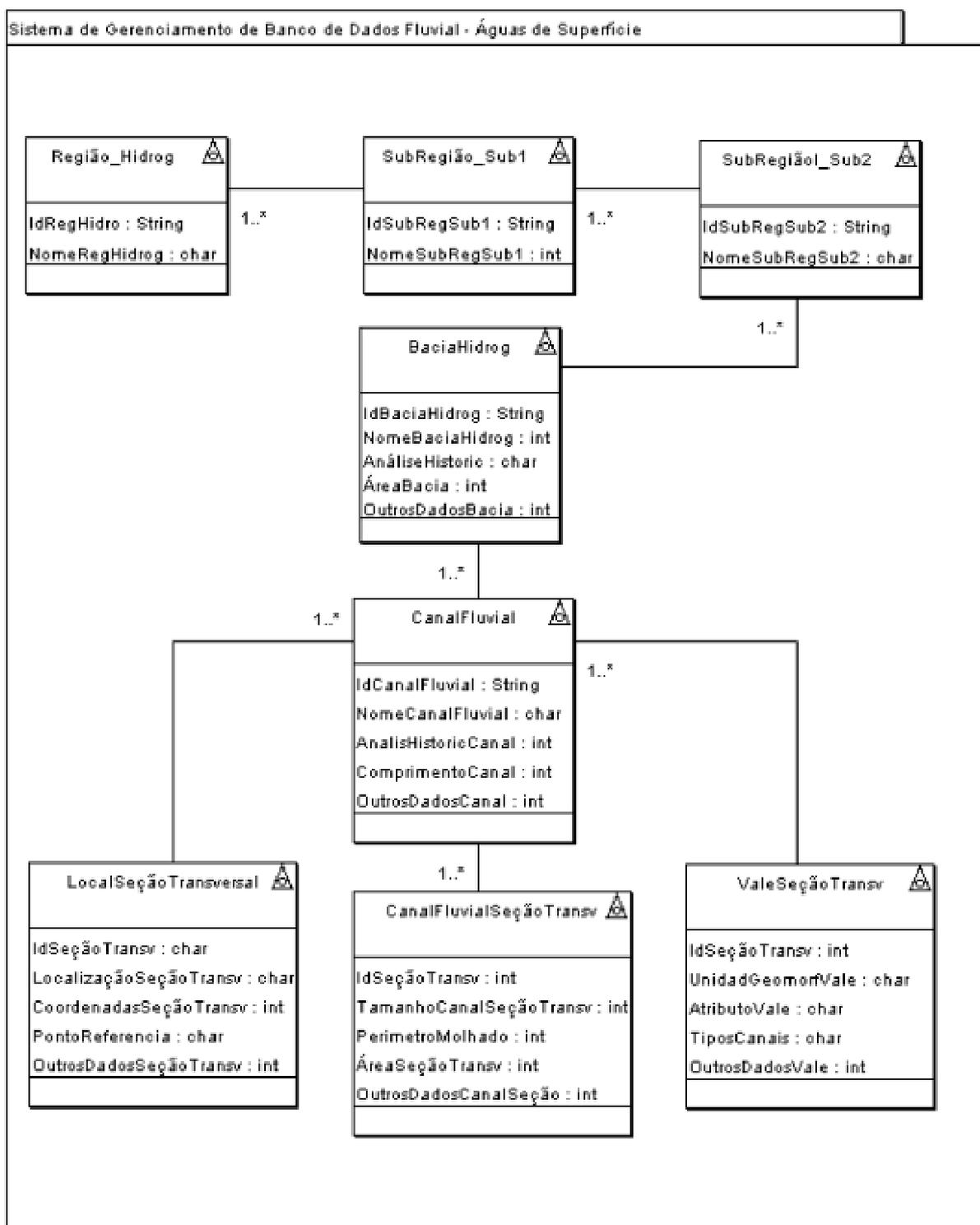


Figura 6-1 - Diagrama de Estrutura de Dados (DED) do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados – Águas de Superfície, gerado no *software* ArgoCASEGEO.

iii. Tabela SubRegHidroSub2

Vinculada à tabela SubRegHidroSub1, possui campos nos quais seus atributos identifica as sub-regiões hidrográficas sub2 que formam cada uma das sub-regiões

hidrográficas sub1 conforme é estabelecido CNRH através da Resolução nº 32/2003 e pelo Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Recursos Hídricos;

iv. Tabela BaciaHidrog

Vinculada à tabela SubRegHidrogSub2, seus campos e atributos identificam e descreve a bacia hidrográfica onde está inserido o canal fluvial no qual serão colhidos os dados de campo;

v. Tabela CanalFluvial

Vinculada à tabela BaciaHidrog, seus campos têm atributos que fazem a identificação nominal dos rios onde se procedem os levantamentos de campo, uma análise da sua evolução histórica, o seu perfil longitudinal e dados morfométricos por ele apresentado;

vi. Tabela IdentificSeçãoTransv

Vinculada à tabela BaciaHidrog, tem campos cujos atributos identificam as seções transversais estabelecidas nos canais fluviais quanto à sua codificação, informam a localização da seção ao longo do curso do rio (alto, médio ou baixo cursos), armazenam as coordenadas do local e as referências para a localização do perfil, a data de realização dos levantamentos de canais, identificação do rio em que está situada e imagens da seção;

vii. Tabela ValeSeçãoTransv

Vinculada à tabela IdentificSeçãoTransv, possui campos onde os atributos visam detalhar o vale do canal fluvial onde está situada a seção transversal. Nela são identificados: a sua unidade geomorfológica; a descrição da sua geologia, condições das encostas, da vegetação ribeirinha, o uso do solo, problemas ambientais, dados morfométricos e armazena imagens do vale neste local;

viii. Tabela CanalFluvialSeçãoTransv

Também vinculada à tabela IdentificSeçãoTransv, contém campos onde os atributos detalham o canal fluvial no local em que se encontra situada a seção transversal. A mesma levanta dados morfométricos do canal, dados hidrológicos e sedimentológicos mensuráveis, identifica aspectos geomorfológicos presentes no canal, descreve a sua situação ambiental e armazena imagens do canal fluvial neste ponto;

ix. Tabela SeçãoTranvLargXProf

Vinculada à tabela CanalFluvialSeçãoTransv, seus campos têm atributos que identifica a seção transversal e armazenar os dados referentes as medidas de largura e profundidade e a altura da lâmina de água nas seções transversais dos canais;

Na figura 6-2 são mostradas as nove tabelas que compõem a base de dados do Sistema de Gerenciamento de Dados – Águas de Superfície, destacando seus atributos juntamente com suas respectivas chaves primárias⁶ e os relacionamentos estabelecido entre as mesmas.

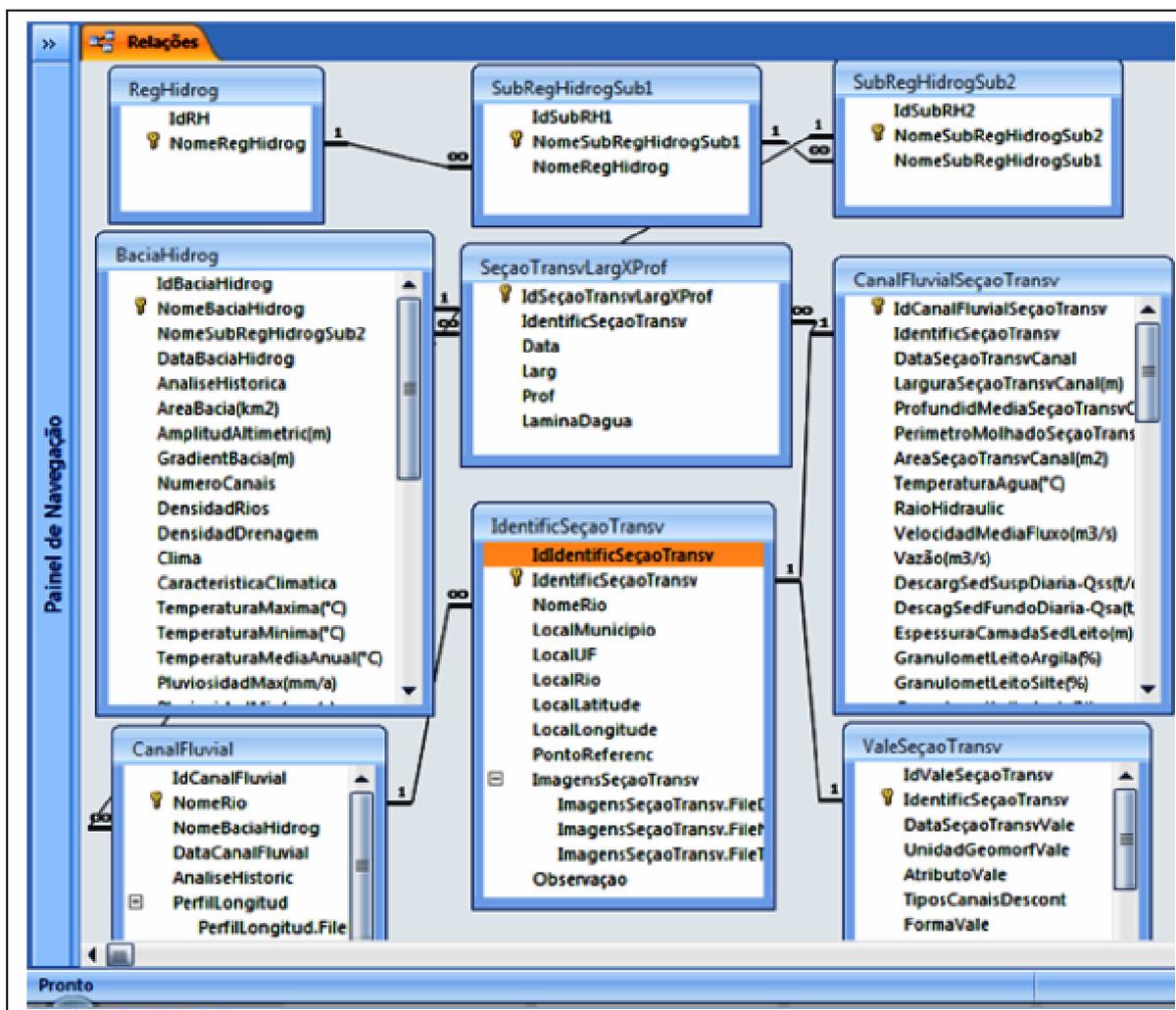


Figura 6-2 – Tabelas da base de dados, destacando seus atributos, chaves primárias e relacionamentos.

Para o procedimento de inserção, edição e visualização de dados nesta base de dados optou-se não fazê-lo diretamente por meio de cada tabela individualmente, mas por meio de um conjunto de nove formulários os quais são acessados a partir de uma tela de abertura onde o usuário pode fazer a sua opção de entrada de dados.

⁶ Uma chave primária é um campo ou um conjunto de campos na tabela que fornece ao *software* um identificador exclusivo para cada linha. Em um Banco de Dados Relacional, as informações são divididas em tabelas baseadas em tópicos. Em seguida, usa-se os relacionamentos de tabelas e chaves primárias para dizer ao *software* como reunir novamente essas informações. Neste caso o Access usa campos de chave primária para associar rapidamente os dados de várias tabelas e combinar esses dados de uma maneira que faça sentido.

Estes formulários possuem um layout totalmente compatível com a “FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS” (Anexo A) visando dar agilidade e maior eficiência no seu acesso, tornando o procedimento de alimentação do banco de dados mais prático e amigável.

Na figura 6-3 é apresentada a tela de abertura do Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície, a partir da qual é feita a opção do usuário pelos formulários para inserção, edição e visualização de dados contidos no Banco de Dados Geográfico Fluvial. Esta tela fornece as seguintes opções:

- “Identificação de RH e SubRH”, dá acesso ao formulário “Identificação da Região Hidrográfica e Sub Região Hidrográfica” (Figura 6-4) através do qual são alimentadas as tabelas RegHidrog, SubRegHidrogSub1 e SubRegHidrogSub2;
- “Dados da Bacia Hidrográfica”, acessa o formulário “Bacia Hidrográfica” (Figura 6-5) que alimenta a tabela “BaciaHidrog”;
- “Dados do Canal Fluvial”, dá acesso ao formulário “Canal Fluvial” (Figura 6-6), o qual alimenta a tabela “CanalFluvial”;
- “Identificação da Seção Transversal”, acessa o formulário “Identificação da Seção Transversal” (Figura 6-7), que alimenta a tabela “IdentificSeçãoTransv”;
- “Vale na Seção Transversal” dá acesso ao formulário “Vale na Seção Transversal” (Figura 6-8) que alimenta a tabela “ValeSeçãoTransv”;
- “Dados do Canal na Seção Transversal” acessa o formulário “Canal Fluvial na Seção Transversal” (Figura 6-9);
- “Largura e Profundidade do Canal na Seção Transversal” acessa o formulário “Seção Transversal Canal: Largura e Profundidade” (Figura 6-10).

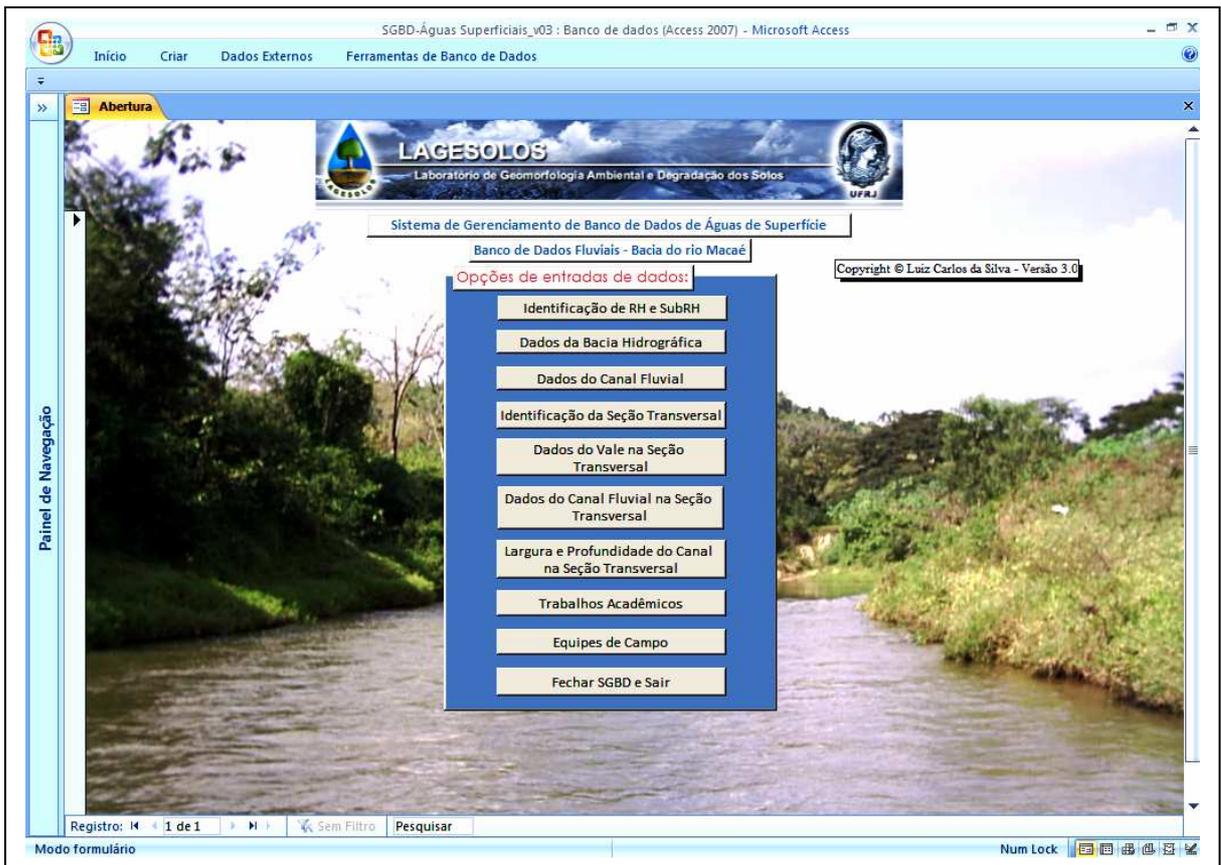


Figura 6-3 – Tela de abertura do SGBD e as opções de estrada de dados.

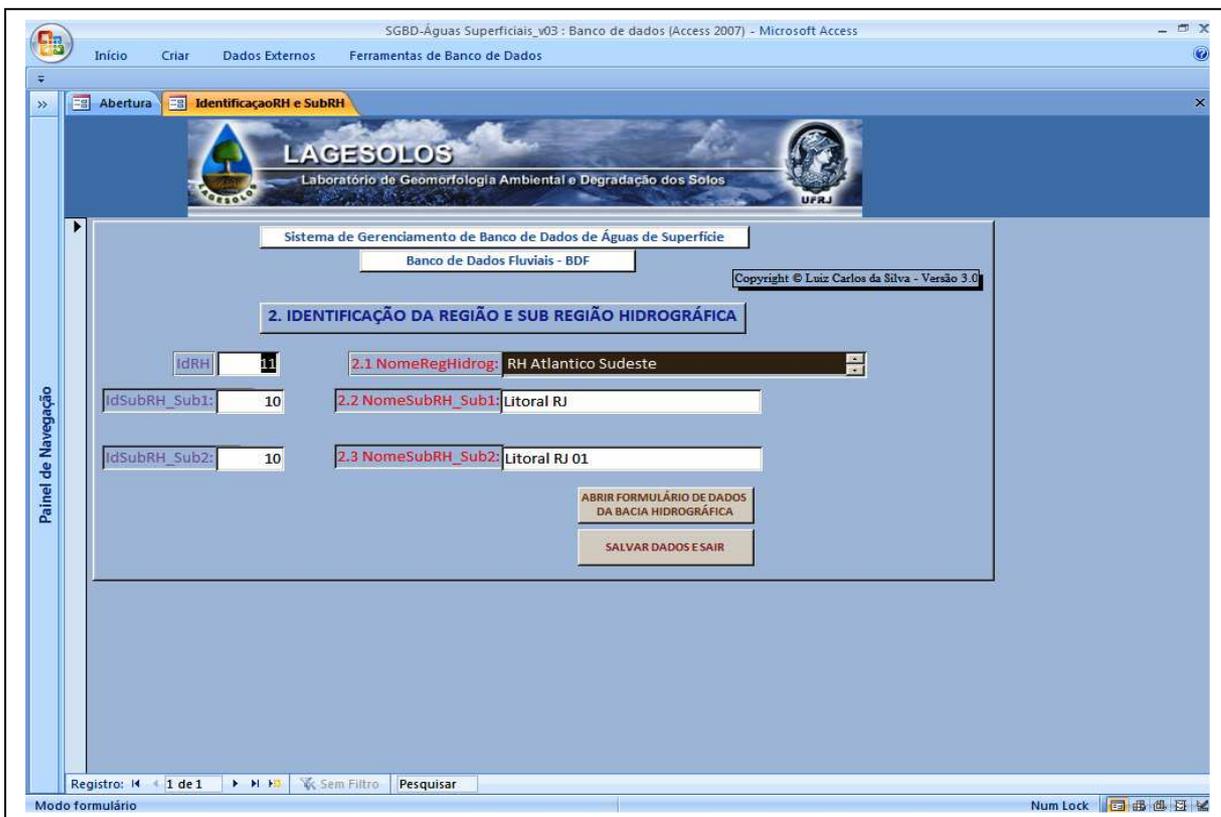


Figura 6-4 – Formulário “Identificação da Região e Sub Região Hidrográfica”.

SGBD-Águas Superficiais_v03 : Banco de dados (Access 2007) - Microsoft Access

Início Criar Dados Externos Ferramentas de Banco de Dados

Abertura **DadosBaciaHidrografica**

LAGESOLOS
Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos
UFRRJ

Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície

Banco de Dados Fluviais - BDF

3. BACIA HIDROGRÁFICA

Copyright © Luiz Carlos da Silva - Versão 3.0

IdBacia:

1.1 Data: 3.1 NomeBaciaHidro: 2.3 SubRHSub2:

3.2 Localização: Litoral norte do estado do Rio de Janeiro, entre as coordenadas 22°13'0" S e 42°34'0" W; 22°27'0" S e 42°09'0" W, abrange os m Macaé, Nova Friburgo, Casimiro de Abreu, Rio das Ostras, Conceição do Macabu e Carapebus.

3.3 AnáliseHistórica: Teve sua ocupação iniciada no séc. XVI com a implantação de 2 núcleos de povoaamentos em 1634 com engenho de açúcar, lavoura de cana-de-açúcar e de mandioca. No séc. XVIII a região apresentou o desenvolvimento da pecuária e das culturas de cana e mandioca. No séc. XIX se deu a expansão das agriculturas da cana e do café. Em 1814 foi elevado a categoria de município, sendo neste período construído o canal Campos-Macaé e a ferrovia ligando a região ao Município de Campos. Do início do séc. XIX até a década

3.4 ComprimentoRioPrincipal(Km):

3.5 Área da bacia (Km2): 3.6 AmplitudAltimetric(m): 3.7 GradienteBacia(%):

3.8 NúmeroCanais: 3.9 DensidadeRios: 3.10 DensidadDrenag:

3.11 PadrõesDrenagem: Dendrítico; Treliça; Paralelo; Retangular;

3.12 Clima: Aw - tropical seco (litoral); Cfa ou Cwb - subtropical de altitude (áreas >900m); Cwa ou Cfa (subtropical úmido (áreas < 900m))

3.13 CaracteristicClima: Verões quentes e chuvosos e inverno seco. Alta pluviosidade nas serras (2500 mm/a) devido aos ventos da Massa Tropical Atlântica barrados pelo relevo. No médio e baixo cursos a pluviosidade cai prá 1200 mm/a.

3.14 TemperaturaMax(°C): TemperaturaMin(°C): TempMédiaAnual(°C):

3.15 PluviosidadeMax(mm/a): PluviosidadeMin(mm/a): PluviosidadeMédiaAnual(mm/a):

3.16

UsoSolo-Pasto(%AreaBacia): UsoSolo-NúcleoUrb(%AreaBacia): UsoSolo-SemUso(%AreaBacia):

UsoSolo-Agricult(%AreaBacia): UsoSolo-MataCiliar(%AreaBacia): UsoSolo-Outro(%AreaBacia):

UsoSolo-APA(%AreaBacia): UsoSolo-Silvicultura(%AreaBacia):

3.17 TaxaUrbanização(%): 3.18 TiposUrbanização:

3.19 ProduçãoSedimentBacia(t/a): 3.20 Modelo de CalculoUsado:

3.21 Imagens da Bacia:

3.22 Observação: A bacia possui uma orientação no W-E e apresenta forma assimétrica

ABRIR FORMULÁRIO DE DADOS DO CANAL FLUVIAL

ABRIR FORMULÁRIO ANTERIOR

SALVAR DADOS E SAIR

Registro: 1 de 1

Modo formulário

Figura 6-5 – Formulário “Bacia Hidrográfica”.

SGBD-Águas Superficiais_v03 : Banco de dados (Access 2007) - Microsoft Access

Início Criar Dados Externos Ferramentas de Banco de Dados

Abertura DadosCanalFluvial

LAGESOLOS
Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos
UFRJ

Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície
Banco de Dados Fluviais - BDF
Copyright © Luiz Carlos da Silva - Versão 3.0

4. CANAL FLUVIAL

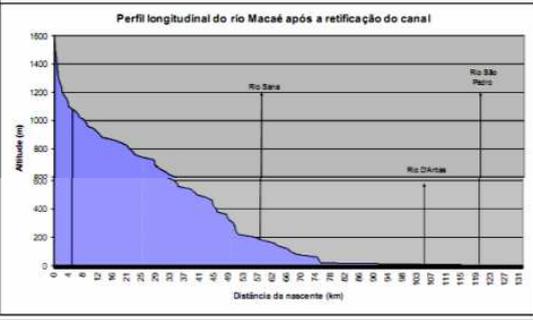
IdRio:

1.1 Data: 4.1 NomeRio:

3.1 BaciaHidro:

4.2 AnáliseHistórica: No período entre 1940 a 1980, com propósito de evitar inundações em suas margens, o extinto órgão do governo federal, Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) realizou obras de retificação dos canais no baixo curso da bacia abrangendo cerca de 60 km do rio Macaé e dos afluentes: rio Dantas, rio São Pedro e do canal Jurumirim.

4.3 ComprimentoCanal (Km): 4.4 HierarquiaFluvial: 4.5 ÍndiceSinuosidade:

4.6 GráficoPerfilLongitud: 

4.7 ImagensCanalFluvial: 

4.8 Observação: No alto curso apresenta vales confinados e estabilidade lateral, no médio curso o canal está confinado e apresenta sequência de planície de inundação descontínuas em forma de alvéolos, no se baixo curso apresenta uma extensa e contínua planície.

ABRIR FORMULÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL
ABRIR FORMULÁRIO ANTERIOR
SALVAR DADOS E SAIR

Registro: 1 de 2 Sem Filtro Pesquisar

Modo formulário Num Lock

Figura 6-6 – Formulário “Canal Fluvial”.

SGBD-Águas Superficiais_v03 : Banco de dados (Access 2007) - Microsoft Access

Início Criar Dados Externos Ferramentas de Banco de Dados

Abertura IdentificaçãoSeçãoTransv

LAGESOLOS
Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos
UFRJ

Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície
Banco de Dados Fluviais - BDF
Copyright © Luiz Carlos da Silva - Versão 3.0

5. IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL

IdSeção: 22

5.1 IdentificSeçãoTransv: SAN-8 4.1 NomeRio: Rio Macaé

5.2 LocalMunicípio: Macaé 5.3 Estado: RJ 5.4 LocalizaçãoRio: Baixo curso

5.5 MD/Coordenadas: 23 0802222; 7521389 UTM 5.6 ME/Coordenadas: 23 0802168; 7521409 UTM

5.7 PontoReferência: À jusante do rio Danta, bem próximo da retificação. Da casa do Seu Francisco até a estrada são 3km e do curral até a CEDAE são 2km

5.8 ImagemSeçãoTransv:

5.9 Observação:
Na imagem de satélite a seção SAN-8 localiza-se na sua extremidade direita. A recolocação da estaca da margem esquerda em out/2010 antes do 8º monitoramento.

ABRIR FORMULÁRIO DE DADOS DO VALE NA SEÇÃO TRANSVERSAL

ABRIR FORMULÁRIO ANTERIOR

SALVAR DADOS E SAIR

Registro: 1 de 9 Sem Filtro Pesquisar

Modo formulário Num Lock

Figura 6-7 – Formulário “Identificação da Seção Transversal”.

SGBD-Águas Superficiais_v03 : Banco de dados (Access 2007) - Microsoft Access

Início Criar Dados Externos Ferramentas de Banco de Dados

Abertura DadosValeSeçãoTransv

LAGESOLOS
Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos
UFRJ

Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície

Banco de Dados Fluviais - BDF

Copyright © Luiz Carlos da Silva - Versão 3.0

6. VALE NA SEÇÃO TRANSVERSAL

IdValeSeçãoTransv: 9

5.1 IdentificaçãoSeçãoTransv: SSP-2 1.1 Data: 4/10/2007

6.1 UnidadeGeomorfológicaVale: Planície 6.2 AtributosVale: Aluvial com Canais Contínuos

6.3 TipoCanaisDescontínuos: Ausentes 6.4 FormaVale: Assimétrico Retilíneo

6.5 ÂnguloEncostValeME: <5º 6.6 ÂnguloEncostValeMD: <5º

6.7 PlanícieInundação: Ausente 6.8 PlanícieInundRetrabalhada: Ausente

6.9 PlanícieInundOcasional: MD e ME 6.10 BrejoAlagado: Ausente

6.11 MeandroAbandonado: Presente 6.12 Paleocanais: Presente

6.13 TerraçosME: Ausente 6.14 TerraçoMD: Ausente 6.15 DeslizamentoEncosta: Ausente

6.16 TipoRochaVale: Sedimentar 6.17 DescriçãoGeológicaVale:
Depósitos fluvio-lagunares que correspondem a depósitos geneticamente relacionados a episódios distintos de progradação fluvial sobre um ambiente transaccional/marinho raso, possivelmente em função de variações climáticas e/ou glacial-

6.18 SuperfícieGeológicaVale: Alúvio 6.21 MaterialEncostaMD: Alúvio

6.19 DeformaçãoEstruturalVale: Ausentes

6.20 MaterialEncostaME: Alúvio

6.24 DescriçãoVegetaçãoRibeirinha: Ausente;

6.25 UsoSoloVale: Pasto;

6.26 ObrasEngenhariaVale: Estrada de terra; Linha de transmissão;

6.27 ProbAmbientalVale: Nenhum;

6.28 TipoUrbanizaçãoVale: Fazendas;

6.29 ImagensValeSeçãoTransv: 

6.30 Observação:

ABRIR FORMULÁRIO DE DADOS DO CANAL NA SEÇÃO TRANSVERSAL

ABRIR FORMULÁRIO ANTERIOR

SALVAR DADOS E SAIR

Registro: 1 de 9 Sem Filtro Pesquisar

Figura 6-8 – Formulário “Vale na Seção Transversal”.

SGBD-Águas Superficiais_v03 : Banco de dados (Access 2007) - Microsoft Access

Início Criar Dados Externos Ferramentas de Banco de Dados

Abertura **DadosCanalSeçãoTransv**



LAGESOLOS

Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos



Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície
Banco de Dados Fluviais - BDF

Copyright © Luiz Carlos da Silva - Versão 3.0

7. CANAL FLUVIAL NA SEÇÃO TRANSVERSAL

IdSeçãoTransvCanal: 5.1 IdentificaçãoSeçãoTransv: SSP-2 1.1 Data: 6/10/2007

7.1 LarguraLâminaÁguaSeção(m): 35,00 7.2 AlturaMédiaLâminaÁguaSeção(m): 0,45 7.3 PerímetroMolhadoSeção(m): 35,90

7.4 ÁreaSeção(m²): 15,75 7.5 TemperaturaÁgua(°C): 7.6 RaioHidráulico: 0,44

7.7 VelocidadeMédiaFluxo(m/s): 0,48 7.8 Vazão(m³/s): 7,56 7.9 DescargSedimentSuspensDiária(t/dia): 19,60

7.10 DescargSedFundoDiária(t/dia): 7.11 EspessuraCamadaSedLeito(m):

7.12 GRANULOMETRIA DO MATERIAL DO LEITO:

ArgilaSilte(%): 0,23% Granulo(%): 1,20%

AreiaFina(%): 7,10% Seixos(%): 0,00%

AreiaMédia(%): 37,70% Blocos(%): 0,00%

AreiaGrossa(%): 45,30% Matação(%): 0,00%

AreiaMuitoGrossa(%): 8,30%

7.13 GRAU DE ARREDONDAMENTO:

MuitoAnguloso(%):

Anguloso(%):

SubAnguloso(%):

SubArredondado(%):

Arredondado(%):

BemArredondado(%):

7.14 SeleçãoMaterialLeito: Muito Bem Selecionado

7.15 FormaEmPlantaCanal: Retilíneo Canalizado

7.16 FormaSeçãoTransvCanal: Assimétrica 7.17 PresençaIlhas: Ausente

7.18 PresençaBarras: Ausente 7.19 Soleiras(riffles): Ausente

7.20 Depressões(pools): Ausente 7.21 PequenasOndulações(ripples): Sem Informação

7.22 DunasLeitoCanal: Sem Informação 7.23 Corredeiras: Ausente

7.24 LençóisdePraia: Ausente 7.25 Cachoeira/Cascatas: Ausente

7.26 EstruturaVegetaçãoCanal: Ausente 7.27 DetritosMadeira: Ausente

7.28 EstiloFluvial: Retificado;

7.29 Barragem: Ausente 7.30 LinhaLixoAcimaMargemPlena(m): 7.31 RegistroEnchente:

7.32 MaterialLeito:

7.33 Textura ME: Areia/Silte/Argila 7.34 Textura MD: Areia/Silte/Argila

7.35 CondiçãoEstabilidME: Estável com Vegetação Antiga 7.36 CondiçãoEstabilidMD: Estável com Vegetação Antiga

7.37 PresençaObrasEngenhariaCanal: Dragagem do canal;

7.38 ProblemasAmbientais: Nenhum

7.39 ImagensCanalFluvialSeção: 

7.40 Observação:

ABRIR FORMULÁRIO DE DADOS DE LARGURA E PROFUNDIDADE DA SEÇÃO TRANSVERSAL

ABRIR FORMULÁRIO ANTERIOR

SALVAR DADOS E SAIR

Registro: 1 de 58 Sem Filtro Pesquisar

Modo formulário Num Lock

Figura 6-9 – Formulário “Canal Fluvial na Seção Transversal”.

Figura 6-10– Formulário “Seção Transversal Canal: Largura e Profundidade”.

6.1.2. A estrutura de consulta e análise dos dados

A visualização simples dos dados armazenados na base de dados se dá diretamente através das próprias tabelas que compõem o BDF, exibindo-as em modo folha de dados, onde os conteúdos dos seus campos poderão ser classificados, filtrados, localizados e impressos de acordo com a necessidade da pesquisa. Estas operações são implementadas automaticamente pelo *software* sem maiores intervenções do usuário (Figura 6-11).

Identificação	NomeRio	LocalMunic	Estado	Localização	Latitude	Longitude
SSA-6	Rio Macaé	Macaé	RJ	Alto curso	22°18'34" S	42°
13 SSP-2	Rio Macaé	Macaé	RJ	Baixo curso	22°13'0" S	42°

Figura 6-11 – Visualização dos dados simulados da tabela IdentificSeçãoTransv

Os conteúdos das tabelas da base de dados do BDF podem ser pesquisados de maneira mais estruturada através do “assistente de consulta” disponibilizados no software. Nesta ferramenta são feitas pesquisas onde são definidos campos específicos de uma ou mais tabelas que atendam as condições exigidas que, ao serem cruzados, forneçam as informações buscadas pela pesquisa.

Numa consulta experimental para demonstração, buscou-se identificar as seções transversais do rio Macaé, localizada na bacia hidrográfica de mesmo nome. Foram cruzados dados de campos das tabelas: RegiHidro; SubRegHidroSub1; SubRegHidroSub2; BaciaHidro; CanalFluvial e IdentificSeçãoTransv (Figura 6-12). Como resultado desta consulta foi identificado neste canal fluvial a existência de duas seções transversais no rio Macaé, codificadas respectivamente de SSP-2 e SSA-6 (Figura 6-13). Este resultado é disponibilizado para visualização na própria tela do computador ou sob a forma impressa de relatório.

Os procedimentos visando analisar a evolução dos dados mensuráveis que estão armazenados na base de dados do Banco de Dados Fluviais, são realizados por meio de consultas simples às suas diversas tabelas ou consultas de tabelas de referências cruzadas; relatórios básicos dos dados na consulta ou das tabelas; como também através da geração de gráficos.

A elaboração de relatórios se dá a partir da ferramenta “assistente de relatório” disponibilizada no software Access, a qual é quase totalmente automatizada, exigindo muito pouca intervenção do usuário. Este software, diretamente não gera gráficos dos conteúdos das bases de dados, contudo disponibiliza a ferramenta “Exportar para a planilha do Excel” assim, através do *Software Microsoft Excel* ® os dados mensuráveis da base de dados do BDF, podem ser convertidos em gráficos e serem devidamente analisados (Figuras 6-14, 6-15 e 6-16).

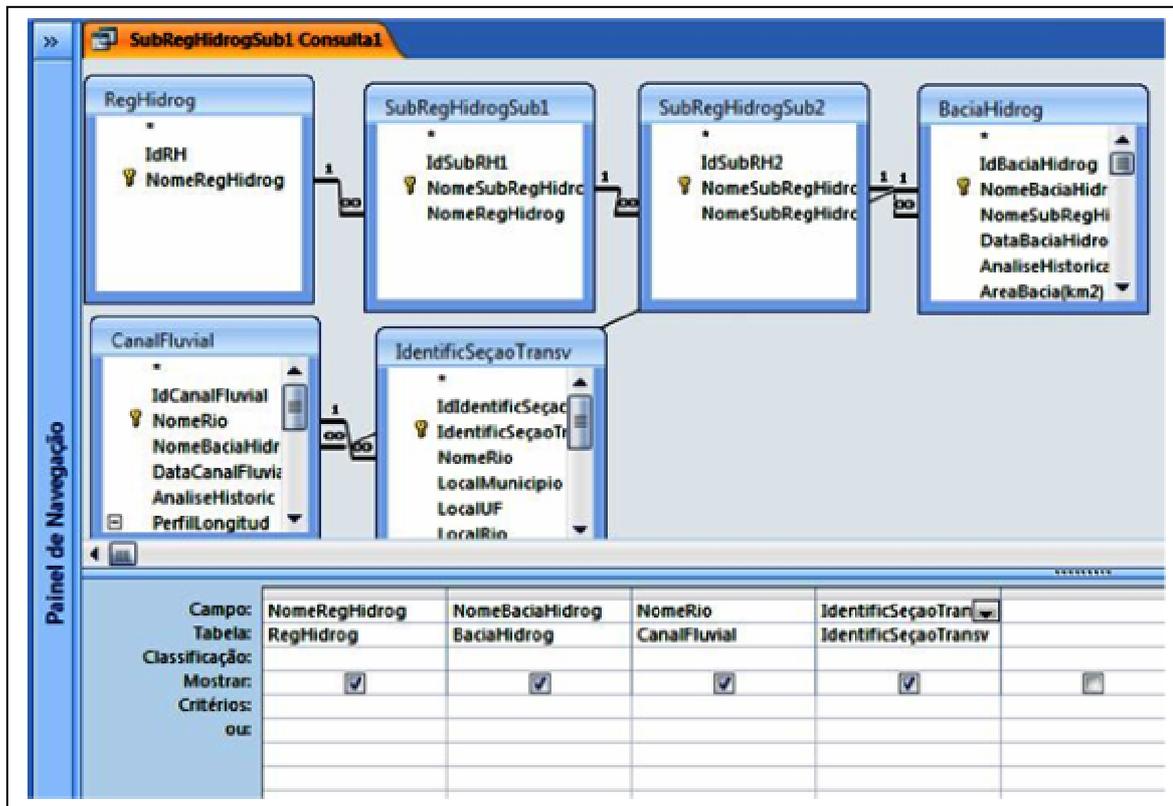


Figura 6-12 – Estruturação da consulta experimental para identificar as seções transversais no rio Macaé, com dados simulados.

NomeRegHidrog	BaciaHidrog	NomeRio	IdentificaçãoSeçaoTransv
RH Atlantico Sudeste	Bacia do Rio Macaé	Rio Macaé	SSP-2
RH Atlantico Sudeste	Bacia do Rio Macaé	Rio Macaé	SSA-6
*			

Figura 6-13 – Resultado da consulta para identificar as seções transversais no rio Macaé, com dados simulados.

IdSeçãoTrar	IdentificSeç	Data	Larg	Prof	LaminaDagu	Ad
20	SSP-2	01/02/2001	0,50	-0,30		
21	SSP-2	01/02/2001	1,00	-0,32		
22	SSP-2	01/02/2001	1,50	-0,41		
23	SSP-2	01/02/2001	2,00	-1,05		
24	SSP-2	01/02/2001	2,50	-0,30		
25	SSP-2	01/02/2001	3,00	-1,21		
26	SSP-2	01/02/2001	3,50	-1,17		
27	SSP-2	01/02/2001	4,00	-1,35		
28	SSP-2	01/02/2001	4,50	-1,60	-1,52	
29	SSP-2	01/02/2001	5,00	-1,71	-1,52	
30	SSP-2	01/02/2001	5,50	-2,00	-1,52	
31	SSP-2	01/02/2001	6,00	-2,03	-1,52	
32	SSP-2	01/02/2001	6,50	-2,97	-1,52	
33	SSP-2	01/02/2001	7,00	-2,10	-1,52	
34	SSP-2	01/02/2001	7,50	-1,98	-1,52	
35	SSP-2	01/02/2001	8,00	-1,81	-1,52	
36	SSP-2	01/02/2001	8,50	-2,05	-1,52	
37	SSP-2	01/02/2001	9,00	-2,26	-1,52	
38	SSP-2	01/02/2001	9,50	-2,31	-1,52	
39	SSP-2	01/02/2001	10,00	-2,44	-1,52	
40	SSA-6	01/02/2001	0,50	-0,71		
41	SSA-6	01/02/2001	1,00	-0,64		
42	SSA-6	01/02/2001	1,50	-0,82		
43	SSA-6	01/02/2001	2,00	-2,10		
44	SSA-6	01/02/2001	2,50	-2,60		
45	SSA-6	01/02/2001	3,00	-2,42		
46	SSA-6	01/02/2001	3,50	-2,34		

Figura 6-14 – Dados simulados da tabela SeçãoTransvLargXProf.

	A	B	C	D	E	F
1	IdSeçãoT	IdentificSe	Data	Larg	Prof	LaminaDagua
2	20	SSP-2	01/02/2001	0,5	-0,3	
3	21	SSP-2	01/02/2001	1	-0,32	
4	22	SSP-2	01/02/2001	1,5	-0,41	
5	23	SSP-2	01/02/2001	2	-1,05	
6	24	SSP-2	01/02/2001	2,5	-1,15	
7	25	SSP-2	01/02/2001	3	-1,21	
8	26	SSP-2	01/02/2001	3,5	-1,17	
9	27	SSP-2	01/02/2001	4	-1,35	
10	28	SSP-2	01/02/2001	4,5	-1,6	-1,52
11	29	SSP-2	01/02/2001	5	-1,71	-1,52
12	30	SSP-2	01/02/2001	5,5	-2	-1,52
13	31	SSP-2	01/02/2001	6	-2,18	-1,52
14	32	SSP-2	01/02/2001	6,5	-2,97	-1,52
15	33	SSP-2	01/02/2001	7	-2,1	-1,52
16	34	SSP-2	01/02/2001	7,5	-1,98	-1,52
17	35	SSP-2	01/02/2001	8	-1,81	-1,52
18	36	SSP-2	01/02/2001	8,5	-2,05	-1,52
19	37	SSP-2	01/02/2001	9	-1,95	-1,52
20	38	SSP-2	01/02/2001	9,5	-1,6	-1,52
21	39	SSP-2	01/02/2001	10	-0,3	
22	40	SSA-6	01/02/2001	0,5	-0,71	

Figura 6-15 – Dados simulados da tabela SeçãoTransvLagXProf exportados para a Planilha Excel.

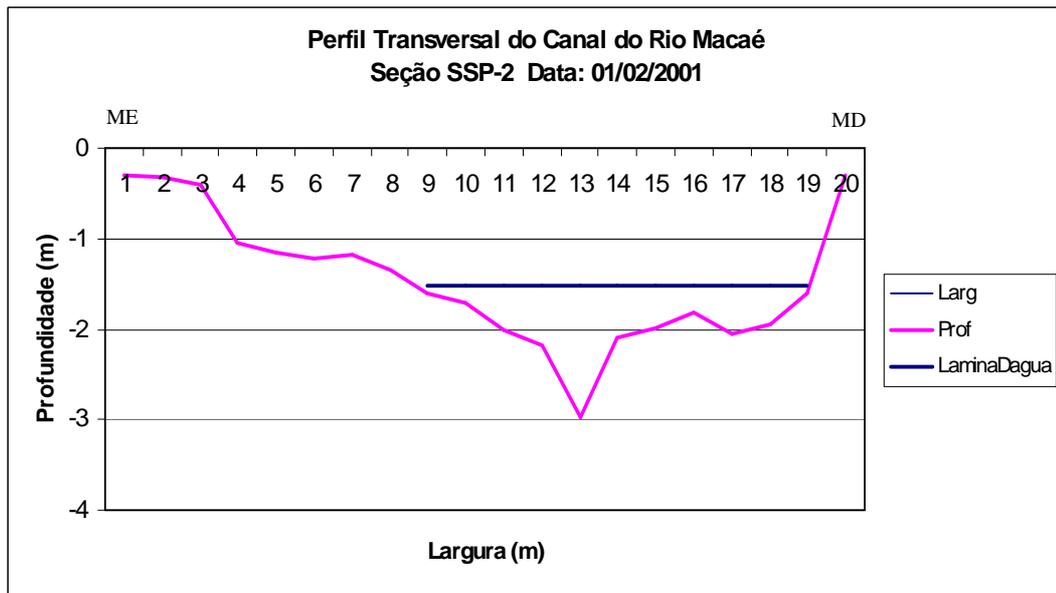


Figura 6-16 – Gráfico gerado no Excel a partir dos dados simulados, importados da tabela SeçãoTransvLagXProf.

6.2. Dinâmica fluvial atual do rio Macaé-RJ

No sentido de dar continuidade na alimentação do BDF_{sup} - Macaé-RJ, e ao mesmo tempo apresentar a série histórica dos dados hidossedimentológicos no canal do rio Macaé, desenvolvida pelo Grupo de Geomorfologia Fluvial do LAGESOLOS/UFRJ, são aqui apresentados os dados na escala do canal, a partir da seção transversal, conforme o fluxograma (Figura 6-17). As informações de monitoramento na escala do canal permitem a compreensão da dinâmica dos processos geomorfológicos atual, que juntamente com as demais informações escalares, são relevantes para o entendimento do comportamento do canal do rio Macaé e seus afluentes.

A disposição dos resultados foi subdividida em duas partes: monitoramento das seções transversais e o comportamento dos processos geomorfológicos do rio Macaé. Na primeira parte, são apresentados, por meio de gráficos e linhas de tendências com seus respectivos R-quadrados, os parâmetros hidossedimentológicos mensurados em cada seção transversal, no período de outubro/2007 à outubro/2010, que estão disponíveis atualmente no BDF.

Esta apresentação se dá a partir das confluências do rio Macaé, com os rios Bonito, Sana e São Pedro, localizados no alto, médio e baixo curso da bacia, respectivamente.

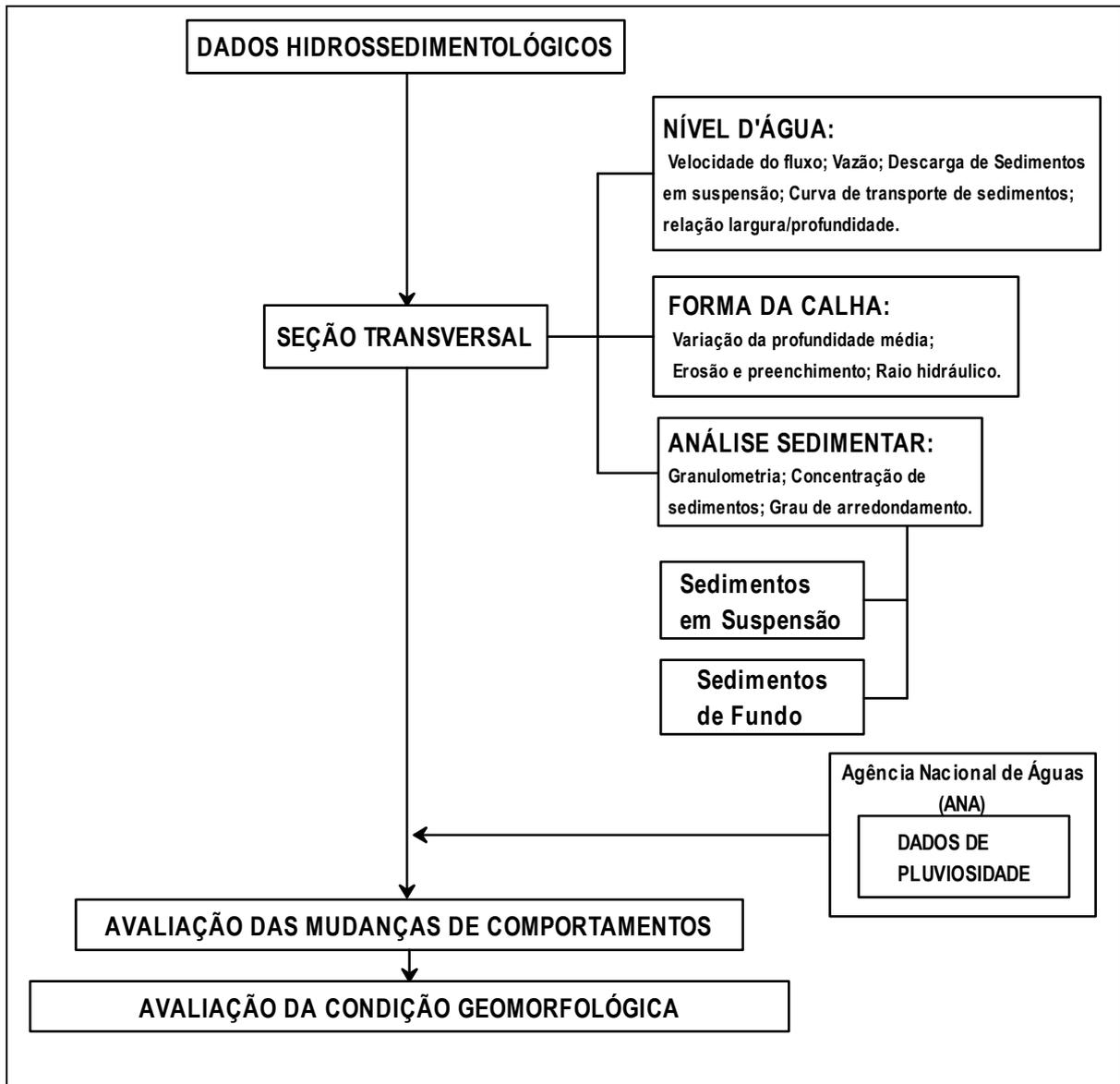


Figura 6-17 – Fluxograma dos dados hidrossedimentológicos.

6.2.1 Monitoramento das seções transversais

Os parâmetros apresentados foram agrupados, conforme o fluxograma em: nível d'água; forma da calha e análise sedimentar, mostrado na figura 6-17.

6.2.1.1 Nível d'água

i. Velocidade média do fluxo

Segundo Christofolletti (1981), a capacidade de erosão das margens e do leito fluvial, o transporte e a deposição de sedimentos dependem, entre outros fatores, da velocidade do fluxo. Alterações sofridas nesta variável modificam, de imediato, essas condições.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio Bonito (Alto curso)**

Apesar de estar configurado como sendo um ambiente de alta energia e o seu Estilo Fluvial estar classificado, segundo Lima, (2010) como confinado de alta energia, esta seção do canal fluvial, nestes quatro períodos analisados (Figura 6-18), apresentou velocidade média do seu fluxo abaixo do esperado, tomando-se por base a velocidade média no todo analisado, tendo sido alcançando na época mais úmida, apenas pico de 0,96m/s. Este fato pode estar relacionado ao pouco número de medições realizadas neste perfil. O gráfico sinalizou leve tendência de aumento da velocidade do fluxo para o período monitorado.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio Sana (médio curso)**

Trata-se de trecho do rio localizado em vale parcialmente confinado, cujo Estilo Fluvial do canal, nas duas seções analisadas de acordo com Lima, (2010) como do tipo meandro sob controle estrutural. A velocidade média do fluxo (Figura 6-19), apesar de ter apresentado pequenas variações, pode se entendida, como de média a baixa energia na seção SSA-5 e de média energia, na seção SSA-6, localizadas à montante e à jusante da confluência, respectivamente. Essa diferença de velocidade média que ocorreu entre estes dois perfis pode ser explicada pelo considerável aumento na profundidade do canal na primeira seção, conforme será visto mais adiante.

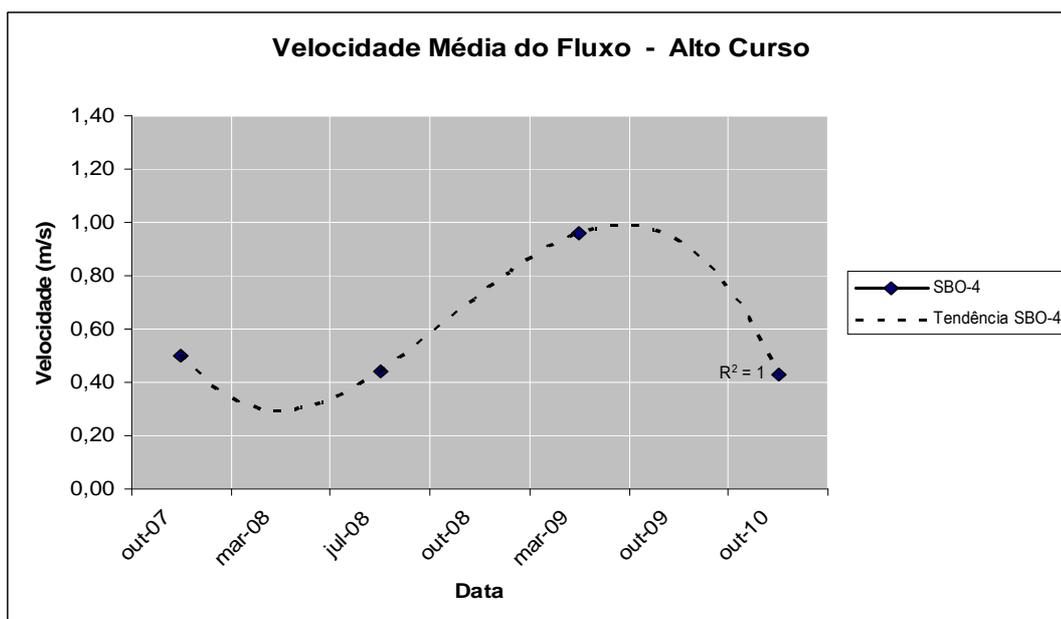


Figura 6-18 - Velocidade média do fluxo do rio Macaé, na confluência com o rio Bonito, no alto curso.

A contribuição das águas do rio Sana, aparentemente, não provocaram alterações consideráveis na velocidade do fluxo na seção mais à jusante (SSA-6). Fator que pode ser, em parte, explicado pela característica do leito nesta seção, que apresenta elevada rugosidade.

O gráfico da figura 6-19 mostrou tendência de diminuição da velocidade média nas seções SSA-5 e SSA-6 para o período monitorado.

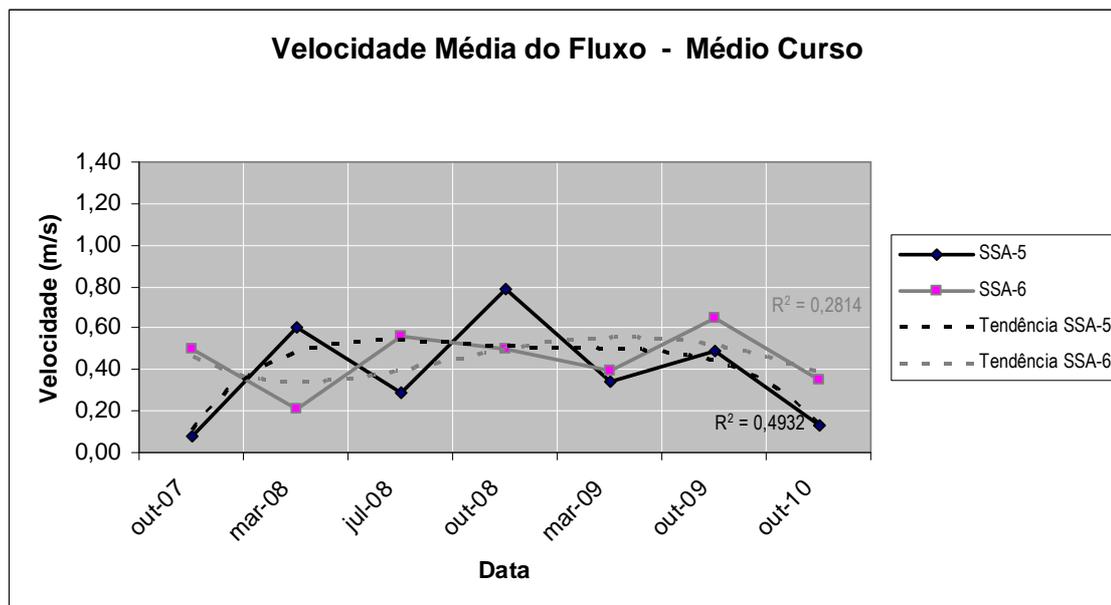


Figura 6-19 - Velocidade média do fluxo do rio Macaé, na confluência com o rio Sana, no médio curso .

➤ Rio Macaé na confluência com o rio D'Antas (baixo curso)

A velocidade média do fluxo apresentada, principalmente, na seção SCE-7 (à montante da confluência) é indicativa de um padrão de canal de média a alta energia. Os valores manifestados nesta análise são destoantes das características geomorfológicas do canal, para esse trecho, pois se tratam de seções situadas num vale aluvial sendo o Estilo Fluvial do canal classificado, segundo Lima, (2010) como meandros tortuosos com carga arenosa moderada.

A velocidade média do fluxo da seção SAN-8 (à jusante da confluência), no período de outubro de 2007 à outubro de 2010 (Figura 6-20), embora tenha apresentado mais coerência com o Estilo Fluvial deste canal, manifestou expressivo pico de aumento isolado, num período correspondendo ao início da estação seca (março/2009).

A velocidade média do fluxo relativamente elevada na seção SCE-7 e o seu súbito aumento na seção SAN-8 pode, de certa forma, explicar os processos de erosão registrados nas margens do canal, nestas duas seções. Ambas as seções apresentaram tendência de diminuição nas suas velocidades médias, sendo mais acentuada na seção SAN-8.

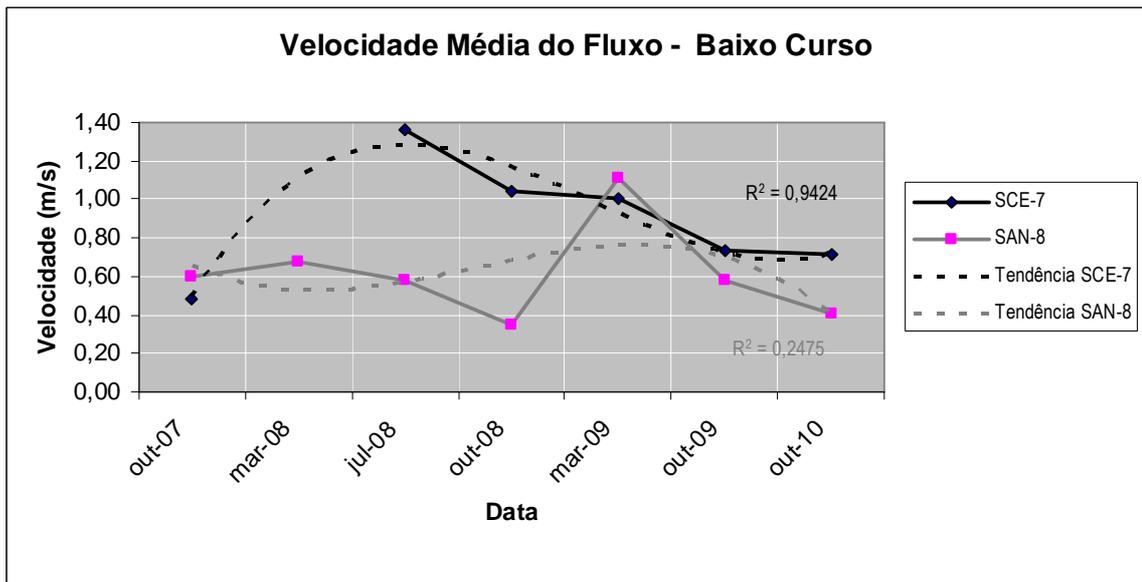


Figura 6-20 - Velocidade média do fluxo do rio Macaé, na confluência com o rio D'Antas, no baixo curso.

➤ **Rio Macaé na confluência com o rio São Pedro (baixo curso retificado)**

Neste trecho retificado do baixo curso a velocidade média do fluxo (Figura 6-21) apresentou variação pouco considerável. E, tomando-se em consideração a velocidade média manifestada no sistema, como um todo, seu os valores tendeu a caracterizá-lo como sendo de ambiente de média energia. Estando este fato estritamente relacionado aos efeitos das obras de retificação deste canal, na medida em que seu leito perde a rugosidade e tem sua declividade aumentada. Ambas as seções manifestaram pequena tendência de diminuição das suas velocidades médias.

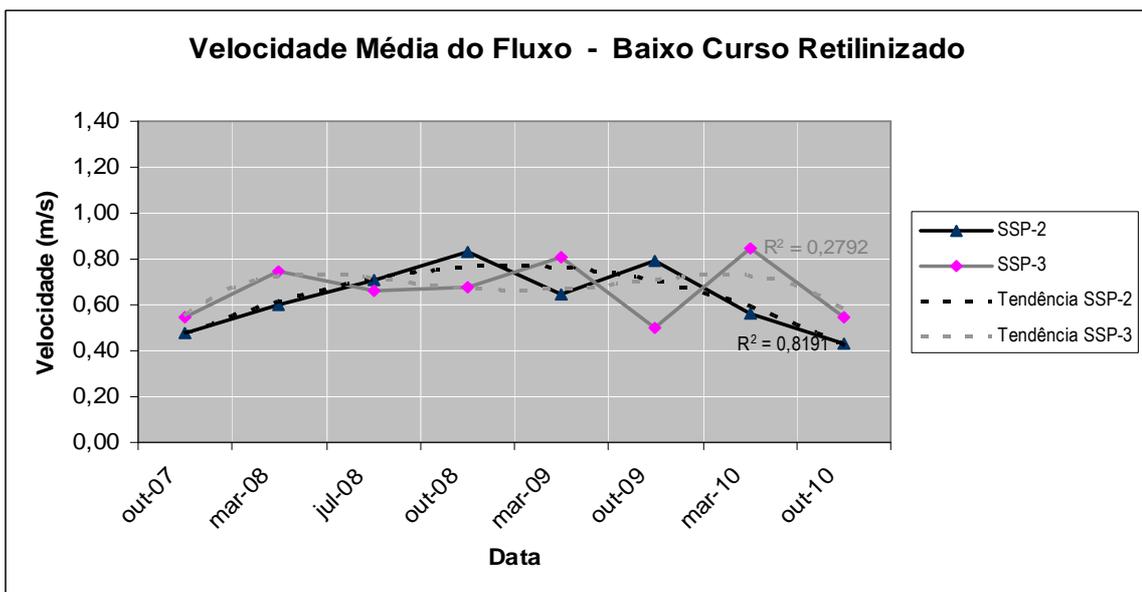


Figura 6-21 - Velocidade média do fluxo do rio Macaé, na confluência com o rio São Pedro, no baixo curso retificado.

Os R^2 ou coeficiente de determinação obtidos para cada linha de tendência nos gráficos da velocidade média do fluxo apresentam valores que variam de 0,2475 a 0,9424, expressando um grau de correspondência que oscila entre pouco confiável ao confiável. O valor 1 apresentado pelo gráfico da seção SBO-4 foi desprezado devido ao pequeno número de medições nela realizado.

ii. Vazão (débito ou volume)

A vazão do rio Macaé sofre a influência das características pluviométricas da região onde se localiza a sua bacia hidrográfica, a qual tende apresentar, no período, de março elevada pluviosidade e, no período de outubro, baixa pluviosidade. E como observam Nascimento *et al.*(2010), a distribuição desta pluviosidade se dá em função das características do relevo, ou seja, as áreas de maiores altitudes concentram maior volume de precipitação, em comparação às áreas do baixo curso da bacia do rio Macaé.

Apesar da vazão apresentar, normalmente, grande variabilidade, suas mudanças implicam em alterações e ajustes em significativas variáveis fluviais, tais como na largura, profundidade média, velocidade média, rugosidade do leito e concentração de sedimentos (Christofolletti, 1981). Partindo deste quadro desenhado para as vazões manifestadas no rio Macaé, buscou-se compreender o grau de influência que esta apresentou em outras variáveis analisadas.

➤ Rio Macaé na confluência do rio Bonito (alto curso)

No alto curso do rio Macaé, no trecho em que este já soma à sua vazão as águas do seu tributário da margem direita, o rio Bonito, na seção SBO-4 (à jusante da confluência) apresentou, nos três anos em que foram realizadas medições, vazão máxima em torno de 6,04 m³/s e com variação relativamente pequena nos seus valores ao longo dos períodos monitorados. O gráfico sinalizou pequena tendência de diminuição na sua vazão (Figura 6-22). Ressalta-se que tais medições, por motivos operacionais, ocorreram todas na em períodos na estação de estiagem, com as médias pluviométricas muito baixas, conforme podem ser vistas no ANEXO A.

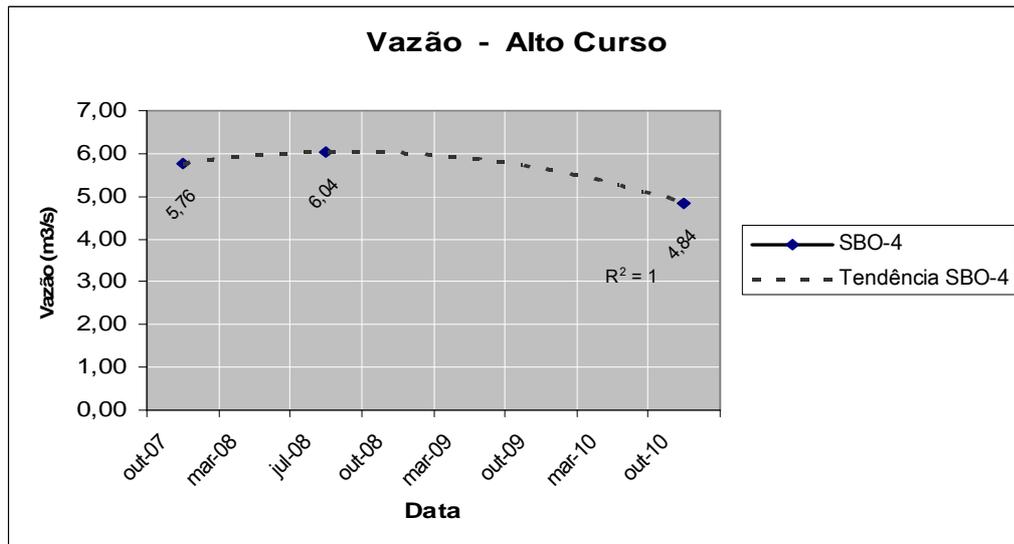


Figura 6-22 - Valores da vazão, na confluência com o rio Bonito, no alto curso.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio Sana (médio curso)**

As duas seções transversais localizadas no médio curso do rio Macaé, (SSA-5 e SSA) apresentaram acentuada variação nos picos de vazões. Tal fato pode ser relacionado a variação das médias pluviométricas mensais, conforme é visto no ANEXO A. Na seção SSA-5, à montante da desembocadura do rio Sana, ocorreu expressiva tendência inicial de aumento, seguida de queda da sua vazão. Por sua vez, na sua seção à jusante (SSA-6) após a desembocadura do rio Sana, as variações dos picos de vazões foram menos acentuadas, fato que pode estar relacionada à contribuição de água recebida do rio Sana, tendo apresentado tendência inicial de moderada elevação seguida de queda da sua vazão.

Destaca-se o fato de que apenas nas medições relativas aos períodos de outubro/2007, março/2010 e outubro/2010 as vazões da seção à jusante (SSA-6) apresentaram valores superiores aos da seção à montante, fato que pode ser explicado pelo acréscimo a este canal das águas do rio Sana (Figura 6-23).

A vazão registrada na seção SSA-6, situada a jusante do rio Sana, apresentou nos períodos de julho/2008, outubro/2008 e outubro/2009 valores inferiores aos da seção SSA-5, a montante deste mesmo rio. Como neste trecho é desconhecida a ocorrência de captação de água e também a presença de barragens que possam justificar tais diferenças dos valores das respectivas vazões, é possível que a explicação deste fato esteja relacionada ao tempo de resposta da vazão, naquele trecho do canal.

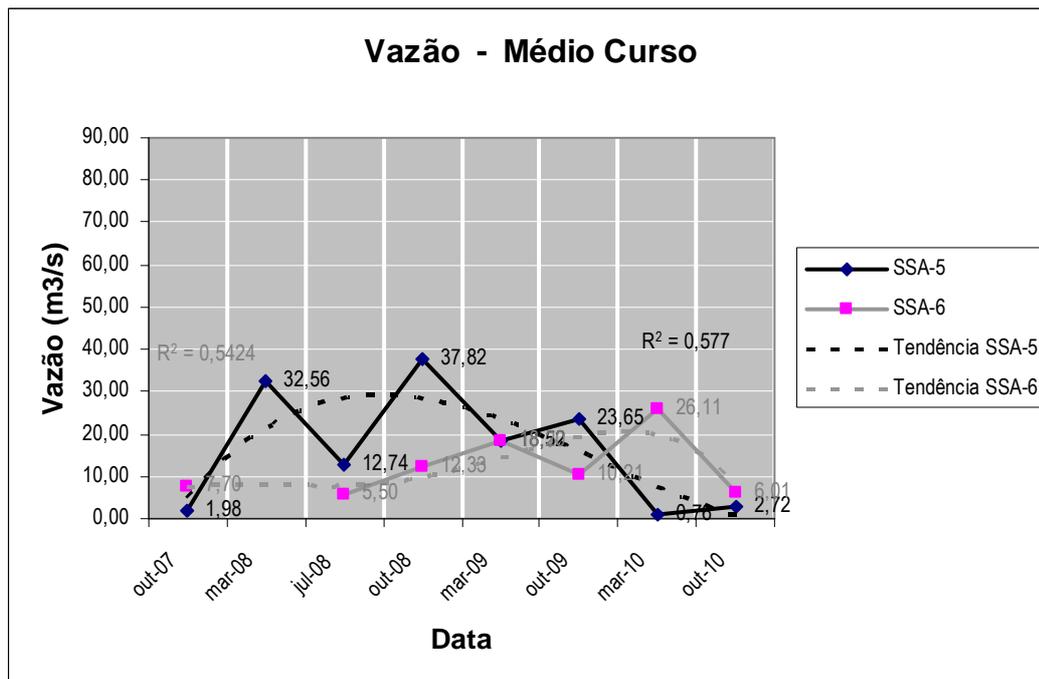


Figura 6-23 - Valores da vazão do rio Macaé, na confluência com rio Sana, médio curso.

➤ Rio Macaé na confluência com rio D'Antas (baixo curso)

Nas duas seções transversais no seu baixo curso (SCE-7 e SAN-8), o rio mostra acentuada alternância nos picos da sua vazão. Ambas as seções apresentaram, no período uma tendência oscilando entre elevação inicial, seguida da diminuição de suas respectivas vazões (Figura 6-24).

Chama atenção o fato de que nos períodos de julho/08, outubro/08, outubro/09 e outubro/10, a seção transversal SAN-8, à jusante da confluência do rio D'Antas, mesmo somando ao seu fluxo as águas do seu afluente rio D'Antas, apresentou uma vazão inferior a da seção SCE-7, situada à montante da confluência. Este fato faz supor que, mesmo levando-se em consideração a captação de $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ de água feita pela estação da CEDAE situada naquele trecho, de um possível atraso no tempo de resposta da vazão neste trecho do canal.

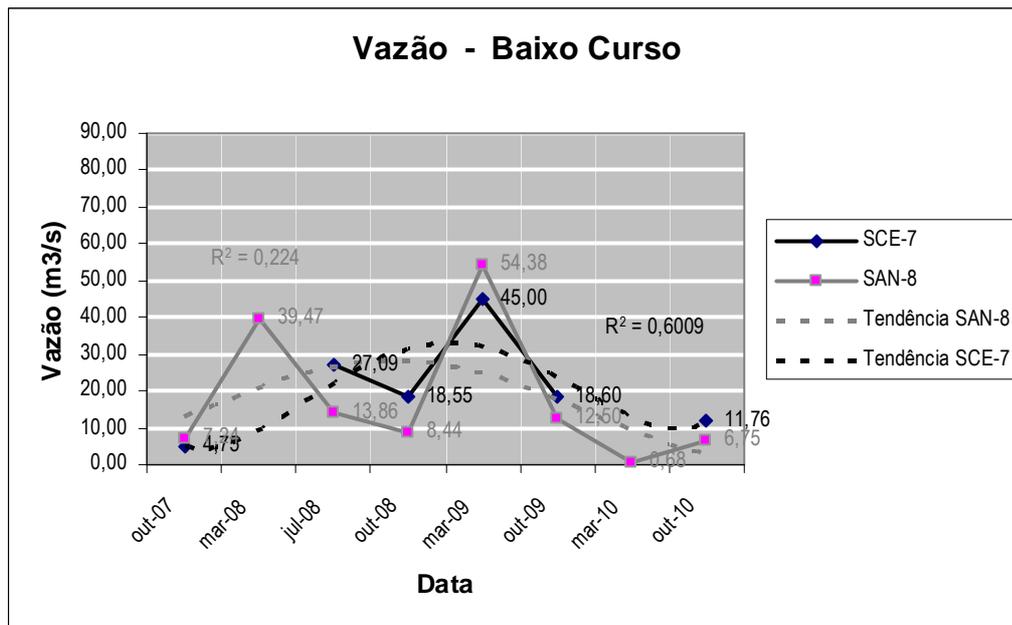


Figura 6-24 - Valores da vazão do rio Macaé, na confluência do rio D'Antas, no baixo curso.

➤ Rio Macaé na confluência do rio São Pedro (baixo curso retificado)

As obras de retificação modificam completamente as características naturais de um canal fluvial. As alterações que são promovidas no seu leito, nas suas margens, na profundidade da calha e no seu grau de declividade alteram significativamente suas respostas, gerando assim, uma nova dinâmica em relação à situação anterior a retificação.

Na seção mais à jusante do baixo curso do rio Macaé (SSP-3), o quadro que se apresentou foi o de significativa variação nos picos de vazões, onde foram atingidos valores relativamente altos, que variaram de 10,97 m³/s a 78,36 m³/s.

A seção SSP-2 (à montante da confluência), apresentou em todas as medições das suas vazões valores menores do que as da seção SPE-3 (à jusante da confluência), expressando assim a contribuição das águas do rio São Pedro que desemboca no rio Macaé entre os dois perfis (Figura 6-25).

A seção SSP-2 apresentou inicialmente uma pequena tendência de aumento da sua vazão, que foi seguida por uma pequena queda. Já a seção SPE-3, apresenta uma acentuada tendência de aumento, acompanhada de queda, voltando a apresentar significativo aumento seguido também de significativa tendência de queda da vazão. Tais oscilações podem estar relacionadas a variações no volume de água recebida do rio São Pedro.

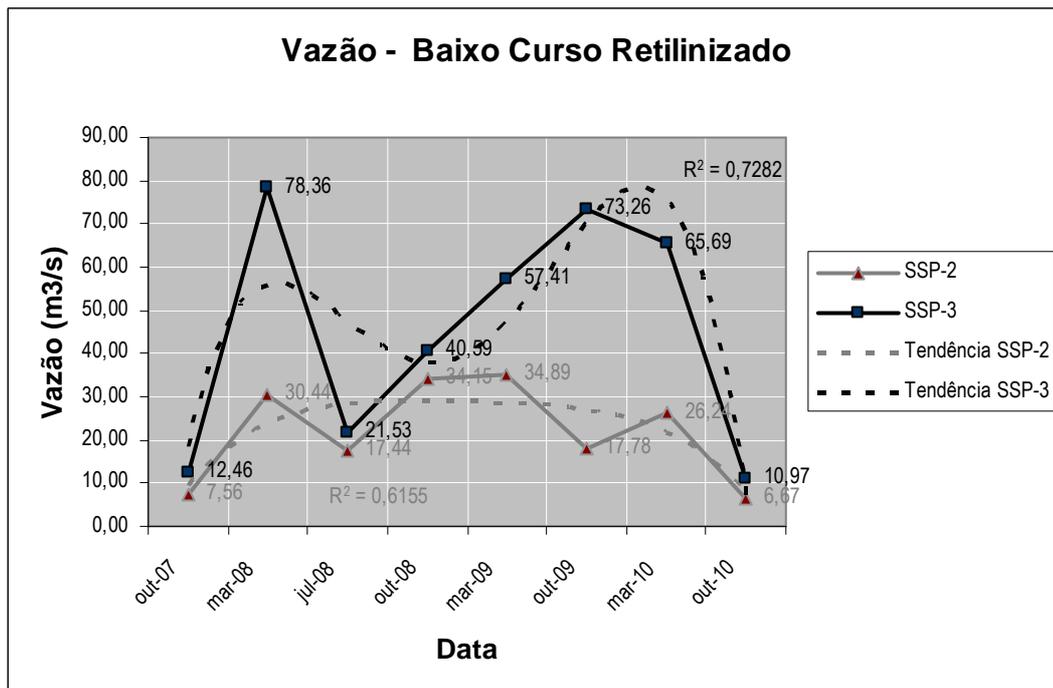


Figura 6-25 - Valores da vazão do rio Macaé, na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retilizado.

Apesar da vazão em determinadas seções transversais terem apresentado normalmente grande variabilidade, as mudanças neste parâmetro provocam alterações e ajustes em significativas variáveis fluviais, tais como na largura, profundidade, velocidade, rugosidade e concentração de sedimentos (Christofletti, 1981). Partindo deste quadro desenhado para as vazões manifestadas no rio Macaé, buscou-se compreender o grau de influência que esta apresentou em outras variáveis analisadas.

Os R^2 ou coeficiente de determinação obtidos para cada linha de tendência nos gráficos da vazão apresentam valores que variam de 0,2240 a 0,7282, expressando um grau de correspondência que oscila entre pouco confiável ao médio confiável. O valor 1 apresentado pelo gráfico da seção SBO-4 foi desprezado devido ao pequeno número de medições nela realizado.

iii. Descarga de sedimentos em suspensão (Q_{ss})

➤ Rio Macaé na confluência do rio Bonito (alto curso)

Nas medições realizadas em dois períodos de estiagem na seção SBO-4, a descarga de sedimentos manifestou valores relativamente baixos, contudo, coerentes por ser tratar de um canal fluvial rochoso do alto curso em uma área relativamente preservada em termos de vegetação (Figura 6-26).

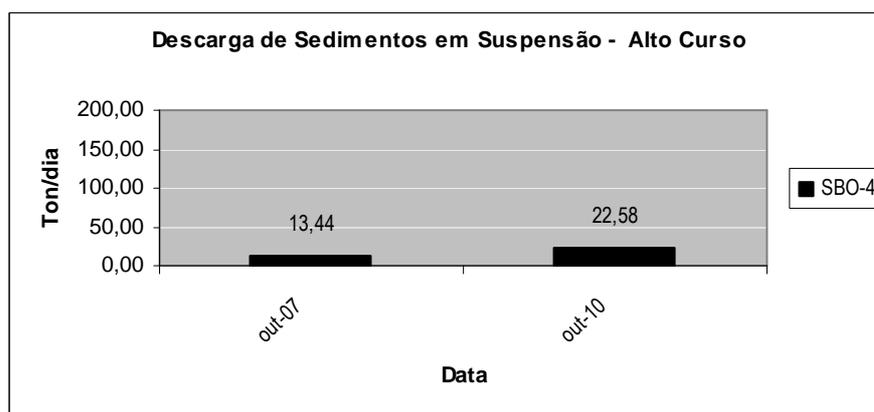


Figura 6-26 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio Bonito, no alto curso.

➤ Rio Macaé na confluência do rio Sana (médio curso)

A seção SSA-5, à montante da confluência, mostrou nos períodos de outubro/2007 e outubro/2010 uma descarga de sedimentos em suspensão significativamente baixa porém coerente com estação mais seca que ocorre neste período. Uma manifestação de grande aumento nesta descarga apresentada em outubro/2008 está relacionada ao pico de vazão ocorrido neste período conforme está assinalado no gráfico de vazão mostrado anteriormente. Tal fato está correlacionado ao excepcional índice de chuva média diária de 16,0 mm ocorrida em 03/10/08, dia anterior ao do monitoramento nesta seção, conforme mostrado no Anexo A.

Em março/2008 esta descarga se elevou exponencialmente nesta seção devido a maior quantidade de chuvas neste período na região, cuja média mensal de pluviosidade atingiu 418 mm.

Na seção SSA-6, à jusante da confluência, os mesmos períodos de outubro/2007 e outubro/2010 apresentaram valores expressivamente maiores para suas descargas em comparação com aqueles apresentados na seção anterior, tais aumentos podem estar relacionados à contribuição da descarga de sedimentos em suspensão recebida do rio Sana e/ou a intensificação de processos erosivos neste trecho do rio (Figuras 6-27 e 6-28).

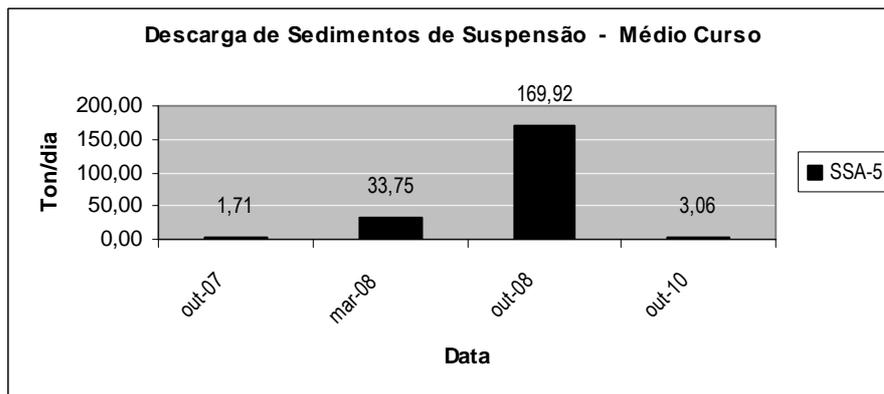


Figura 6-27 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, seção SSA-5 .

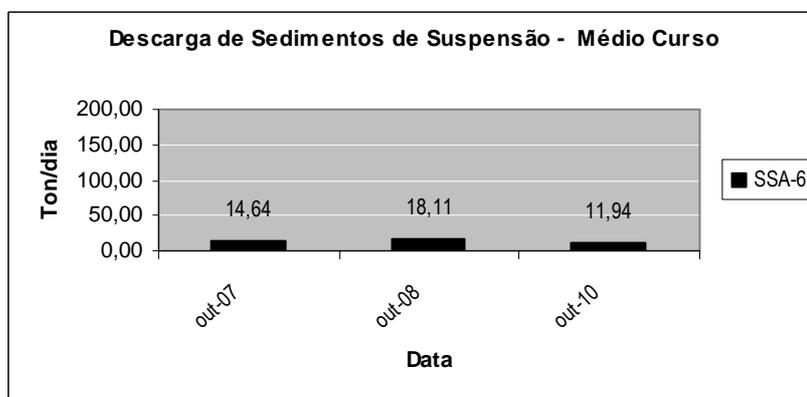


Figura 6-28 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, seção SSA-6.

➤ Rio Macaé na confluência do rio D'Antas (baixo curso)

A descarga de sedimentos em suspensão (Q_{ss}) nesta confluência manifestou nas suas duas seções (SCE-7 e SAN-8), no período de outubro/2007, valores relativamente baixos, sendo pouco maiores na seção SAN-8 à jusante do rio D'Antas. Estes valores refletem adequadamente a estação de estiagem da região, somada a contribuição da descarga de sedimentos deste afluente do rio Macaé.

A seção SCE-7, à montante da confluência, apresentou nos períodos de outubro/2008 e outubro/2010, expressivos aumentos na sua Q_{ss} , que podem estar relacionados a ocorrência de eventuais processos de erosão nas margens do canal fluvial conforme consta no banco de dados. Não constam nos registros do BDF_{sup} - Macaé-RJ nenhum aumento significativos das vazões nesta seção nos respectivos períodos. A seção 8 apresentou pequenos aumentos da sua Q_{ss} nestes dois períodos (Figuras 6-29 e 6-30).

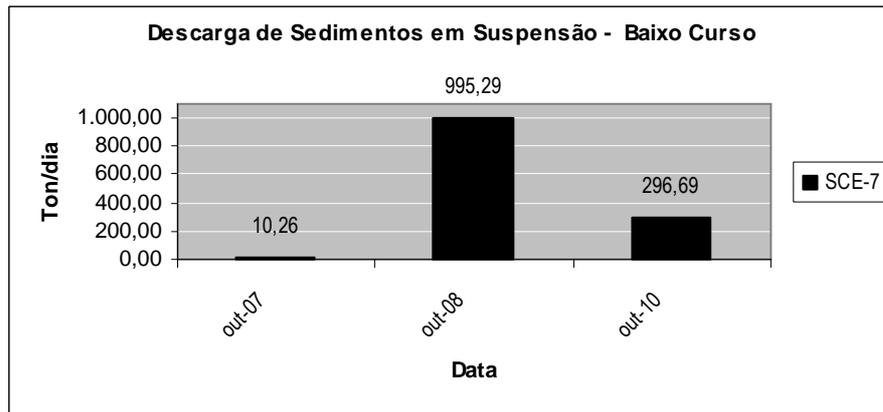


Figura 6-29 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio D'Antas, no baixo curso, na seção SCE-7.

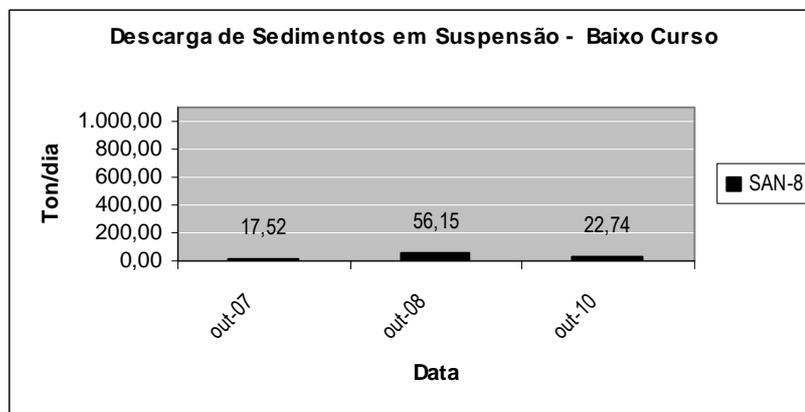


Figura 6-30 - Descarga de sedimentos em suspensão do Rio Macaé na confluência do rio D'Antas, no baixo curso, na seção SAN-8.

➤ Rio Macaé na confluência do rio São Pedro (baixo curso retificado)

As descargas apresentadas em outubro/2007 e março/2010 nas duas seções (SSP-2 e SSP-3), mostraram uma total adequação às variações entre as estações de estiagem e a chuvosa e, no caso da seção SSP-3 (à jusante da confluência), à contribuição da descarga de sedimentos em suspensão recebida do rio São Pedro.

Os aumentos das descargas de sedimentos em suspensão manifestados em março/2008, outubro/2008 e outubro/2010 na seção SSP-2 (à montante), podem ter se dado em consequência de processos erosivos ocorridos nesta seção, pois não constam registros de variação significativa das vazões nestes períodos.

Os expressivos valores no volume da descarga de sedimentos em suspensão manifestados na seção SSP-3 (à jusante da confluência) em março/2008 e março/2010 estão relacionados com os aumentos da vazão ocorrida nestes períodos (Figuras 6-31 e 6-32).

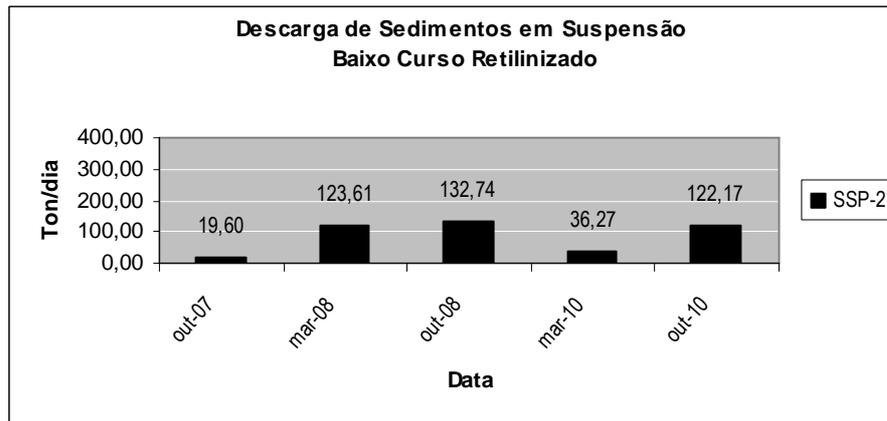


Figura 6-31 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retilizado, na seção SSP-2.

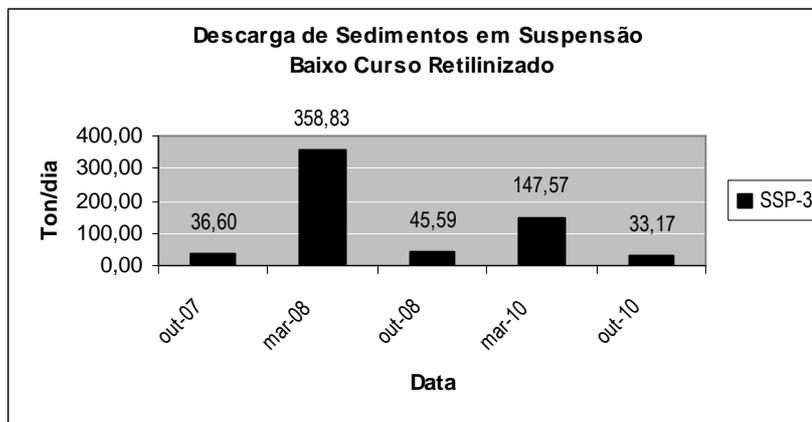


Figura 6-32 - Descarga de sedimentos em suspensão do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retilizado, na seção SSP-3.

iv. Curva de transporte de sedimentos

A análise da relação média entre carga de sedimentos em suspensão (Q_{ss}) e a vazão, segundo Glysson (1987), permite conhecer as estimativas da concentração de sedimentos em determinado período e projetar uma tendência para esta denominada Curva de Transporte de Sedimentos. Ao serem apresentados os dados relativos às curvas de transporte de sedimentos nos perfis do rio Macaé, os resultados foram os seguintes:

➤ Rio Macaé na confluência com o rio Bonito (alto curso)

Embora representado por um número pouco expressivo de medições realizadas, a curva de transporte de sedimentos do perfil do alto curso do rio Macaé (SBO-4, à jusante da

confluência) projetou uma diminuição significativa na concentração de sedimentos nesta seção para o período março/2007 a outubro/2010 (Figura 6-33).

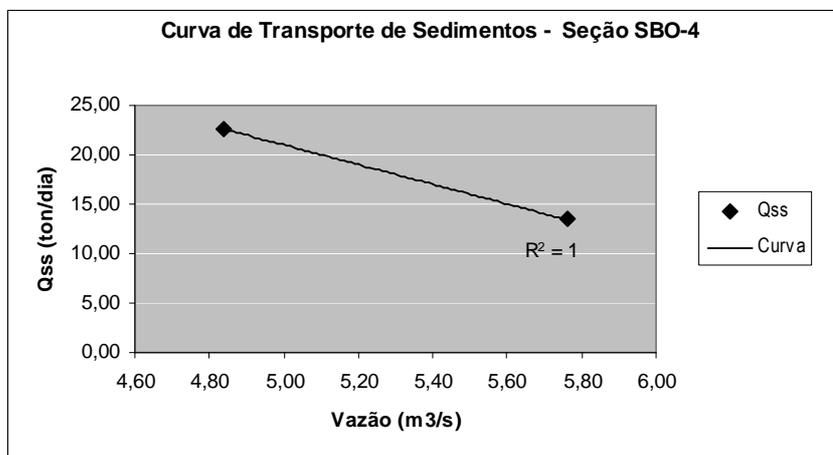


Figura 6-33 - Curva do transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio Bonito, no alto curso, período outubro/2007 a outubro/2010.

➤ Rio Macaé na confluência do rio Sana (médio curso)

A seção SSA-5, situada no médio curso do rio Macaé, à montante da confluência, apresenta na sua curva de transporte de sedimentos tendência de queda seguida de uma acentuada elevação na sua concentração de sedimentos. Por sua vez, a seção à jusante projeta tendência suave de elevação (Figuras 6-34 e 6-35).

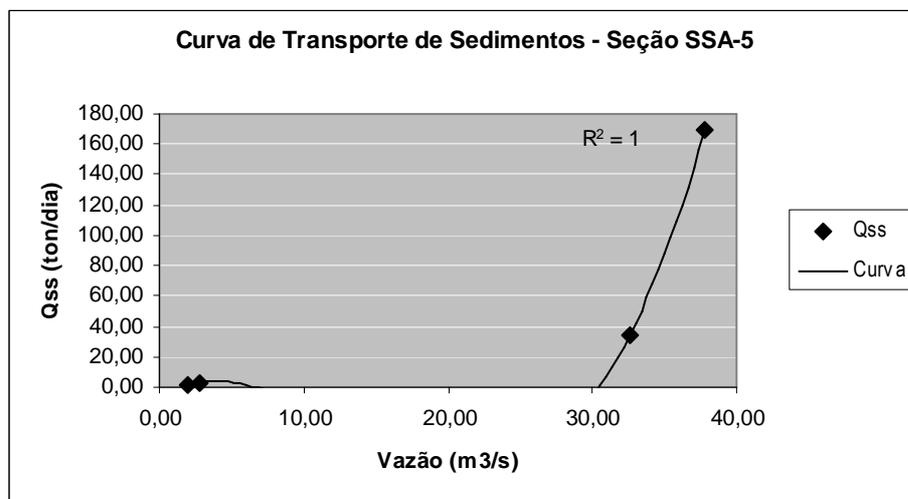


Figura 6-34 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio Sana, seção SSA-5 no médio curso, período outubro/2007 a outubro/2010.

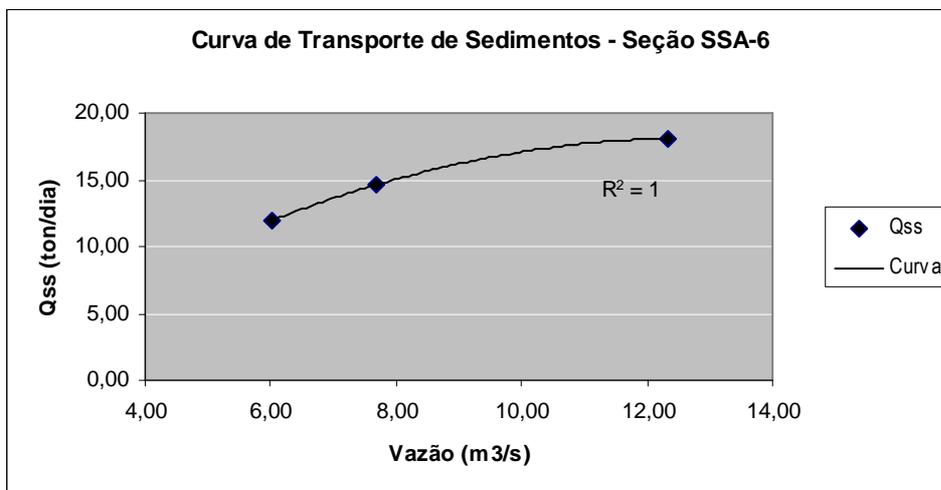


Figura 6-35 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do Sana, seção SSA-6 no médio curso, no período outubro/2007 a outubro/2010.

➤ **Rio Macaé na confluência com o rio D'Antas (baixo curso)**

A seção SCE-7 (à montante da confluência) apresentou significativa tendência de aumento na concentração de sedimentos, enquanto a seção SAN-8, à jusante do rio D'Antas, manifestou queda seguida de expressiva tendência de elevação nesta concentração (Figuras 6-36 e 6-37).

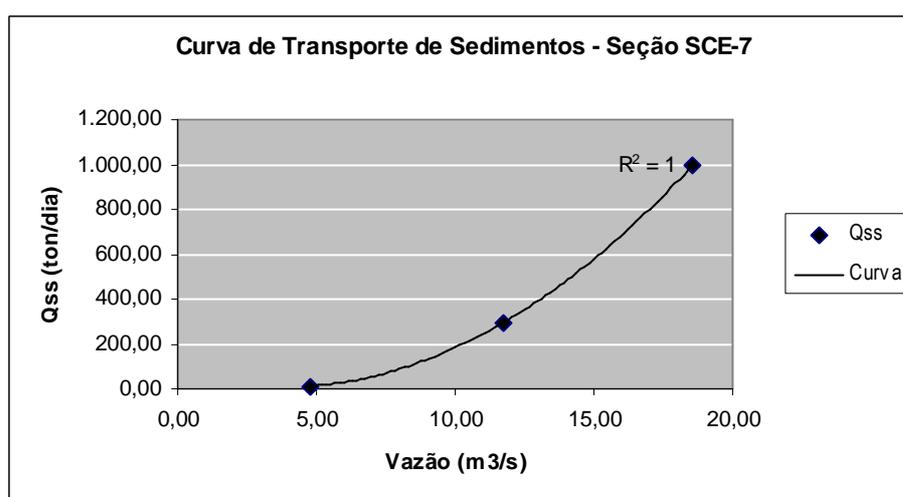


Figura 6-36 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do D'Antas, seção SCE-7 no baixo curso no período outubro/2007 a outubro/2010.

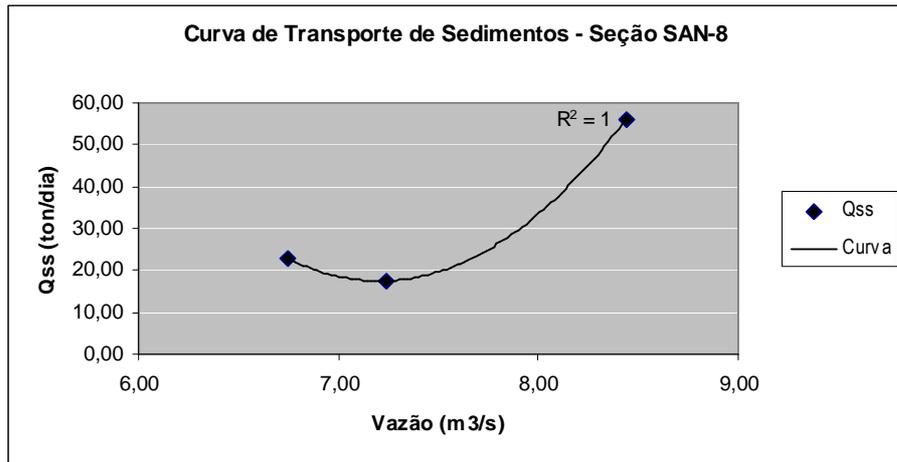


Figura 6-37 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio D'Antas, seção SAN-8 no baixo curso, no período outubro/2007 a outubro/2010.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio São Pedro (baixo curso retificado)**

Na seção SPE-2, à montante da confluência do rio São Pedro, a curva de transporte de sedimentos projetou inicialmente uma acentuada tendência de queda seguida de expressivo aumento da concentração de sedimentos. (Figuras 6-38 e 6-39).

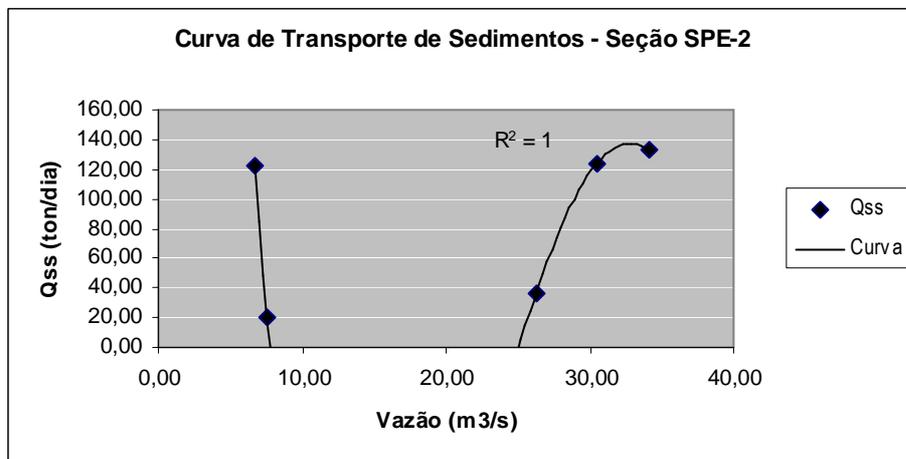


Figura 6-38 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, seção SSP-2 no baixo curso retificado, no período outubro/2007 a outubro/2010.

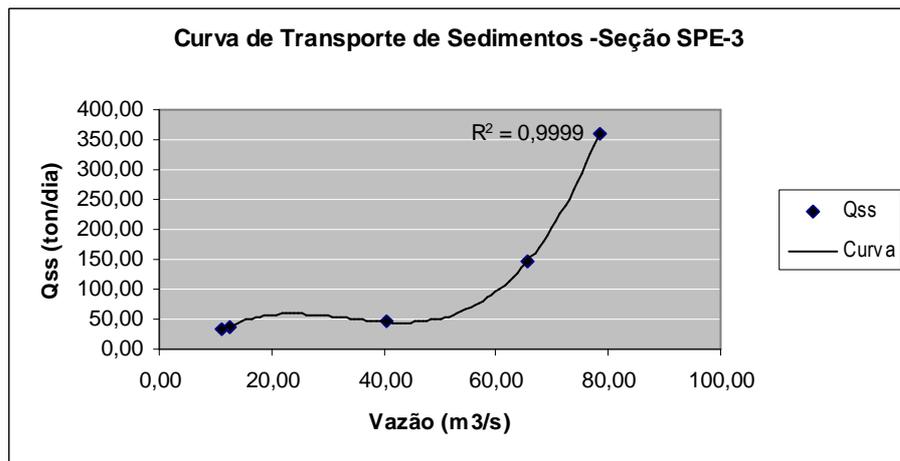


Figura 6-39 - Curva de transporte de sedimentos do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, seção SSP-3 no baixo curso retificado, no período outubro/2007 a outubro/2010.

Em todos os gráficos, a curva de transporte de sedimentos foi obtida por meio de linha de tendência logarítmica por essa apresentar um melhor ajuste quando as taxas de alterações dos dados aumentam ou diminuem rapidamente.

Os R^2 ou coeficiente de determinação obtidos para cada linha de tendência nos gráficos da curva de transporte de sedimentos apresentam valores que variam de 0,9999 e 1, expressando um grau de correspondência confiável ao médio confiável. O valor 1 apresentado pelos gráficos das seções SBO-4, SSA-6, SAN-8 e SCE-7 foram desprezados devido ao pequeno número de medições realizadas. As linhas de tendências nos gráficos SSA-5 e SPE-2, por assumirem também valores negativos, ficam fora do gráfico em determinados trechos.

v. Relação largura/profundidade do canal

De acordo com o *International Union of Geological Sciences* (2006) a razão largura/profundidade é uma das características físicas dos canais fluviais que são afetadas, entre outros fatores, pela taxa de fluxo. O valor desta razão tende a aumentar com a ocorrência de erosão das margens do canal fluvial e também com o aumento da carga de sedimentos grosseiros. O valor assumido por esta razão, segundo Leopold *et al.* (1964), pode ser indicativo de processo de agradamento do canal.

Na apresentação dos dados referentes às variações da razão entre a largura e a profundidade do canal do rio Macaé os resultados obtidos foram os seguintes:

➤ **Rio Macaé na confluência do rio Bonito (alto curso)**

Na seção SBO-4, a razão largura/profundidade apresentou duas distintas manifestações ao longo do período analisado. Inicialmente, apresentou suave diminuição desta razão, seguida também, de suave aumento (Figura 6-40). A seção apresenta suave tendência de aumento desta razão.

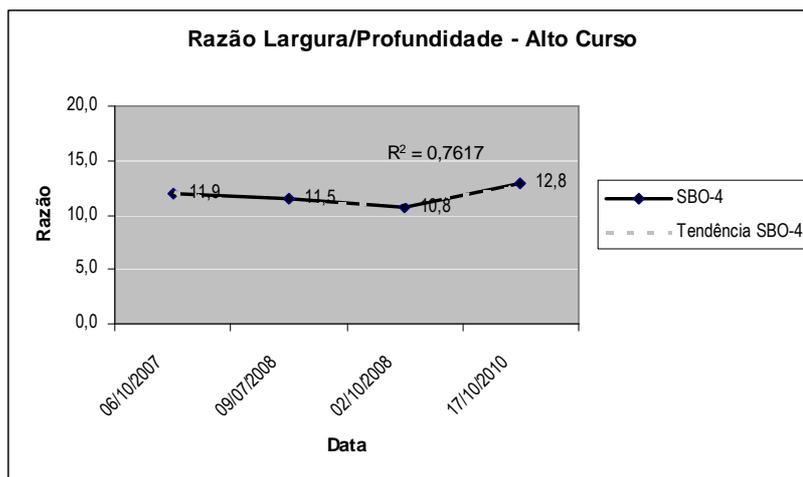


Figura 6-40 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio Bonito, no alto curso, na seção SBO-4.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio Sana (médio curso)**

Na sua seção à montante da confluência no seu médio curso (SSA-5), a razão largura/profundidade apresentou ao longo do período, apenas pequenas variações do seu valor, oscilando entre 11,5 e 12,8, com exceção de março/2010 quando ocorreu um expressivo aumento que praticamente duplicou esta razão, para retornar em seguida a valores mais baixos. Este aumento deve estar relacionado ao índice recorde de media de chuvas mensais registrado neste período, conforme o Anexo A, o qual alcançou 445 mm, tendo sido o maior valor registrado para o mês de março nos quatro anos de monitoramento.

Por outro lado, na seção SSA-6 localizada à jusante do rio Sana, embora tenha manifestado maiores valores para esta razão, apresentou variação menos intensa ao longo de todo o período, oscilando entre 16,1 e 16,4. Ambas as seções mostraram suave oscilação, seguida de pequena tendência de queda desta razão (Figuras 6-41 e 42).

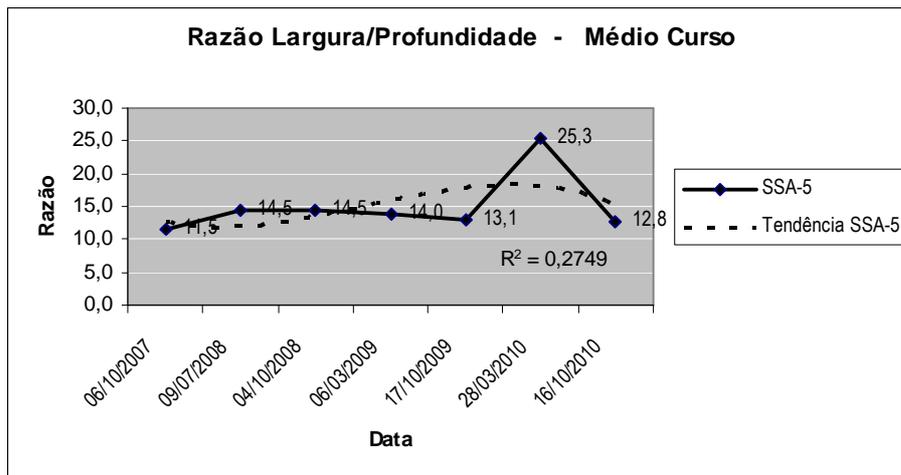


Figura 6-41 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, na seção SSA-5.

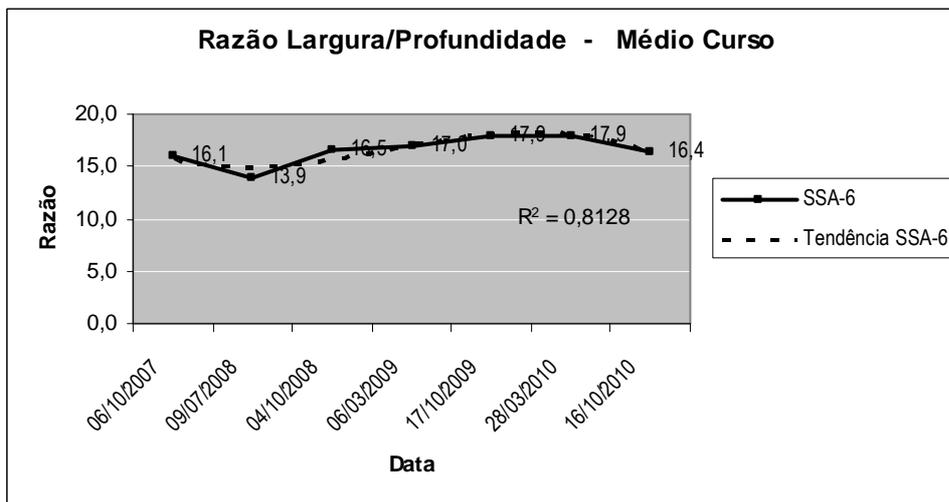


Figura 6-42 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, na seção SSA-6.

➤ Rio Macaé na confluência com o rio D'Antas (baixo curso)

Em sua seção SCE-7, à montante da confluência, no baixo curso do rio, a razão largura/profundidade manifestou-se predominantemente com suave crescimento ao longo dos períodos mensurados e com uma única manifestação de pequena queda tendo retomado em seguida o seu crescimento.

Já na seção SAN-8, à jusante da confluência do rio D'Antas ocorreu uma oscilação pouco mais acentuada nesta razão, tendo havido três distintas ocorrências: um período de leve crescimento, seguido por outro de leve diminuição e culminando com um crescimento um pouco mais intenso (Figuras 6-43 e 6-44). Nas duas seções, as linhas de tendências mostraram suave oscilação projetando uma tendência de aumento desta razão.

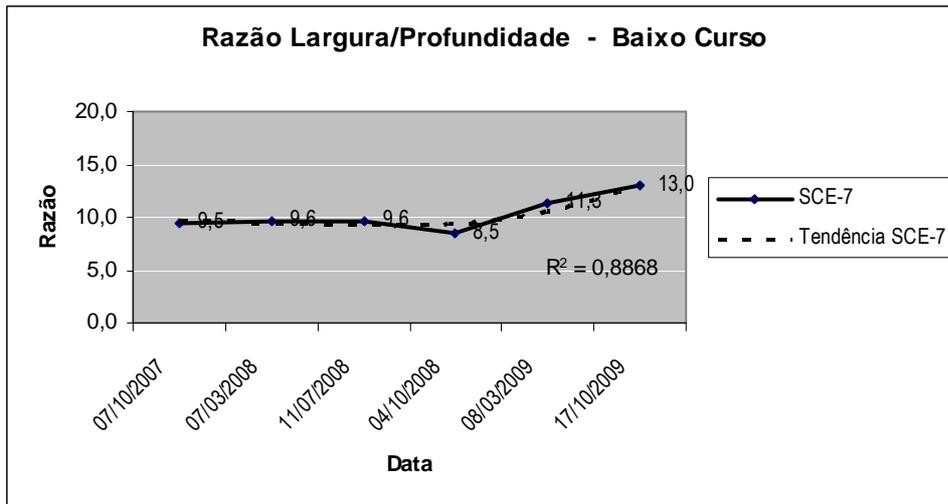


Figura 6-43 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio D'Antas, no baixo curso, na seção SCE-7.

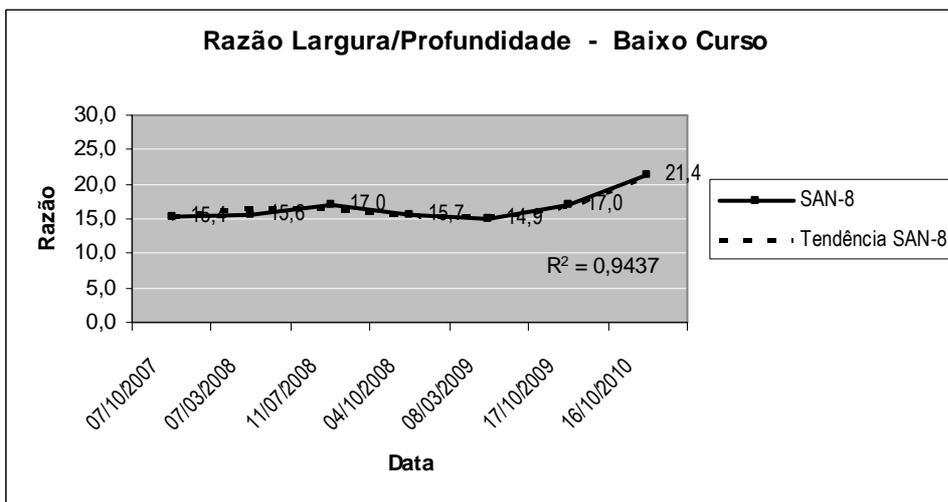


Figura 6-44 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio D'Antas, no baixo curso, na seção SAN-8.

➤ Rio Macaé na confluência do rio São Pedro (baixo curso retificado)

Nas seções do trecho retificado do rio Macaé, diferentemente dos apresentados anteriormente, a razão entre largura/profundidade apresentou picos de oscilações que tenderam a se repetirem, mais marcadamente na seção SSP-3 à jusante da confluência do rio São Pedro.

Na seção à montante da confluência do rio São Pedro (SSP-2), constatou-se uma tendência de pequena diminuição desta razão. Por sua vez, a seção SSP-3, à jusante da confluência, mostrou pequena tendência de queda, seguida de suave elevação desta razão (Figuras 45 e 46).

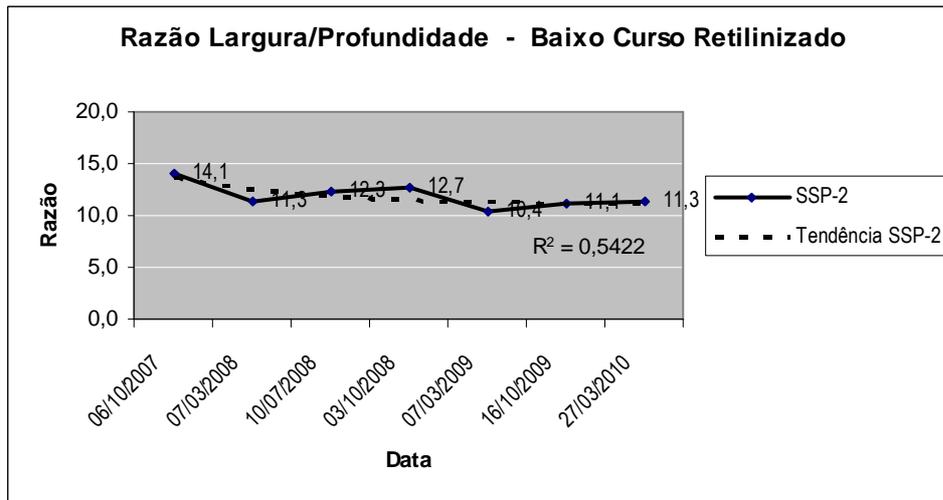


Figura 6-45 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retificado, na seção SSP-2.

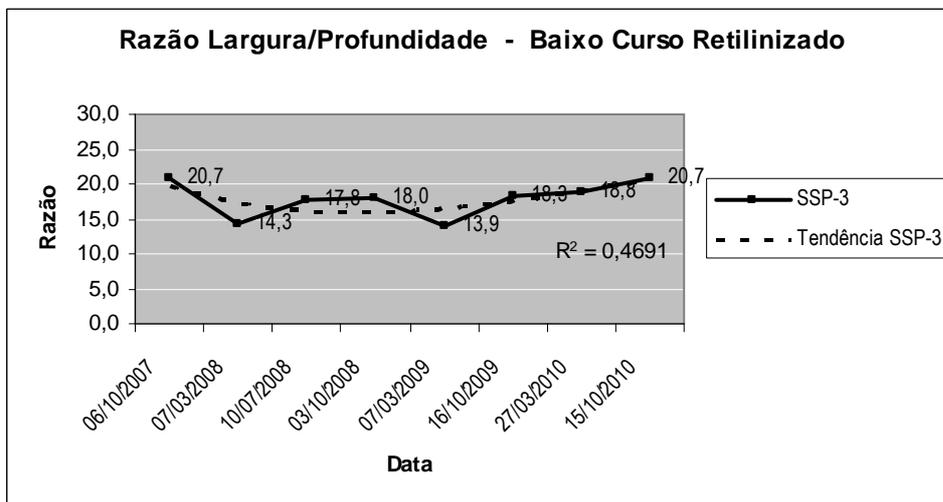


Figura 6-46 - Razão largura/profundidade do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retificado, na seção SSP-3.

A tendência no aumento da razão largura/profundidade que, de uma forma geral, foi manifestada nas seções do rio Macaé, pode expressar, segundo teorias propostas por Schumm, *apud* Leopold, L.B. *et al.* (1964) possível ocorrência de agradação nos trechos apresentados.

Esta tendência sinalizou prováveis mudanças nas taxas de fluxo e/ou na descarga de sedimentos e/ou no tipo de carga de sedimentos, em termos da razão da carga em suspensão e a de fundo, assim como pode estar relacionada à ocorrência de erosão das margens do canal e ao aumento da carga de sedimentos mais grosseiros (*International Union of Geological Sciences*, 2006).

Os R^2 ou coeficiente de determinação obtidos para cada linha de tendência nos gráficos da razão largura/profundidade apresentam valores que variam de 0,2749 a 0,9437, expressando um grau de correspondência que oscila entre pouco confiável e o confiável.

6.2.1.2. Forma da calha

vi. Variação da profundidade média na seção transversal

➤ Rio Macaé na confluência do rio Bonito (alto curso)

Para a medição deste parâmetro tomou-se como referência o cabo de aço tensionado sobre o canal fluvial, entre duas estacas fixas de tubos de aço fincadas em cada nas margens do rio na seção transversal, a partir do qual foram feitas as medidas da profundidade do canal. O cálculo da variação profundidade foi obtido a partir da média aritmética das distâncias entre este cabo de aço e o fundo do canal a partir das margens plenas do rio na seção transversal, tendo fornecido os seguintes resultados:

A seção do seu alto curso (SBO-4, à jusante da confluência do rio Bonito) manifestou pequenas variações, apresentando pequena tendência de oscilação entre a diminuição e o aumento de sua profundidade média (Figura 47).

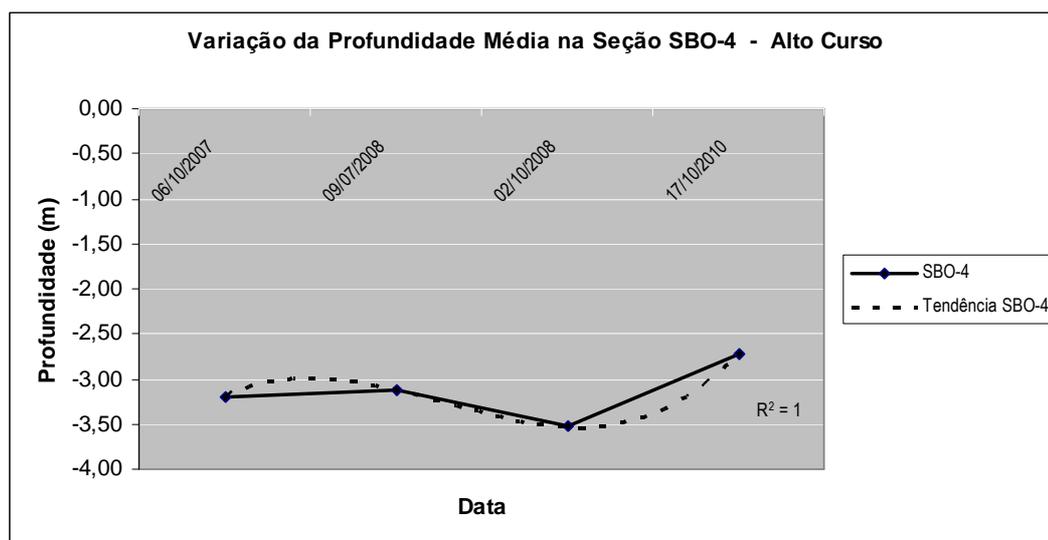


Figura 6-47 - Variação da profundidade média no rio Macaé na confluência do rio São Pedro, seção SBO-4 no alto curso.

➤ Rio Macaé na confluência do rio Sana (médio curso)

O canal fluvial manifestou, nas duas seções do seu médio curso, comportamentos distintos na variação das suas profundidades médias. A seção à montante da confluência do rio Sana (SSA-5), no período de outubro/2007 a março/2009 teve variações suaves de aumento na sua profundidade média, sendo seguida de picos expressivos entre março/2009 e outubro/2010. Por sua vez na seção à jusante (SSA-6) prevaleceu a manifestação de variação mais branda de diminuição e aumento da profundidade média sem a ocorrência de picos expressivos no período entre julho/2008 e outubro/2010.

A seção SSA-5 manifesta inicialmente uma suave tendência que oscila entre o aumento e a diminuição da sua profundidade média, tornando-se mais expressiva no final. Já a seção SSA-6 apresenta uma leve tendência de oscilação entre o aumento e a queda deste parâmetro. (Figura 6-48).

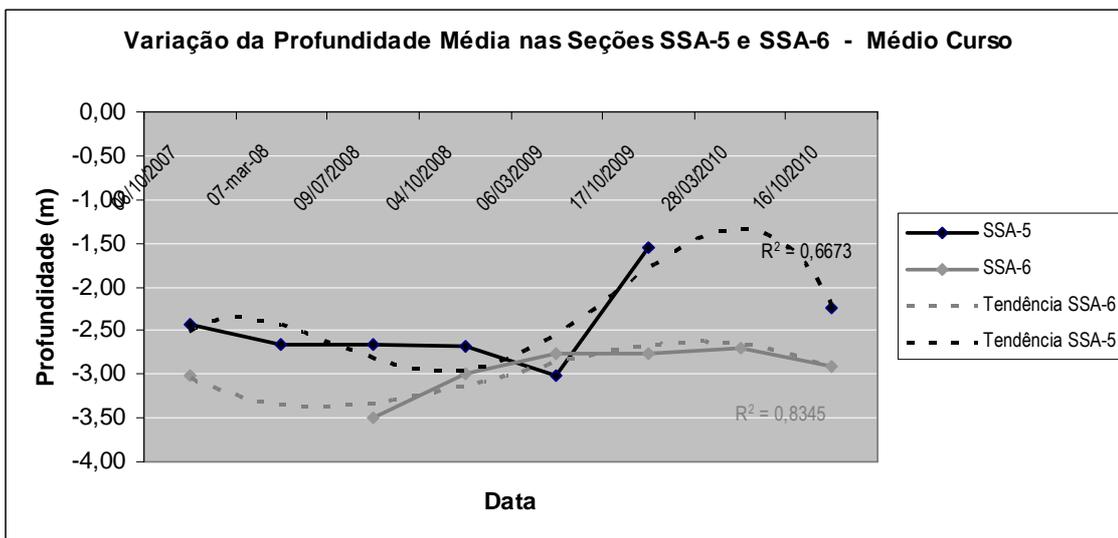


Figura 6-48 - Variação da profundidade média no rio Macaé na confluência do rio Sana, no médio curso, nas seções SSA-5 e SSA-6.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio D’Antas (baixo curso)**

As duas seções do baixo curso mostram, desde 2008, pequena mas constante diminuição das suas calhas, tendo a seção SCE-7 (à montante da confluência) apresentado maior intensidade na variação de sua profundidade média.

Enquanto a seção SCE-7 manifesta uma significativa tendência de diminuição na variação da sua profundidade média, na seção SAN-8 esta tendência se dá de forma mais suave ao longo do período. (Figura 6-49).

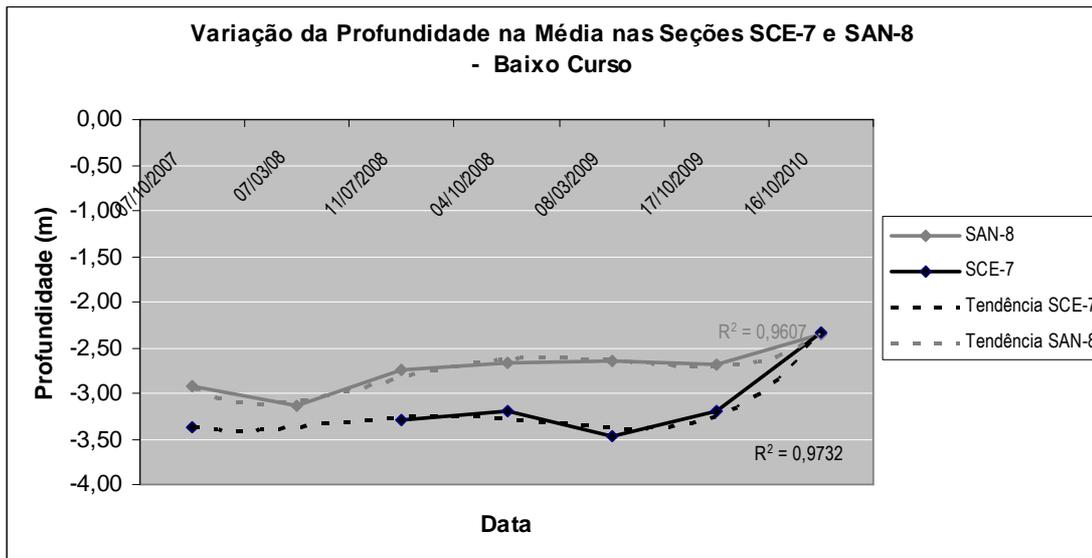


Figura 6-49 - Variação da profundidade média do rio Macaé na confluência do rio D’Antas, no baixo curso, nas seções SAN-8 e SCE-7.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio São Pedro (baixo curso retilizado)**

A seção SSP-2, situada à montante da confluência do rio São Pedro, manifestou pequena variação da sua profundidade média ao longo do período, enquanto a seção SSP-3 apresenta inicialmente uma variação mais expressiva, para em seguida quase se estabilizar.

Esta primeira seção apresenta uma suave tendência de aumento da sua profundidade média na seção transversal, enquanto a seção SSP-3, ao contrário, manifesta uma suave tendência de diminuição deste parâmetro. (Figura 6-50).

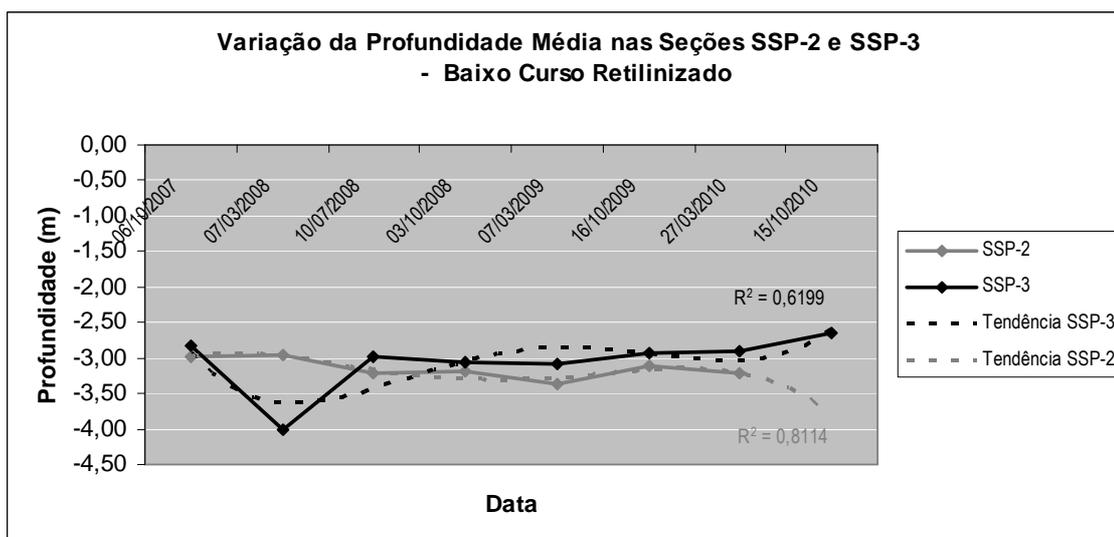


Figura 6-50 - Variação da profundidade média do rio Macaé na confluência do rio São Pedro, no baixo curso retilizado, nas seções SSP-2 e SSP-3.

A variação da profundidade média da calha do rio Macaé, apresentou nas seções SCE-7 e SAN-8 uma expressiva tendência de diminuição dos seus valores o que, de uma forma geral, é coerente com os resultados que foram obtidos na análise dos dados referentes à relação entre a largura e a profundidade nestas mesmas seções. Na medida em que a análise da relação largura/profundidade apresentou como resultado, uma tendência de aumento da razão entre estes dois parâmetros, tal fato vem validar a tendência de diminuição da profundidade média da calha.

Os R^2 ou coeficiente de determinação obtidos para cada linha de tendência nos gráficos da variação da profundidade média nas seções transversais apresentam valores que variam de 0,6199 a 0,9732, expressando um grau de correspondência que oscila entre médio confiável ao confiável. O valor 1 apresentado pelo gráfico da seção SBO-4 foi desprezado devido ao pequeno número de medições nela realizado.

vii. Alterações na forma das seções transversais (erosão e preenchimento)

➤ Rio Macaé na confluência do rio Bonito (alto curso)

A seção transversal à jusante da confluência do rio Bonito (SBO-4), é um canal de leito de blocos e matacões encaixado num vale rochoso, sendo por essa razão sujeita a poucas modificações.

Nos três períodos nos quais foram realizadas suas medições (outubro/2007; julho/2008 e outubro/2010) observou-se que em julho/2008 a seção praticamente não apresentou alterações significativas em suas margens e no seu leito, em relação a sua situação em outubro/2007.

Nesta seção, em outubro/2010, suas margens apresentaram alterações pouco expressivas, enquanto no leito fluvial se deu a ocorrência de um processo de preenchimento causando pequena sobrelevação, em cerca de 0,50m. Nos três períodos analisados a posição do talvegue no canal fluvial apresentou deslocamento pouco expressivo.

A dinâmica dos processos na seção SBO-4 ao longo dos períodos de monitoramento apresentou as seguintes configurações observadas nas Figuras 6-50 A, B e C:

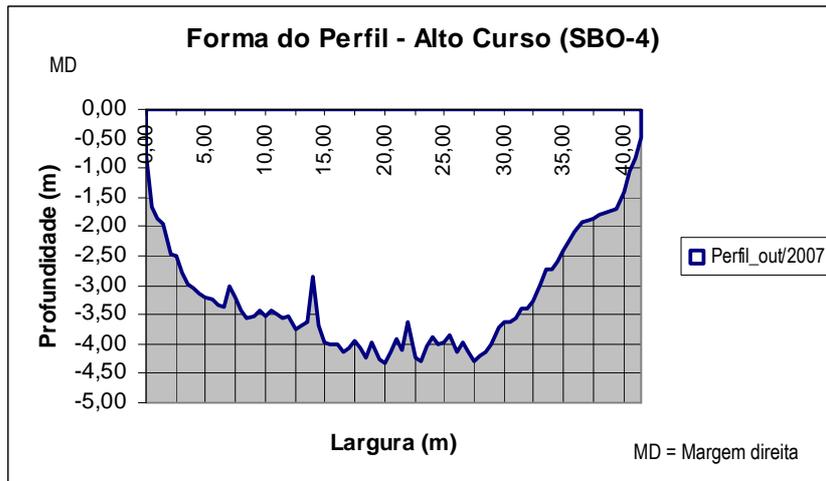


Figura 6-51 A - Configuração da seção transversal SBO-4 do rio Macaé à jusante da confluência do rio Bonito - outubro/2007.

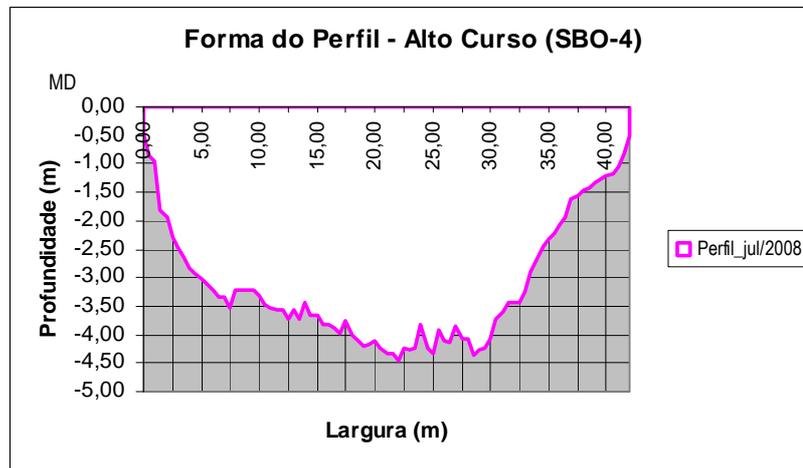


Figura 6-51 B - Configuração da seção transversal SBO-4 do rio Macaé à jusante da confluência do rio Bonito - julho/2008.

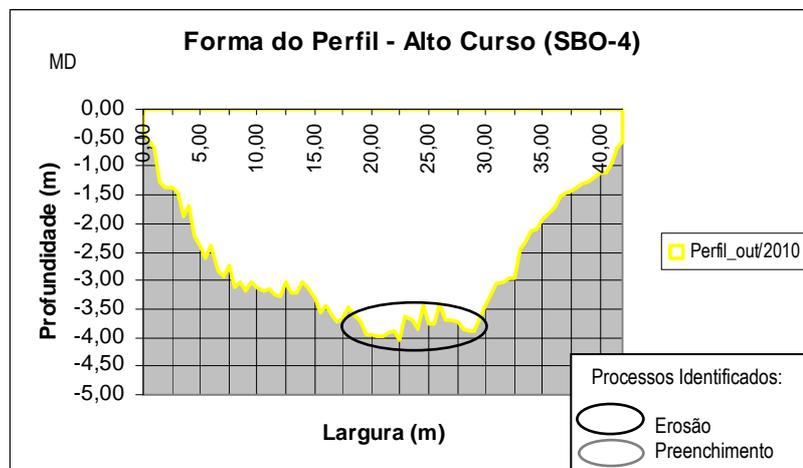


Figura 6-51 C - Configuração da seção transversal SBO-4 do rio Macaé à jusante da confluência do rio Bonito - outubro/2010.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio Sana (médio curso)**

A seção SSA-5 à montante da confluência do rio Sana, no médio curso do rio Macaé, apresentou nas medições realizadas no ano de 2008, inicialmente a ocorrência de processo de preenchimento em julho/2008, que foi seguido por expressivo processo de erosão em outubro/2008, o qual provocou rebaixamento do seu talvegue em quase 1,00 m. Em março/2009 a seção apresentou-se um pouco mais erodido no seu leito causando um pequeno rebaixamento do canal, em torno de 0,50m.

Nos períodos estudados as alterações manifestadas nas margens do canal são pouco significativas, o que expressa uma relativa estabilidade das mesmas. Em outubro/2010 esta seção sofreu mudança na posição da estaca da margem direita, impossibilitando a sua análise em relação aos demais perfis.

A dinâmica dos processos nesta seção ao longo dos períodos de monitoramento, apresentou as seguintes configurações observadas nas figuras 6-52 A, B, C, D e E:

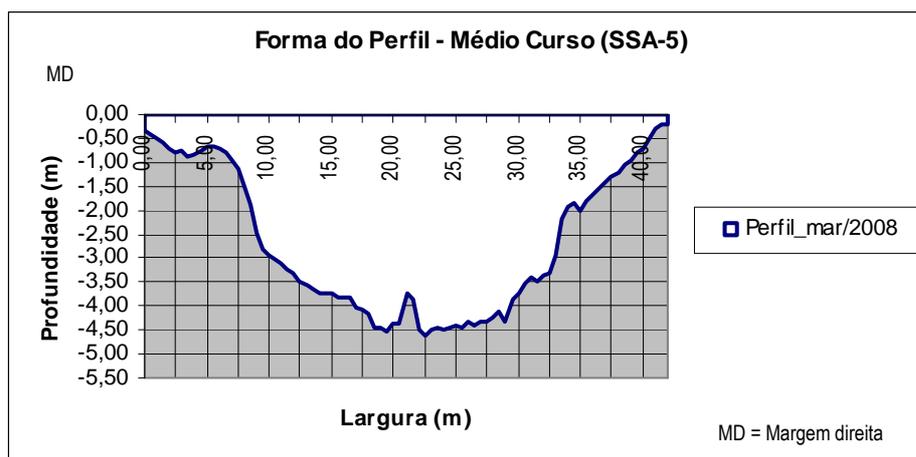


Figura 6-52 A - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana- março/2008.

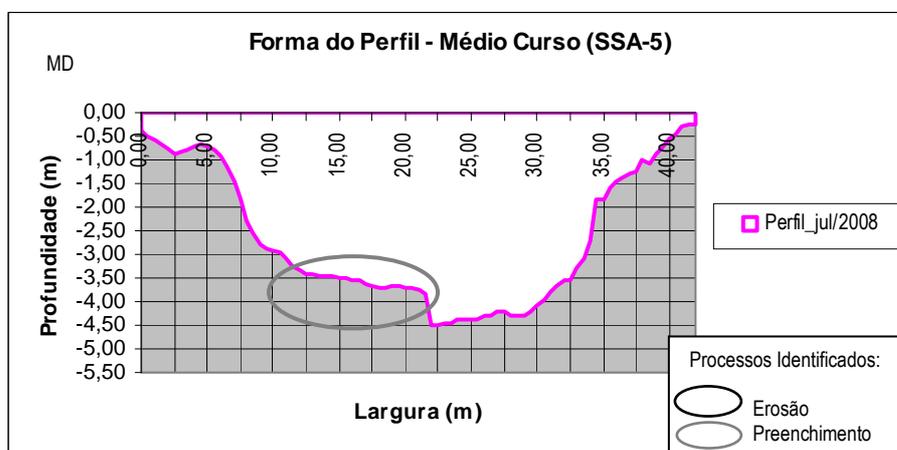


Figura 6-52 B - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana- julho/2008.

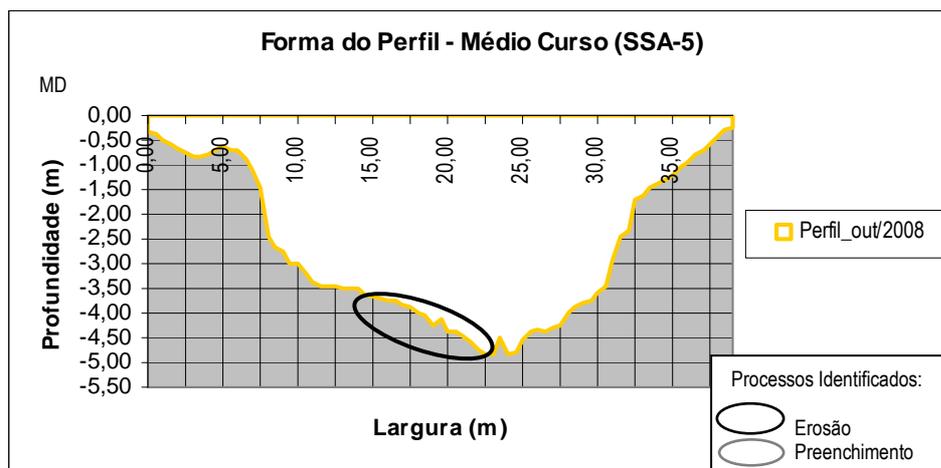


Figura 6-52 C - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana - outubro/2008.

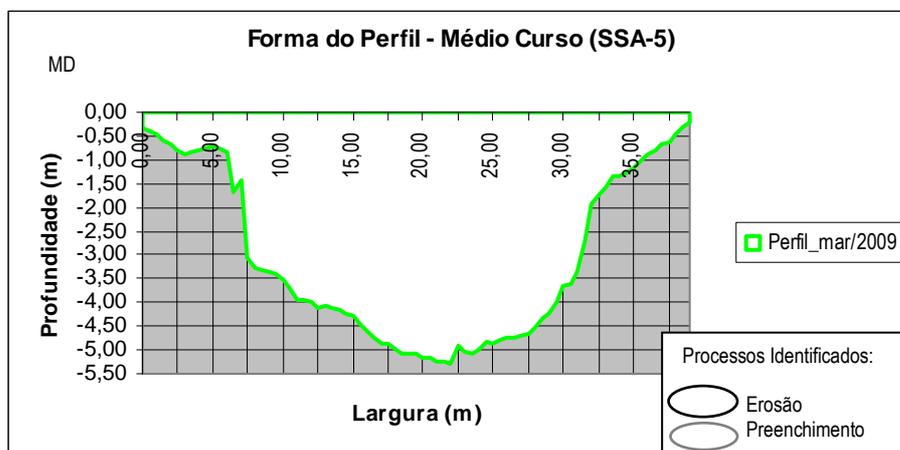


Figura 6-52 D - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana - março/2009.

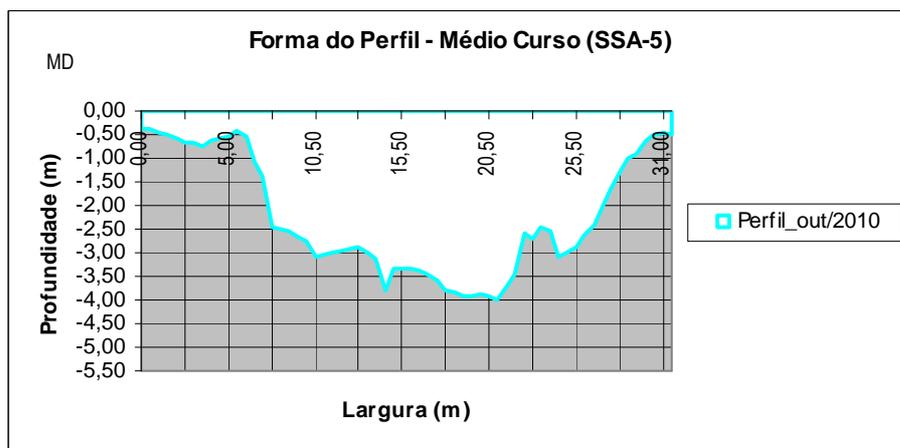


Figura 6-52 E - Configuração da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana - outubro/2010.

Na seção SSA-6 à jusante da confluência do rio Sana, também localizado no médio curso, cujo leito do canal é predominantemente formado de seixos, blocos e matacões, se deu

a ocorrência de um expressivo processo de erosão entre outubro/2007 e julho/2008, o qual provocou rebaixamento de aproximadamente 1.00 m no leito do canal. Nos períodos de março/2009, outubro/2009 e março/2010 predominaram a ocorrência de significativo processo de preenchimento gerando a sobrelevação do leito do canal. Em outubro/2010 a seção voltou a sofrer significativo processo de erosão.

Apesar dessas modificações no seu leito rochoso, as margens do canal fluvial neste perfil mostraram grande estabilidade, apresentando poucas modificações nestes períodos.

A dinâmica dos processos nesta seção ao longo dos períodos de monitoramento, apresentou as seguintes configurações observadas nas figuras 6-53 A, B, C, D, E e F:

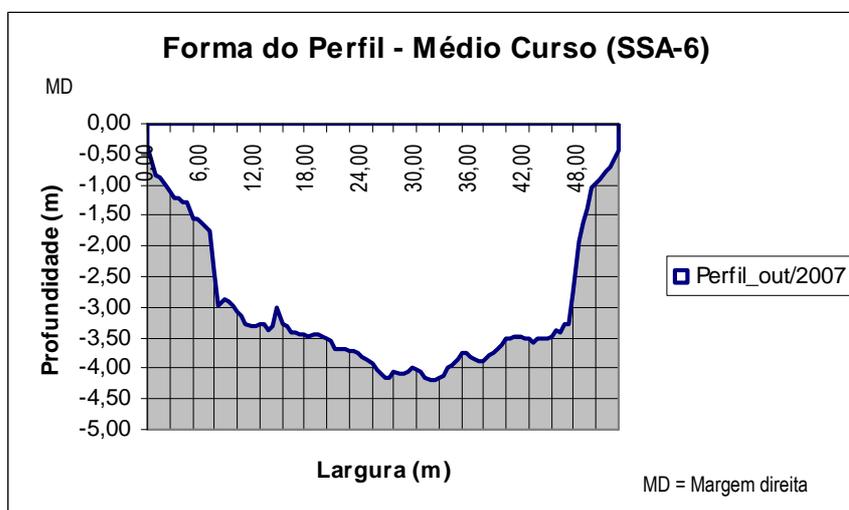


Figura 6-53 A – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana- outubro/2007

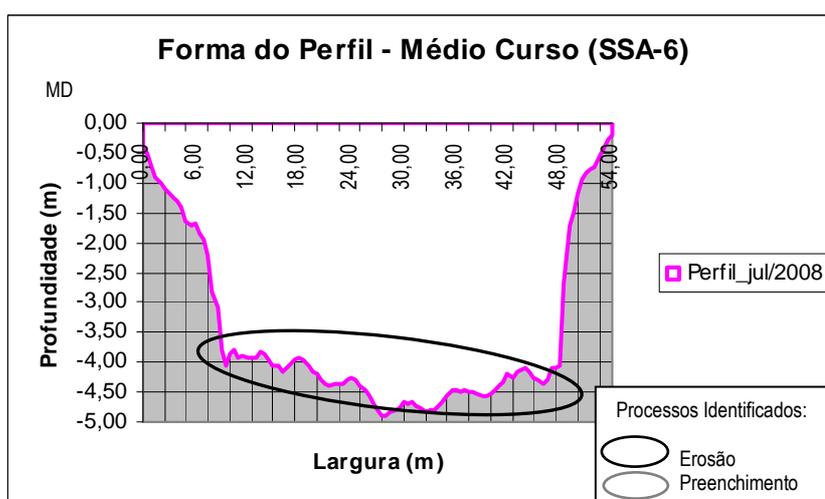


Figura 6-53 B – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana - julho/2008.

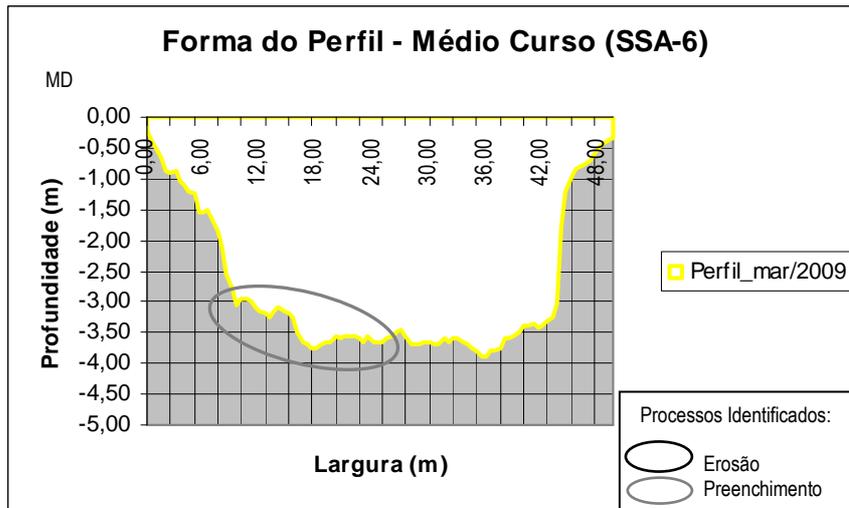


Figura 6-53 C – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana - março/2009.

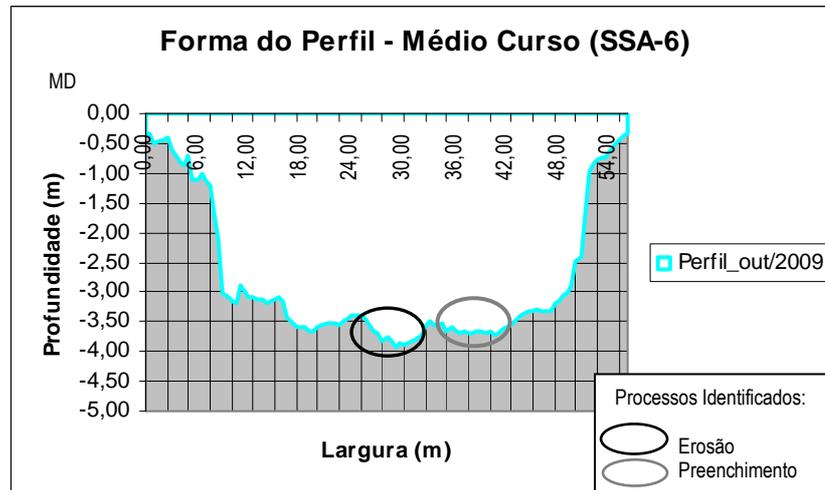


Figura 6-53 D – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana- outubro/2009.

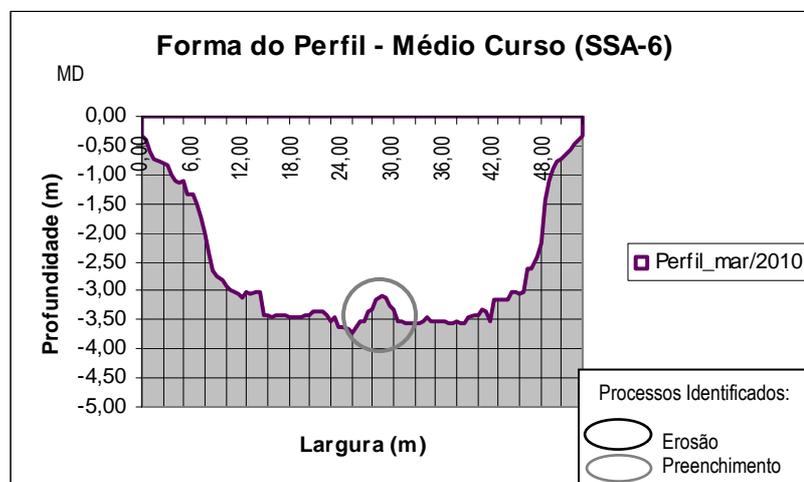


Figura 6-53 E – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana - março/2010.

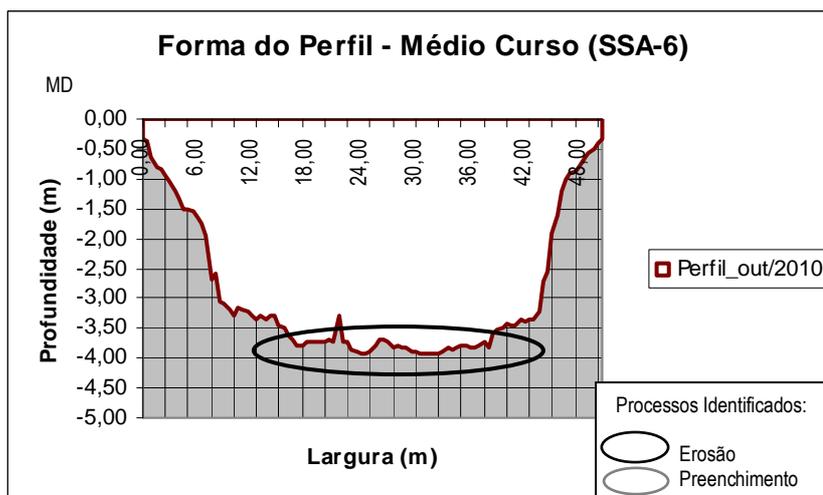


Figura 6-53 F – Configuração da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana - outubro/2010.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio D’Antas (baixo curso)**

Na seção SCE-7 à montante da confluência do rio D’Antas, no baixo curso, cujo leito é formado predominantemente por seixos, blocos e matacões, entre julho/2008 e março/2009 o canal sofreu um expressivo processo de erosão, que provocou o rebaixamento da sua calha em cerca de 1,00 m. No período de outubro/2009 e outubro/2010, a seção transversal apresentou intenso processo de preenchimento, o qual provocou sobrelevação do leito do canal em toda sua extensão, chegando até mesmo a ultrapassar os valores apresentado no início do monitoramento em outubro/2007.

As margens do canal apresentaram sinais de processo de erosão, que se intensificaram nos períodos de março/2009 e outubro/2010. Ocorreu um significativo deslocamento do talvegue entre os períodos de jul/08 à outubro/2010.

A dinâmica dos processos nesta seção ao longo dos períodos de monitoramento, apresentou as seguintes configurações observadas nas figuras 6-54 A, B, C, D e E:

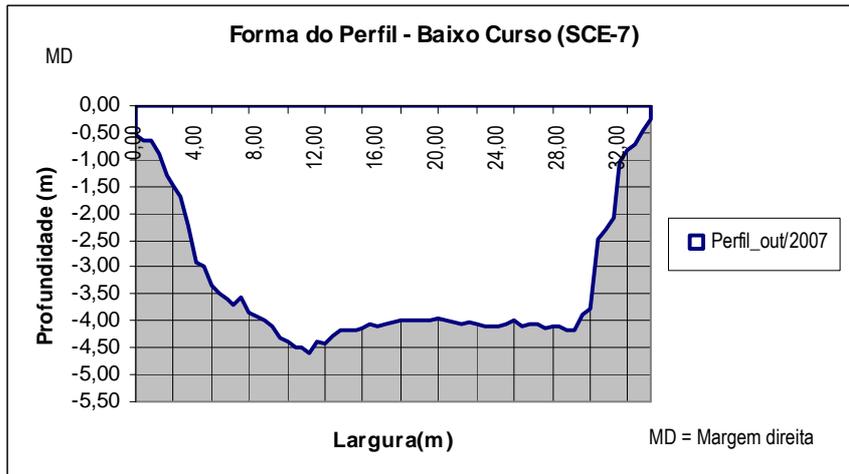


Figura 6-54 A - Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas - outubro/2007.

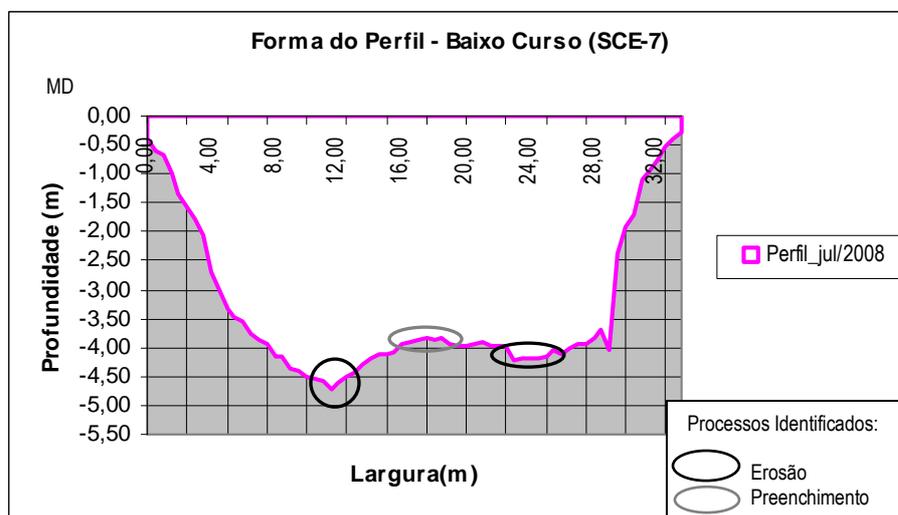


Figura 6-54 B - Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas - julho/2008.

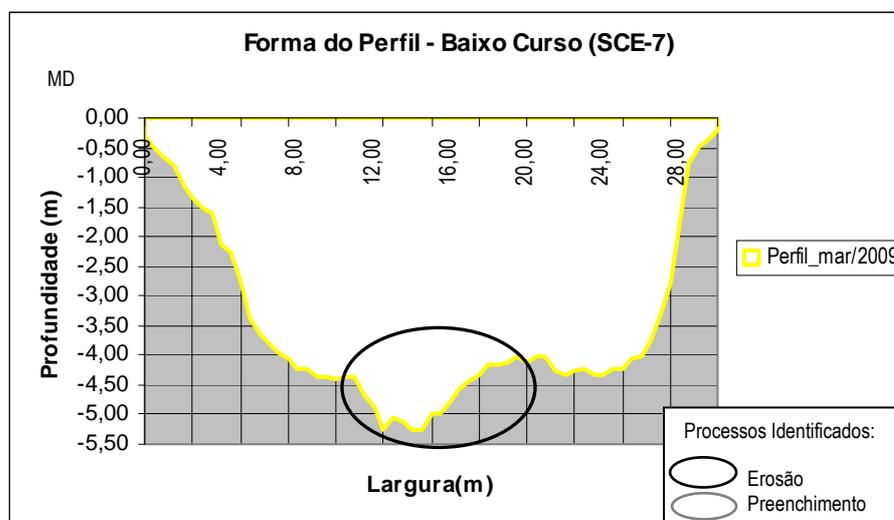


Figura 6-54 C - Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas - março/2009.

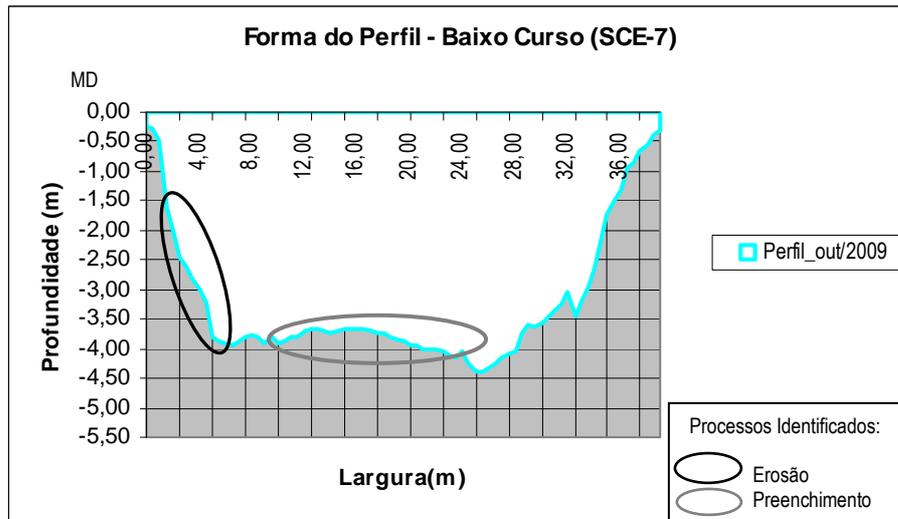


Figura 6-54 D – Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D’Antas - outubro/2009.

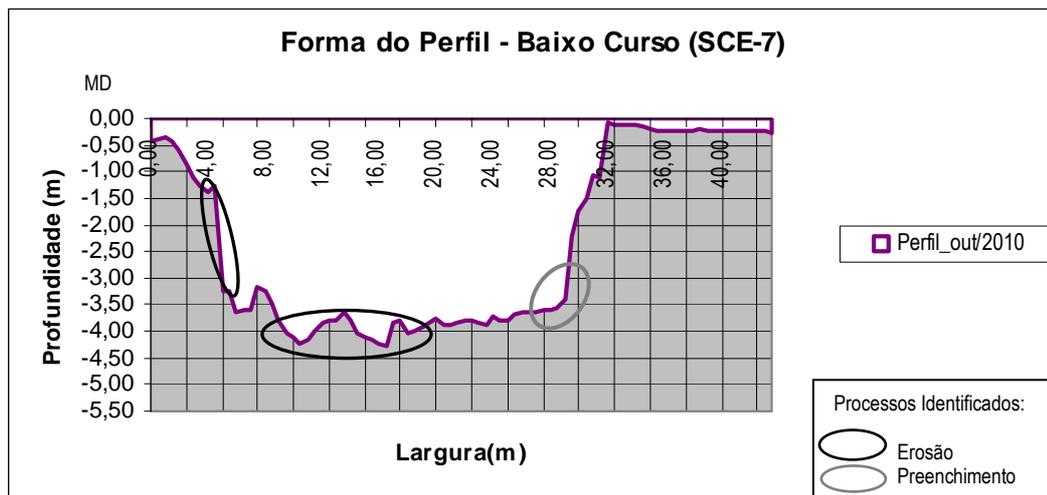


Figura 6-54 E - Configuração da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D’Antas - outubro/2010.

A seção SAN-8 à jusante da confluência do rio D’Antas, também neste trecho do baixo curso, formada por um canal de leito arenoso não coesivo, manifestou durante o período analisado alternadamente processo de erosão e de preenchimento, os quais causaram no seu leito uma oscilação de rebaixamento e de sobrelevação.

Notou-se a ocorrência, entre outubro/2007 e março/2008, de intenso processo erosivo pontual do leito do canal junto a margem esquerda, o qual aprofundou o seu talvegue em cerca de 1,70 m. No período seguinte, jul/08 voltou a sofrer um processo de preenchimento.

A seção apresentou um significativo processo de erosão na sua margem direita, o qual se intensifica a partir de março/2008, inclusive causando a erosão da estaca da estação de monitoramento localizada nesta margem entre os períodos de outubro/2008 e outubro/2009.

O talvegue do canal apresentou pouco deslocamento da sua posição permanecendo predominantemente na margem esquerda, com exceção do período de outubro/2009.

A dinâmica dos processos nesta seção ao longo dos períodos de monitoramento apresentou as seguintes configurações observadas nas figuras 6-55 A, B, C, D, E, F e G:

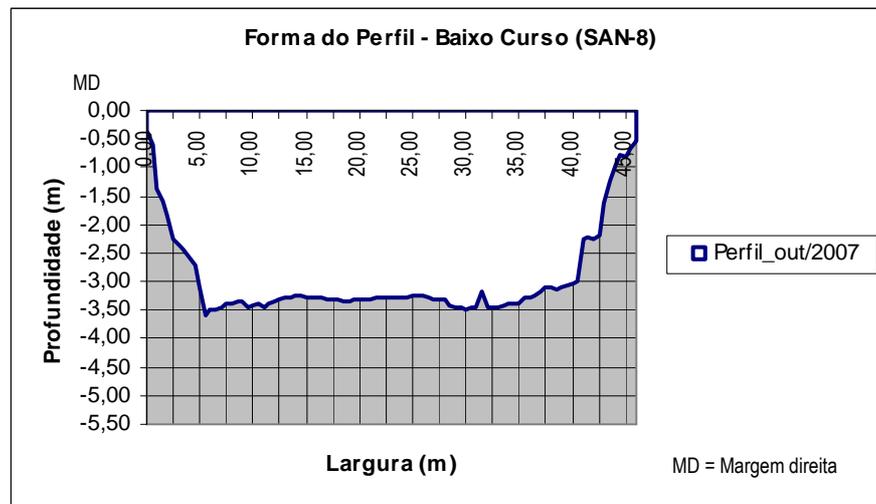


Figura 6-55 A - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - outubro/2007.

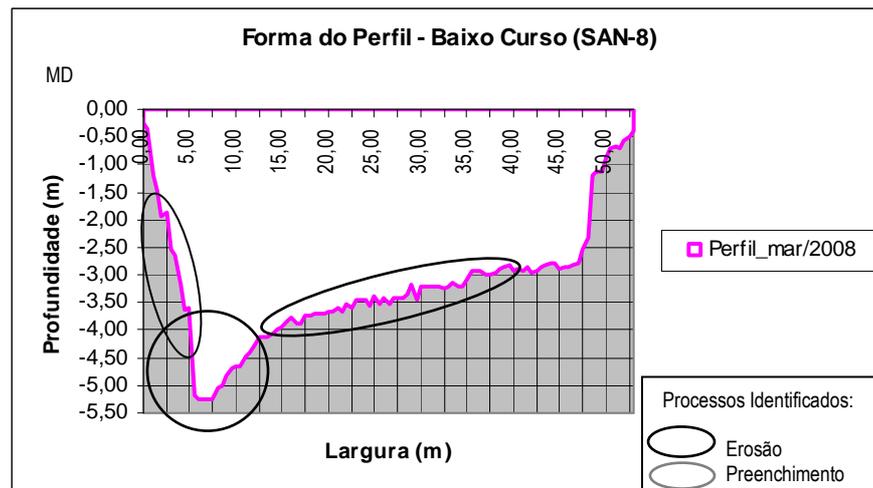


Figura 6-55 B - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - março/2008.

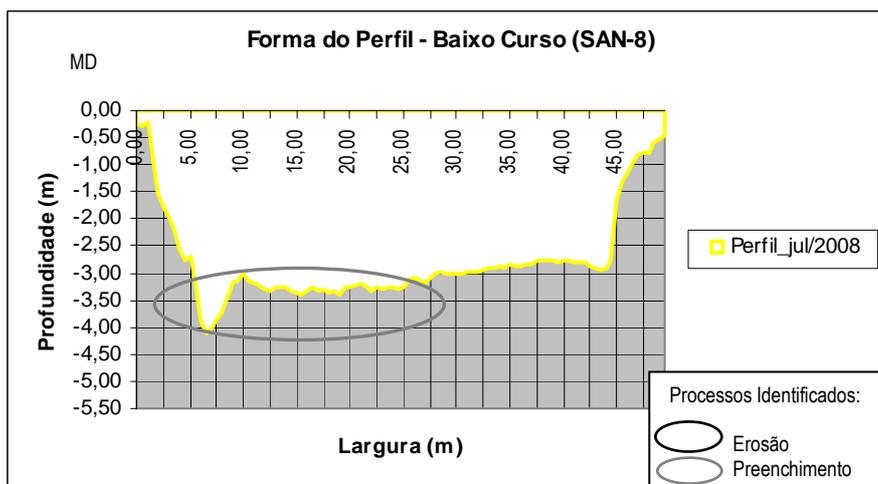


Figura 6-55 C - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - julho/2008.

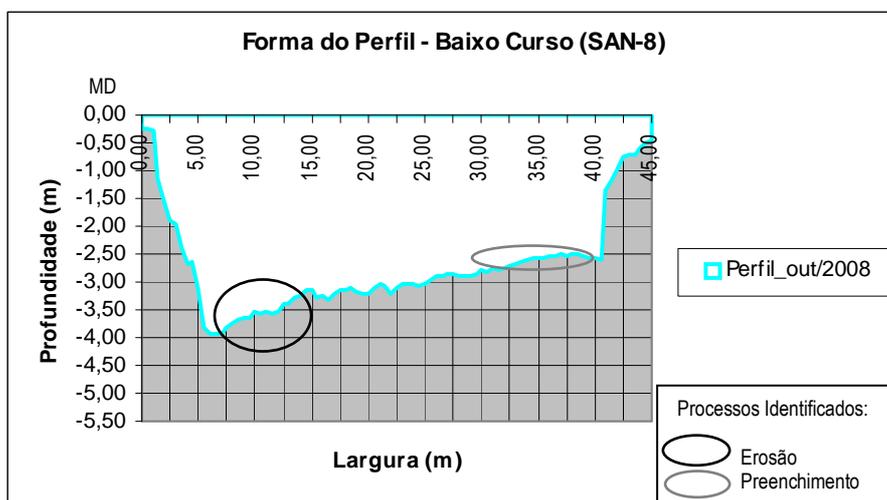


Figura 6-55 D - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - outubro/2008.

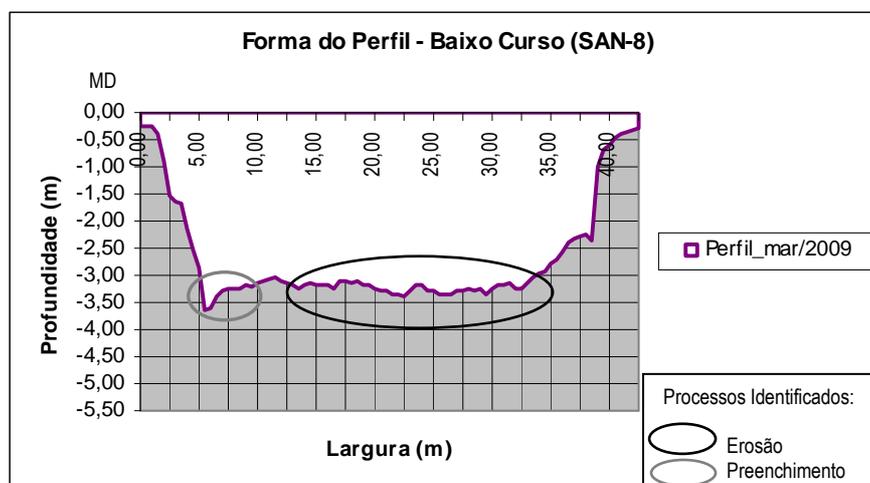


Figura 6-55 E - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - março/2009.

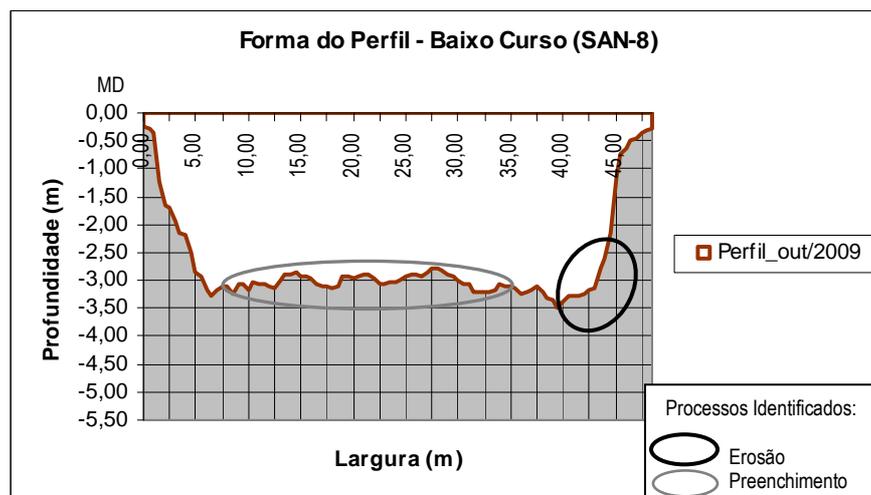


Figura 6-55 F - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - outubro/2009.

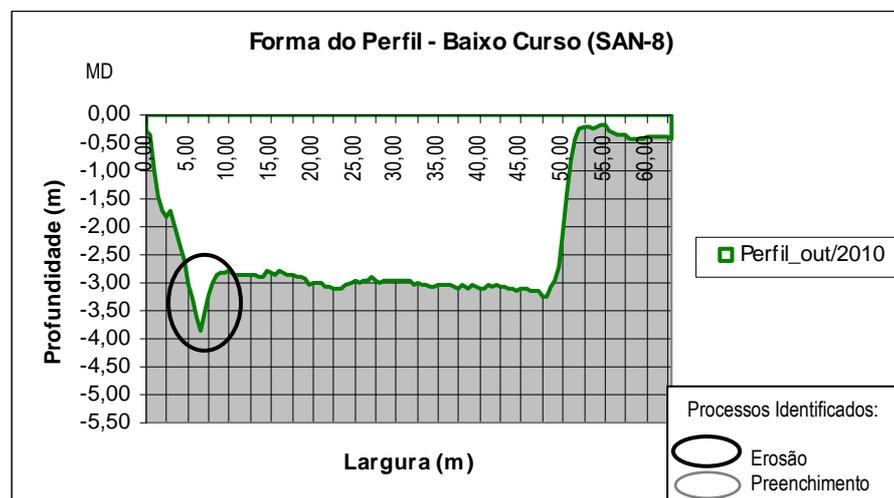


Figura 6-55 G - Configuração da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas - outubro/2010.

➤ Rio Macaé na confluência do rio São Pedro (baixo curso retificado)

Na seção SSP-2, à montante da confluência do rio São Pedro, no trecho retificado do baixo curso, nos períodos compreendidos entre outubro/2007 e março/2009, o leito arenoso, não coesivo, do canal fluvial manifestou, predominantemente, a ocorrência de processo de erosão. Tal processo causou o rebaixamento do seu talvegue em torno de 0,50 m. Nos períodos de outubro/2009 e março/2010, o canal sofreu pequeno processo de preenchimento.

As margens do canal, nessa seção, manifestaram a evolução de processos de erosão com pequena intensidade. O talvegue do canal, que em outubro/2007 situava-se junto a sua margem direita, se deslocou ao longo dos períodos para as proximidades da margem esquerda.

Devido à realização de obras de dragagem neste trecho do canal a interpretação do rebaixamento do leito do canal nesta seção, como sendo devido a um processo de erosão pode não ser adequado.

A dinâmica dos processos nesta seção ao longo dos períodos de monitoramento apresentou as seguintes configurações observadas nas figuras 6-56 A, B, C, D, E, F e G:

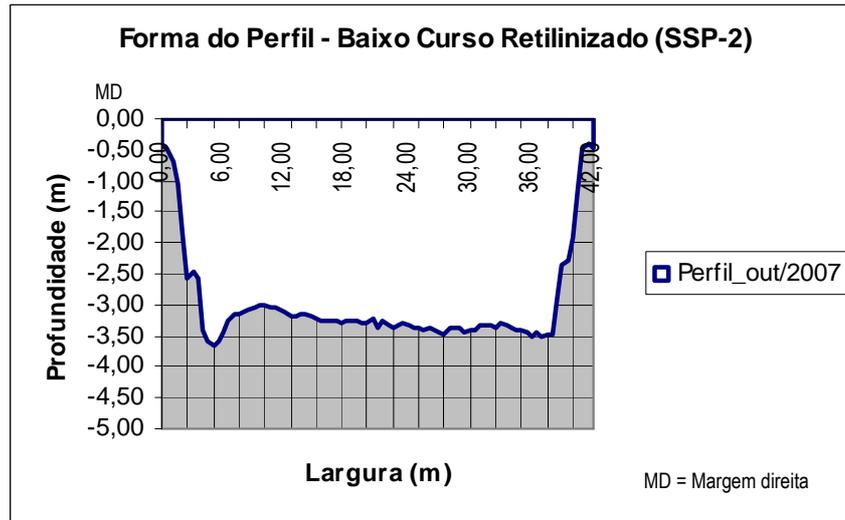


Figura 6-56 A – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - outubro/2007

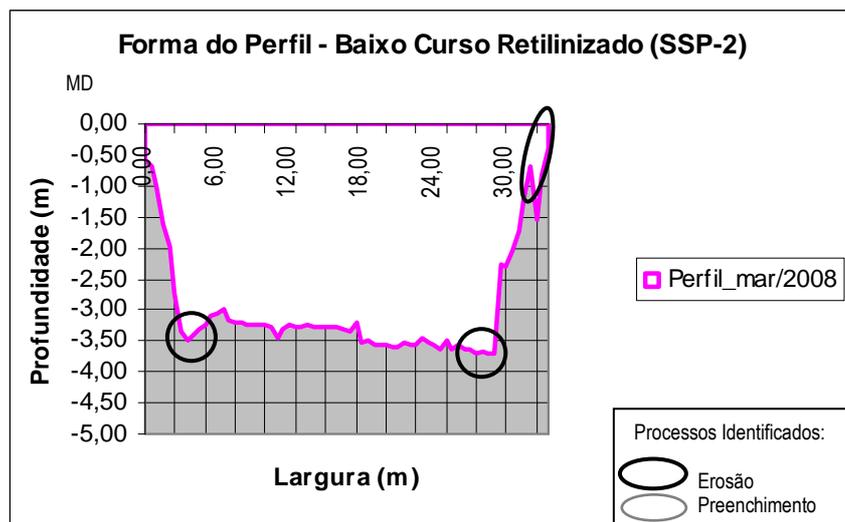


Figura 6-56 B – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - março/2008

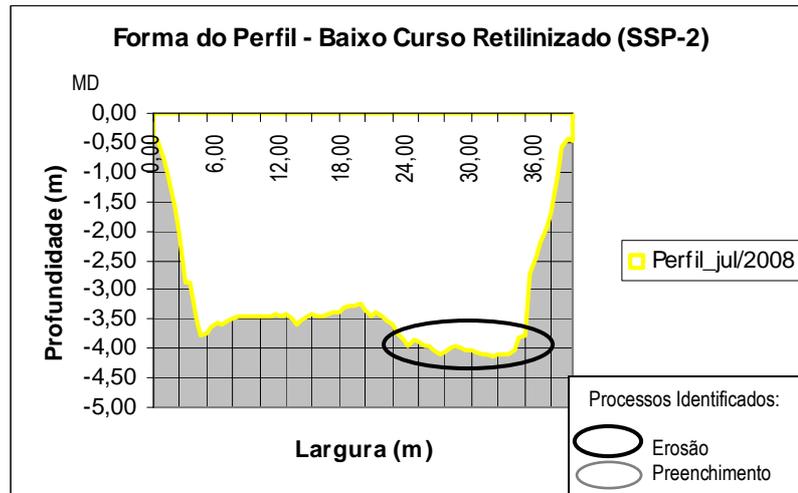


Figura 6-56 C – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - julho/2008.

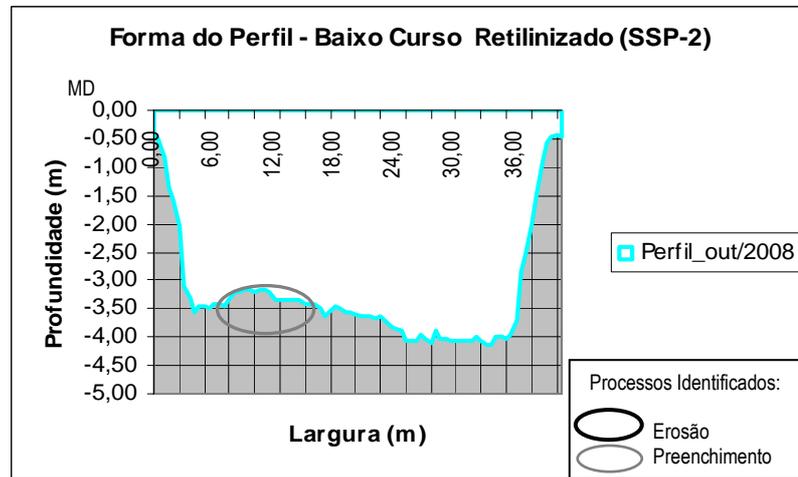


Figura 6-56 D – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - outubro/2008.

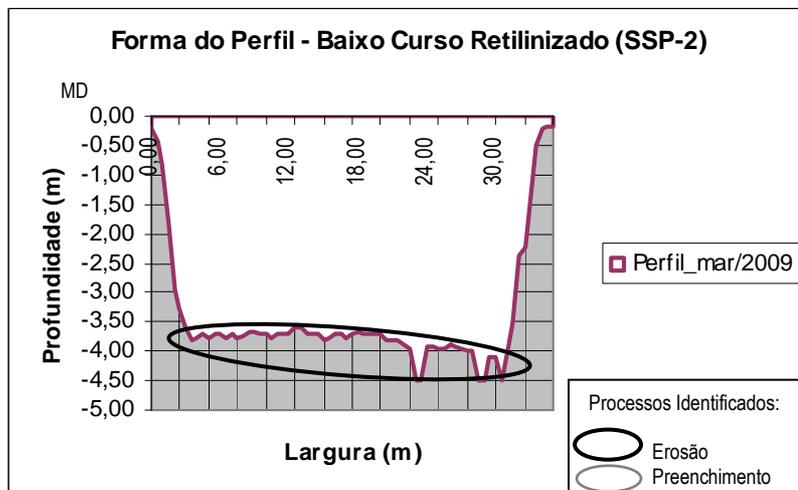


Figura 6-56 E – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - março/2009.

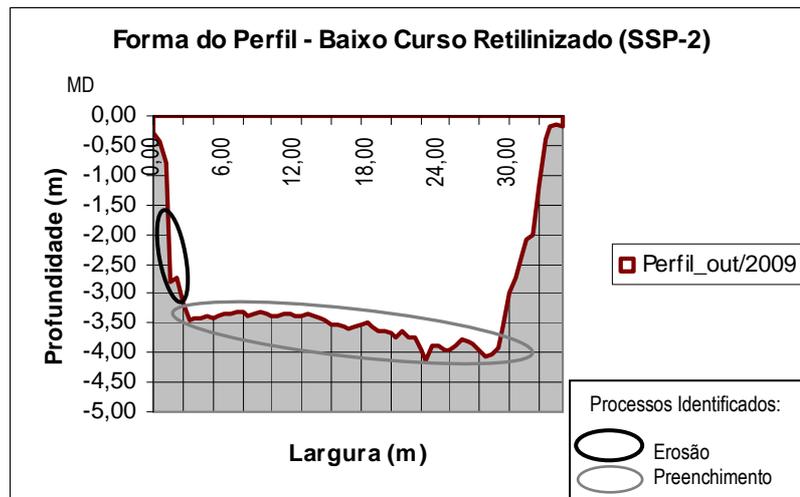


Figura 6-55 F – Evolução da seção SSP-2 do rio Macaé na confluência do rio São Pedro - outubro/2009

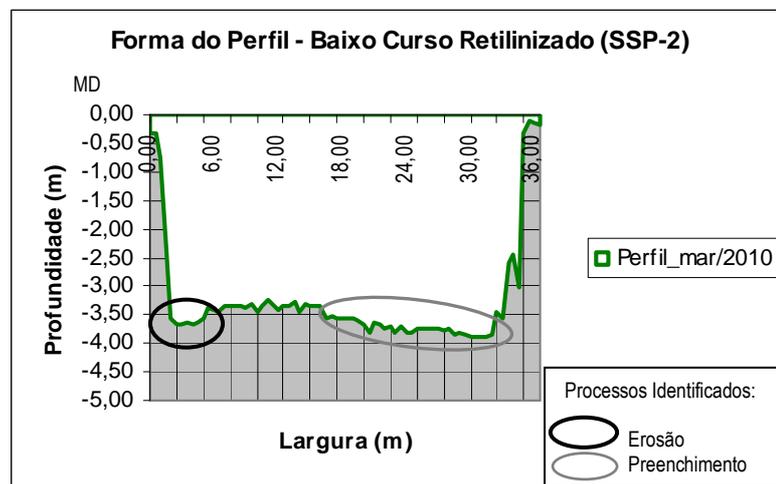


Figura 6-56 G – Configuração da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro - março/2010.

Na seção SSP-3, à jusante da desembocadura do rio São Pedro, no período entre outubro/2007 e março/2008 se deu expressivo rebaixamento do leito do canal, o qual, por falta da confirmação oficial das datas da realização de dragagem naquele trecho, não pode ser definido como sendo de origem natural ou antrópica.

Em todos os demais períodos analisados, a seção manifestou progressivo processo de preenchimento que causa a sobrelevação do leito, fazendo-o praticamente retornar aos valores próximos aos de outubro/2007. Nesta seção, as margens do canal também manifestaram a evolução de processos de erosão com pequena intensidade. O talvegue do canal apresentou expressiva movimentação pelo leito do canal, se deslocamento praticamente de uma margem para outra.

A dinâmica dos processos nesta seção ao longo dos períodos de monitoramento, apresentou as seguintes configurações observadas nas figuras 6-57 A, B, C, D, E, F, G e H:

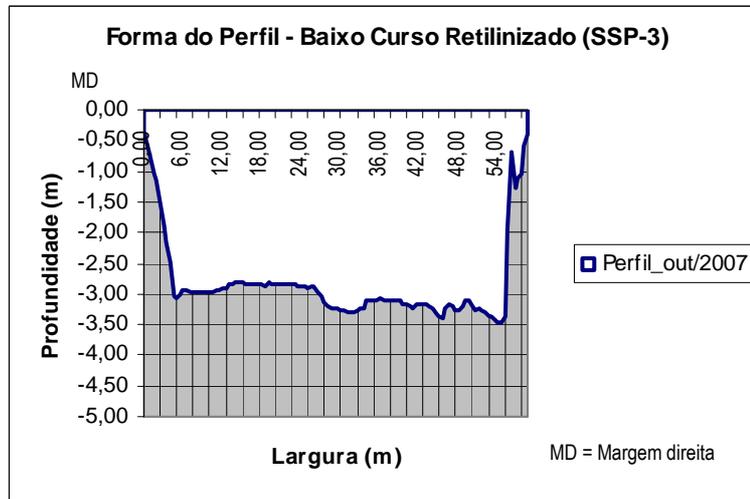


Figura 6-57 A - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - outubro/2007.

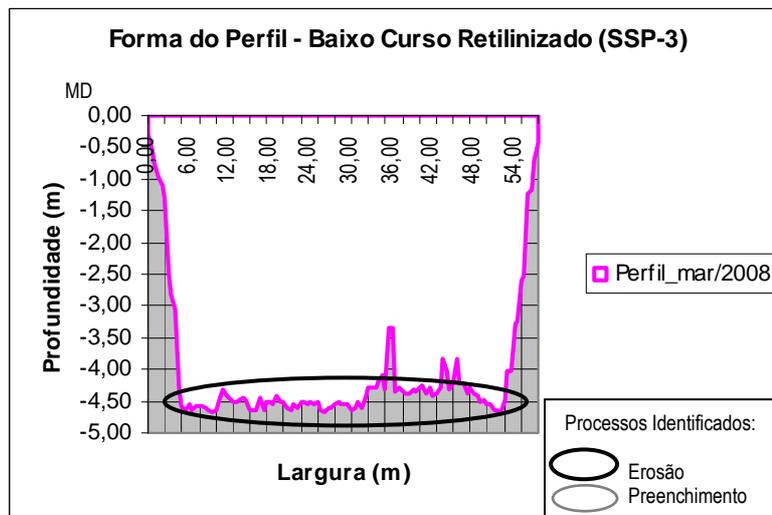


Figura 6-56 B - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - março/2008.

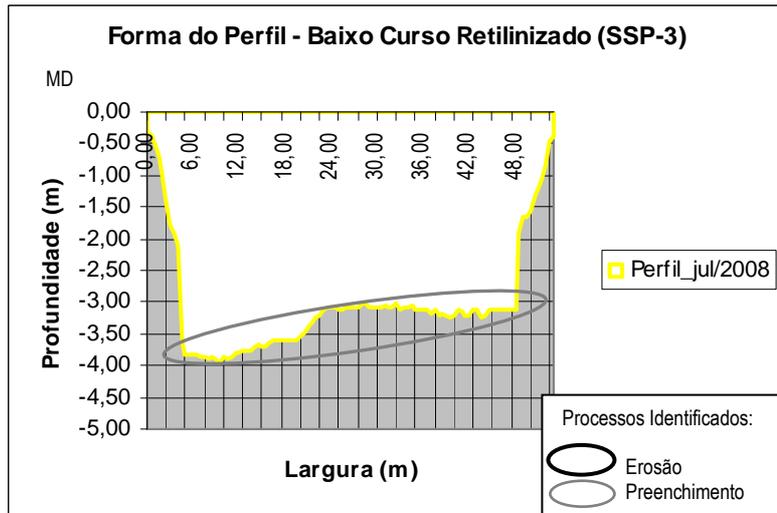


Figura 6-57 C - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - julho/2008.

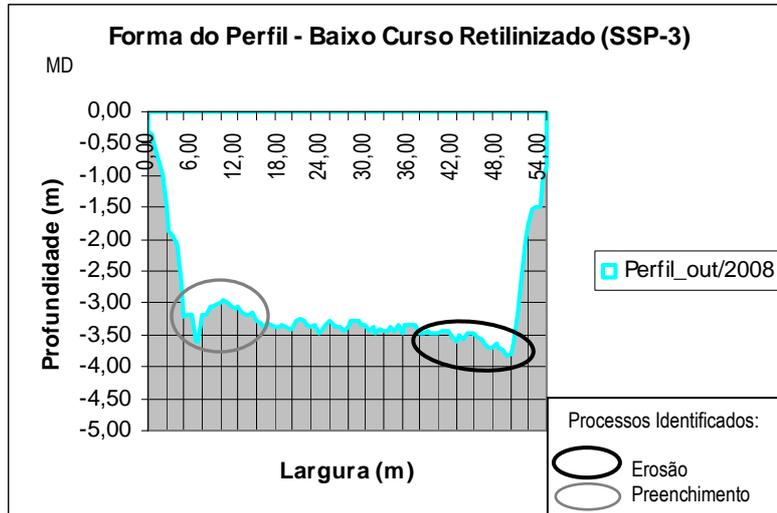


Figura 6-57 D - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - outubro/2008.

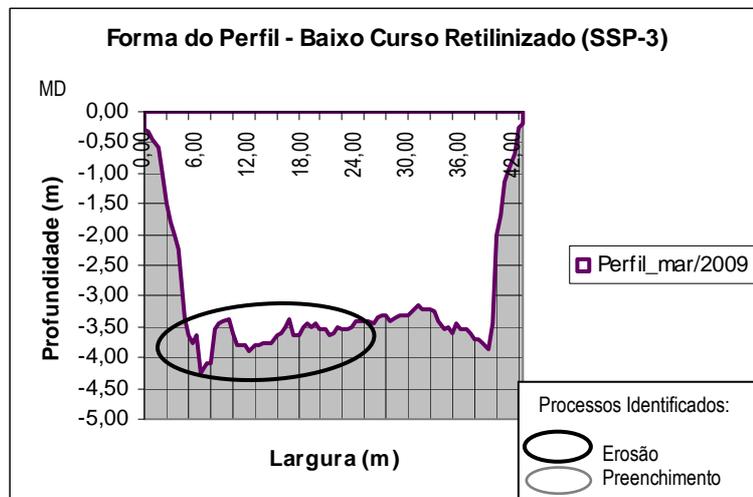


Figura 6-57E - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - março/2009.

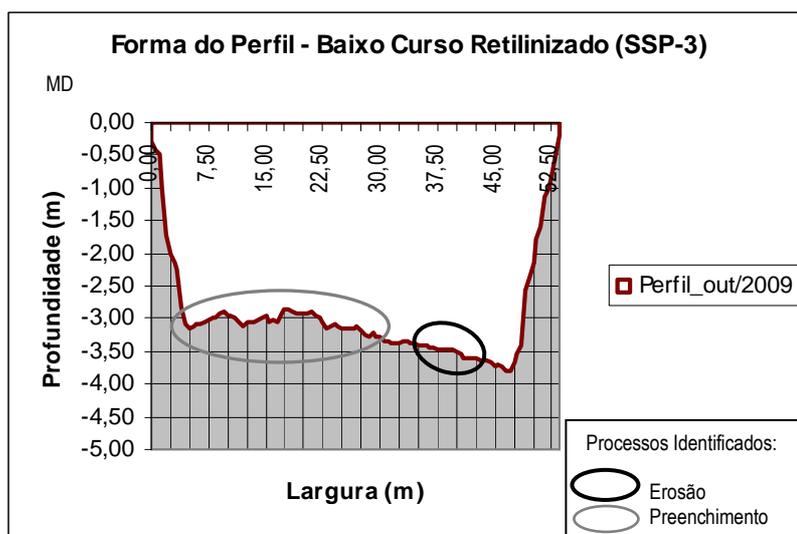


Figura 6-57 F - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - outubro/2009.

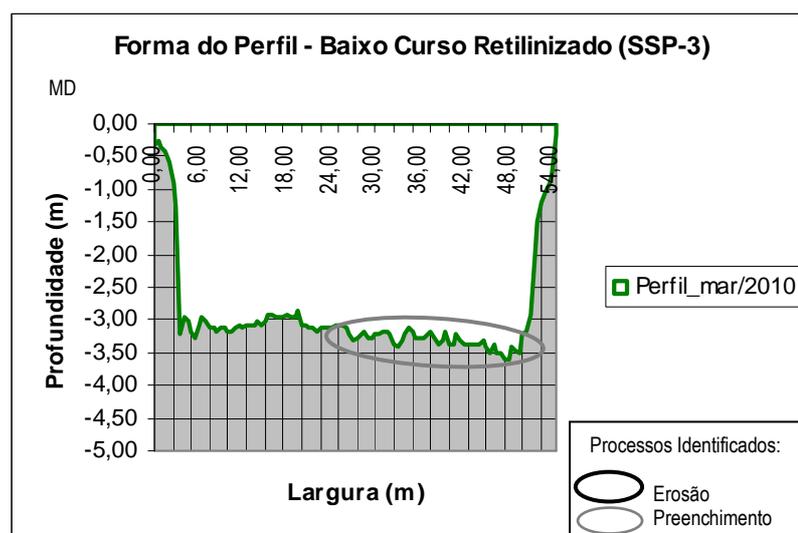


Figura 6-57 G - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - março/2010.

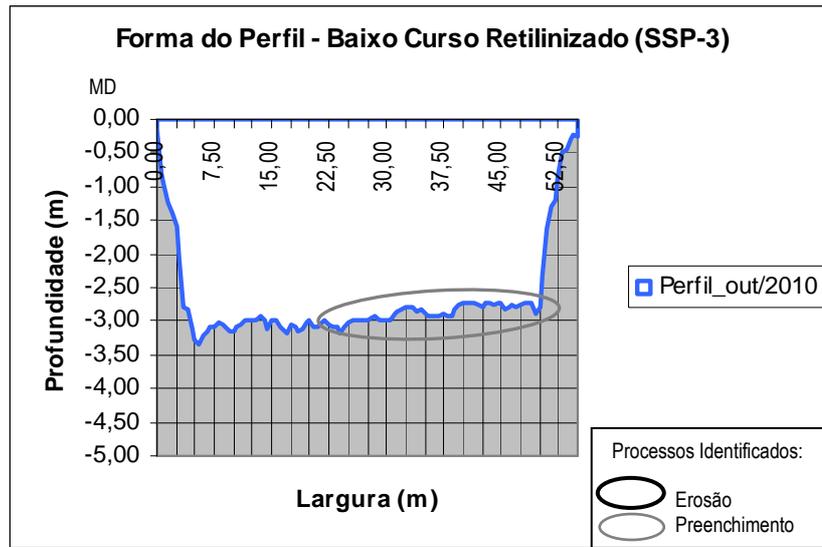


Figura 6-57 H - Configuração da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro - outubro/2010.

viii. Raio hidráulico nas seções transversais

Este parâmetro, de acordo com Christofolletti (1981), constitui-se num elemento que permite medir a eficiência do fluxo num canal fluvial, a qual influencia diretamente na velocidade do fluxo e consequentemente na sua capacidade de erosão das margens e do leito fluvial, e também no transporte e deposição de sedimentos. Os resultados da sua análise foram os seguintes:

➤ Rio Macaé na confluência do rio Bonito (alto curso)

A seção SBO-4 à jusante da confluência do rio Bonito, nos três períodos observados (outubro/2007; julho/2008 e outubro/2010), apresentou uma pequena variação no seu raio hidráulico. Manifestando uma leve oscilação da tendência de aumento seguida por queda (Figura 6-58).

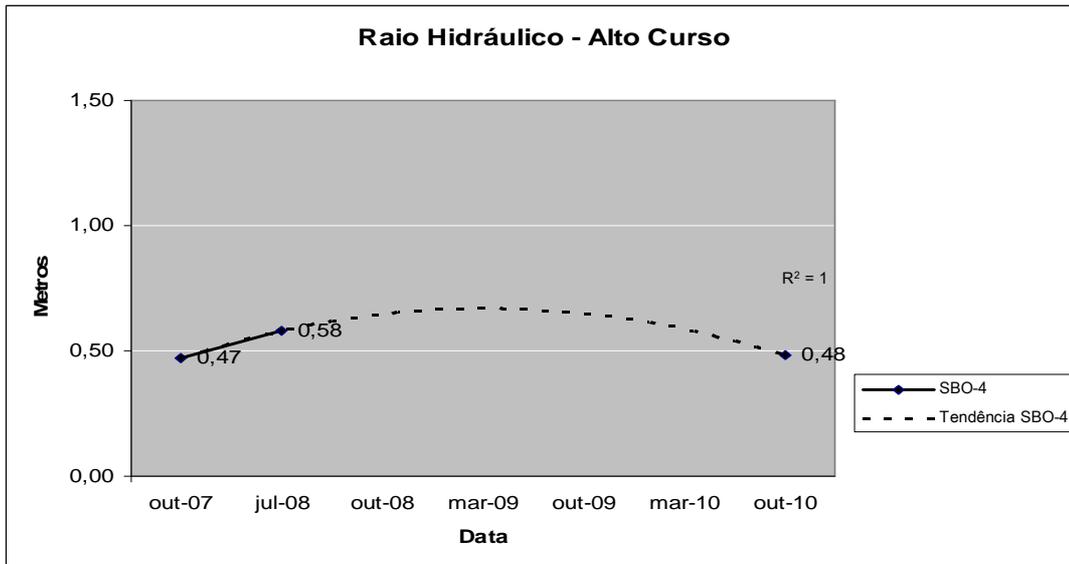


Figura 6-58 - Raio hidráulico da seção SBO-4 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Bonito.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio Sana (médio curso)**

As duas seções do médio curso (SSA-5 e SSA-6) apresentaram pequenas variações nos valores dos seus raios hidráulicos ao longo desse período, prevalecendo em ambas, após uma pequena elevação inicial, a tendência de diminuição dos valores para este parâmetro (Figura 6-59).

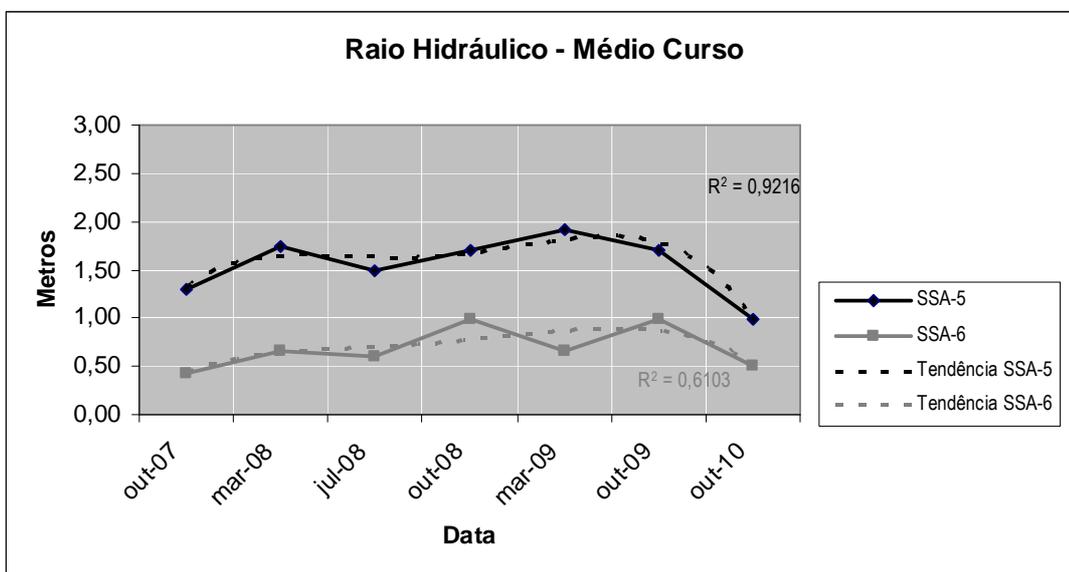


Figura 6-59 - Raio hidráulico das seções SSA-5 e SSA-6 do rio Macaé, à montante e à jusante da confluência do rio Sana.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio D'Antas (baixo curso)**

No seu baixo curso, as seções SCE-7 e SAN-8 (à montante e à jusante da confluência respectivamente), apresentaram picos de aumentos dos valores dos seus raios hidráulicos. A

seção SCE-7 mostra uma oscilação marcante na tendência de aumento e queda, enquanto a seção SAN-8 apresenta uma oscilação suave deste parâmetro (Figura 6-60).

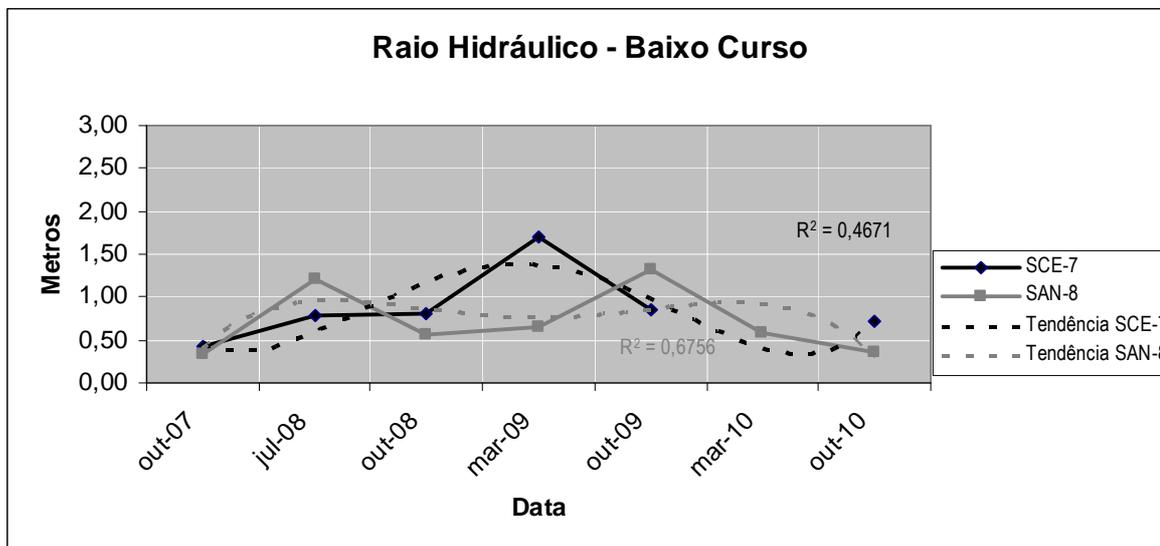


Figura 6-60 - Raio hidráulico das seções SCE-7 e SAN-8 do rio Macaé, à montante e à jusante da confluência do rio D'Antas.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio São Pedro (baixo curso retilizado)**

Nas duas seções do trecho retilizado do baixo curso constatou-se uma grande variação nos valores correspondentes aos seus raios hidráulicos, com picos de elevação e de queda. Estas seções mostram oscilação em suas tendências entre elevação e diminuição de seus raios hidráulicos, sendo esta oscilação mais intensa na seção SSP-3, à jusante da confluência (Figura 6-61).

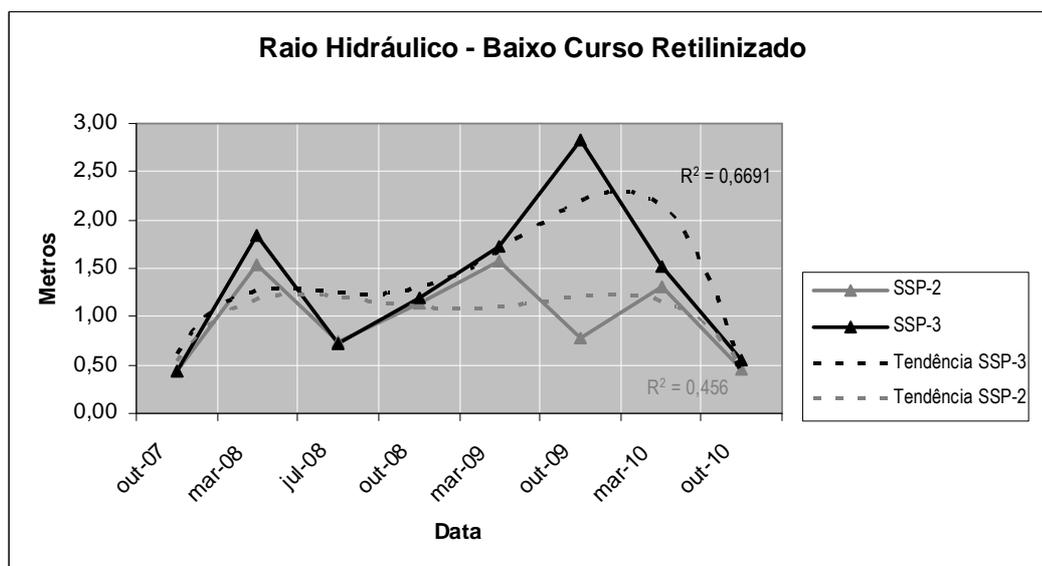


Figura 6-61 - Raio hidráulico das seções SSP-2 e SSP-3 do rio Macaé, à montante e à jusante da confluência do rio São Pedro.

Os R^2 ou coeficiente de determinação obtidos para cada linha de tendência nos gráficos do raio hidráulico apresentam valores que variam de 0,4560 a 0,9216, expressando um grau de correspondência que oscila entre médio confiável ao confiável. O valor 1 apresentado pelo gráfico da seção SBO-4 foi desprezado devido ao pequeno número de medições nela realizado.

6.2.1.3. Descrição dos sedimentos de fundo

ix. Granulometria das amostras de sedimentos de fundo por perfil

O diâmetro das partículas de sedimentos de fundo está relacionado à resistência do leito ao fluxo e a proximidade da área fonte. Uma mudança na granulometria desses sedimentos, em leitos não coesivos, pode ser indicativa de processos de instabilidade vertical do canal, onde o aumento da granulometria do sedimento de leito pode conduzir a diminuição da força da corrente, dando origem a um possível processo de agradação no canal. Já a diminuição dessa granulometria conduziria a diminuição da resistência erosional do canal e dar início a um processo de erosão no canal (Simon & Castro, 2003).

Ao descrever a granulometria das amostras do leito e a granulometria média das amostras do leito manifestadas em cada seção os resultados foram os seguintes:

➤ Rio Macaé na confluência do rio Bonito (seção SBO-4)

Esta seção à jusante da confluência do rio Bonito, no alto curso do rio Macaé, apresentou em sua granulometria, nos três períodos analisados (outubro/2007; julho/2008 e outubro/2010), uma concentração média predominante das frações⁷ AMG, AG e AM, chegando as duas primeiras a totalizarem 67,9%, enquanto as frações AF e Grânulo aparecem na granulometria com concentrações inferiores a 12% (Figura 6-62 B).

No período de outubro/2010 neste perfil ocorreu um pico significativo na concentração da fração AMG, a qual alcançou em torno de 65%, e ao mesmo tempo se deu uma diminuição de todas as demais frações, as quais não ultrapassaram 13% da concentração na granulometria.

As concentrações das frações Argila/Silte, e Seixos são pouco representativas nas amostras desta seção, nunca ultrapassando a 4% da concentração na granulometria (Figura 6-62 A).

⁷ As abreviaturas das frações de areias utilizadas neste trabalho correspondem a: AF = areia fina; AM = areia média; AG = areia grossa e AMG = areia muito grossa.

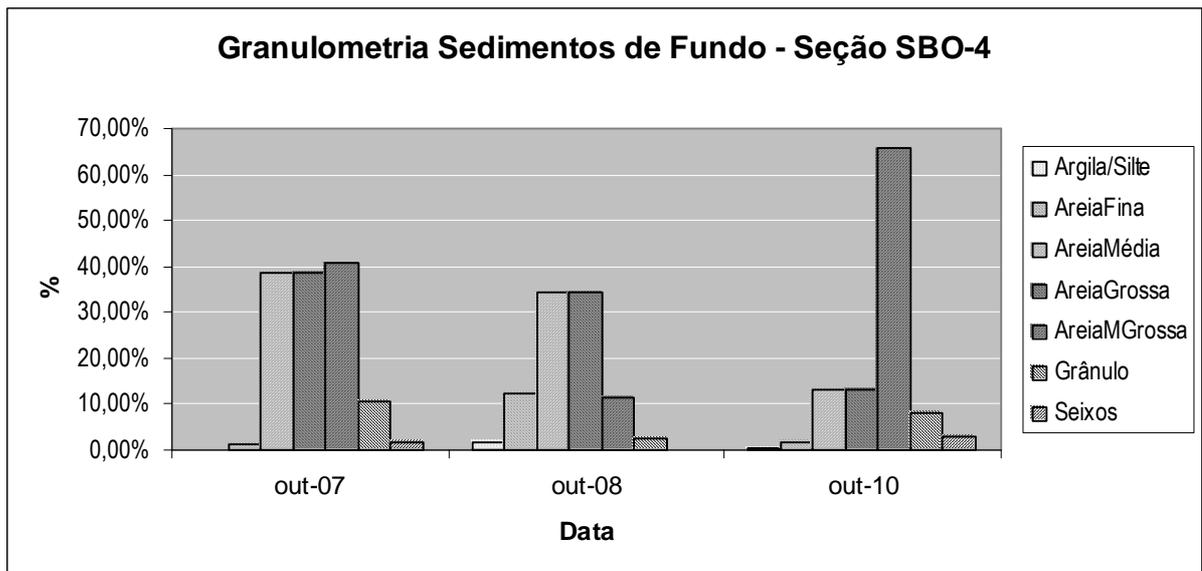


Figura 6-62 A - Granulometria da seção SBO-4 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Bonito.

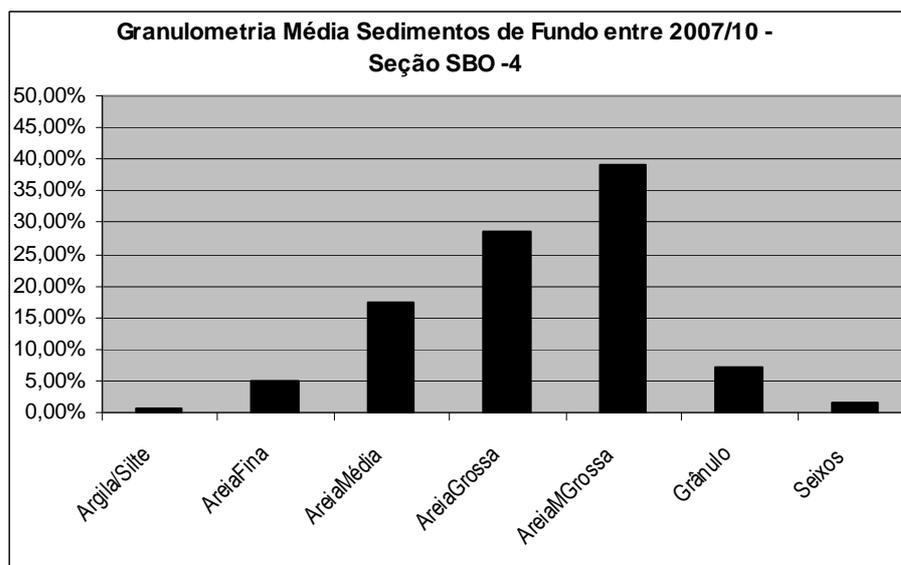


Figura 6-62 B - Granulometria média da seção SBO-4 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Bonito no período entre 2007/10.

➤ Rio Macaé na confluência do rio Sana

A seção SSA-5 à montante da confluência, nos períodos estudados, sua granulometria se concentrou, em termos médios, nas frações AG, AMG e AM (Figura 6-63B).

Nos períodos de outubro/2007 e março/2009, embora a maior concentração seja da fração AG, em torno de 34% e 40% respectivamente, se deu a ocorrência de uma significativa manifestação das frações AG, Grânulo e AM, todas alcançando valores de concentração acima de 20%.

Picos de concentração das frações AM, AG e AMG atingindo valores acima de 70% foram manifestados na granulometria do perfil nos períodos de outubro/2009, março/2010 e jul/10. Em outubro/2010 as concentrações das frações AG e AMG são dominantes na granulometria do perfil, manifestando valores de 42% e 36% e ficando as demais frações abaixo de 10% da concentração.

Nesta seção as frações Argila/Silte e Seixo manifestaram baixas concentrações na sua granulometria, sendo inferiores a 4% (Figura 6-63 A).

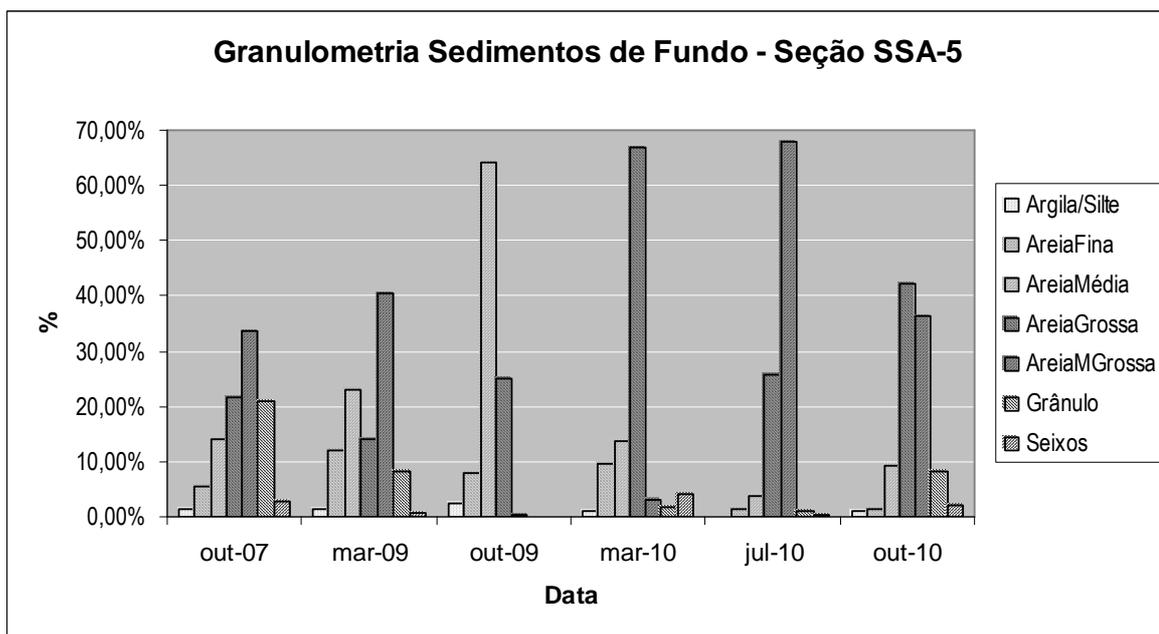


Figura 6-63 A - Granulometria da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana.

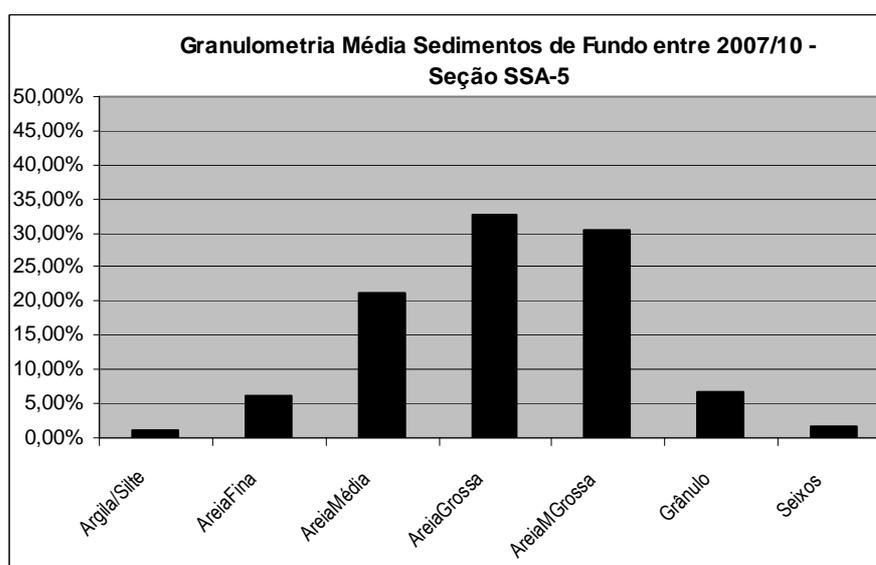


Figura 6-63 B - Granulometria média da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana, no período entre 2007/10.

Na seção SSA-6 à jusante da confluência, na média dos períodos analisados, a granulometria concentrou-se em três frações principais: AMG, AG e Seixos, cujos valores médios variam entre 26% e 22% da concentração (Figura 6-64 B).

No geral a seção mostrou uma distribuição mais homogênea das frações AMG, Grânulo, AM, Seixo e AG ao longo dos períodos analisados, havendo apenas uma manifestação de pico da concentração acima de 50 %, a qual ocorre com a fração AG no período de março/2008. Nesta seção as frações Argila/Silte apresentaram uma concentração pouco expressiva, com valor abaixo de 2% (Figura 6-64 A).

Ao proceder a análise comparativa das granulometrias apresentadas nestas duas seções do médio curso, constatou-se aumento médio de 20% e 7% respectivamente nas concentrações das frações Seixo e Grânulo no perfil SSA-6. Tais aumentos podem ser explicados como sendo consequência de processos de erosão ativa na margem esquerda do canal fluvial nesta seção, conforme consta no banco de dados, e/ou como sendo contribuição da carga de sedimentos do rio Sana, cuja desembocadura localiza-se a menos de 0.5 Km à montante da segunda seção. Nesta segunda seção constatou-se também diminuição em torno de 11% e 9% nas concentrações da fração AM e AG respectivamente, para qual não se encontrou uma explicação plausível.

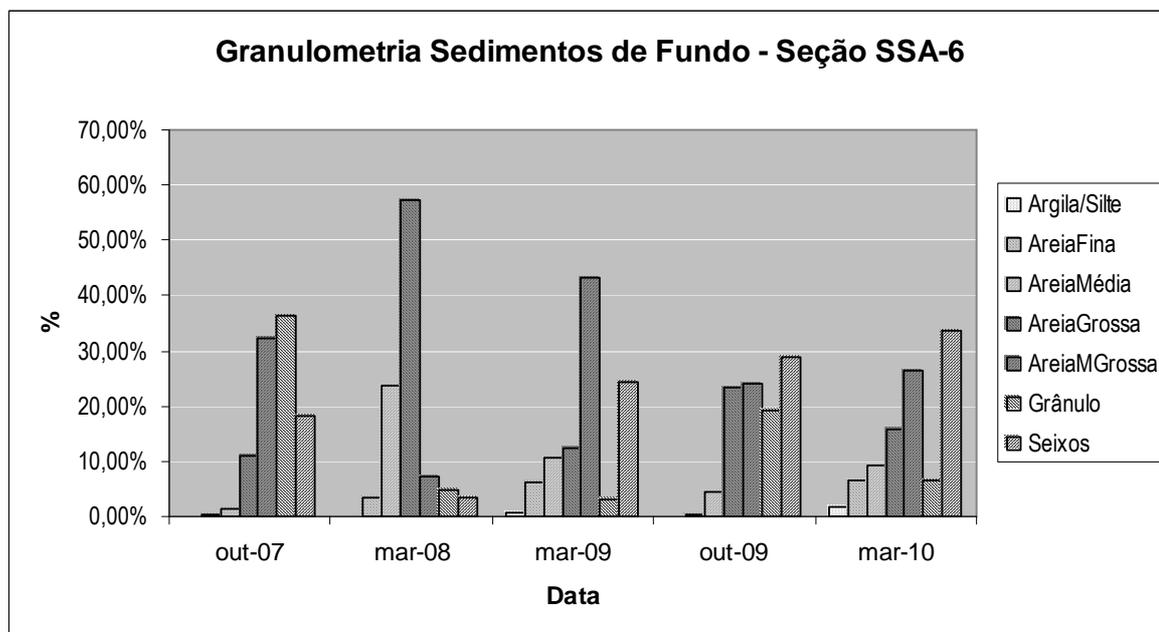


Figura 6-64 A - Granulometria da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana.

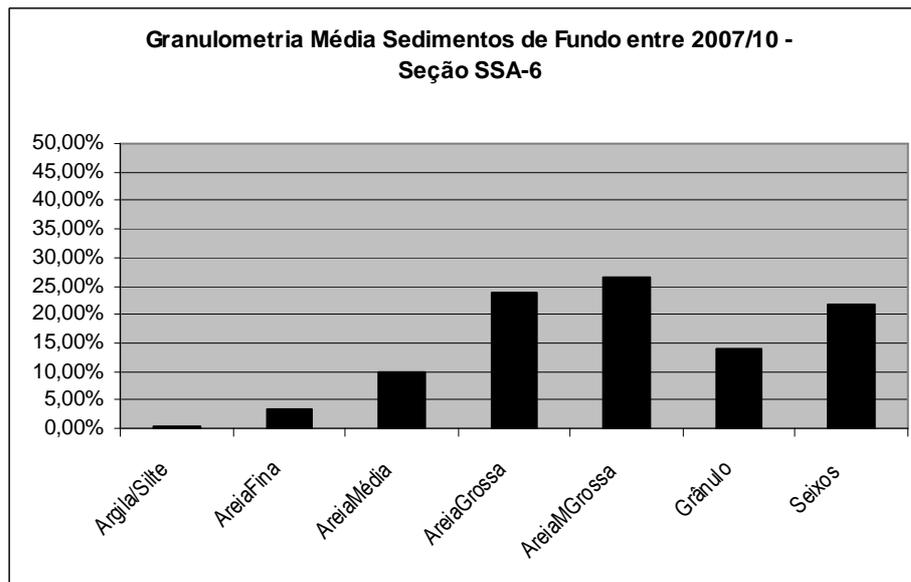


Figura 6-64 B - Granulometria média da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana, no período entre 2007/10.

➤ Rio Macaé na confluência do rio D'Antas

Na seção SCE-7 à jusante da confluência, as frações AMG e AG são marcadamente dominantes na média da concentração da sua granulometria períodos analisados (Figura 6-65 B).

Nos períodos de outubro/2007 ocorreu um pico de concentração da fração AG que alcançou um valor de 57% e no período de outubro/2010 se deu a manifestação de um pico de concentração da fração AMG o qual atinge 75%. Nos três períodos intermediários (março/2008; outubro/2008 e outubro/2009), as concentrações destas frações apresentaram valores mais baixos, variando entre 27% e 43%. As demais frações apresentaram baixas manifestações permanecendo praticamente em torno de 11% da concentração, com exceção da fração AM em outubro/2009. Nesta seção as frações Argila/Silte e AF manifestaram baixas concentrações na granulometria, tendo valores inferiores a 3% (Figura 6-65 A).

Na seção SAN-8 à jusante da confluência, como na seção anterior, teve-se na média dos períodos analisados, o predomínio das frações AMG e AG na sua granulometria (Figura 6-66 B). Nesta seção é percebida uma intercalação nos picos de concentração destas duas frações as quais alcançam valores entre 46% e 65%. Todas as demais frações apresentaram concentrações inferiores a 15%. As concentrações de Argila/Silte e AF foram igualmente inexpressivas neste perfil, apresentando concentrações inferiores a 2% (Figura 6-66 A).

Comparando-se essas duas seções do baixo curso, notou-se que a granulometria manifestada na seção SAN-8 apresentou um pequeno aumento na concentração da sua fração AMG em cerca de 7% em relação a seção à montante. Todas as demais frações manifestaram variações pouco expressivas. Este pequeno aumento deve estar relacionado à provável contribuição da carga de sedimentos de fundo do rio D'Antas, cuja desembocadura localiza-se a poucas centenas de metros à montante desta seção.

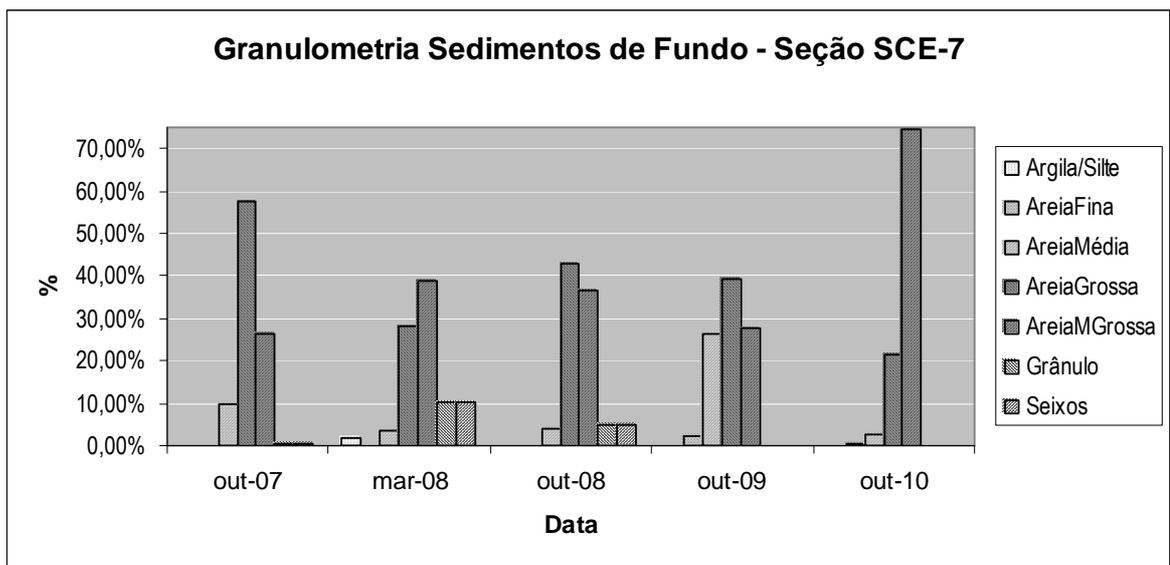


Figura 6-65 A - Granulometria da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas.

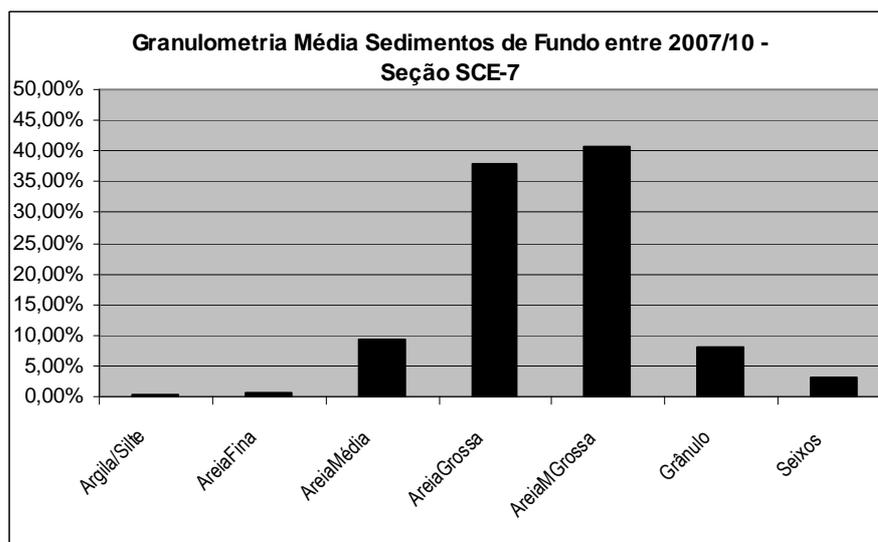


Figura 6-65 B - Granulometria média da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas, no período entre 2007/10.

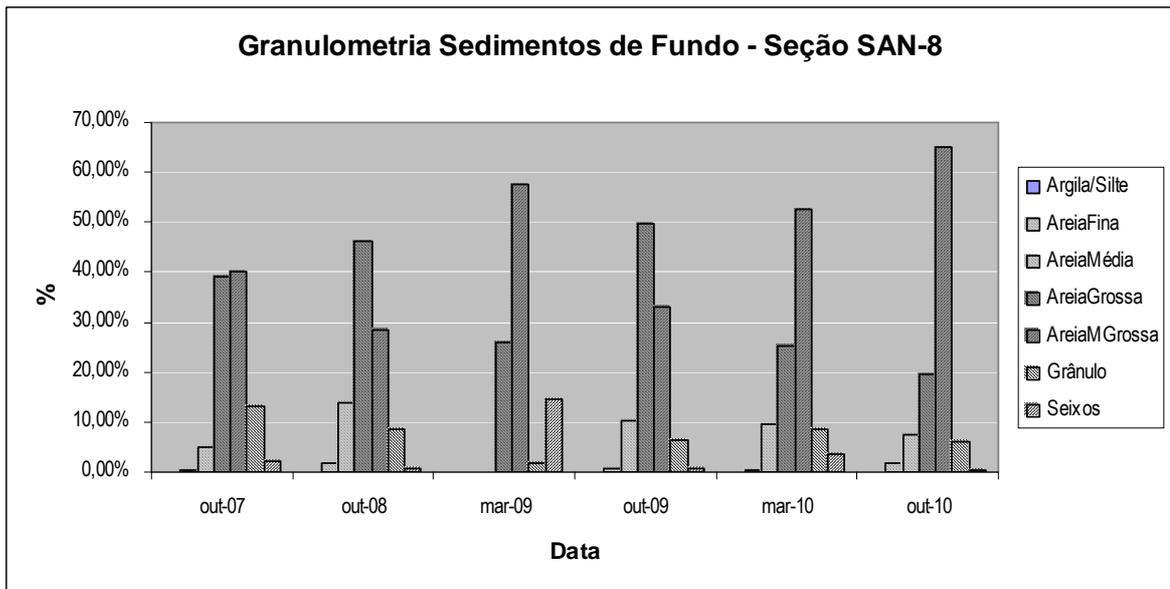


Figura 6-66 A - Granulometria da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas.

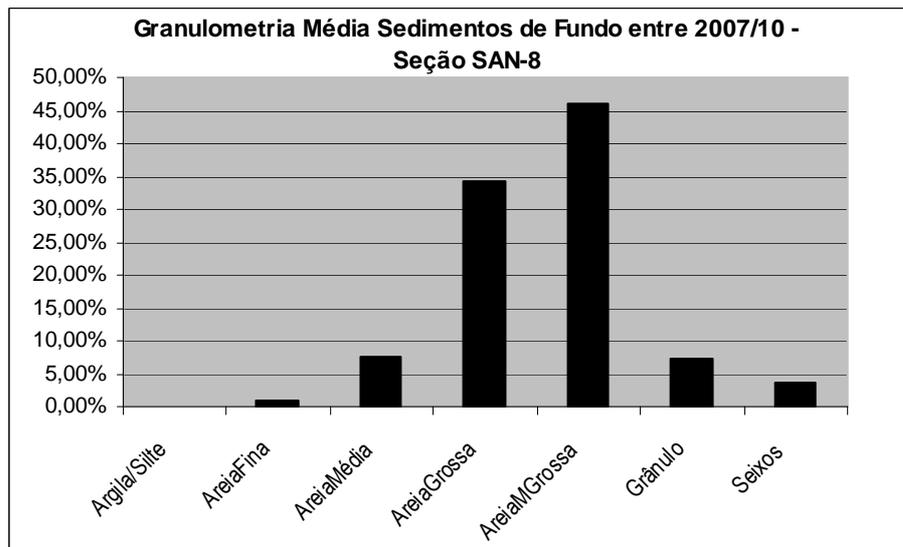


Figura 6-66 B - Granulometria média da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas, no período entre 2007/10.

➤ Rio Macaé na confluência do rio São Pedro

A seção SSP-2 à montante da confluência apresentou em sua granulometria, ao longo dos períodos estudados, concentração média de 41% da fração AG, seguida das frações AMG e AM que por sua vez manifestaram concentração média em torno de 25% do total. A AG é a fração principal da granulometria desta seção em cinco períodos praticamente seguidos (outubro/2007; março/2008; outubro/2008; outubro/2009 e março/2010) (Figura 6-67 B).

No período de outubro/2010 a seção manifestou um pico de 63% na concentração da fração AMG e uma queda muito acentuada das frações AG e AMG que atingiram,

respectivamente, 11% e 2% da concentração na granulometria. Ressalta-se que esta foi a única queda expressiva manifestada pela fração AG em todos os períodos.

As manifestações das frações Argila/Silte, AF e Seixo foram consideravelmente baixas no perfil, não ultrapassando a 4% (Figura 6-67 A).

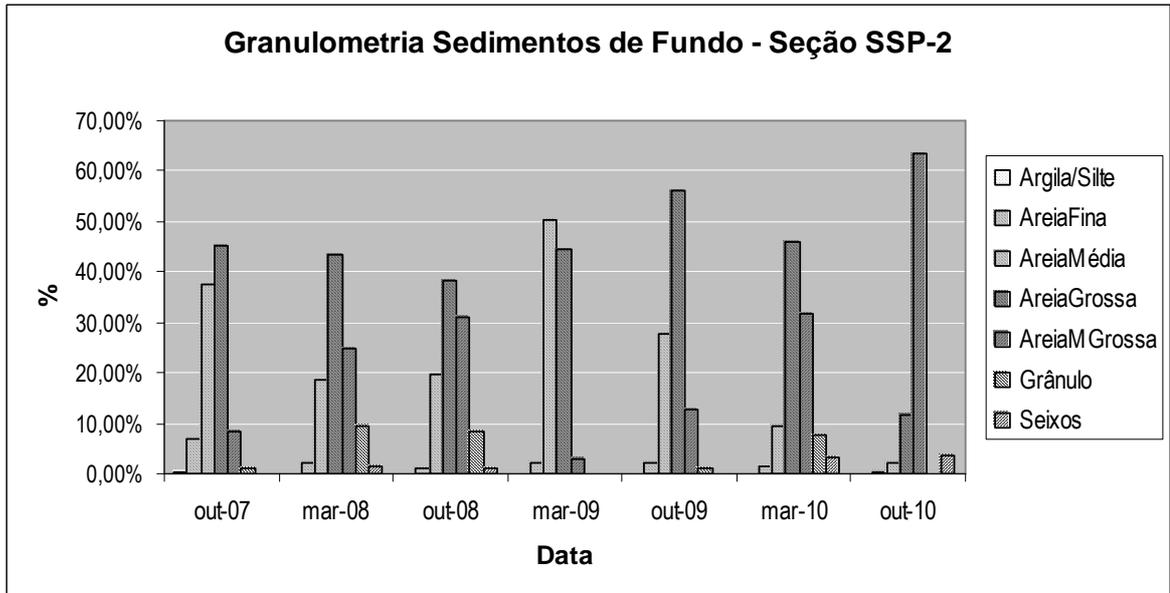


Figura 6-67 A - Granulometria da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro.

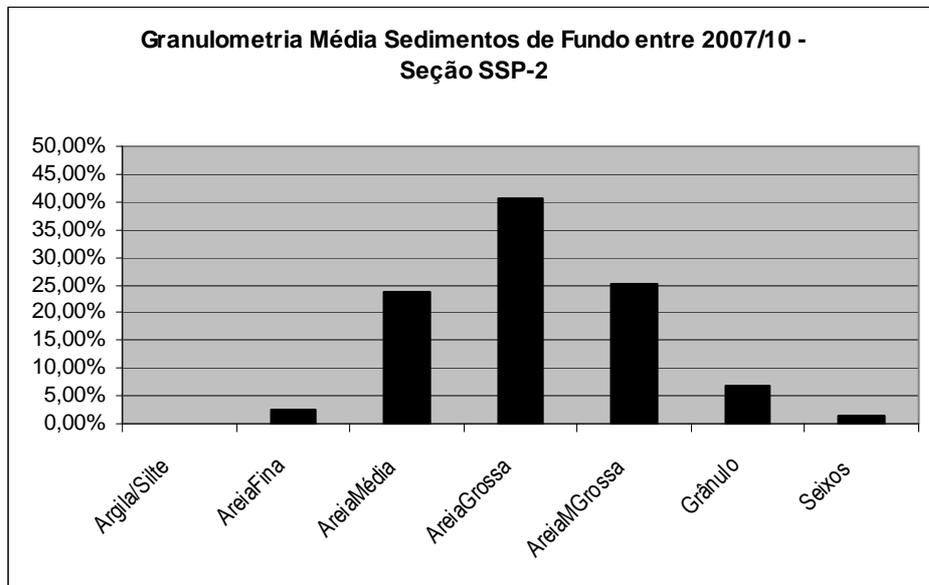


Figura 6-67 B - Granulometria média da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro, no período entre 2007/10.

Na seção SSP-3, na média dos períodos estudados, ocorreu expressivo predomínio da fração AG, a qual manifestou um valor médio em torno de 42% da concentração na granulometria, sendo seguida pela fração AMG com um valor médio de 27% (Figura 6-68 B).

A fração AG é dominante na granulometria de quase todos os períodos, com exceção de março/2010, quando foi ultrapassada em menos de 3% pela fração AMG.

A seção mostrou, no cômputo geral, uma tendência de gradativa diminuição da concentração da fração AM na sua granulometria. As manifestações da fração AF foram relativamente baixas e das frações Argila/Silte e Seixo foram praticamente inexpressivas, não passando de 3% na concentração (Figura 6-68 A).

Ao proceder uma comparação, entre essas duas seções do trecho retificado do baixo curso do rio Macaé, notou-se que as frações AF, AG e AMG apresentaram pequeno aumento dos seus valores médios em torno de 2%, na seção 3. A hipótese da contribuição da carga de sedimentos oriunda do rio São Pedro, cuja desembocadura situa-se entre as duas seções em questão, pode fornecer uma explicação plausível para essa modificação.

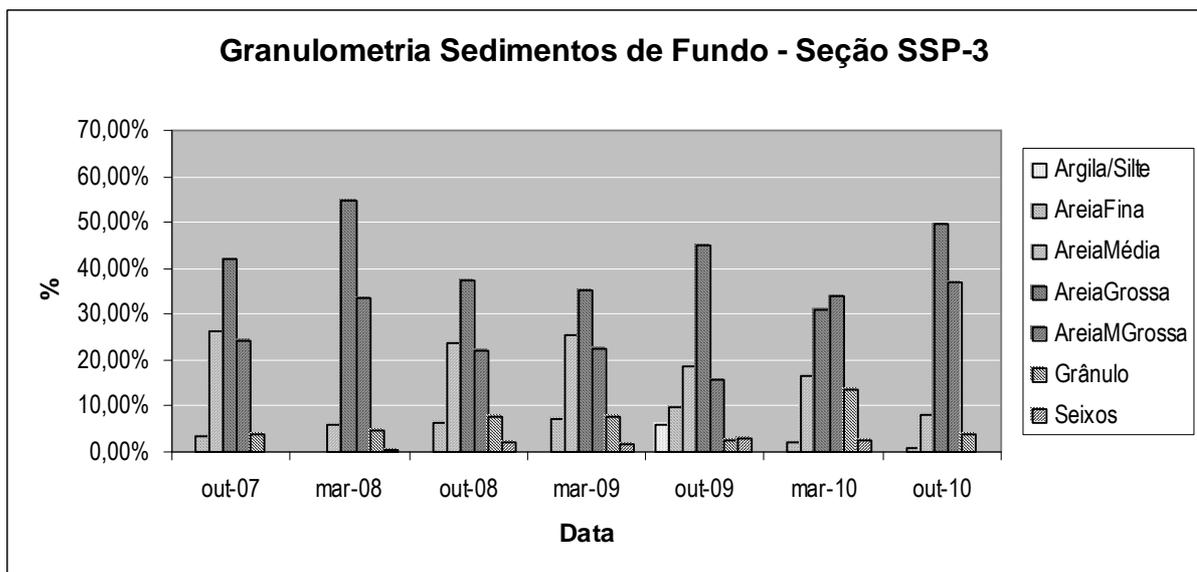


Figura 6-68 A - Granulometria da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro.

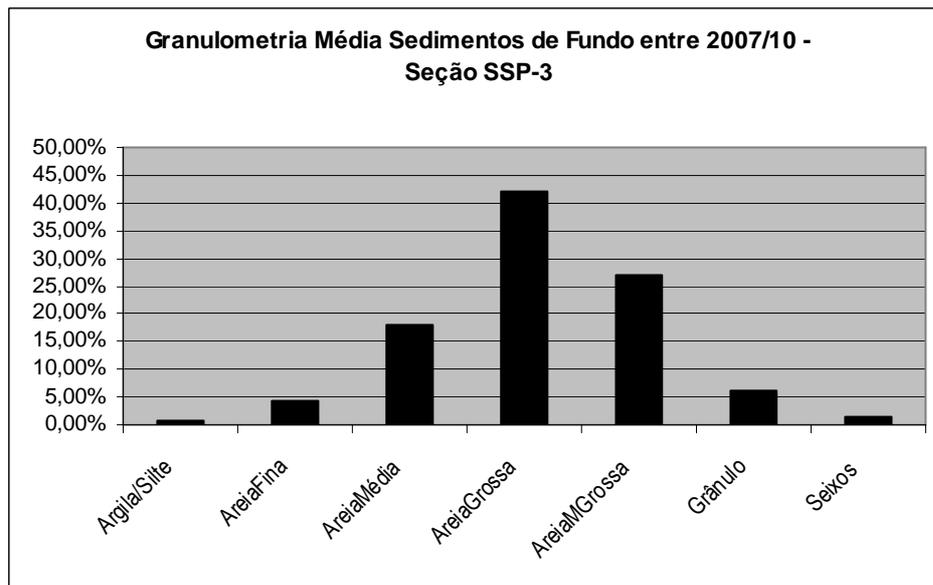


Figura 6-68 B - Granulometria média da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro, no período entre 2007/10.

x. Granulometria dos sedimentos de fundo no conjunto de perfis

Ao estudar a granulometria manifestada no conjunto de perfis em cada período de monitoramento os resultados foram os seguintes:

- **Período outubro/2007**

A seção SBO-4 à jusante da confluência do rio Bonito, no alto curso, apresentou uma expressiva concentração das frações AMG e AF, enquanto as seções SSA-5 e SSA-6 à montante e à jusante da confluência do rio Sana, no médio curso, teve o predomínio da concentração marcadamente das frações AMG e Grânulo. Por sua vez, em todas as seções na confluência dos rios D'Antas (SCE-7 e SAN-8) e São Pedro (SPE-2 e SPE-3), no baixo curso e baixo curso retificado, predominou a fração AG seguida de uma considerável manifestação das frações AMG e AF (Figura 6-69).

- **Período março/2008**

Um estudo parcial deste período apresentou na confluência do rio Sana, seções SSA-5 (à montante) e SSA-6 (à jusante), no seu médio curso, uma significativa concentração da fração AG e na confluência dos D'Antas (seção SCE-7 à montante) e São Pedro (seções SPE-2 à montante e SPE-3 à jusante) no baixo curso e baixo curso retificado, respectivamente, se deu o predomínio da fração AG acompanhada de uma considerável manifestação da fração AMG (Figura 6-70).

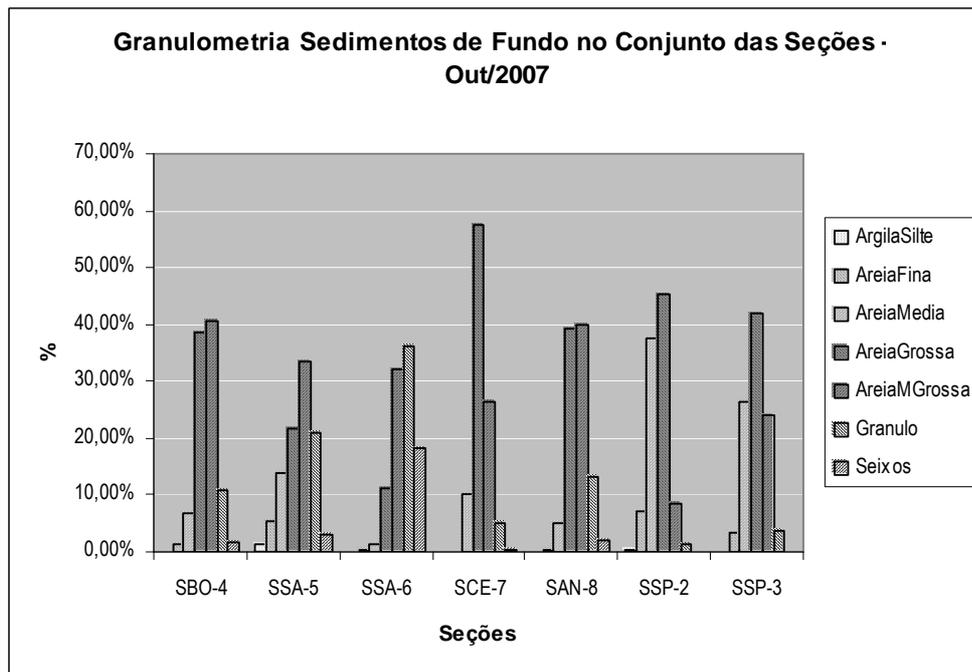


Figura 6-69 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de outubro/2007.

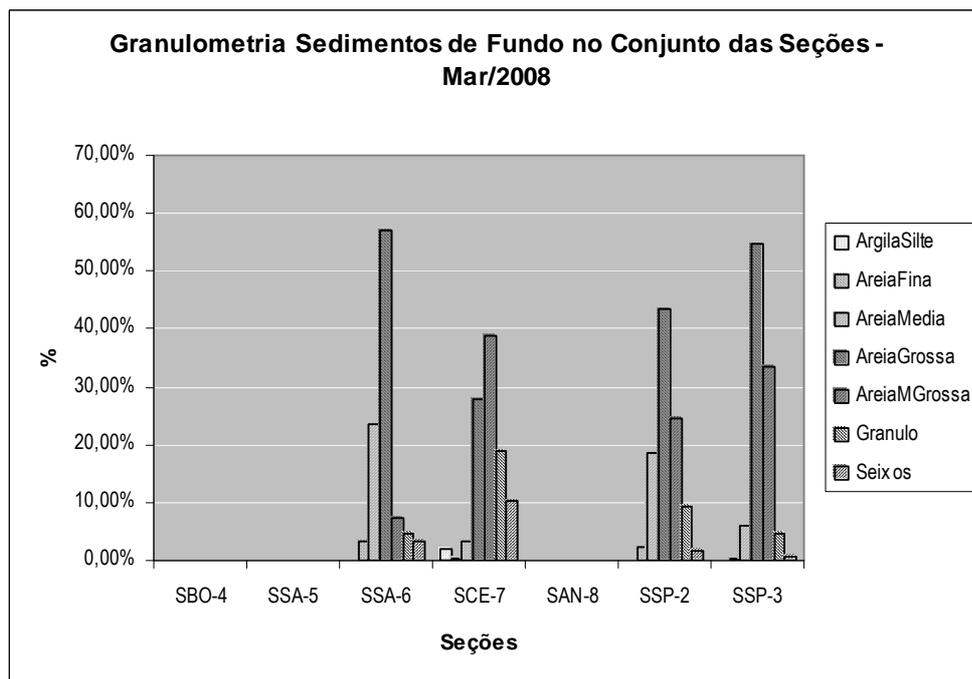


Figura 6-70 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de março/2008.

• **Período outubro/2008**

Na seção SBO-4 à montante da confluência do rio Bonito, ocorreu uma concentração expressiva das frações AM e AG, enquanto que nas confluências dos rios D'Antas (seções

SCE-7 e SAN-8) e São Pedro (seções SPE-3 e SPE-3) teve-se a concentração dominante da fração AG, acompanhada de uma significativa concentração da fração AMG (Figura 6-71).

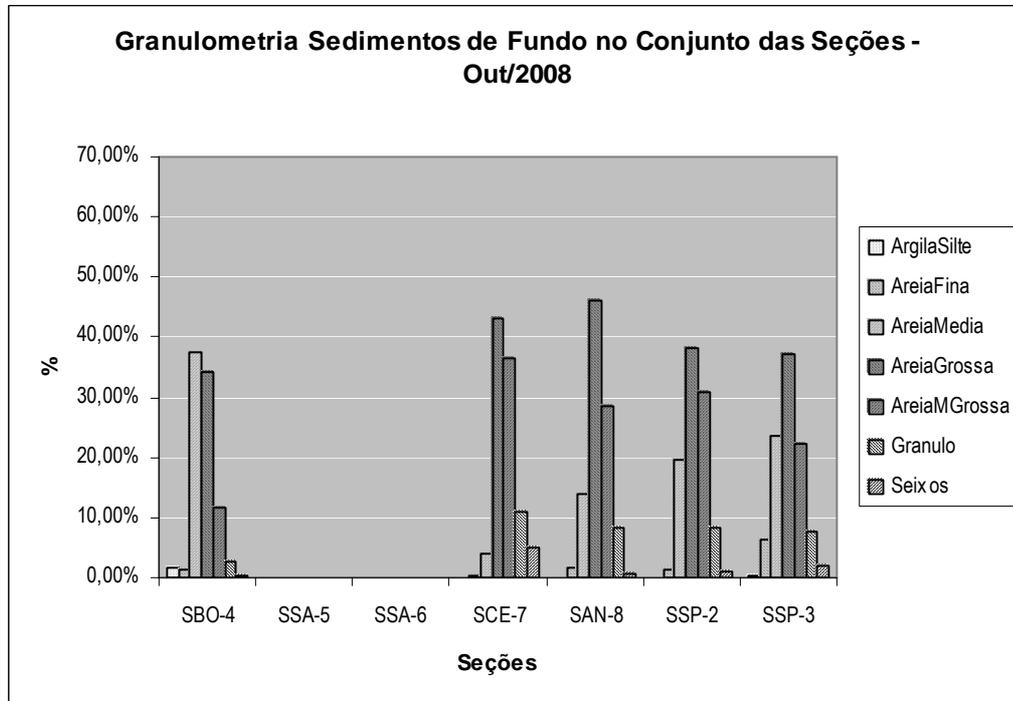


Figura 6-71 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de outubro/2008.

- **Período março/2009**

Aqui, na confluência do rio Sana (seções SSA-5 à montante e SSA-6 à jusante), apresentou o domínio da fração AMG na sua granulometria com manifestações relativamente expressivas das frações Seixo e AM. As confluências dos rios D'Antas (seção SAN-8 à jusante) e São Pedro (seções SPE-2 à montante e SPE-3 à jusante), se caracterizaram por não apresentarem o predomínio de uma única fração principal, mas, de três frações diferentes que se manifestaram pelas seções, respectivamente AMG, AM e AG (Figura 6-72).

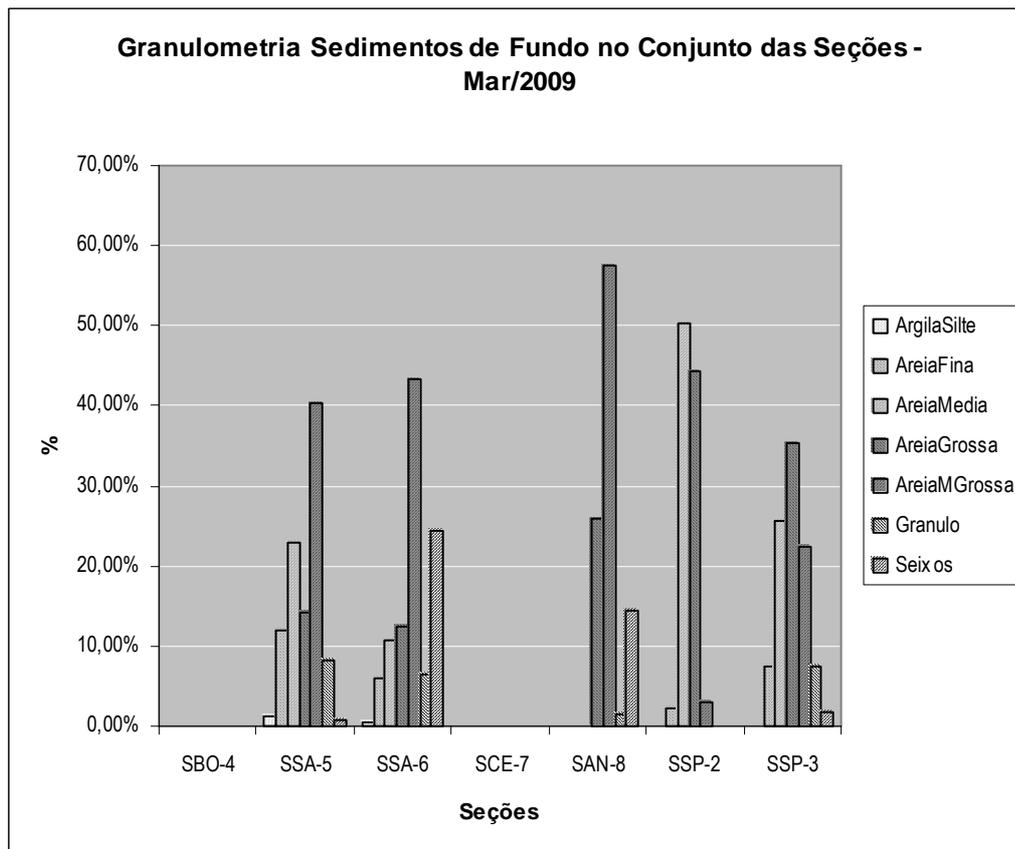


Figura 6-72 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de março/2009.

• **Período outubro/2009**

Enquanto na confluência do rio Sana (seções SSA-5 à montante e SSA-6 à jusante) teve-se o predomínio da fração AM seguido por uma considerável concentração das frações AG, AMG, Grânulo e Seixo, as confluências dos rios D’Antas (seções SCE-7 à montante e SAN-8 à jusante) e São Pedro (seções SPE-2 à montante e SPE-3 à jusante) apresentaram uma expressiva concentração das frações AG, com uma significativa manifestação das frações AM e AMG (Figura 6-73).

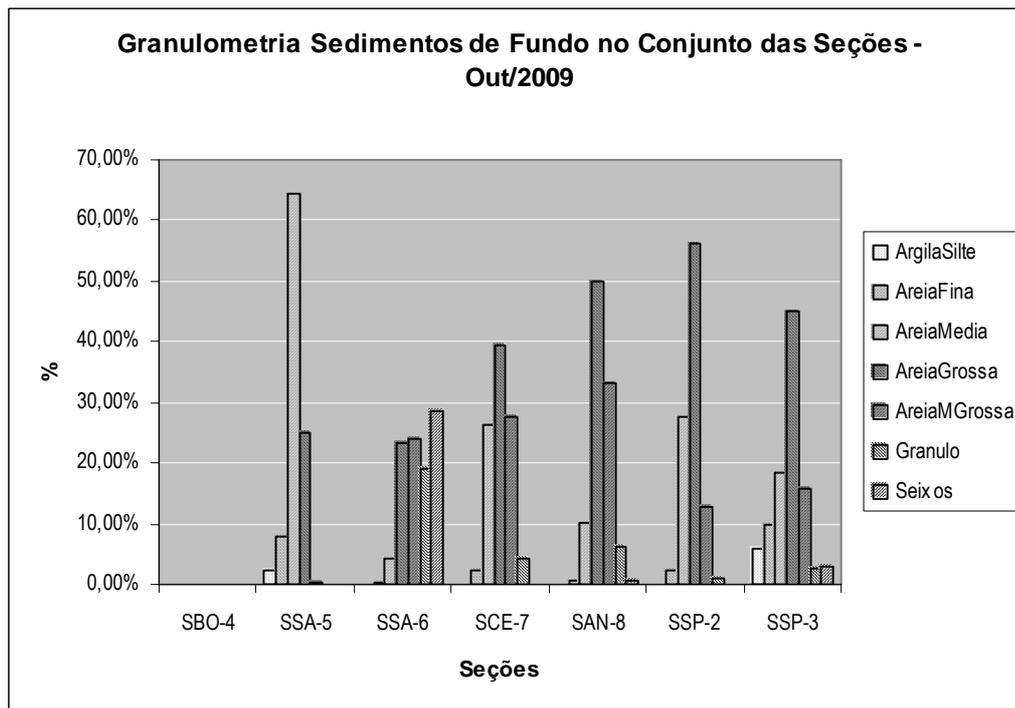


Figura 6-73 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de outubro/2009.

- **Período março/2010**

A confluência do rio Sana (seções SSA-5 à montante e SSA-6 à jusante) apresentou uma expressiva predominância da fração AG seguida de manifestações de concentrações menores das frações Seixo e AMG. Por sua vez nas confluências dos rios D'Antas (seção SAN-8) e São Pedro (seções SPE-2 e SPE-3) ocorreu um significativo predomínio das frações AMG e AG (Figura 6-74).

- **Período outubro/2010**

As confluências dos rios Bonito (seção SBO-4 à jusante); D'Antas (seção SCE-7 à montante) e São Pedro (seções SSP-2 à montante e SSP-3 à jusante) apresentaram grande concentração da fração AMG, a qual manifesta picos de concentração com valores superiores a 60% da granulometria em quatro das suas cinco seções (SBO-4; SCE-7; SAN-8; SSP-2 e SSP3). Por sua vez na confluência do rio D'Antas, embora tenha apresentado o predomínio da fração AG, ocorreu uma manifestação significativa da concentração da fração AG (Figura 6-75).

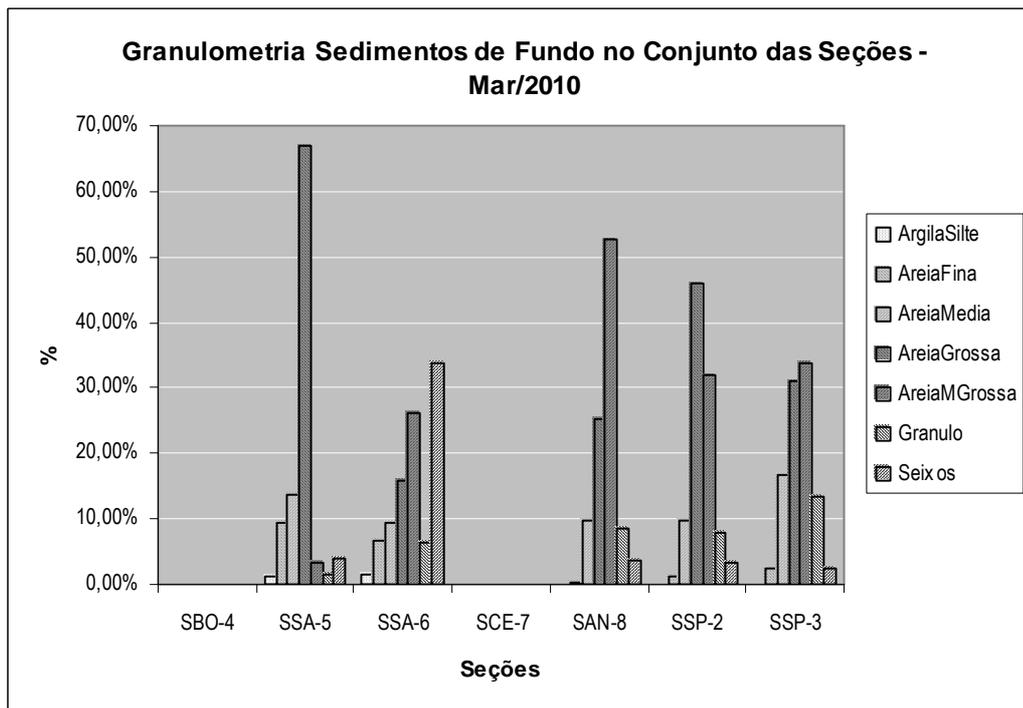


Figura 6-74 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de março/2010.

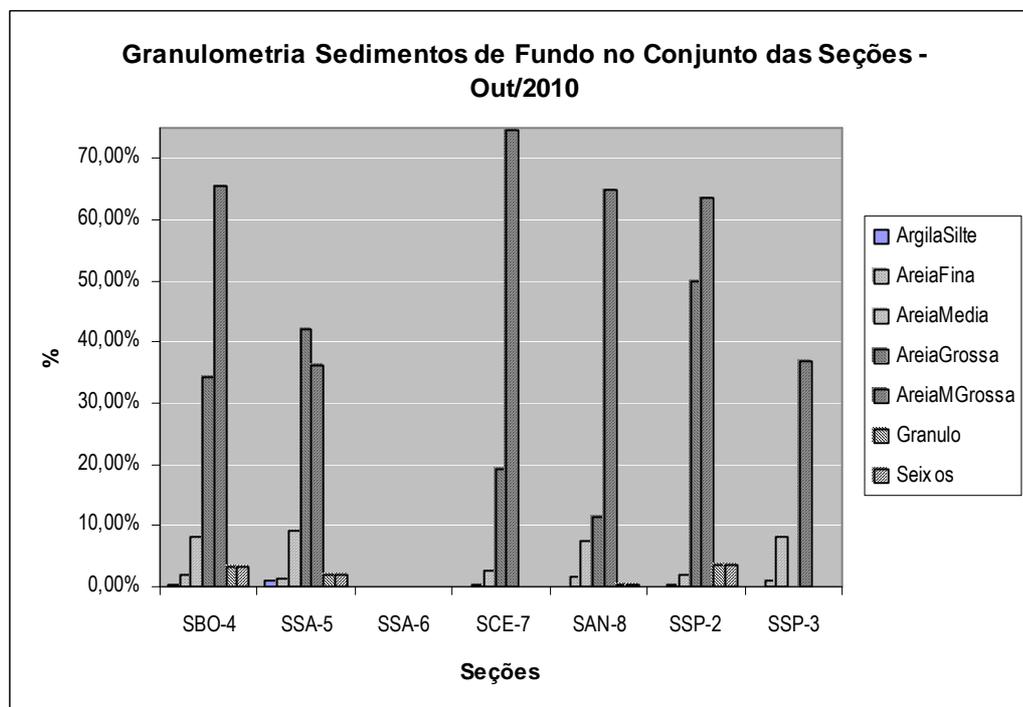


Figura 6-75 - Granulometria de todas as seções do rio Macaé manifestada no período de outubro/2010.

xi. Grau de arredondamento das amostras de sedimentos de fundo

Conforme Tucker (1995), em geral, o grau de arredondamento dos grãos e seixos é reflexo da distância de transporte ou do grau de retrabalhamento pelo qual os mesmos sofreram.

Ao estudar o grau de arredondamento e o grau de arredondamento médio das amostras de sedimentos, em cada seção os resultados obtidos foram os seguintes:

➤ **Rio Macaé na confluência do rio Bonito (seção SBO-4)**

Nesta única amostra analisada desta seção à jusante da confluência, teve-se um grande predomínio de sedimentos arredondados e sub-arredondados, enquanto os sedimentos menos trabalhados, tais como sub-angulosos e angulosos, são pouco expressivos e até mesmo inexistentes, que é o caso dos muito angulosos (Figura 6-76). Estes fatos permitem levantar a hipótese de que neste trecho do alto curso a grande parte dos sedimentos já sofreram um relativo transporte em relação às suas fontes, ou foram intensamente trabalhados pela alta competência do fluxo do canal.

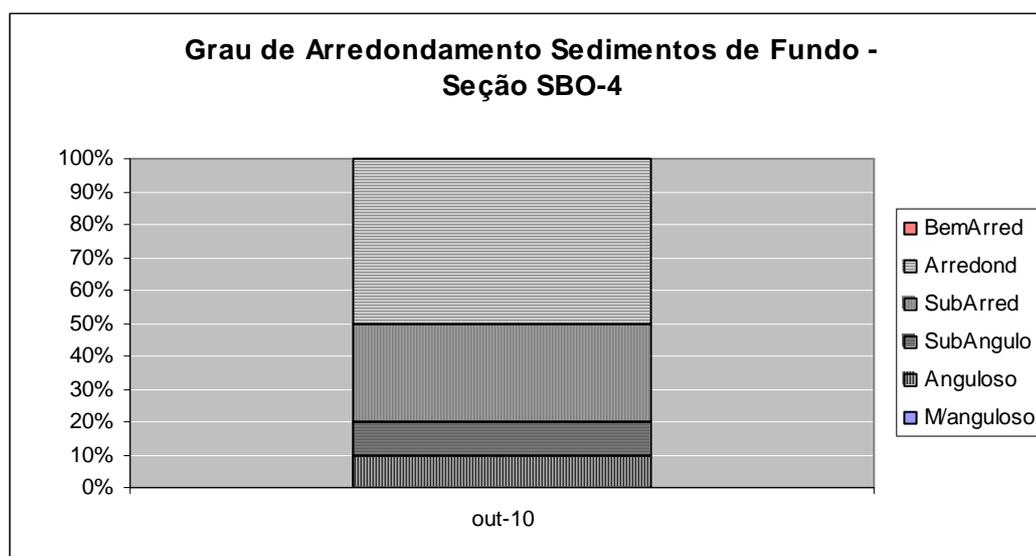


Figura 6-76 - Grau de arredondamento das amostras da seção SBO-4 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Bonito.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio Sana (seções SSA-5 e SSA-6)**

As amostras estudadas nos períodos de coletas na seção SSA-5 à montante da confluência, apresentaram em média o predomínio de sedimentos bem arredondados a arredondados e manifestações pouco expressivas das categorias sub-arredondado, sub-anguloso e anguloso (Figura 6-77 B).

Notou-se que de outubro/2007 a outubro/2009 os sedimentos foram predominantemente bem trabalhados e que em julho/2010 ocorreu considerável presença de sedimentos angulosos,

o que pode revelar a entrada de uma significativa carga de sedimentos recentes no canal, muito provavelmente, em consequência de processo erosivo discreto ocorrido no canal, pois não consta no banco de dados nenhum registro de processo de erosão nesta seção, ou então por influência de algum tributário. Em outubro/2010 a presença destes sedimentos sofreu uma expressiva diminuição (Figura 6-77 A).

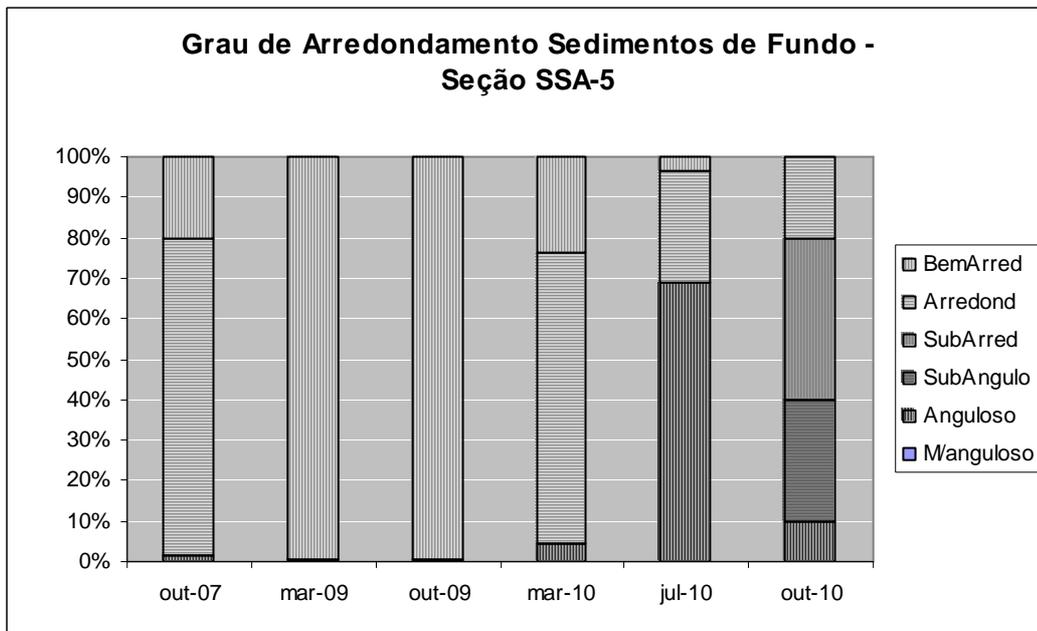


Figura 6-77 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana.

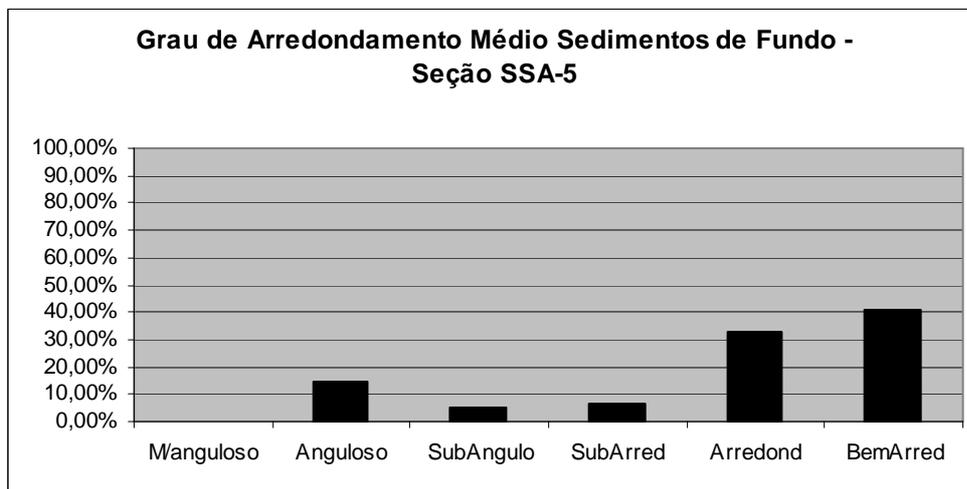


Figura 6-77 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SSA-5 do rio Macaé, à montante da confluência do rio Sana, no período entre 2007/10.

A seção SSA-6 à jusante da confluência, na média dos períodos estudados apresentou o predomínio de sedimentos arredondados, com uma expressiva amostra de sedimentos angulosos e bem arredondados (Figura 6-78 B).

Nesta seção os sedimentos angulosos estavam presentes em praticamente todas as amostras dos períodos, chegando a alcançar em outubro/2009 o percentual de 54% do total. Este fato pode expressar a ocorrência de processo erosivo discreto atuante, principalmente, nas margens do canal fluvial neste trecho, pois não consta o registro de processos erosivos nesta seção no banco de dados (Figura 6-78 A).

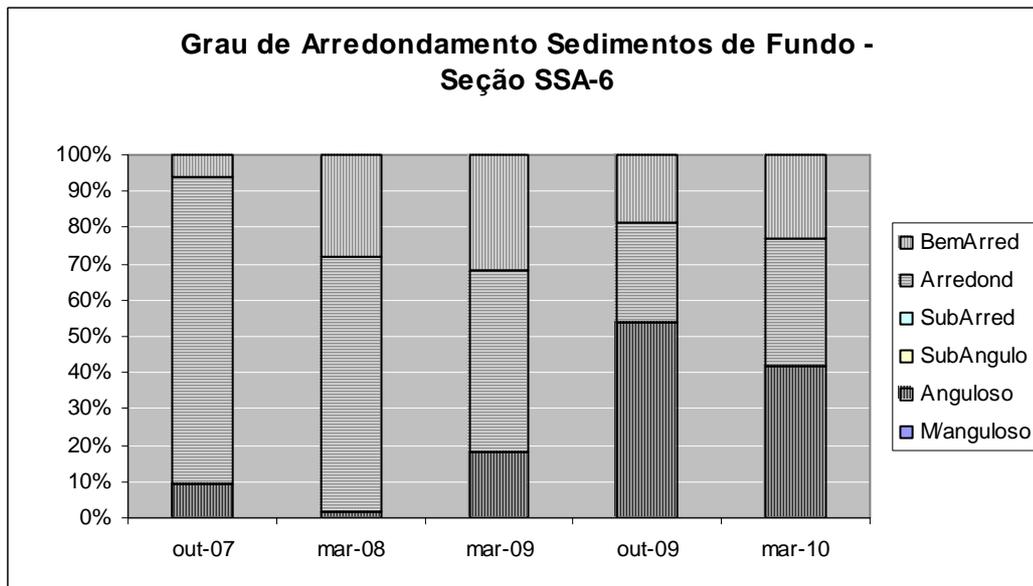


Figura 6-78 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana.

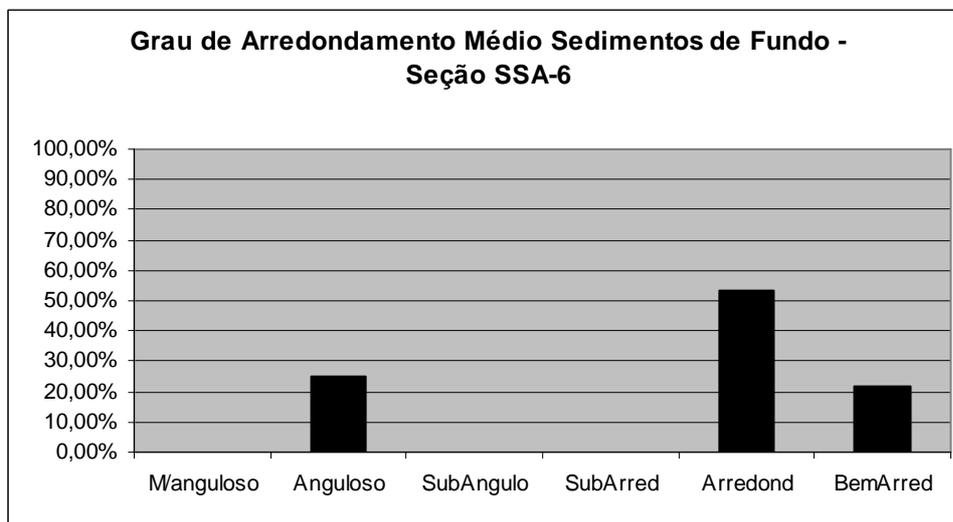


Figura 6-78 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SSA-6 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio Sana, no período entre 2007/10.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio D'Antas (seções SCE-7 e SAN-8)**

A seção SCE-7 à montante da confluência, apresentou um predomínio médio dos sedimentos arredondados, seguido de significativa presença dos sedimentos bem arredondados (Figura 6-79 B).

Os sedimentos angulosos, embora tenham se manifestado de forma pouca expressiva, chamaram a atenção por estarem presentes em quase todos os períodos nos quais as amostras foram coletadas.

No período de outubro/2010 foi assinalado um pequeno aumento na presença dos sedimentos angulosos ao mesmo tempo em que ocorreu uma completa ausência dos sedimentos bem arredondados, os quais se manifestaram de forma significativa em todos os períodos anteriores (Figura 6-79 A).

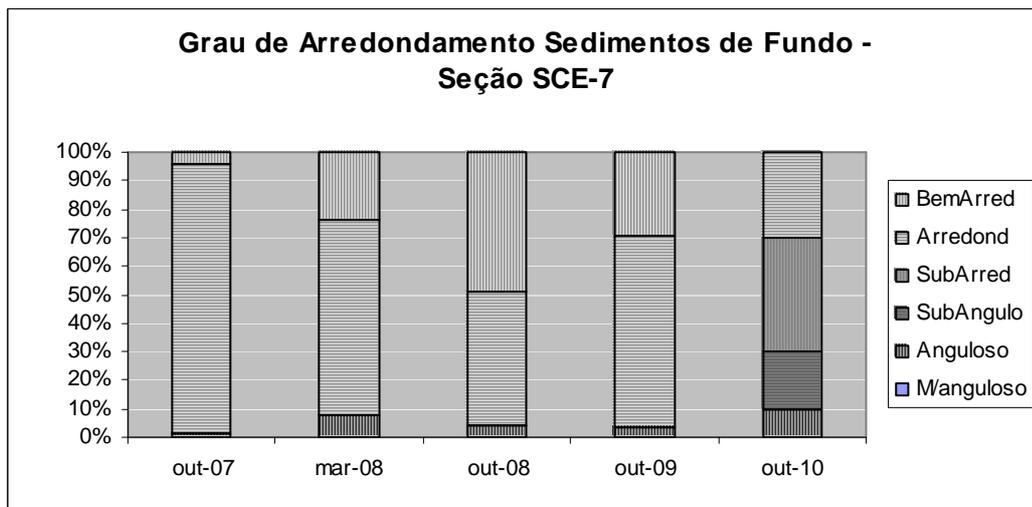


Figura 6-79 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas.

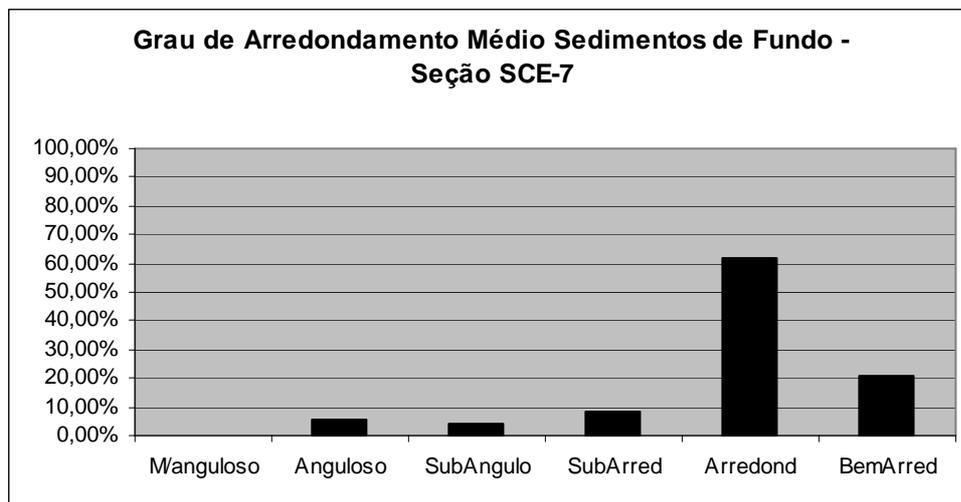


Figura 6-79 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SCE-7 do rio Macaé, à montante da confluência do rio D'Antas, no período entre 2007/10.

A seção SAN-8 à jusante da confluência, apresentou na média das amostras coletadas domínio expressivo dos sedimentos arredondados acompanhado de uma significativa porcentagem de sedimentos angulosos (Figura 6-80 B). Na distribuição das amostras nos períodos de coletas (outubro/2008; março/2009; outubro/2009; março/2010 e outubro/2010)

notou-se uma progressiva diminuição dos sedimentos arredondados, os quais são largamente dominantes nos dois períodos iniciais.

Os sedimentos angulosos, presentes em todas as amostras, sofreram um considerável aumento do seu percentual nos períodos de outubro/2009 e março/2010 e em seguida uma expressiva diminuição em outubro/2010. Este aumento pode ser explicado por uma intensificação do processo de erosão das margens côncavas do canal, conforme está registrado no banco de dados (Figura 6-80 A).

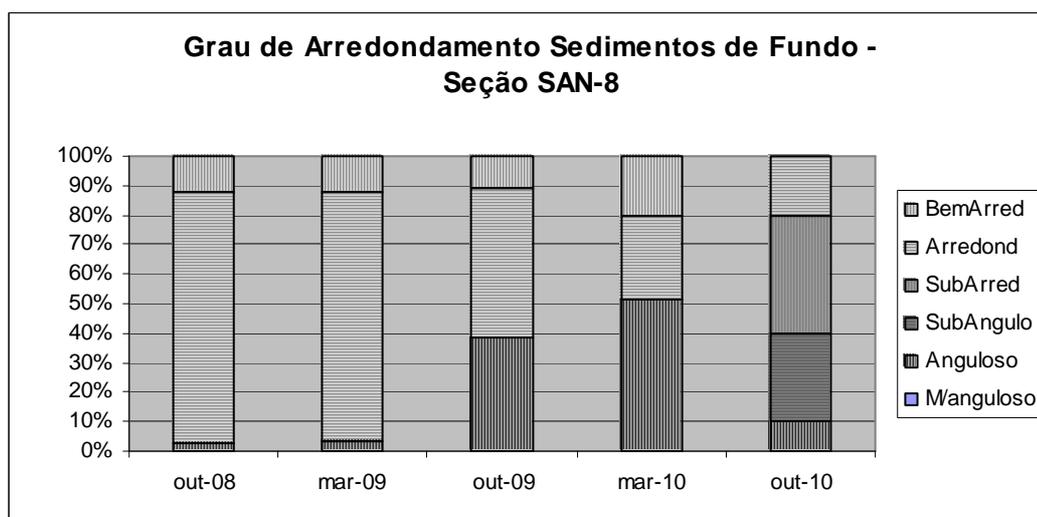


Figura 6-80 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas

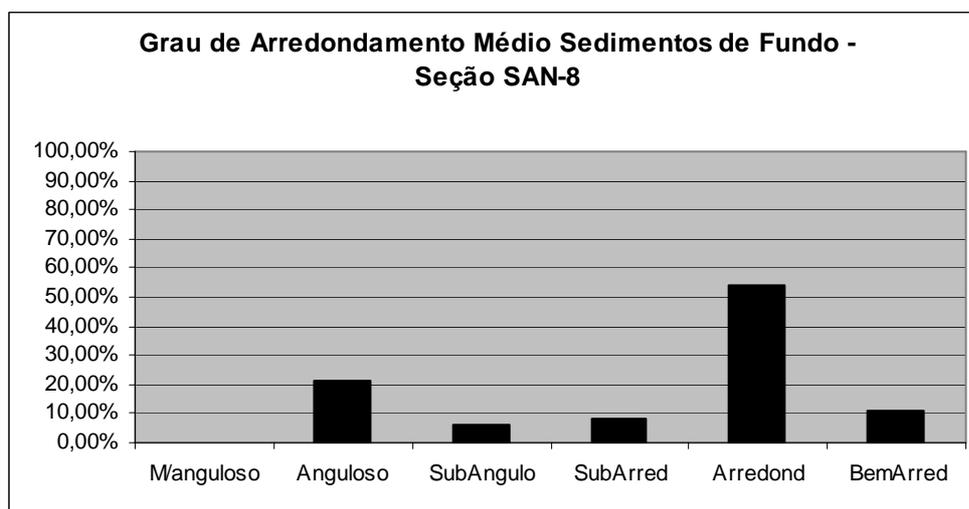


Figura 6-80 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SAN-8 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio D'Antas, no período entre 2008/10.

➤ **Rio Macaé na confluência do rio São Pedro (seções SSP-2 e SSP-3)**

A seção SSP-2 à montante da confluência apresentou em suas amostras o predomínio médio dos sedimentos arredondados (Figura 6-81 B). Na distribuição das suas amostras

notou-se, nos períodos de outubro/2009, março/2010 e outubro/2010, uma significativa diminuição destes sedimentos.

Na amostra coletada em março/2010 constatou-se expressiva diminuição dos sedimentos bem arredondados, que culmina com a sua total ausência no período seguinte, assim como, significativo aumento dos angulosos, o que pode está diretamente relacionado ao processo erosivo registrado nas margens do canal, nesta seção (Figura 6-81 A).

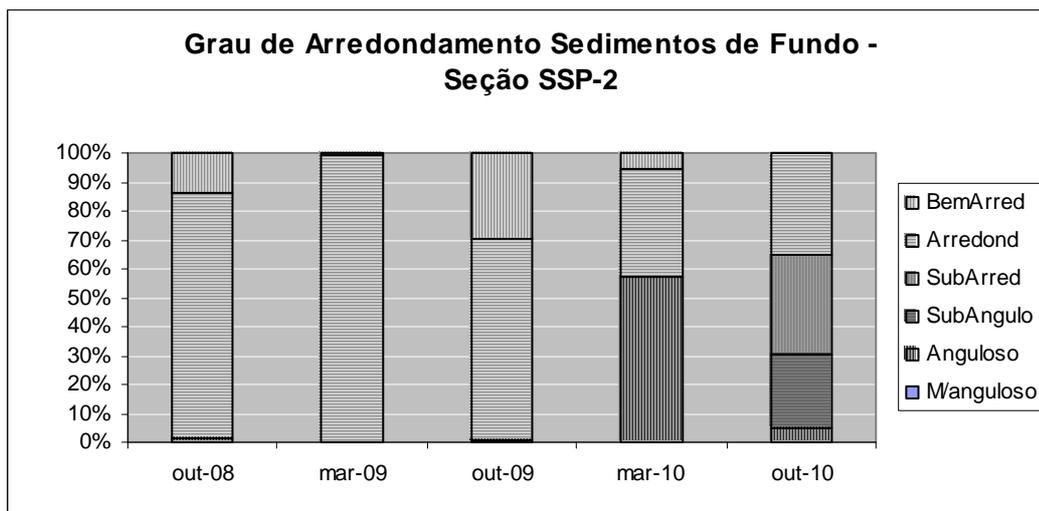


Figura 6-81 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro,

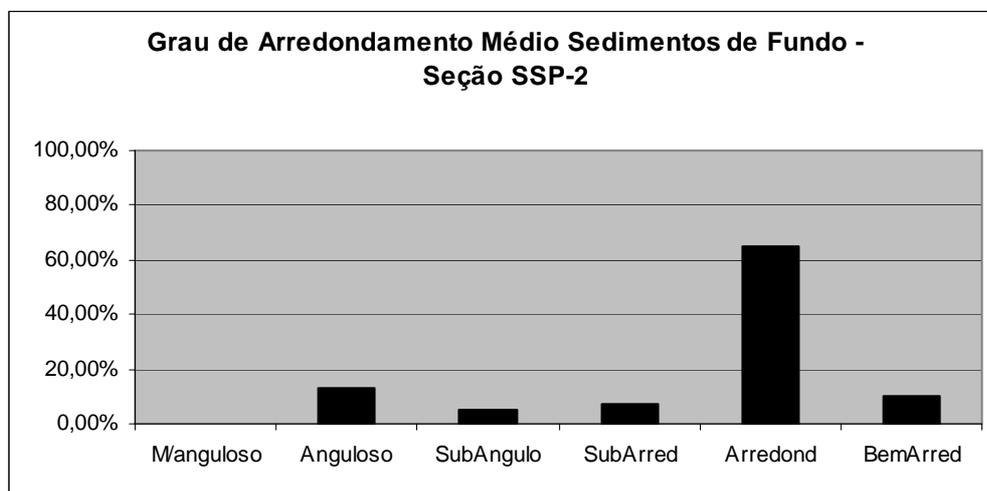


Figura 6-81 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SSP-2 do rio Macaé, à montante da confluência do rio São Pedro, no período entre 2008/10.

Na seção SSP-3 à jusante da confluência, a média das amostras apresentaram o predomínio dos sedimentos arredondados seguidos por significativa porcentagem dos bem arredondados (Figura 6-82 B).

É de se assinalar que entre março/2008 e outubro/2009 as quatro amostras coletadas manifestaram aproximadamente os mesmos percentuais de sedimentos arredondados e bem arredondados. Em março/2010 ocorreu a entrada de expressivo percentual de sedimentos angulosos e a diminuição dos bem arredondados.

Na amostra do período de outubro/2010 ocorreu o domínio dos sedimentos sub-arredondados e sub-angulosos e expressiva diminuição dos arredondados e bem arredondados. Estas mudanças podem estar relacionadas ao desencadeamento de processo erosivo na margem direita do canal neste perfil, conforme registrado no banco de dados e a prováveis alterações na carga de sedimentos do rio São Pedro, que desemboca a uns 300m à montante do perfil (Figura 6-82 A).

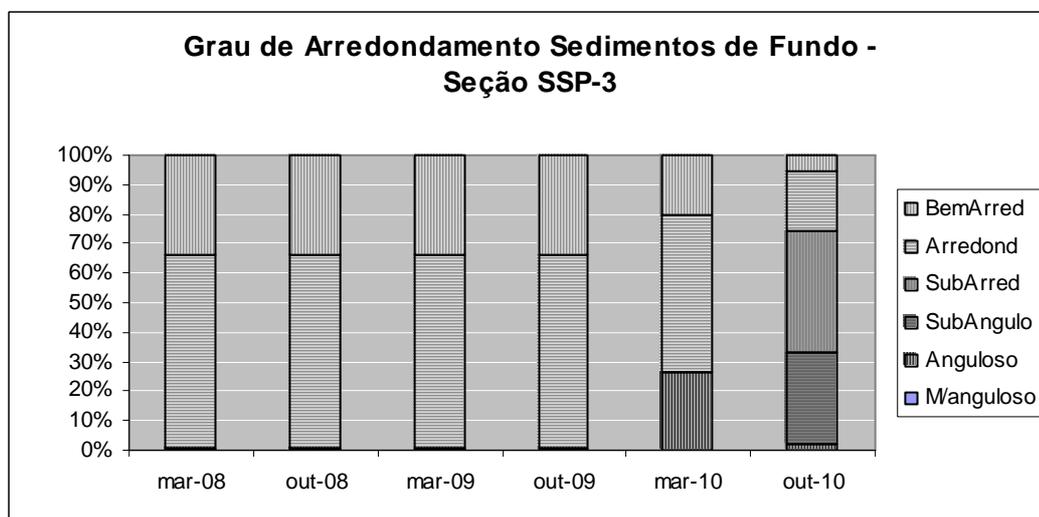


Figura 6-82 A - Grau de arredondamento das amostras da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro

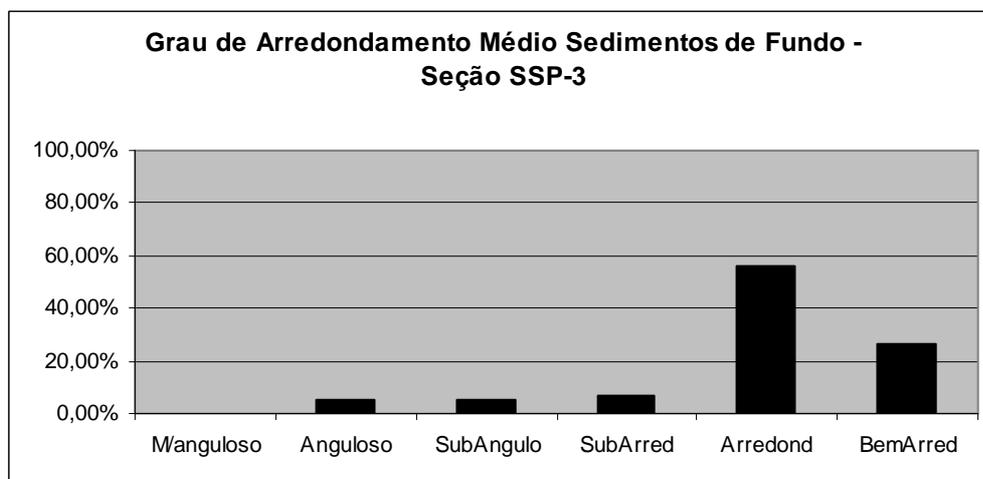


Figura 6-82 B - Grau de arredondamento médio das amostras da seção SSP-3 do rio Macaé, à jusante da confluência do rio São Pedro, no período entre 2008/10.

6.2.2. Dinâmica dos processos geomorfológicos do rio Macaé no período monitorado (de outubro/2007 a outubro/2010)

A tendência de aumento do parâmetro Relação Largura/Profundidade nas seções das confluências do rio D'Antas (SCE-7 e SAN-8), localizadas no baixo curso do rio Macaé, pode ser indicativa de instabilidade do canal fluvial nestas seções, caracterizadas por: tendência de alargamento dos canais em relação as suas profundidades; ocorrência de erosão das margens e pelo aumento da carga de sedimentos grosseiros. Esta tendência pode também ser indicativa de processo de agradação em andamento no canal fluvial nestas seções.

Contudo, de acordo com Rice *et al.* (2008), as confluências dos canais fluviais são palcos de mudanças que afetam ambas as características locais à jusante do fluxo fluvial e do leito. Assim, esta tendência de aumento nesta relação largura/profundidade, no caso da seção à jusante da confluência (SAN-8) pode ser também caracterizada como sendo processo natural da confluência.

As oscilações manifestadas no parâmetro Profundidade Média nas seções das confluências dos rios Bonito e Sana, (SBO-4, SSA-5 e SSA-6) são indicativas de uma provável alternância de processos erosivos e de preenchimentos manifestados a nestes trechos do canal do rio Macaé ao longo do período monitorado. Por sua vez, a tendência de diminuição deste parâmetro nas seções da confluência do rio D'Antas (SCE-7 e SAN-8) indicaram que, em tais seções, os canais fluviais apresentaram, no cômputo geral, o predomínio do processo de preenchimento de seus leitos durante este período.

Ressalta-se que, por se tratar de trechos retelinizado, no qual periodicamente são executada dragagem do leito, as seções localizadas à montante e à jusante do rio São Pedro (SPE-2 e SPE-3) não tiveram seus resultados considerados para este parâmetro.

A análise do parâmetro Alterações na Forma dos Perfis Transversais, nos permitiu deduzir que: (1) A seção SBO-4, à jusante da confluência do rio Bonito, foi a que apresentou maior estabilidade, tendo o canal fluvial apresentado alterações pouco expressivas em suas margens e no seu leito, e um deslocamento pouco significativo do talvegue. Tal fato está fortemente relacionado às características do canal neste trecho, pois se trata de um canal rochoso, de leito predominantemente formado por blocos, matacões e calhau; (2) À montante da confluência do rio Sana (seção SSA-5) se deu, inicialmente, processo de preenchimento, seguido por expressivo processo de erosão, o qual gerou o aprofundamento do talvegue e o rebaixamento do leito do canal. As

margens do canal mostraram-se significativa estabilidade, sofrendo alterações pouco expressivas no período analisado; (3) A seção SSA-6, à jusante da confluência do rio Sana, sofreu neste período, um significativo processo de erosão, que ocasionou expressivo rebaixamento do leito, sendo alternado por processo de preenchimento, que ocasionou sobrelevação do leito, que por sua vez, foi seguido de novo processo de erosão. As margens do canal apresentaram-se estáveis neste período; (4) À montante da confluência do rio D'Antas (seção SCE-7), apresentou em seu canal expressivo processo de erosão com rebaixamento da sua calha, sendo seguido por um intenso processo de preenchimento, o qual gerou sobrelevação do leito. As margens do canal se mostraram bastante instáveis, com ocorrência de processos de erosão ativos. O talvegue, neste período, sofreu significativo deslocamento; (5) A seção SAN-8 à jusante da confluência do rio D'Antas, apresentou um intenso processo de erosão pontual no seu leito, que ocasionou o aprofundamento do talvegue, tendo sido seguido de processo de preenchimento. As margens do canal apresentaram-se instáveis, com a ocorrência de significativos processos de erosão; (6) Nas seções da confluência do rio São Pedro, trecho retificado, foram desconsideradas as variações do leito do canal devido a ocorrência de dragagem. Sendo que a seção SSP-2, à montante da confluência, apresentou processo de erosão pouco intenso nas margens do canal e a seção SSP-3, à jusante da confluência, apresentou processo de erosão mais expressivo das margens.

6.2.3. Dinâmica dos processos hidrossedimentológicos do rio Macaé no período monitorado (de outubro/2007 a outubro/2010)

A análise do parâmetro Velocidade Média do Fluxo nos permite inferir que, nas seções das confluências dos rios Sana (SSA-5 e SSA-6) e D'Antas (SCE-7 e SAN-8), por manifestarem tendência de queda desta variável, possa vir ocorrer a reversão das condições em que se configuram as margens e o leito do canal fluvial; a vazão e as taxas de transporte e deposição de sedimentos.

Apesar de estarem localizadas num trecho retificado, as seções da confluência do rio São Pedro (SSP-2 e SSP-3) manifestaram igual tendência de diminuição desse parâmetro. Contudo, as atividades de dragagem executadas nestas duas seções alteraram radicalmente os efeitos desse parâmetro sobre as condições do canal fluvial.

A análise do parâmetro Raio Hidráulico nos mostra que: (1) A seção à jusante da confluência do rio Bonito (SBO-4) possui baixa eficiência do seu fluxo e manifesta uma oscilação da tendência deste parâmetro; (2) A seção à montante da confluência do rio Sana (SSA-5), embora se destaque por ter apresentado a mais alta eficiência de fluxo, manifesta pequena tendência de diminuição desta; (3) Por sua vez, a seção à jusante (SSA-6), apresentou baixa eficiência do seu fluxo e igualmente pequena tendência de diminuição desta; (4) As seções à montante e jusante da confluência do rio D'Antas (SCE-7 e SAN-8), mostraram igualmente, baixa eficiência dos seus fluxos e uma oscilação na tendência deste parâmetro; (5) As seções à montante e à jusante do rio São Pedro (SSP-2 e SSP-3) apresentaram eficiência do fluxo que oscilou entre valores baixos e altos. Ambas manifestaram oscilação nas suas tendências em relação a evolução dos seus raios hidráulicos.

As seções à montante e à jusante da confluência do rio São Pedro (SSP-2 e SSP-3), apresentaram expressiva variação de suas vazões entre as estações chuvosa e seca, tendendo assim a manifestarem significativos ajustes das características dos seus canais fluviais. No período estudado a seção à montante (SSP-2) manifestou inicialmente tendência de aumento seguida de diminuição deste parâmetro. Por outro lado, a seção à jusante (SSP-3), apresentou expressiva oscilação da tendência no período. Tal diferença das respectivas tendências pode ser explicada pela provável contribuição das águas do rio São Pedro na seção à jusante.

Analisando-se o parâmetro Descarga de Sedimentos em Suspensão de todas as seções do rio Macaé, nota-se que a seção SBO-4, à jusante da confluência do rio Bonito,

apresentou descarga de sedimentos em suspensão, que apesar de não ser a mais baixa em relação às demais seções, expressa a pequena carga de sedimentos que é carreada para o canal fluvial, devido as condições de preservação da área onde a seção se localiza.

As seções tendem apresentar, de forma geral, descarga de sedimentos em suspensão gradativamente maior no médio e baixo curso, principalmente. Sendo, em alguns casos, significativa a contribuição de sedimentos dos respectivos afluentes do rio Macaé. Destaca-se que, excetuando as eventuais ocorrências de picos da descarga de sedimentos em suspensão, nenhuma seção apresentou sequência de valores expressivamente altos que assinalem alguma contribuição excepcional de sedimentos que a diferencie marcadamente das outras seções.

A análise do parâmetro Curva de Transporte de Sedimentos, projetou para todas as seções do rio Macaé, com exceção da SBO-4, estimativa de aumento da concentração de sedimentos em suspensão, fato que pode ser sinalizado de um possível aumento dos processos erosivos nos canais e nas encostas.

Ao analisar o parâmetro Granulometria de todas as seções, percebe-se o marcante predomínio das frações AMG e AG, tendo a fração AM num segundo plano. Destaca-se que as frações menos grossas, como Silte/Argila e AF ocupam percentuais significativamente baixos na granulometria de todas as seções. Este predomínio de granulometria pouco mais grossa, proporciona relativo aumento da resistência erosional do canal, podendo assim contribuir para a ocorrência de possíveis processos de agradiação.

A análise do parâmetro Grau de Arredondamento Médio das amostras de sedimentos apresentados em todas as seções, é predominantemente arredondado, denotando assim, terem os sedimentos sofridos significativo transporte, desde sua fonte até o canal fluvial, e/ou sofrido intenso retrabalhamento ocasionado pela alta competência da corrente do rio.

6.2.4 Estágio das condições fluviais

Fundamentado nos conceitos de Brierley *et al.* (2002), podemos conjecturar que o rio Macaé (RJ) nas suas seções nas confluências dos rios Bonitos, Sana e D'Antas, tem a sua condição fluvial enquadrada no estágio, definidos por esses autores, como Ponto de Mutação (*Turned Point*), conforme mostrado na figura 4-3. Neste estágio, apesar de apresentar algum distúrbio, o rio está num estágio de transição, onde, havendo a intensificação dos processos aqui apresentados, como por exemplo a erosão de suas margens e preenchimento do seu leito, o rio poderá ser conduzido ao estágio de Degradação (*Degraded*).

E, se por outro lado, tais processos cessarem ou mesmo abrandarem, o rio poderá ser conduzido ao estágio de Criação (*Creation*), onde uma nova condição poderá incorporar as mudanças irreversíveis geradas por tais processos ao longo desse tempo.

A possibilidade de ajustes futuros nestas seções conduzirem o rio ao estágio de Restauração (*Restoration*) é muito remota, até mesmo na sua seção no alto curso na confluência do rio Bonito (SBO-4), a qual corresponde ao seu trecho melhor preservado, devido, principalmente, ao aumento da pressão urbana na região causada pela atividade econômica voltada para a exploração do petróleo, e no caso específico desta seção, pela intensificação das atividades relacionadas ao turismo.

7. CONCLUSÕES

O Banco de Dados Fluviais (BDF_{sup} – Macaé-RJ) estruturado e implementado nesta pesquisa mostrou total adequação para o armazenamento dos dados fluviais definidos nesta pesquisa e daqueles previamente existentes, que compõem a série histórica do monitoramento do rio Macaé (RJ), em execução desde outubro de 2007 pelo Grupo de Geomorfologia Fluvial do LAGESOLOS/UFRJ.

Atualmente, com uma base de dados de cerca de 124 mb de tamanho, o BDF_{sup} – Macaé-RJ mostrou bastante praticidade quanto ao procedimento de alimentação de sua base de dados a partir da “Ficha de Levantamento de Dados de Sistemas Fluviais” onde, durante a fase de levantamento de dados, um volume considerado de material de campo e laboratorial foram transcritos, para em seguida serem digitados no banco de dados.

Os inúmeros procedimentos de consultas aos dados armazenados em sua base de dados, que foram executados com a finalidade de implementar as análises realizadas nesta pesquisa, feitos com a utilização da ferramenta “assistente de consulta” disponibilizada no *software*, apresentaram uma *performace* surpreendentemente positiva, destacando-se a rapidez, a facilidade de elaboração da estrutura de consulta aos campos das tabelas da base de dados e os produtos obtidos.

Os dados obtidos nas consultas ao BDF_{sup} – Macaé (RJ) apresentaram total compatibilidade ao serem exportados e manuseados no *software Excell*, onde foram gerados, com certa facilidade, dezenas de gráficos, tabelas e linhas de tendências voltadas para a análise dos processos hidrossedimentológicos e geomorfológicos atuantes na dinâmica do rio Macaé (RJ).

No espaço de quatro anos de monitoramento do rio Macaé-RJ, ao proceder a análise da massa de dados hidrossedimentológico e geomorfológicos já levantados, tendo o Banco de Dados Fluviais como ferramenta, uma importante inferência pode ser feita. Conforme a breve descrição dos resultados aqui apresentados nota-se que apesar ter havido nas seções monitoradas a ocorrência de variados processos hidrossedimentológicos e geomorfológicos, todos com relativa capacidade de gerarem profundas alterações nas condições do rio. Como por exemplo: alargamento do canal; erosão em pontos das margens; preenchimento e erosão do canal, percebe-se que ao longo deste monitoramento, de uma forma geral, tais processos se manifestaram alternadamente, não ocorrendo ao longo desse tempo o predomínio marcante de um processo específico, com

intensidade considerável, que denotasse a configuração de uma tendência marcante nas seções analisadas.

São processos, que ora são observados num dado período do monitoramento com uma determinada intensidade, e que, em períodos posteriores, tornam-se inexpressivos, ou desaparecem, ou até mesmo invertem as condições observadas inicialmente, conforme é mostrado na configuração da forma dos perfis das seções SSA-5, SSA-6, SCE-7 e SAN-8 através das sequências de figuras: 6-52; 6-53; 6-54 e 6-55 respectivamente.

Finalizando, podemos afirmar que, um Banco de Dados Fluviais tem um enorme potencial como ferramenta de análise de sistemas fluviais, estando a precisão dos produtos por ele gerados, diretamente relacionada à qualidade dos dados obtidos nos monitoramentos em campo, nas análises laboratoriais das amostras e também ao volume destes dados armazenado em sua memória.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A., 1981. Brazilian Structural Provinces: an Introduction. *Earth Science Review*, 17: 1-29.
- AYOADE, J. O., 1988. Tropical Hidrology and Water Resources. MacMillan Publishers Ltd. London. p. 166-188.
- BERGER, A. R., 1998. Environmental Change, Geoindicators, and the Autonomy of Nature. *GSA Today*, v. 8 n° 1. www.geosociety.org/pubs/gsatoday/archieve/v8.htm. Acesso: jan/2007.
- BORDAS, M.P.; SEMMELMANN, F.R., 2007. Elementos de Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, C.E.M. (org), 2007. Hidrologia – Ciência e Aplicação. 4ª edição, Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre. p. 915-943.
- BOSCH, D. D.; SHERIDAN, J. M.; LOWRANCE, R. R.; HUBBARD, R. K.; STRICKLAND, T. C.; FEYEREISEN, G. W.; SULLIVAN, D. G., 2007. Little River Experimental Watershed Database. *Water Resources Research*, vol. 43, 6 PP.
- BRIERLEY, G.J.; FRYIRS, K., 1999. Tributary-trunk Stream Relations in a Cut-in-fill Landscape: a Case Study from Wolumla Catchment, New South Wales, Australia. In: *Geomorphology*, v.28, p.61-73.
- _____, 2000. River Styles, a Geomorphic Approach to Catchment Characterization: Implication for River Rehabilitation in Bega Catchment, New South Wales, Australia. In: *Environment Management*, v.25, n.6, p.661-679.
- BRIERLEY, G.J.; FRYIRS, K.; OUTHET, D.; MASSEY, C., 2002. Application of the River Styles Framework as a Basis for River Management in New South Wales, Australia. *Applied Geography* 22 (2002) 91–122.
- CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos), 2003. Resolução n° 32/2003. www.cnrh.gov.br. Acesso: 12/05/2009.
- CÂMARA, G., 2005. Representação Computacional de Dados Geográficos. <http://www.dpi.inpe.br/livros.php> Acesso:08/03/2009.
- CARVALHO, N. O., 1994. Hidrossedimentologia Prática. CPRM, Rio de Janeiro, 372 p.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W., 2000. Guia de Práticas Sedimentométricas. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 154p.

- CHEVALLIER, P. 2007. Aquisição e Processamento de Dados. *In*: TUCCI, C.E.M. (org), 2007. Hidrologia – Ciência e Aplicação. 4ª edição, Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre. p.485-525.
- CIDE (Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro), 1989. Coleção Perfis Municipais. pp. 11-17.
- CHORLEY, R.J.; KENNEDY, B.A., 1971. Physical Geography: A Systems Approach, London: Prentice Hall. 370.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1980. Geomorfologia. 2ª edição, Ed.Edgar Bluncher, São Paulo. 200p.
- _____, 1981. Geomorfologia Fluvial. Volume 1 – O Canal Fluvial. São Paulo: E. Blucher: Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo. 313p.
- CHURCH, M., 2006. Bed Material Transport and the Morphology of Alluvial River Channels. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, v.34, p.325-354.
- CUNHA, S.B., 2003. Geomorfologia Fluvial. *In*: Guerra, A. J. T., Cunha, S. B. (Org.), Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos. 5ª Ed., RJ, Bertrand Brasil, p.211-252.
- DANTAS, M.E., 2000. Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro. Projeto Rio de Janeiro, CPRM, Brasília. 63p.
- DAVIS, E.G.; NAGHETTINI, M.C., 2000. Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro. 2ª ed., CPRM, Brasília. 138p.
- DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B., 1978. Water in Environmental Planning. W H Freeman & Co., New York. 818p.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. Zoneamento Agroecológico do Estado do Rio de Janeiro - Ano 2003. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 33. http://www.cprm.gov.br/publique/media/bol_33_2003_zon_rj.pdf. Acesso:10/08/2001.
- _____, 2010. Banco de Dados Climáticos do Brasil. <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/>. Acesso: 11/04/2010.
- ESTEVES, F. A., 1998. Lagoa de Imboassica: Impactos Antrópicos, Propostas Mitigadoras e sua Importância para a Pesquisa Ecológica. *In*: *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé, Rio de Janeiro*, 401-429.

- FERREIRA, M. I. P., 2009. Geoprocessamento Aplicado à Gestão dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé-RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30, INPE, p. 4247-4254.
- FILHO, A.C.; LUMBRERAS, J.F.; SANTOS, R.D.; FILHO, B.C.; WITTEM, K.P., 2000. Os Solos do Estado do Rio de Janeiro. CPRM, Brasília. 36p.
- FISRWG (Federal Interagency Stream Restoration Working Group), 1998. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. USA. 637 p. http://www.usda.gov/stream_restoration Acesso: 08/01/2006.
- FRYIRS, K., 2003. Guiding Principles to Assessing the Geomorphic Condition of Rivers: Application of a Framework in Bega Catchment, South Coast, NSW, Australia. *Catena* v.53, pp. 72-87.
- FRYIRS, K.; BRIERLEY, G.J., 2000. A Geomorphic Approach to Identification of River Recovery Potential. *Physical Geography*, v.21, pp 244-277.
- GLYSSON, G.D., 1987. Sediment-Transport Curves. U.S. Geological Survey. Open-File Report 87-218. http://water.usgs.gov/osw/techniques/OFR_87_218.pdf. Acesso em 09/10/2010.
- GUERRA, A. J. T., 2003. Processos Erosivos nas Encostas. *In*: Cunha, S.B. e Guerra, A.J.T. (org.). *Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos*. 5ª ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 149-209.
- HORTON, R. E., 1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 275-370 p.
- HOWARD, A. D., 1987. Modelling Fluvial System: Rock-bed, Gravel-bed and Sand-bed. *In*: Richards, K. *River Channels – Environment and Process*. Oxford UK. Basil Blackwell Ltd. P. 69-94.
- INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES (IUG), 2006. Stream Channel Morphology and Position. www.lgt.lt/geoin/doc.php?did=cl_stream. Acesso: jan/2007
- KELHER, E. A.; MELHORN, W. N., 1981. Bedforms and Fluvial Process in Alluvial Stream Channels: Select Observations. *In*: Morisawa, M. (ed.) *Fluvial Geomorfology*. London, Geoge Allen & Unwin. p. 253-283.
- KORTH, H.F.; SILBERSCHATZ, A., 1995. *Sistemas de bancos de dados*. 2ª Edição, São Paulo, Makron Books. 754p.

- LIMA, R. N. S., 2010. Conectividade Dos Ambientes Fluviais: Implicações Para Avaliação Da Sensibilidade Do Sistema De Drenagem Da Bacia Do Rio Macaé (RJ), Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia – UFRJ. 171 p.
- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, G.; MILLER, J.P., 1964. Fluvial Processes in Geomorphology. W.H. Freeman and Company. USA. 522p.
- LISBOA FILHO, J., 2000. Projeto de Banco de Dados para Sistemas de Informação Geográfica. Universidade Federal de Viçosa. <http://www.sbc.org.br/reic/edicoes/2001e2/tutoriais/ProjetoDeBDparaSistemasdeInformacaoGeografica.pdf> Acesso:09/03/2008
- MARÇAL, M. S.; LUZ, L. M., 2003. Suscetibilidade de Paisagem na Zona Costeira de Macaé (RJ) e Modificações nos Ecossistemas Litorâneos. In: Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo, CD-ROM.
- MARÇAL, M. S.; LIMA, R. N. S.; BOAS, G. H. V.; HINGEL, R. L., 2009. Mapeamento de Feições Geomorfológicas no Sistema Encosta-Planície da Bacia do Rio Macaé (RJ), In: XXXI Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Artística e Cultural, 2009, Rio de Janeiro. XXXI Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Artística e Cultural. 8p.
- MARQUES, J.S., 2003. Ciência Geomorfológica. In: Guerra, A. J. T., Cunha, S. B. (Org.), Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos. 5ª Ed., RJ, Bertrand Brasil, p.23-28.
- MARTIN, L; SUGUIO, K; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M., 1997. Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Estado do Espírito Santo. Belo Horizonte. CPRM, 112 p.
- MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A., 2004. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma Introdução ao Tema. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 5, Nº 1, p. 11-18.
- MEDEIROS, J. S., 1999. Bancos de Dados Geográficos e Redes Neurais Artificiais: Tecnologias de Apoio à Gestão de Território. Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. 221 p.
- MELLO, E.V., 2006. Alterações Tecnogênicas em Sistemas Fluviais no Município de Volta Redonda, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul Fluminense. Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia – UFRJ. 161 p.

- MELLO, R.S., 2008. Banco de Dados Não-Convencionais. Departamento de Informática e de Estatística (INE), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://www.inf.ufsc.br/~ronaldo/bdnc/10-bdg1.pdf>. Acesso:08/03/09.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE , 2006. Secretaria de Recursos Hídricos (SRH). Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Sudeste. Brasília. 141 p.
- MOTÉ, F.O., 2008. Classificação de Unidades de Paisagem na Bacia do Rio Macaé (RJ) como Proposta Metodológica ao Planejamento Ambiental. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 128p.
- NASCIMENTO, F. J. B.; HINGEL, R. L.; SOUSA, P. A.; MARÇAL, M. S., 2010. Caracterização Espaço-Temporal das Chuvas Associada às Vazões na Bacia do Rio Macaé - RJ. In: IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica - SBCG, 2010, Fortaleza. IX Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica - SBCG, 2010. 13 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1992. Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy. National Academy Press. USA. 1992. 575 p. <http://www.nap.edu/catalog/1807.html>. Acesso: 02/03/2005.
- NEVES, S.M.A.S., 2006. Modelagem de um Banco de Dados Geográficos do Pantanal de Cáceres/MT: Estudo Aplicado ao Turismo. Programa de Pós-Graduação de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tese de doutorado, 284 p.
- NIMER, E., 1979. Climatologia do Brasil. IBGE, Rio de Janeiro. 551p.
- OSTERKAMP, W.R., 2002. Geoindicators for River and River-valley Monitoring in the Humid Tropics. Environmental Geology. Vol. 42, p. 725-735.
- PINHEIRO, M. R. C.; WERNECK, B. R.; MARÇAL, M.S.; OLIVEIRA, A. F.; MOTÉ, F.; Silva, J. A. F.; FERREIRA, M. I. P., 2009. Geoprocessamento Aplicado à Gestão dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé-RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4247-4254.
- POWERS M.C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles: Journal of Sedimentary Petrology, 23:117-119.
- QUEIROZ, G.R.; FERREIRA, K.R., 2006. Tutorial Sobre Bancos de Dados Geográficos – GeoBrasil 2006. 104 p. <http://www.dpi.inpe.br/livros.php> Acesso:08/03/2009
- REID, L. M. & DUNNE, T., 1996. Rapid Evaluation of Sediment Budgets. GeoEcology paperback, Catena Verlag. Germany. p. 164

- RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F., 2003. Rios e Processos Aluviais. In: Teixeira, W.; Fairchild, T.R.; Toledo, M.C.M.; Taioli, F., (Org.), Decifrando a Terra. São Paulo. Oficina de Textos. p.191-214
- RICE, S.P.; ROY, A.G.; RHOADS, B.L.,2008. River Confluence, Tributaries and Fluvial Network. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, England. 457p.
- RICHARDS, K., 1985. Rivers – Form and Process in Alluvial Channels. Methuen & Co. Ltda. London, p.361.
- RUTHERFURD, I.D; JERIE, K; MARSH, N., 2000. A Rehabilitation Manual for Australian Streams. Vol. 1. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Land and Water Resorcer Research and Development Corporation. Australia.
- SHEPARD, F. P., 1967 “Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios”, J. Sed. Pet., v.24, p.151-158.
- SCHUMM, S.A., 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. Geological Society of America Bulletin, 74, 1089 – 1100.
- _____, 1977. The Fluvial System. USA. John Wiley & Sons, Inc. 338 pp.
- SILVA, L.C., 2007. Análise de Propostas Metodológicas de Manejo de Rios Degradados como Subsídio para Planos de Gestão de Recursos Hídricos. Monografia submetida ao Departamento de Geografia do IGEO da UFRJ. 44p.
- SILVA, L.C.; CUNHA, H.C.S., 2001. Geologia do Estado do Rio de Janeiro. CPRM, Brasília. 88p.
- SILVA, T.M., 2002. A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG. 263p.
- SIMON, C.; CASTRO, J., 2003. Measurement and Analisis of Alluvial Channel Form. In KANDOLF, G.M.; PIEGAY, H., Tools in Fluvial Geomorphology. (Editors). John Wiley & Sons Ltd, England. P. 291-322.
- SIMPSON, K., 1995. Siliciclastics: Grain Size. 56p.
- SUMMERFIELD, M.A., 1991. Global Geomorphology – an Introduction to the Study of landforms. England.Longman Scientific &Technical. 537 pp.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J., 1979. Ambiente fluvial. Editora da Universidade do Paraná, Curitiba, p. 183
- _____.1990. Ambiente Fluvial. 2ª edição. Editora da Universidade Federal do Paraná. Florianópolis. 183p.

- THORNE, C. R., 1998. Stream Reconnaissance Handbook – Geomorphological Investigation and Analysis of River Channels. England, John Wiley & Sons Ltd. 132 p.
- TUCKER, M.E., 1995. Sedimentary Rocks in the Field. 2nd. Edition. John Wiley & Sons. England. 153 p.
- VEIGA, T. C., 2002. Um Estudo de Geoplanejamento para o Município de Macaé - RJ e seu Entorno: Contribuição do Geoprocessamento na Identificação do Potencial Turístico. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia. UFRJ, pp. 46-60.
- VILLAS BOAS, G. H., 2010 Análise de Dados Morfométricos da Bacia do rio Macaé Através da Utilização de GIS. 2008. Monografia do curso de Graduação em Geografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro. RJ.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A., 1975. Hidrologia Aplicada. São Paulo, MacGraw Hill, p. 6–28.
- WENTWORTH, C.K., 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. Journal of Geology, 30: 377-392 pp.

FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS

REALIZADO POR: _____

1. DATA E EQUIPE DO LEVANTAMENTO

1.1 Início: ____/____/____ 1.2 Término: ____/____/____

1.3 Equipe de Campo (Professores; funcionários e alunos):

1.4 Hospedagem: _____

1.5 Endereço: _____

1.6 Telefone: _____; 1.7 Contato: _____; 1.8 Diária: _____

2. DADOS DA REGIÃO HIDROGRÁFICA

2.1 Região Hidrográfica (Resolução nº 32/2003 CNRH): _____

2.2 Sub Região Sub1 (MMA - SRH, 2006): _____

2.3 Sub Região Sub 2 (MMA - SRH, 2006): _____

3. DADOS DA BACIA

3.1 Nome da bacia : _____

3.2 Localização: _____

3.3 Análise Histórica: Descrição de Evento na bacia - Data ou Período – Causas

3.4 Comprimento do rio principal (Km): _____

3.5 Área da bacia (Km²): _____

3.6 Amplitude Altimétrica Máxima: (m): _____

3.7 Gradiente da bacia (%): _____

3.8 Número de Canais: _____

3.9 Densidade de Rios: _____

3.10 Densidade de Drenagem: _____

FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS

3.11 Padrão da Drenagem: _____

3.12 Clima: _____

3.13 Características Climáticas: _____

3.14 Temperaturas (°C): Máxima: _____; Mínima: _____; Média Anual: _____

3.15 Pluviosidade (mm/a): Máxima: _____; Mínima: _____; Média Anual: _____

3.16 Uso do Solo (% em relação a área da sub bacia):

<input type="checkbox"/> Pasto;	<input type="checkbox"/> Agricultura;	<input type="checkbox"/> APA;	<input type="checkbox"/> Núcleo Urbano;
<input type="checkbox"/> Mata Ciliar;	<input type="checkbox"/> Silvicultura;	<input type="checkbox"/> Sem Uso;	<input type="checkbox"/> Outro

3.17 Taxa de Urbanização (IBGE – (Pop Urbana /Pop Total)x100) (%): _____

3.18 Tipo de Urbanização

<input type="checkbox"/> Cidade;	<input type="checkbox"/> Povoado;	<input type="checkbox"/> Fazenda ;	<input type="checkbox"/> Loteamento;	<input type="checkbox"/> Moradias Dispersas
<input type="checkbox"/> Ocupações irregulares em áreas de risco e/ou de invasão;	<input type="checkbox"/> Outra _____			

3.19 Produção de Sedimentos da Bacia (t/a): _____

3.20 Modelo Utilizado no Cálculo: _____

3.21 Imagem da Bacia: _____

3.22 Observação: _____

4. DADOS DO CANAL FLUVIAL

4.1 Nome do canal fluvial: _____

4.2 Análise Histórica: Mudanças no Canal Fluvial - Data ou Período – Causas

FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS

4.3 Comprimento do Canal (km): _____

4.4 Hierarquia Fluvial (Método de Strahler): _____

4.5 Índice de Sinuosidade do Canal: <1; 1 - 2,0; > 2,0

4.6 Planta do Perfil longitudinal (nome do arquivo digital): _____

4.7 Imagens do Canal Fluvial: _____

4.8 Observação: _____

5. IDENTIFICAÇÃO DA SEÇÃO TRANSVERSAL

5.1 Identificação/Código da Seção Transversal: _____

5.2 Localização (Município): _____

5.3 Localização (Unidade da Federação): _____

5.4 Localização da Seção: Alto curso; Médio curso; Baixo curso

5.5 Coordenadas da Seção: Latitude: _____

5.6 Coordenadas da Seção: Longitude: _____

5.7 Ponto de Referência da Localização da Seção: _____

5.8 Imagens da Seção Transv: _____

5.9 Observação: _____

6. DADOS DO VALE NA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

6.1 Unidades Geomorfológicas do Vale:

Planície; Depressão; Planalto; Serra; Colina;
 Escarpa; Maciço; Base de Escapa; Bacia; Outra

6.2 Atributos do Vale

Confinado (>90% do canal está contido nas margens do vale);
 Parcialmente Confinado (10 – 90% do canal está contido nas margens do vale);
 Aluvial com Canais Contínuos (< 10% do canal está contido nas margens do vale);
 Aluvial com Canais Descontínuos (< 10% do canal está contido nas margens do vale)

6.3 Tipos de Canais Descontínuos:

Ausentes; Charcos / Brejo; Poças; Outros

6.4 Forma do Vale:

Simétrico; Assimétrico; { Retilíneo; Sinuoso; Irregular

6.5 Ângulo da Encosta do Vale na ME:

< 5°; 5° - 10°; 11° - 20°; 21° - 50°; > 50°

FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS

6.6 Ângulo da Encosta do Vale na MD:

< 5°; 5° - 10°; 11° - 20°; 21° - 50°; > 50°

6.7 Planície de Inundação: ME; MD; MD/ME; Ausentes

6.8 Planície de Inundação Retrabalhada: ME; MD; MD/ME; Ausentes

6.9 Planície de Inundação Ocasional: ME; MD; MD/ME; Ausentes

6.10 Brejos Alagados: ME; MD; MD/ME; Ausentes

6.11 Meandros Abandonados: Presentes; Ausentes

6.12 Paleocanais: Presentes; Ausentes

6.13 Terraços ME: T1; T1 T2; T1 T2 T3; Ausentes

6.14 Terraços MD: T1; T1 T2; T1 T2 T3; Ausentes

6.15 Ocorrência de Deslizamento de Encosta: Presente; Incipiente; Ausente

6.16 Tipos de Rochas Predominantes no Vale:

Sedimentar; Metamórfica; Ígnea Plutônica;

Ígnea Vulcânica; Não Identificada Nenhuma

6.17 Descrição Geológica (Rochas predominantes e Período geológico):

6.18 Superfície Geológica do Vale:

Substrato rochoso; Alúvio; Colúvio; Alúvio/Colúvio;

Rochas Alteradas (Saprolito); Outro

6.19 Deformações Estruturais:

Falhas; Dobramentos; Fraturas; Não Identificadas; Ausentes.

6.20 Material da Encosta do Vale na ME:

Substrato Rochoso; Rochas Alteradas (Saprolito); Alúvio;

Colúvio; Solo

FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS

6.21 Material da Encosta do Vale na MD:

- Substrato Rochoso; Rochas Intemperizadas (Saprolito); Alúvio;
 Colúvio; Solo

6.22 Cobertura do Solo (vegetação):

- Ausente; Gramíneas/ervas; Arbustos Dispersos; Floresta;
 Mata Ciliar; Cultura; Outra

6.23 Vegetação Ribeirinha:

- Ausente; Presente:

6.24 Descrição da Estrutura e Composição da Vegetação Ribeirinha:

6.25 Uso do Solo:

- Pasto; Agricultura; APA; Núcleo Urbano;
 Mata Ciliar; Silvicultura Sem Uso; Outro _____

6.26 Presença de Obras de Engenharia no Vale:

- Estrada de Terra; Estrada Asfaltada; Ferrovia;
 Contenção de Encosta; Linha de Transmissão; Ponte/Viaduto;
 Outra _____; Nenhuma;

6.27 Problemas Ambientais no Vale:

- Bota Fora; Lixão; Aterro Sanitário;
 Nenhum; Outro _____;

6.28 Tipo de Urbanização

- Cidade; Povoado; Fazenda; Loteamento; Moradias Dispersas
 Ocupações irregulares em áreas de risco e/ou de invasão; Outra _____

6.29 Imagens do Vale na Seção: _____

6.30 Observação: _____

FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS

7. DADOS DO CANAL FLUVIAL NA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

7.1 Tamanho do Canal no Perfil Transv: Largura da lâmina d'água (m): _____

7.2 Tamanho do Canal no Perfil Transv: Altura Média da lâmina d'água (m): _____

7.3 Perímetro Molhado da Seção Transversal (m): _____

7.4 Área da seção Transversal (m²): _____

7.5 Temperatura da Água (°C): _____

7.6 Raio Hidráulico (m): _____

7.7 Velocidade Média do Fluxo (m/s): _____

7.8 Vazão (m³/s): _____

7.9 Descarga de Sedimentos em Suspensão Diária – Q_{ss} (t/dia): _____

7.10 Descarga de Sedimentos de Fundo Diária – Q_{sa} (t/dia): _____

7.11 Espessura da Camada de Sedimento do Leito (m): _____

7.12 Granulometria do Material do Leito (%):

Argila/Silte; Areia Fina; Areia Média; Areia Grossa;
 Areia Muito Grossa; Grânulos; Seixos; Blocos;
 Matacão

7.13 Grau de Arredondamento (Shepard, 1967)

Muito Angular; Angular; Sub angular; Sub arredondado
 Arredondado; Bem Arredondado

7.14 Seleção do Material do Leito (%) (K. Simpson, 1995):

Muito Bem Selecionado; Bem Selecionado; Moderadamente Selecionado;
 Pobrememente Selecionado; Muito Pobrememente Selecionado

7.15 Forma em Planta do Canal:

Retilíneo; Sinuoso; Irregular; Entrelaçado; Anastomossado;
 Meandrante; Retilíneo Canalizado; Outra

7.16 Forma da Seção Transversal do Canal:

Simétrica; Assimétrica; Composta; Irregular

7.17 Presença de Ilhas: Com Vegetação; Sem Vegetação; Ausentes

7.18 Presença de Barras: Com Vegetação; Sem Vegetação; Ausentes

7.19 Soleiras (riffles): Presentes; Ausentes;

7.20 Depressões (pools): Presentes; Ausentes;

7.21 Pequenas Ondulações (ripples): Presentes; Ausentes; Sem Informação

7.22 Dunas no Leito do Canal: Presentes; Ausentes; Sem Informação

7.23 Corredeiras: Presentes; Ausentes

FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS

- 7.24 Lençóis de Praia (sand sheet): Presentes; Ausentes
- 7.25 Cachoeira/Cascata: Presentes; Ausentes
- 7.26 Estrutura da Vegetação no Interior do Canal: Nativa; Exótica; Ausentes
- 7.27 Carga de detritos de madeira (Woody debris) Presente; Incipiente; Ausente
- 7.28 Estilo Fluvial (Fryirs, Brierley & Massey, 2002): _____
-
-

- 7.29 Presença de Barragens: Natural; Artificial; Ausente
- 7.30 Presença de Linha de Lixo: Metros Acima das Margens; Ausente = 0 m
- 7.31 Registro de Enchente: ____/____/____
- 7.32 Materiais do Leito:
- Argila/Silte; Areia Fina; Areia Média; Areia Grossa; Grânulos;
- Seixos; Blocos; Matacões; Substrato Rochoso; Outra (_____).

- 7.33 Textura da ME:
- Argila/Silte; Areia/Silte/Argila; Areia/Cascalho;
- Blocos/Matacões; Afloramento Rochoso; Outra

- 7.34 Textura da MD:
- Argila/Silte; Areia/Silte/Argila; Areia/Cascalho;
- Blocos/Matacões; Afloramento Rochoso; Outra

- 7.35 Condição de Estabilidade da ME:
- Estável com vegetação antiga;
- Estável com vegetação recente / sem vegetação;
- Erosão ativa desta margem;
- Erosão ativa das margens côncavas;
- Erosão ativa das margens convexas;
- Erosão ativa das margens côncavas e convexas;
- Erosão inativa desta margem;
- Erosão inativa das margens côncavas;
- Erosão inativa das margens convexas;
- Erosão inativa das margens côncavas e convexas;
- Processo de deposição;
- Processo de Avulsão (deslocamento do canal p/ um novo traçado);
- Presença de afloramento rochoso;
- Presença de Gabião;
- Presença de Estrutura de Concreto.

FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS

7.36 Condição de Estabilidade da MD:

- Estável com vegetação antiga;
- Estável com vegetação recente / sem vegetação;
- Erosão ativa desta margem;
- Erosão ativa das margens côncavas;
- Erosão ativa das margens convexas;
- Erosão ativa das margens côncavas e convexas;
- Erosão inativa desta margem;
- Erosão inativa das margens côncavas;
- Erosão inativa das margens convexas;
- Erosão inativa das margens côncavas e convexas;
- Processo de deposição;
- Processo de Avulsão (deslocamento do canal p/ um novo traçado);
- Presença de afloramento rochoso;
- Presença de Gabião;
- Presença de Estrutura de Concreto.

7.37 Presença de Obras de Engenharia no Canal Fluvial:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Barragem/Dique; | <input type="checkbox"/> Canal com Margens Concretadas; |
| <input type="checkbox"/> Canal com Calha Concretada; | <input type="checkbox"/> Contenção de Margens de Canal; |
| <input type="checkbox"/> Dragagem de Canal; | <input type="checkbox"/> Ponte; |
| <input type="checkbox"/> Outra(_____); | |
| <input type="checkbox"/> Nenhuma | |

7.38 Problemas Ambientais no Canal Fluvial:

- Lançamento de Esgoto Doméstico;
- Lançamento de Esgoto Industrial;
- Lançamento de Resíduos Sólidos;
- Outro (_____);
- Nenhum

7.39 Imagens do Canal na Seção: _____

7.40 Observação: _____

FICHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE SISTEMAS FLUVIAIS

7.41 Medidas na Seção Transversal: Distância (m) x Profundidade (m)

A partir da margem: Esquerda; Direita

1) 0,00 x_____;	36) 18,00x_____;	71) 35,50x_____;	106) 53,00x_____;
2) 0,50 x_____;	37) 18,50x_____;	72) 36,00x_____;	107) 53,50x_____;
3) 1,00 x_____;	38) 19,00x_____;	73) 36,50x_____;	108) 54,00x_____;
4) 1,50 x_____;	39) 19,50x_____;	74) 37,00x_____;	109) 54,50x_____;
5) 2,00 x_____;	40) 20,00x_____;	75) 37,50x_____;	110) 55,00x_____;
6) 2,50 x_____;	41) 20,50x_____;	76) 38,00x_____;	111) 55,50x_____;
7) 3,00 x_____;	42) 21,00x_____;	77) 38,50x_____;	112) 56,00x_____;
8) 3,50 x_____;	43) 21,50x_____;	78) 39,00x_____;	113) 56,50x_____;
9) 4,00 x_____;	44) 22,00x_____;	79) 39,50x_____;	114) 57,00x_____;
10) 4,50 x_____;	45) 22,50x_____;	80) 40,00x_____;	115) 57,50x_____;
11) 5,00 x_____;	46) 23,00x_____;	81) 40,50x_____;	116) 58,00x_____;
12) 5,50 x_____;	47) 23,50x_____;	82) 41,00x_____;	117) 58,50x_____;
13) 6,00 x_____;	48) 24,00x_____;	83) 41,50x_____;	118) 59,00x_____;
14) 6,50 x_____;	49) 24,50x_____;	84) 42,00x_____;	119) 59,50x_____;
15) 7,00 x_____;	50) 25,00x_____;	85) 42,50x_____;	120) 60,00x_____;
16) 7,50 x_____;	51) 25,50x_____;	86) 43,00x_____;	121) 60,50x_____;
17) 8,00 x_____;	52) 26,00x_____;	87) 43,50x_____;	122) 61,00x_____;
18) 8,50 x_____;	53) 26,50x_____;	88) 44,00x_____;	123) 61,50x_____;
19) 9,00 x_____;	54) 27,00x_____;	89) 44,50x_____;	124) 62,00x_____;
20) 9,50 x_____;	55) 27,50x_____;	90) 45,00x_____;	125) 62,50x_____;
21) 10,00x_____;	56) 28,00x_____;	91) 45,50x_____;	126) 63,00x_____;
22) 10,50x_____;	57) 28,50x_____;	92) 46,00x_____;	127) 63,50x_____;
23) 11,00x_____;	58) 29,00x_____;	93) 46,50x_____;	128) 64,00x_____;
24) 11,50x_____;	59) 29,50x_____;	94) 47,00x_____;	129) 64,50x_____;
25) 12,00x_____;	60) 30,00x_____;	95) 47,50x_____;	130) 65,00x_____;
26) 12,50x_____;	61) 30,50x_____;	96) 48,00x_____;	131) 65,50x_____;
27) 13,00x_____;	62) 31,00x_____;	97) 48,50x_____;	132) 66,00x_____;
28) 13,50x_____;	63) 31,50x_____;	98) 49,00x_____;	133) 66,50x_____;
29) 14,00x_____;	64) 32,00x_____;	99) 49,50x_____;	134) 67,00x_____;
30) 14,50x_____;	65) 32,50x_____;	100) 50,00x_____;	135) 67,50x_____;
31) 15,00x_____;	66) 33,00x_____;	101) 50,50x_____;	136) 68,00x_____;
32) 16,00x_____;	67) 33,50x_____;	102) 51,00x_____;	137) 68,50x_____;
33) 16,50x_____;	68) 34,00x_____;	103) 51,50x_____;	138) 69,00x_____;
34) 17,00x_____;	69) 34,50x_____;	104) 52,00x_____;	139) 69,50x_____;
35) 17,50x_____;	70) 35,00x_____;	105) 52,50x_____;	140) 70,00x_____;

7.42 Altura da Lâmina d'água (m): _____

8. ANOTAÇÕES (Não serão digitadas no BDF):

APÊNDICE B - Artigo a ser submetido à *RBRH* — Revista Brasileira de Recursos Hídricos,
da Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

BANCO DE DADOS FLUVIAIS COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA DINÂMICA DE CANAIS FLUVIAIS

Luiz Carlos da Silva⁸

Prof. Dr. Mônica dos Santos Marçal⁹

Prof. Dr. Leonardo Fonseca Borghi de Almeida¹⁰

RESUMO

Num esforço para minimizar ou mesmo reverter a atuação dos elementos e dos processos identificados na degradação dos sistemas fluviais em bacias hidrográficas, tem-se procurado cada vez mais o aprimoramento de ferramentas que possam auxiliar os pesquisadores e todos àqueles que estão diretamente envolvidos na busca de soluções para essa problemática.

Este trabalho vem propor o uso de um Banco de Dados Fluviais (BDF) como ferramenta que possibilite a estruturação e análise de série histórica, especificamente de parâmetros hidrossedimentológicos e geomorfológicos que auxiliem na compreensão da dinâmica dos processos atuantes num sistema fluvial.

PALAVRAS-CHAVE: Banco de Dados Fluviais; parâmetros hidrossedimentológicos e geomorfológicos de canais fluviais.

ABSTRACT

In the attempt of to minimize or reverse the action of the elements and processes identified in the degradation of fluvial systems in basins, it has been seeking to improve tools to aid researchers and all those that are directly involved in the search of solutions for that problem.

This work comes to propose the use of a Geographical Database (GDB) as a tool which makes possible the structuring and the analysis of historical series, specifically of hydrosedimentological and geomorphological parameters that it aids in the understanding of the dynamics of the active processes in a fluvial system.

KEY WORDS: Geographical Database (GDB); hydrosedimentological and geomorphological parameters at fluvial channels.

INTRODUÇÃO

Como destacado por Thorne (1998), a condição de um canal fluvial em determinado dia depende, de certa maneira, da sequência de eventos de fluxos significativos responsáveis pela erosão, transporte e deposição ocorridos nas semanas, meses e algumas vezes nos anos anteriores. Assim, sendo a dinâmica fluvial um conjunto de processos que aglutinam eventos de curta, média e de longa duração, a obtenção de dados e a análise de informações para a compreensão dos fatos observados deve se dá de forma continuada a médio e, preferencialmente, a longo prazo.

Desta maneira, estruturar um acervo de dados de campo é crucial para o estudo dos parâmetros hidrossedimentológico e geomorfológico fluvial. De certa forma, o monitoramento a longo prazo representaria o melhor caminho para obter uma compreensão inequívoca de um sistema fluvial, em particular, ou de um estudo de canal fluvial.

Para tal faz-se necessário dispor de estrutura que permita o armazenamento e a análise contínua, principalmente, de dados hidrossedimentológicos e geomorfológicos acerca dos seus canais fluviais e da bacia hidrográfica.

OBJETIVO

Este estudo tem como proposta o desenvolvimento de um banco de dados fluviais (BDF) tendo como base parâmetros hidrossedimentológicos, geomorfológicos, geológicos, pedológicos, climáticos, uso da terra e da cobertura vegetal. Isso possibilitará a construção e a análise de série histórica de dados fluviais, para a compreensão da dinâmica de processos hidrossedimentológicos e geomorfológicos atuantes no sistema fluvial de uma bacia hidrográfica, disponibilizando, assim, uma importante ferramenta de suporte à decisão para o gerenciamento de recursos hídricos.

BANCO DE DADOS FLUVIAIS (BDF)

De acordo com Mello (2008), um banco de dados é uma lista de dados organizada que proporciona um meio de encontrar informações rápidas e facilmente, a partir de um ponto de referência escolhido.

Por sua vez, um Banco de Dados Fluviais consiste num BD cuja base de dados se constituiu exclusivamente de parâmetros geológicos, geomorfológicos, hidrossedimentológicos e antrópicos, dos processos atuantes na dinâmica de um canal fluvial e/ou num bacia hidrográfica.

⁸ Mestrando do PPGL - IGEO/UFRJ

<luiz.ufij@ibest.com.br>

⁹ Professora do IGEO/UFRJ <monicamarcal@gmail.com>

¹⁰ Professor do IGEO/UFRJ <lborghi@geologia.ufjf.br>

METODOLOGIA

Definição dos Parâmetros

Para a definição dos parâmetros que, numa série histórica de coleta de dados, podem expressar significativamente, a evolução da condição fluvial através da compreensão dos processos hidrossedimentológicos e geomorfológicos atuantes na dinâmica das bacias hidrográficas, que fundamentou-se nos autores: Horton, (1945); Leopold *et al.*, (1964); Schumm, (1977); Suguio & Bigarella, (1979); Christofolletti, (1980); Summerfield, (1991); FISRWG, (1998); Brierley & Fryirs, (1999); Fryirs & Brierley, (2000) e Rutherford *et al.*, (2000).

Baseado nestes autores, definiu-se os seguintes parâmetros voltados para a análise linear, análise areal e a análise morfométrica da bacia hidrográfica e seus canais fluviais:

. Comprimento do Rio Principal (L) – a identificação do canal principal da bacia fundamenta-se nos princípios de Christofolletti (1980), sendo expresso em km.

. Número de Canais (N) – definido pelo método de Strahler, sendo obtido através da soma dos canais de primeira ordem;

. Gradiente de Canais (Gc) = de acordo com Horton (1945), é a relação entre a cota altimétrica máxima da bacia e o comprimento do canal principal, expressando assim a declividade dos cursos d'água, sendo o resultado expresso em porcentagem:

$$Gc = \frac{Hm}{L} \quad (1)$$

Onde:

Gc = Gradiente de canal (%);

Hm = amplitude topográfica máxima da bacia (m);

L = comprimento do canal principal (km);

. Hierarquia Fluvial – baseia-se no sistema de hierarquização de Strahler, onde os canais sem tributários são designados de 1ª ordem e a confluência de dois canais primários forma um de 2ª ordem, e assim sucessivamente. A ordem do canal na saída da bacia é também a ordem da bacia (Christofolletti, 1980);

. Área da Bacia (A) – está sendo entendido como toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal contida dentro do divisor topográfico. É obtida com o auxílio de planímetro, de papel

milimetrado ou de *softwares* específicos, sendo expressa em km² (Christofolletti, 1980);

. Perímetro da Bacia (P) – corresponde ao comprimento linear do divisor topográfico da bacia hidrográfica, sendo expresso em Km;

. Densidade de Rios (Dr) – segundo Horton (1945), compreende a relação entre o número de rios e a área da bacia hidrográfica, tendo por finalidade comparar a freqüência de canais de água existentes em uma área de tamanho padrão, representando o comportamento hidrológico de determinada área ou sua capacidade de gerar novos cursos de água, sua expressão é:

$$Dr = \frac{N}{A} \quad (2)$$

Onde:

Dr = densidade de rios (nº de canais/Km²);

N = nº total de canais e A = a área da bacia (km²);

. Densidade de drenagem (Dd) – de acordo com Christofolletti (1980), ela caracteriza o grau de desenvolvimento da drenagem dentro da bacia. Sendo as bacias classificadas em: baixa densidade: < 5,0 km/km²; média densidade: 5,0 - 13,5 km/km²; alta densidade: 13,5 - 155,5 km/km² e muito alta densidade : > 155,5 km/km². Sua expressão é:

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (3)$$

Onde:

Dd = densidade de drenagem (km/km²);

L_t = comprimento total dos canais (km);

A = a área da bacia (km²);

. Índice de Sinuosidade (Is) – baseia-se em Schumm (1963) e relaciona a projeção ortogonal do canal com a distância vetorial entre os dois pontos extremos do canal principal. Valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo; valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. Sendo sua expressão:

$$Is = \frac{L}{dv} \quad (4)$$

Onde:

Is = índice de sinuosidade

L = comprimento do canal principal;

dv = a distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal;

. Área da seção transversal ou área molhada (A) – corresponde à área ocupada pela água na seção transversal, sendo sua expressão, segundo Christofolletti (1980):

$$A = W \cdot h \quad (5)$$

Onde:

A = área da seção transversal (m²);

W = largura da seção transversal (m);

h = profundidade média da seção transversal (m);

. Perímetro molhado da seção transversal (P) – baseado-se em Christofolletti (*op. cit.*) corresponde ao comprimento da linha de contato entre a superfície molhada e o leito do rio, sendo expresso em m;

. Raio Hidráulico (Rh) – de acordo com Suguio & Bigarella (1990) é expressa por:

$$Rh = \frac{A}{P} \quad (6)$$

Onde:

Rh = raio hidráulico (m);

A = área da seção transversal (m²);

P = perímetro da seção transversal (m);

. Amplitude altimétrica (H) – está fundamentada em Christofolletti (1981), sendo compreendida pela expressão:

$$H = H_{max} - H_{min} \quad (7)$$

Onde:

H = amplitude altimétrica (m);

H_{max} = maior altitude (m);

H_{min} = menor altitude (m);

. Vazão ou Débito (Q) - corresponde a quantidade de água que flui por uma seção transversal do canal por unidade de tempo, sendo a sua expressão: (Christofolletti, 1981)

$$Q = (W \cdot h) \cdot V \quad \text{ou} \quad Q = V \cdot A \quad (8)$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

W = largura do canal (m);

h = profundidade média na seção do perfil transversal do canal (m);

V = velocidade do fluxo de água (m/s);

A = área da seção do perfil transversal (m²);

. Descarga de Sedimentos em Suspensão Diária (Q_{ss}) – baseado em Carvalho (1994), refere-se à quantidade de sedimento em suspensão transportado diariamente numa seção transversal, sendo expresso por:

$$Q_{ss} = 0,0864 \cdot Q \cdot C \quad (9)$$

Onde:

Q_{ss} = descarga de sedimento em suspensão (t/dia);

Q = descarga líquida diária em m³/s;

C = concentração média de sedimento medida em mg/l ou PPM;

0,0864 = constante do fator de transformação de unidades.

. Descarga de Sedimentos de Fundo Diária (Q_{sa}) – é a carga do leito composta principalmente de sedimentos mais grossos do que aqueles que estão em suspensão, compreendendo desde areias a pedregulhos em movimento no leito. Aplicando-se a fórmula de Schoklitsch tem-se (Carvalho, *et al*, 2000):

$$Q_{sa} = \frac{7.000}{D^{1/2}} \cdot S^{3/2} \cdot (q - q_0) \quad (10)$$

na qual

$$D \cdot q_0 = \frac{1,944 \cdot 10^8}{S^{1/3}} \quad (11)$$

Onde:

Q_{sa} = descarga sólida de arrasto (kg/s);

D = diâmetro médio das partículas (mm);

S = gradiente de energia (m/m);

Q = descarga líquida (m³/s);

L = largura da seção transversal (m);

q = descarga (m³/(s.m));

q₀ = descarga crítica (m³/(s.m));

. No cálculo do gradiente de energia (S), Carvalho (1994) sugere empregar a fórmula de Manning :

$$S = \left[\frac{Q \cdot n}{A \cdot R^{1/3}} \right]^2 \quad (12)$$

Onde:

S = gradiente de energia (m/m);

Q = vazão (m³/s);

A = área da seção transversal (m²);

R = raio hidráulico (m);

n = coeficiente de rugosidade (seu valor para o caso de leitos de areia, de fina a média, varia de 0,020 a 0,027; para areias de 1 a 2 mm, o valor varia de 0,26 a 0,035; para pedregulhos de 2 a 64 mm, n varia de 0,26 a 0,038, e para argilas n é igual a 0,030).

Coleta de Dados

Visando padronizar e agilizar as aquisições dos dados em campo, como também daqueles obtidos em análises laboratoriais, foi criado o formulário padronizado para a coleta de dados denominado de “**Ficha de Levantamento de Dados de Sistemas Fluviais**”, onde estes dados devem ser devidamente registrados em cada monitoramento, e em seguida digitados na BDF.

Fundamentou-se o conteúdo deste formulário no trabalho de Thorne (1998), as “Fichas de Reconhecimento de Rios”, como também na estrutura de coleta de dados voltada para o monitoramento da bacia do rio Macaé (RJ) empregada desde 2007 pelo Grupo de Geomorfologia Fluvial do LAGESOLOS-UFRJ. Tendo sido o seu *layout* desenvolvido em conformidade com a modelagem dos dados implementados no BDF.

Esta ficha, alimentada com dados de campo e de laboratório, que atualmente estão armazenados no LAGESOLOS - UFRJ, e que foram obtidos nos 8 monitoramentos realizados na Bacia do rio Macaé desde outubro de 2007, correspondendo a 50 medições do fluxo de água nas seções transversais; 27 coletas e análises de amostras de sedimentos em suspensão; 39 coletas e análises de sedimentos de fundo e 55 medições de largura e profundidade de seções transversais, além dos novos dados definidos nesta pesquisa, contém os seguintes itens:

1- Data e Equipe do Levantamento: anotações das datas de início e término da atividade de campo, relação dos seus membros e informações relativas à hospedagem;

2- Dados da Região Hidrográfica: neste item, baseado na Resolução nº 32/2003 do CNRH e na definição da SRH do Ministério do Meio Ambiente, são identificadas a Região Hidrográfica, a Sub Região Sub1 e a Sub Região Sub2 na qual se insere o rio em estudo;

3- Dados da Bacia: identificação e localização da bacia hidrográfica a qual pertence o rio em estudo, sendo feito um quadro da sua evolução histórica e levantados alguns índices lineares, areais, hipsométricos e dados climáticos da bacia;

4- Dados do Canal Fluvial: contém a identificação e a análise histórica do canal fluvial e são levantados alguns índices lineares, areais, hipsométricos relativos ao mesmo;

5- Localização da Seção Transversal: nele são identificadas geograficamente as posições das seções transversais, sua codificação e as referências para a sua localização;

6- Dados do Vale na Área da Seção Transversal: neste item são coletadas informações

geomorfológicas, geológicas, de uso do solo, da cobertura vegetal e atividades antrópicas na área do vale onde se situa a seção transversal;

7- Dados do Canal Fluvial na Área da Seção Transversal: item onde são levantados alguns índices lineares, areais, hipsométricos, dados hidrológicos e sedimentométricos, assim como antrópicos referentes ao canal fluvial no trecho da seção transversal. Neste item também é feita a identificação do Estilo Fluvial do rio para aquele trecho.

Fundamentado em Carvalho(1994), a coleta de dados morfométricos e hidrossedimentológicos realizados nas seções transversais e os procedimentos laboratoriais, podem ser realizados das seguintes formas:

(1) As medidas da profundidade do canal podem ser feitas com trena comum e/ou com canos de PVC graduados ou com um ecobatímetro;

(2) Na medição da velocidade do fluxo de água, pode ser empregado flutuadores ou molinete digital;

(3) A coleta de amostras de sedimentos de fundo feita em pontos distintos do canal (próximo as margens direita e esquerda e no centro do canal) pode ser de forma manual em canais rasos ou com o emprego de amostrador tipo Peterson, US BM-54 ou AMF-2;

(4) A medição dos sedimentos de arrasto (Q_{sa}) pode ser feita com amostradores de saca tipo US BLH-84; (5) A coleta de sedimentos em suspensão (Q_s) realizada ao longo do canal fluvial em profundidades variadas, pode ser feita com um amostrador tipo AMS-1;

Em laboratório, a análise da granulometria das amostras de sedimentos devem ser feitas através de peneiramento, podendo ser classificadas de acordo com a escala de Wentworth (1922). Para a análise do grau de arredondamento deve-se empregar uma lupa ou um microscópio e a classificação pode ser feita pela metodologia de Power (1953). A análise das amostras dos sedimentos em suspensão pode ser pelo método de evaporação ou de filtração.

Modelagem dos dados

Na modelagem dos dados, que constituem a base de dados a ser utilizada no BDF, empregou-se a metodologia fundamentada em Mello (2008); Lisboa Filho (2000); Câmara (2005); Medeiros (1999); (Pinheiro *et al.* (2009) e Korth & Silberschatz (1995).

Sendo a escolha do *software* para a execução da modelagem conceitual do BDF baseada prioritariamente nos seguintes critérios: ser um programa de acesso gratuito; ser

operacionalmente pouco complexo; possibilitar transmitir as informações de identificação dos elementos, seus vínculos e relacionamentos e que demonstre a idéia de conjuntos e sub-conjuntos, pois essas características simplificam o processo de modelagem.

Foi escolhido o *software* ArgoCASEGEO, o qual trata de uma ferramenta CASE (*Computer-Aided Software Engineering*), livre e de código fonte aberto, que permite a modelagem de banco de dados com base no modelo conceitual UML-GeoFrame. Esta ferramenta também suporta aspectos simples de modelagem temporal, bem como a geração automática de esquemas lógicos de bancos de dados, em formato *Shapefile* (formato de dado vetor geoespacial) ou TerraLib (biblioteca livre para construção de aplicativos geográficos). Este aplicativo tem como base o *software* ArgoUML e está sendo desenvolvido no Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Na modelagem lógica do sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), visando à identificação das partes componentes de cada subsistema e seus relacionamentos internos e externos, foi utilizada a técnica Diagramática de Entidade-Relacionamento (DER), que objetiva a modelagem de um sistema pela análise dos dados e da forma como se inter-relacionam.

Como destaca Neves (2006), as entidades representadas são objetos reais ou abstratos que têm uma identidade própria, sendo representadas por retângulos, os relacionamentos são ligações reais entre duas ou mais entidades, sendo representadas por ponteiros (setas) e os atributos são características que definem uma entidade ou um relacionamento.

As estruturas lógicas do DER estão expressas em termos de Diagrama de Estrutura de Dados (DED), sendo os tipos de relacionamentos entre entidades mapeados através das cardinalidades um-para-um (sem simbologia), um-para-muitos (1..*) e muitos-para-muitos (*..*) posicionados junto ao ponteiro (Figura 1).

Para a criação e desenvolvimento deste banco de dados utilizou-se o *software* Microsoft Office Access 2007®, por se tratar de um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) totalmente funcional, que além de fornecer todos os recursos de definição, manipulação e controle de dados necessários para se trabalhar com grandes volumes de dados, também gera produtos compatíveis com vários *softwares* de SIGs, como por exemplo, SPRING, TERRALIB e TERRAVIEW, e por sua total compatibilidade com o *software* Microsoft Excel® usado na cons-

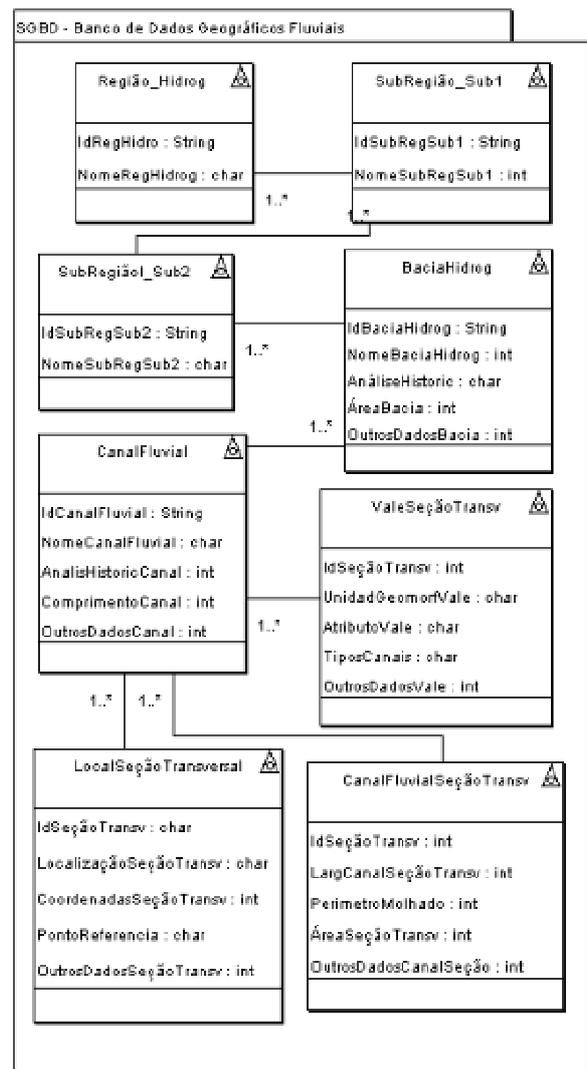


Figura 1- Diagrama de Estrutura de Dados (DED) do SGBD – Banco de Dados Fluviais, gerado no *software* ArgoCASEGEO.

trução de tabelas e gráficos voltados para a análise e interpretação dos dados.

RESULTADOS

A base de dados

Com o emprego do *software* Microsoft Office Access 2007®, foi criada a base de dados, estruturada como um banco de dados relacional, denominado Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície, composta por 9 tabelas, descritas a seguir (Figura 2):

- i. Tabela RegHidrolog
É a tabela a qual todas as demais tabelas estão vinculadas. Seus campos possuem atributos que visam a identificação das 12 Regiões Hidrográficas brasileiras definidas pelo CNRH através da Resolução nº 32/2003;
- ii. Tabela SubRegHidroSub1

Vinculada à tabela RegHidro, possui campos nos quais seus atributos identificam as sub-regiões hidrográficas sub1 que formam cada uma das regiões hidrográficas brasileiras conforme é estabelecido CNRH através da Resolução nº 32/2003 e pelo Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Recursos Hídricos;

iii. Tabela SubRegHidroSub2

Está vinculada à tabela SubRegHidroSub1, possui campos nos quais seus atributos identificam as sub-regiões hidrográficas sub2 que formam cada uma das sub-regiões hidrográficas sub1, conforme é estabelecido pelo CNRH através da Resolução nº 32/2003 e pelo Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Recursos Hídricos;

iv. Tabela BaciaHidro

Tabela vinculada à tabela SubRegHidroSub2, seus campos e atributos identificam e descrevem a bacia hidrográfica onde está localizado o canal fluvial e as respectivas seções transversais nas quais serão colhidos os dados de campo;

v. Tabela CanalFluvial

É vinculada à tabela BaciaHidro, seus campos têm atributos que fazem a identificação nominal dos rios onde se procedem os levantamentos de campo, uma análise da sua evolução histórica, o seu perfil longitudinal e dados morfométricos por ele apresentado;

vi. Tabela IdentificSeçãoTransv

É vinculada à tabela BaciaHidro, tem campos cujos atributos identificam as seções transversais situadas nos canais fluviais por meio das suas codificações. Informam a localização da seção ao longo do curso do rio (alto, médio ou baixo cursos), armazenam as coordenadas do local e as referências para a localização da seção, a data de realização dos monitoramentos, identificação do rio em que está situada e imagens da seção;

vii. Tabela ValeSeçãoTransv

Está vinculada à tabela IdentificSeçãoTransv, possui campos onde os atributos visam detalhar o vale do canal fluvial onde está situada a seção transversal. Nela são identificados: a sua unidade geomorfológica; a descrição da sua geologia; condições das encostas; da vegetação ribeirinha; o uso do solo; problemas ambientais; dados morfométricos e armazena imagens do vale neste local;

viii. Tabela CanalFluvialSeçãoTransv

Também vinculada à tabela IdentificSeçãoTransv, contém campos onde os atributos detalham o canal fluvial no local em que se encontra situada a seção transversal. Esta tabela apresenta dados morfométricos do canal;

dados hidrológicos e sedimentológicos; identifica aspectos geomorfológicos presentes no canal, descreve a situação ambiental do canal e armazena imagens do canal fluvial neste ponto;

ix. Tabela SeçãoTransvLargXProf

Vinculada à tabela CanalFluvialSeçãoTransv, seus campos têm atributos que identificam a seção transversal e armazenam os dados referentes as medidas de largura; profundidade e a altura da lâmina de água nas seções transversais dos canais;

O Banco de Dados Fluviais

Visando tornar mais ágeis e eficientes as operações de inserir, editar e consultar os dados nesta base de dados, o BDF foi dotado de nove formulários¹¹, a partir dos quais são acessados todos os campos das suas respectivas tabelas. Tais formulários possuem um layout totalmente compatível com o formato da “Ficha de Levantamento de Dados de Sistemas Fluviais”, tornando-os operacionalmente mais amigáveis aos usuários.

Uma tela de abertura fornece o acesso inicial ao Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados de Águas de Superfície (Figura 3), e partir dela é feita a opção do usuário pelo formulário correspondente à tabela do BDG a qual queira ter acesso para inserção, edição e visualização de dados (Figura 4).

A estrutura de consulta e análise de dados

A visualização simples dos dados armazenados na base de dados se dá diretamente através das próprias tabelas que compõem o BDF, exibindo-as em modo folha de dados, onde o conteúdo dos seus campos poderão ser classificados, filtrados, localizados e impressos de acordo com a necessidade da pesquisa. Estas operações são implementadas automaticamente pelo *software*, não sendo exigido maiores intervenções da parte do usuário.

Os conteúdos das tabelas da base de dados do BDF podem ser pesquisados de maneira mais estruturada através do “assistente de consulta” disponibilizados no *software*. Nesta ferramenta, são feitas pesquisas onde podem ser definidos campos específicos de uma ou mais tabelas que atendam as condições exigidas que, ao serem cruzados, forneçam as informações buscadas na pesquisa.

¹¹ Um formulário é um objeto de banco de dados que é usado para inserir, editar ou exibir dados de uma tabela ou consulta (nota do autor).

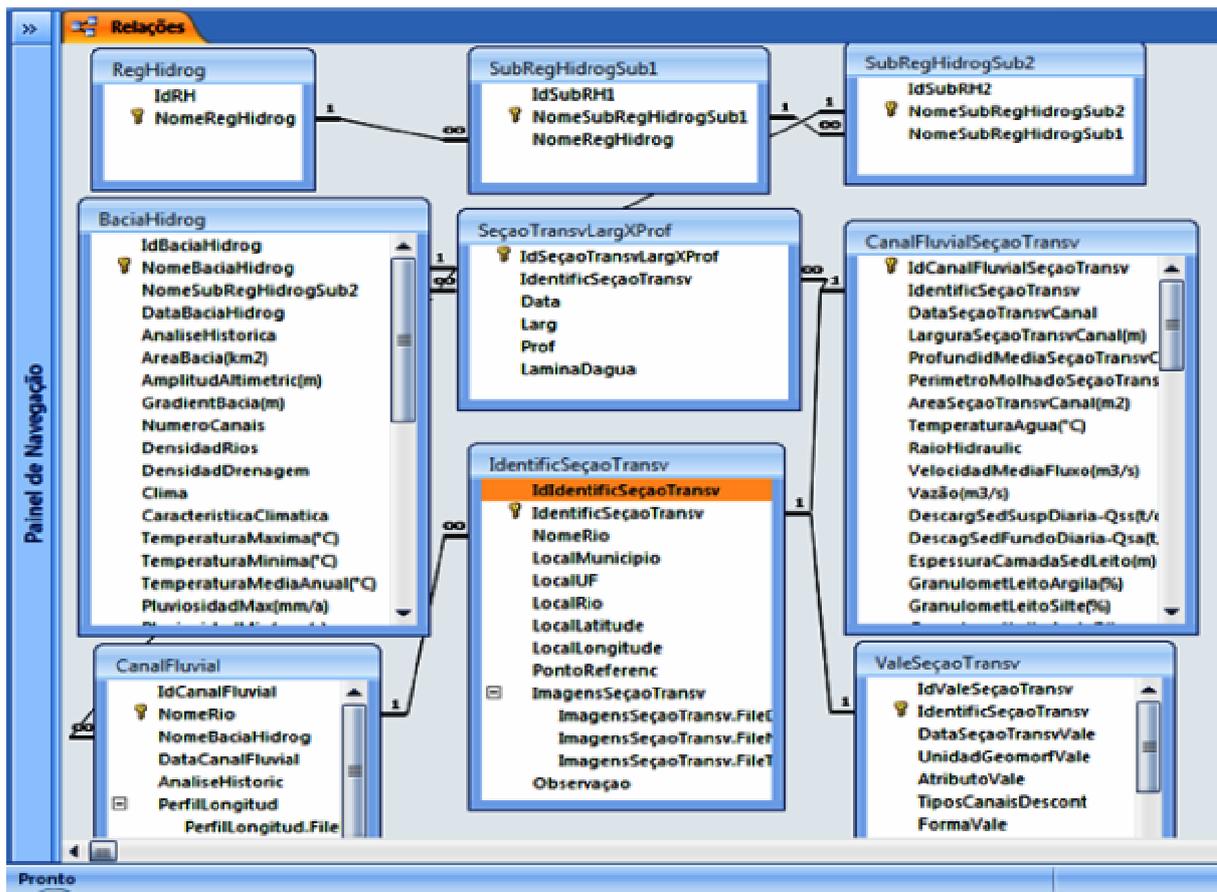


Figura 2 – As 9 tabelas principais da base de dados e seus atributos, as chaves primárias e os relacionamentos (Silva, 2011).



Figura 3 – Tela de abertura do SGBD para acessar os formulários do BDF (Silva, 2011).

7. CANAL FLUVIAL NA SEÇÃO TRANSVERSAL

IdSeçãoTransvCanal: [] 5.1 IdentificaçãoSeçãoTransv: SSP-2 1.1 Data: 01/02/2001

7.1 LarguraSeção(m): 36,00 7.2 ProfundidadeMédiaSeção(m): 2,18 7.3 PerímetroMolhadoSeção(m): 43,70

7.4 ÁreaSeção(m²): 78,48 7.5 TemperaturaÁgua(°C): 22,0 7.6 RaioHidráulico: 1,79

7.7 VelocidadeMédiaFluxo(m/s): 3,06 7.8 Vazão(m³/s): 240,15

7.9 DescargSedimentSuspensDiária(t/dia): 6,38 7.10 DescargSedFundoDiária(t/dia): 2,01

7.11 EspessuraCamadaSedLeito(m): 0,07

7.12	MaterialLeitoArgila(%)	0,00%
	MaterialLeitoSilte(%)	0,00%
	MaterialLeitoAreia(%)	83,00%
	MaterialLeitoGranulo(%)	11,00%
	MaterialLeitoSeixos(%)	7,00%
	MaterialLeitoBóccos(%)	0,00%
	MaterialLeitoMatacão(%)	0,00%

7.13	MaterialLeitoMuitoBemSelec(%)	0,00%
	MaterialLeitoBemSelec(%)	0,00%
	MaterialLeitoModeradamenteSelec(%)	20,00%
	MaterialLeitoPobremSelec(%)	80,00%
	MaterialLeitoMuitoPobremSelec(%)	0,00%

7.14 GrauArredondamentMatLeito: Arredondado

7.15 FormaImPlantaCanal: Retilíneo Canalizado

Figura 4 – Formulário de dados do canal fluvial na seção transversal - vista parcial (Silva, 2011).

A análise da evolução dos parâmetros contidos nas tabelas da base de dados deve ser realizada por meio de procedimentos de consultas, elaboração de relatórios e também através da confecção de gráficos.

A análise da evolução dos parâmetros contidos nas tabelas da base de dados deve ser realizada por meio de procedimentos de consultas, elaboração de relatórios e também através da confecção de gráficos.

A elaboração de relatórios se dá a partir da ferramenta “assistente de relatório” disponibilizada no *software Access*, o qual, por ser praticamente automatizada, exige muito pouca intervenção do usuário.

Este *software* que administra o BDF, diretamente não gera gráficos dos conteúdos das bases de dados, contudo possui a ferramenta “exportar para a planilha do Excel”, assim, através do *Software Microsoft Excel*® os dados mensuráveis da base de dados, podem ser convertidos em gráficos e serem devidamente analisados (Figuras 5 e 6).

CONCLUSÃO

É incontestável a necessidade de pesquisadores, gestores de bacias, órgãos públicos, privados e ONG's voltados para as políticas de recursos hídricos no país, conhecerem as dinâmicas dos processos hidrossedimentológicos e geomorfológicos atuantes nas bacias hidrográficas e nos seus respectivos sistemas fluviais.

Por se tratarem de eventos cuja ocorrência se dá em diferentes escalas de tempo, a elaboração de séries históricas mostra ser uma forma bastante adequada para a compreensão desta dinâmica fluvial.

Um BDF por coleccionar dados fluviais, torna-se uma ferramenta de grande importância neste processo de apreender esta dinâmica e fornecer estruturas de dados que possibilitem análises mais rápidas e consistentes sobre as bacias de drenagem.

O desempenho do BDF aqui desenvolvido correspondeu plenamente ao esperado, durante o processo de modelagem de dados e o procedimento de massa de testes, aos quais foi submetido, apesar dos ajustes que se fizeram necessários.

Atualmente, o BDF encontra-se em sua fase final de implantação no Grupo de Geomorfologia Fluvial do Laboratório de Geomorfologia e Estudos dos Solos da UFRJ (LAGESOLOS), tendo sido alimentado com os dados correspondentes aos oito monitoramentos realizados no período de 2007 a 2010, nas nove estações de monitoramentos situadas na bacia do rio Macaé – RJ, formando uma base de dados com aproximadamente 125 Mb de dados fluviais armazenados.

Microsoft Excel - SeçãoTransvLargXProf

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas

Q4

	A	B	C	D	E
1	IdSeçãoT	IdentificSe	Data	Larg	Prof
2	20	SSP-2	01/02/2001	0,5	-0,3
3	21	SSP-2	01/02/2001	1	-0,32
4	22	SSP-2	01/02/2001	1,5	-0,41
5	23	SSP-2	01/02/2001	2	-1,05
6	24	SSP-2	01/02/2001	2,5	-1,15
7	25	SSP-2	01/02/2001	3	-1,21
8	26	SSP-2	01/02/2001	3,5	-1,17
9	27	SSP-2	01/02/2001	4	-1,35
10	28	SSP-2	01/02/2001	4,5	-1,6
11	29	SSP-2	01/02/2001	5	-1,71
12	30	SSP-2	01/02/2001	5,5	-2
13	31	SSP-2	01/02/2001	6	-2,18
14	32	SSP-2	01/02/2001	6,5	-2,97
15	33	SSP-2	01/02/2001	7	-2,1
16	34	SSP-2	01/02/2001	7,5	-1,98
17	35	SSP-2	01/02/2001	8	-1,81
18	36	SSP-2	01/02/2001	8,5	-2,05
19	37	SSP-2	01/02/2001	9	-1,95
20	38	SSP-2	01/02/2001	9,5	-1,6
21	39	SSP-2	01/02/2001	10	-0,3
22	40	SSA-6	01/02/2001	0,5	-0,71

Figura 5 – Exemplo de Planilha Excel produzida a partir de dados experimentais de uma seção transversal (SSP-2) exportados da tabela SeçãoTransvLargXProf do BDF (Silva, 2011).

O BDF mostrou-se operacional como ferramenta de análise deste conjunto de dados geomorfológicos e hidrossedimentológicos, formados dos parâmetros: Velocidade Média do Fluxo; Vazão; Descarga de Sedimentos em Suspensão (Q_{ss}); Curva de Transporte de Sedimentos; Relação Largura/ Profundidade; Variação da Profundidade Média na Seção Transversal; Alterações na Forma dos Perfis Transversais (Figuras 7); Raio Hidráulico nos Perfis Transversais; Granulometria das Amostras por Perfil e no Conjunto de Perfis (Figuras 8); Grau de Arredondamento das Amostras; as quais foram realizadas com o objetivo de analisar a dinâmica dos processos hidrossedimentológicos e geomorfológicos atuantes na bacia do rio Macaé – RJ.

Assim, o BDF constitui-se num instrumento que torna viável a identificação da dinâmica dos processos geomorfológicos e hidrossedimentológicos do rio Macaé no período correspondente ao do seu monitoramento e acompanhar sua evolução ao longo do tempo.

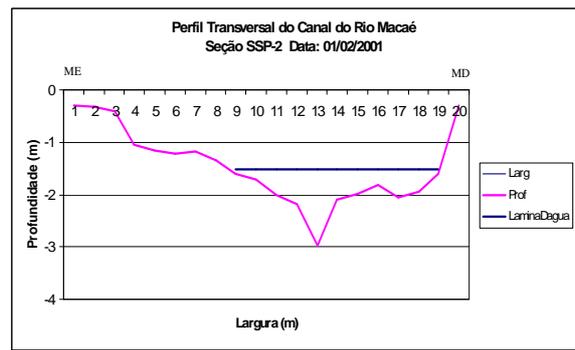


Figura 6 – Exemplo de gráfico gerado no software Excel, a partir dos dados experimentais de uma seção transversal (SSP-2) importados da tabela SeçãoTransvLargXProf do BDF (Silva, 2011).

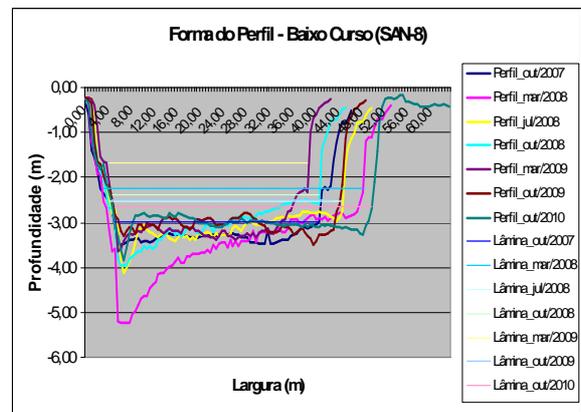


Figura 7 – Gráfico das alterações da seção transversal SAN-8, a jusante da confluência do rio D'Antas no baixo curso do rio Macaé – RJ no período 2007/10 (Silva, 2011).

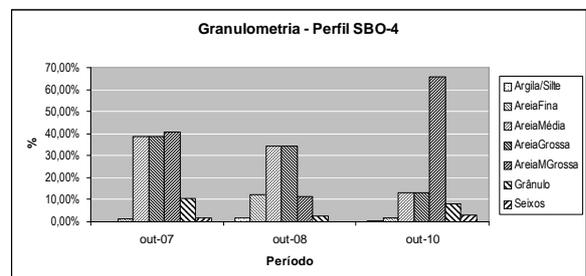
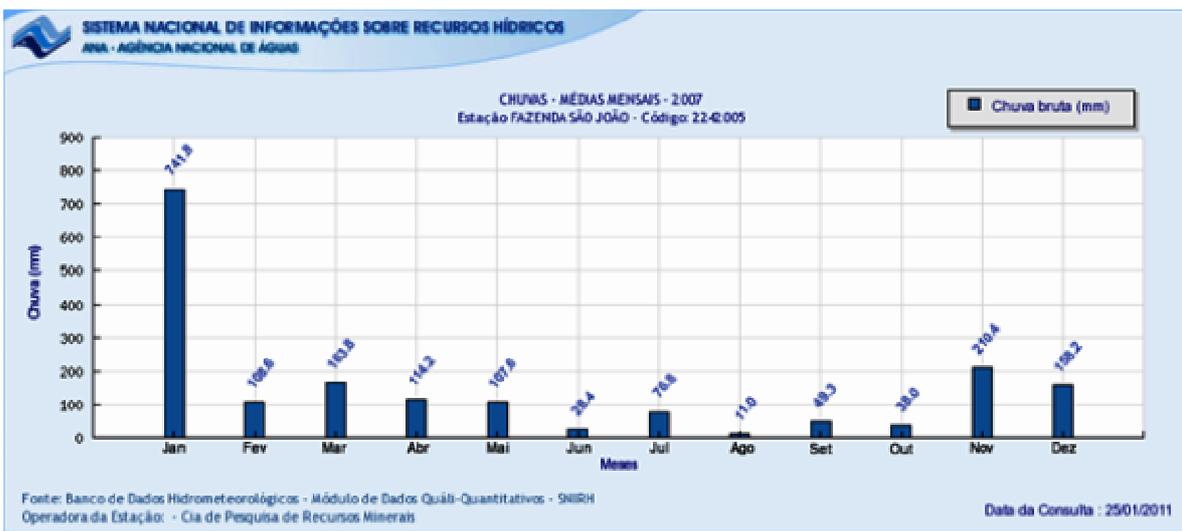


Figura 8 – Gráfico da granulometria apresentada na seção transversal SOB-4, na confluência a jusante do rio Bonito, no alto curso do rio Macaé – RJ em três períodos de monitoramentos (Silva, 2011).

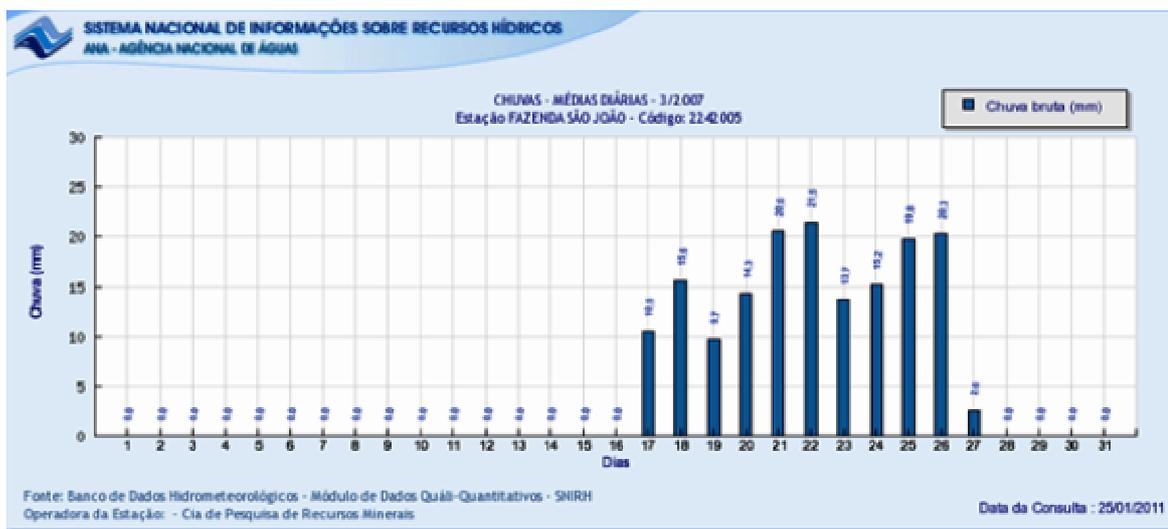
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRIERLEY, G.J.; FRYIRS, K., 1999. Tributary-trunk Stream Relations in a Cut-in-fill Landscape: a Case Study from Wolumla Catchment, New South Wales, Australia. In: *Geomorphology*, v.28, p.61-73.
- CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos), 2003. Resolução nº 32/2003. www.cnrh.gov.br. Acesso: 12/05/2009.
- CARVALHO, N. O., 1994, Hidrossedimentologia Prática. CPRM, Rio de Janeiro, 372 p.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W., 2000. Guia de Práticas Sedimentométricas. Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília. 154p.
- CHRISTOFOLETTI, A., 1980. Geomorfologia. 2ª edição, Ed.Edgar Bluncher, São Paulo. 200p.
- _____, 1981. Geomorfologia Fluvial. Volume 1 – O Canal Fluvial. São Paulo: E. Blucher: Fun-ção de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo.313p.
- FISRWG (Federal Interagency Stream Restoration Working Group), 1998. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices. USA. 637 p. http://www.usda.gov/stream_restoration Acesso: 08/01/2006.
- FRYIRS, K.; BRIERLEY, G.J., 2000. A Geomorphic Approach to Identification of River Recovery Potential. *Physical Geography*, v.21, pp 244-277.
- HORTON, R. E., 1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 275-370 p.
- KORTH, H.F.; SILBERSCHATZ, A., 1995. Sistemas de bancos de dados. 2ª Edição, São Paulo, Makron Books. 754p.
- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, G.; MILLER, J.P. 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman and Company. USA. 522p.
- LISBOA FILHO, J., 2000. Projeto de Banco de Dados para Sistemas de Informação Geográfica. Universidade Federal de Viçosa. <http://www.sbc.org.br/reic/edicoes/2001e2/tutoriais/ProjetoDeBDparaSistemasdeInformacaoGeografica.pdf> Acesso: 09/03/08
- MELLO, R.S., 2008. Banco de Dados Não-Convencionais. Departamento de Informática e de Estatística (INE), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://www.inf.ufsc.br/~ronaldo/bdnc/10-bdg1.pdf>. Acesso:08/03/09.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE , 2006. Secretaria de Recursos Hídricos (SRH). Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Sudeste. Brasília. 141 p.
- NEVES, S.M.A.S, 2006. Modelagem de um Banco de Dados Geográficos do Pantanal de Cáceres/MT: Estudo Aplicado ao Turismo. Programa de Pós-Graduação de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tese de doutorado, 284 p.
- PINHEIRO, M. R. C.; WERNECK, B. R.; MARÇAL, M.S; OLIVEIRA, A. F.; MOTÉ, F.; Silva, J. A. F.; FERREIRA, M. I. P., 2009. Geoprocessamento Aplicado à Gestão dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé-RJ. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4247-4254.
- POWERS M.C. 1953. A new roundness scale for sedimentary particles: *Journal of Sedimentary Petrology*, 23:117-119.
- RUTHERFURD, I.D; JERIE, K; MARSH, N., 2000. A Rehabilitation Manual for Australian Streams. Vol. 1. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Land and Water Resorcer Research and Development Corporation. Australia.
- SCHUMM, S.A., 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. *Geological Society of America Bulletin*, 74, 1089 - 1100.
- _____, 1977. *The Fluvial System*. USA. John Wiley & Sons, Inc. 338 pp.
- SILVA, L.C., 2011. Estruturação de Banco de Dados Fluviais da Bacia do rio Macaé (RJ). Dissertação de Mestrado do PPGL/UFRJ. 199p.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. 1979. Ambiente fluvial. Editora da Universidade do Paraná, Curitiba, p. 183.
- SUMMERFIELD, M.A., 1991. *Global Geomorphology – an Introduction to the Study of landforms*. England.Longman Scientific &Technical. 537 pp.
- THORNE, C. R., 1998. *Stream Reconnaissance Handbook – Geomorphological Investigation and Analysis of River Channels*. England, John Wiley & Sons Ltd. 132 p.
- WENTWORTH, C.K. 1922. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal of Geology*, 30: 377-392 pp.

ANEXO A - Dados pluviométricos - Agência Nacional de Águas (ANA) estação Fazenda São João (cód. 2242005) – Nova Friburgo-RJ ¹²

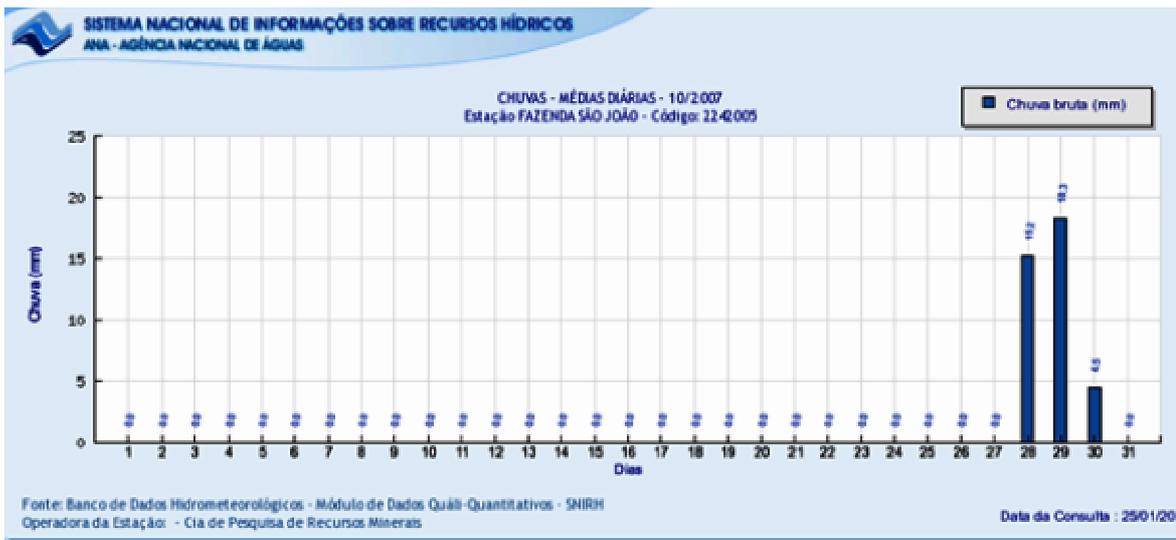


Chuvas Médias Mensais – 2007 – Fonte: ANA

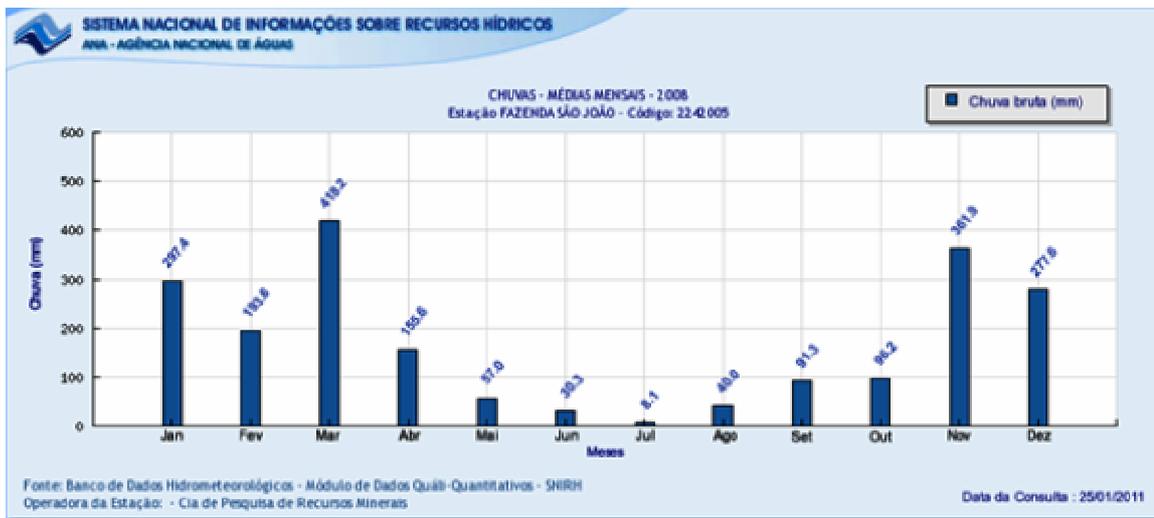


Chuvas Médias Diárias Março/2007– Fonte: ANA

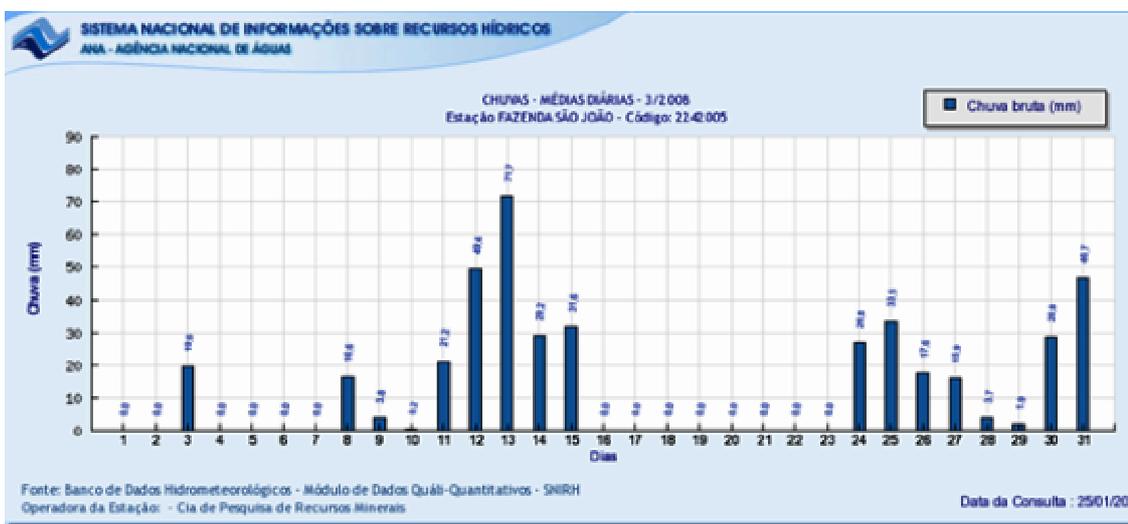
¹² Fonte: <http://www.ana.gov.br/portalsnirh/> Acesso: 25/01/2011



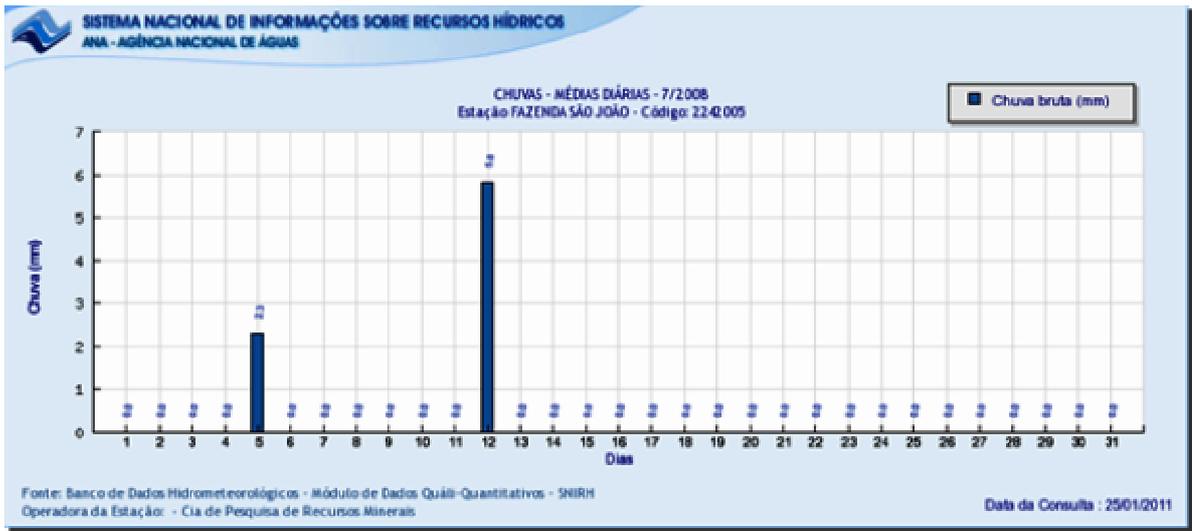
Chuvas Média Diárias – Outubro/2007– Fonte: ANA



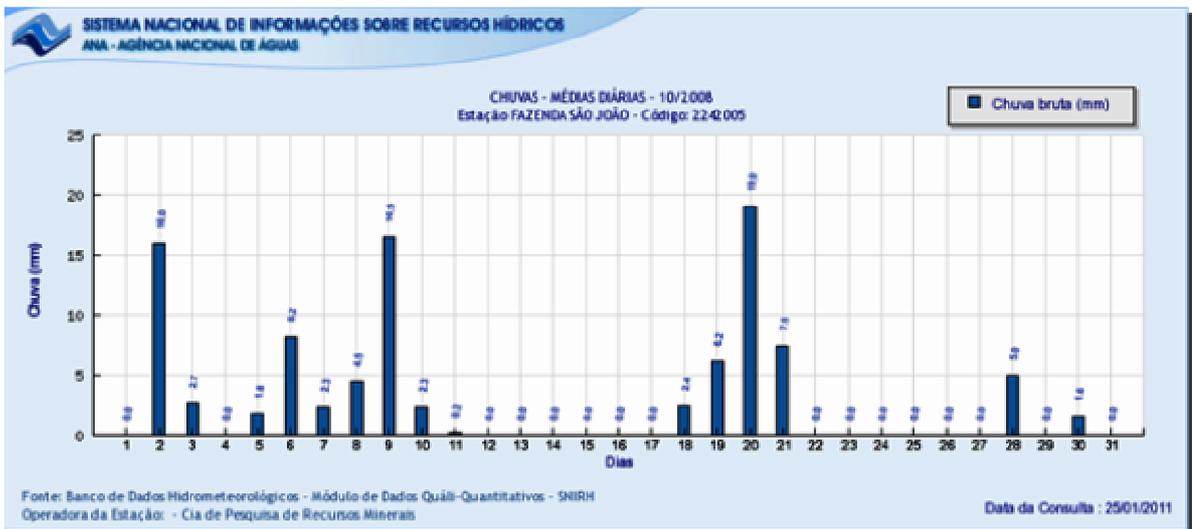
Chuvas Médias Mensais - 2008– Fonte: ANA



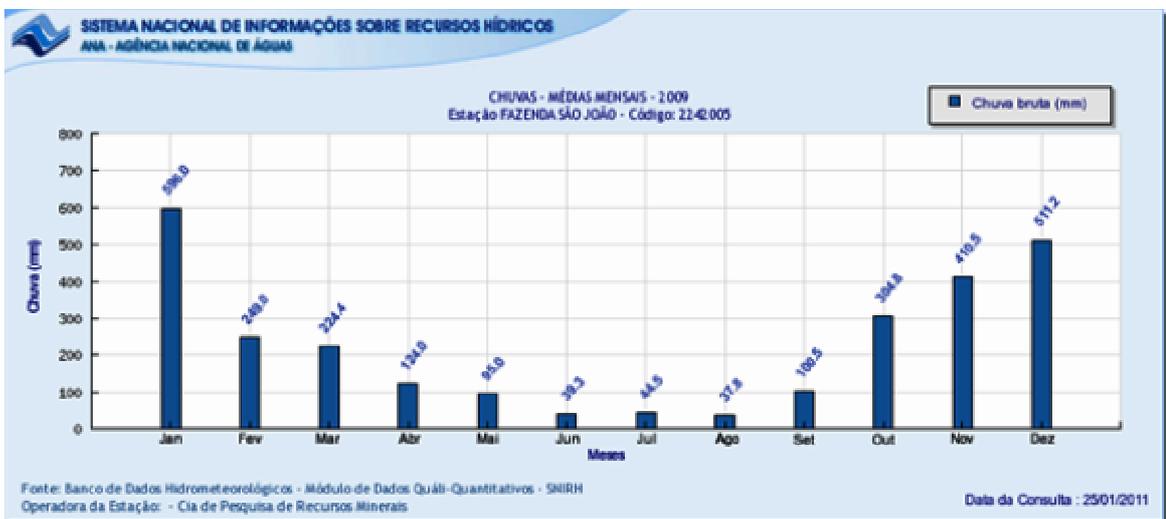
Chuvas Médias Diárias – Março/2008– Fonte: ANA



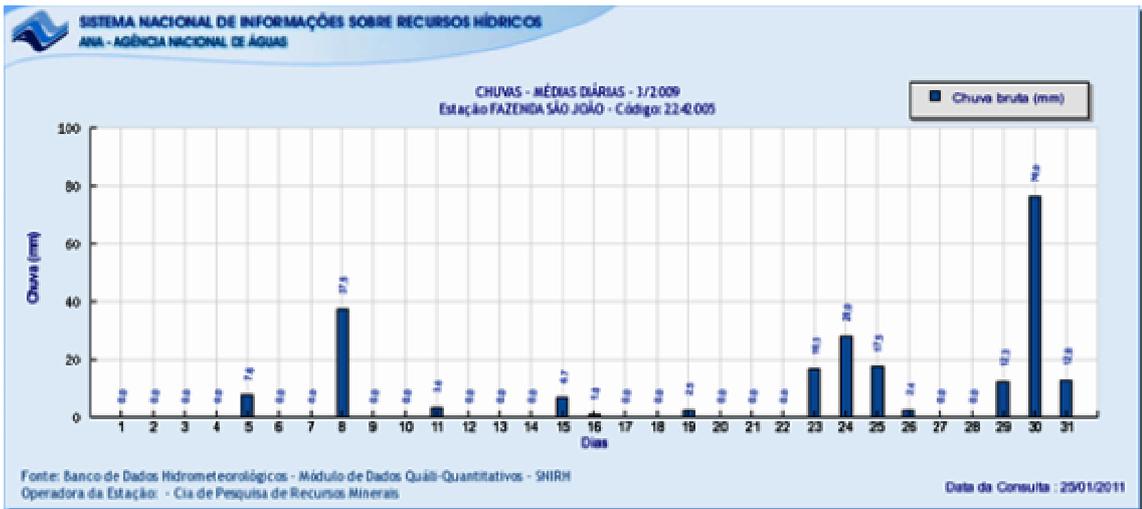
Chuvas Médias Diárias – Julho/2008– Fonte: ANA



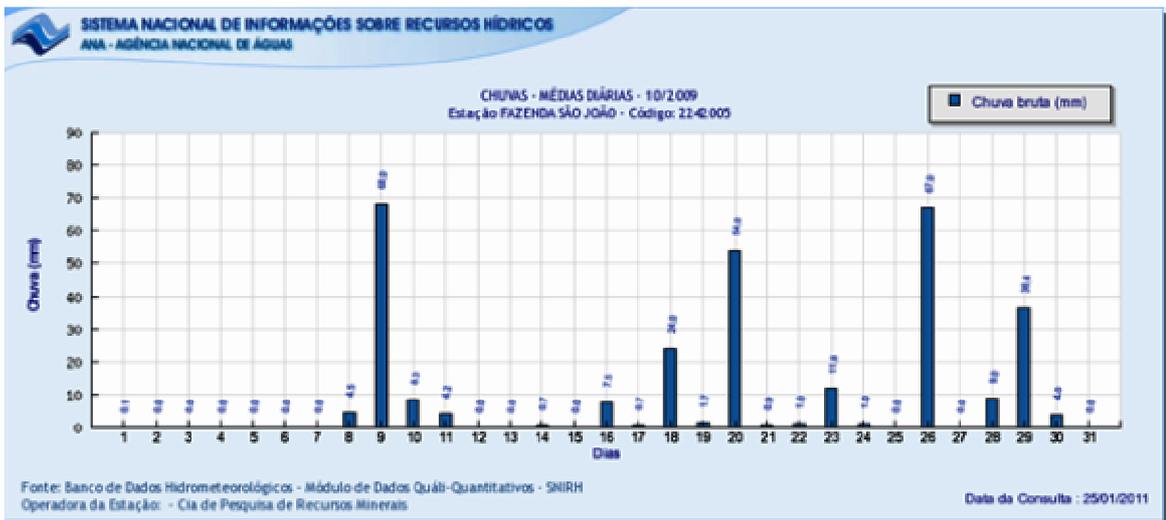
Chuvas Médias Diárias – Outubro/2008– Fonte: ANA



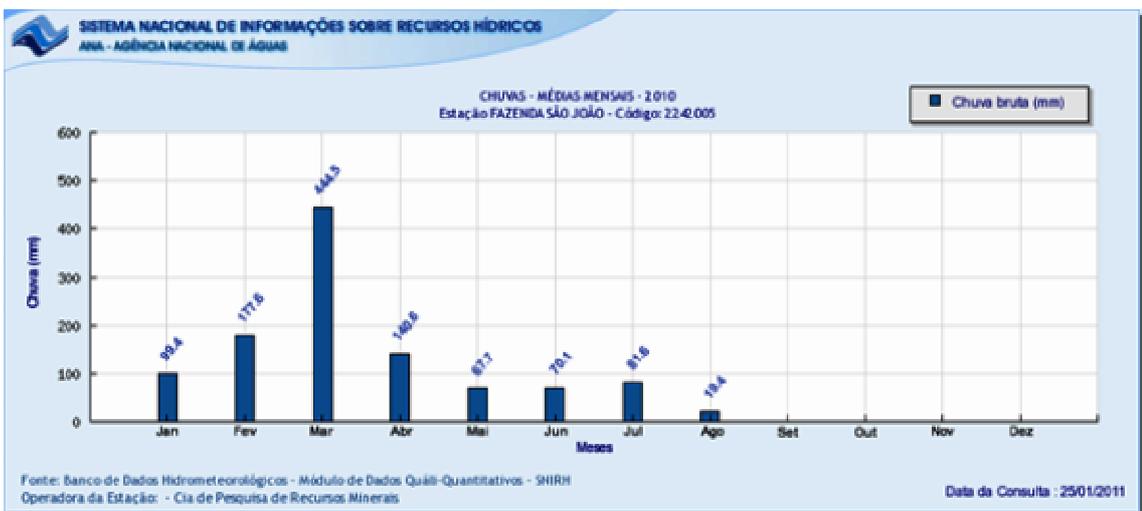
Chuvas Médias Mensais - 2009– Fonte: ANA



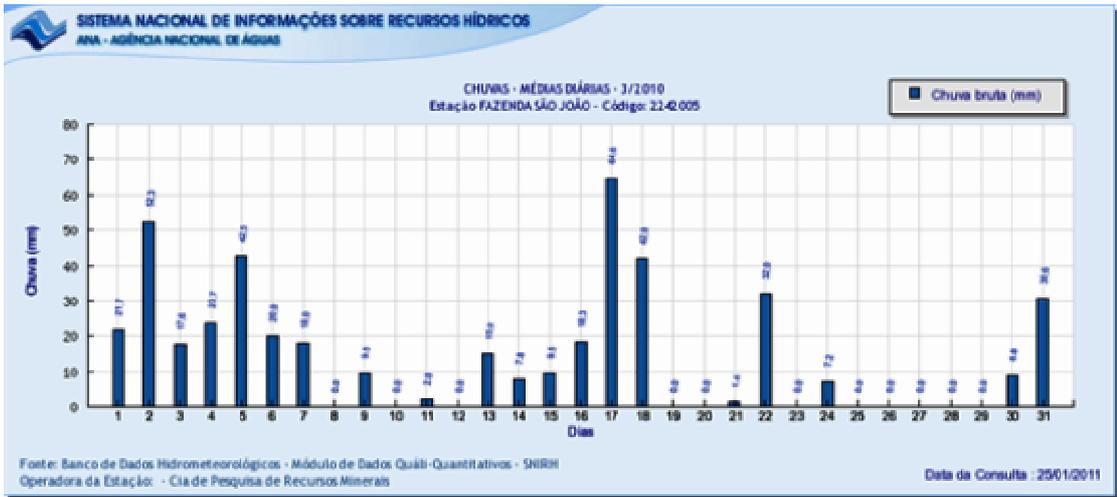
Chuvas Médias Diárias – Março/2009– Fonte: ANA



Chuvas Médias Diárias – Outubro/2009– Fonte: ANA



Chuvas Médias Mensais - 2010– Fonte: ANA



Chuvas Médias Diárias – Marco/2010– Fonte: ANA