

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
CAMPUS DE RIO CLARO

Flávio Wachholz

**Influência da bacia hidrográfica e características espaço-temporais de
variáveis limnológicas sobre reservatórios no Rio Jacuí – RS**

Rio Claro – SP

2011

Flávio Wachholz

**Influência da bacia hidrográfica e características espaço-temporais de
variáveis limnológicas sobre reservatórios no Rio Jacuí – RS**

Tese apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Organização do Espaço do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp de Rio Claro, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

Co-orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

Rio Claro – SP

2011

574.5263 Wachholz, Flávio

W114i Influência da bacia hidrográfica e características espaço-temporais de
variáveis limnológicas sobre reservatórios no Rio Jacuí – RS / Flávio
Wachholz. - Rio Claro : [s.n.], 2011

196 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Archimedes Perez Filho

Co-Orientador: Waterloo Pereira Filho

1. Ecologia aquática. 2. Limnologia. 3. Uso da terra. 4. Sensoriamento
remoto. 5. Relevo. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

Flávio Wachholz

**Influência da bacia hidrográfica e características espaço-temporais de
variáveis limnológicas sobre reservatórios no Rio Jacuí-RS**

Tese apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Organização do Espaço do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp de Rio Claro, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho (Orientador)
IG/UNICAMP/Campinas (SP)

Prof. Dr. Ailton Luchiari
FFLCH/USP/São Paulo (SP)

Prof. Dr. Albano Schwarzbold
IB/UFRGS/Porto Alegre (RS)

Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Rio Claro - SP, 03 de novembro de 2011.

Resultado: APROVADO

*Dedico os meus Pais,
Iria e Armando.
E aos meus Irmãos,
Jonas e Ricardo.*

AGRADECIMENTOS

Com a conclusão do doutorado cabe agradecer o apoio recebido das instituições e de pessoas que foram fundamentais para desenvolvimento da tese.

- **À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)** pela concessão da bolsa e reserva técnica de doutorado (Processo nº 2008/53364-1), que foi primordial para realização da tese, doutorado-sanduíche e a divulgação de trabalhos a ela referentes.
- **As instituições de apoio à Pesquisa.** *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)* pelo apoio financeiro ao projeto “Caracterização espectral e limnológica de ambientes lênticos no Rio Grande do Sul, com abordagem espaço-temporal” (Processo nº 484712/2007-1) sob a coordenação do Professor Waterloo Pereira Filho. O projeto proporcionou a compra de equipamentos, custeio dos trabalhos de campo e análises de laboratório necessárias à tese. *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)* pelo apoio financeiro ao projeto “Desenvolvimento de estudos e métodos para análise das características da água no contexto espaço-temporal” (Processo nº 258059) sob a coordenação do Professor Waterloo Pereira Filho. O projeto proporcionou o custeio das análises de laboratório.
- **Às universidades.** *Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP - Campus Rio Claro)* pela possibilidade da realização do Doutorado em Geografia de qualidade e gratuito. *Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)* e *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)*: pela disponibilidade de espaço físico e laboratórios que possibilitaram a determinação das variáveis limnológicas. *Universidade Técnica de Berlim (TUB)*: por possibilitar a realização do doutorado-sanduíche.
- **Institutos ou empresas.** *Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)* pela cessão dos dados das estações meteorológicas constantes a área de estudo. *Companhia Estadual de Energia Elétrica – Geração e Transmissão (CEEE-GT)* pela cessão dos dados de operação das barragens do rio Jacuí.
- **Aos orientadores.** *Prof. Dr. Archimedes Perez Filho*, da UNESP, pelas sugestões e visão para o desenvolvimento da tese. *Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho*, da UFSM, pelas sugestões, disposição à realização de trabalhos de campo e o desenvolvimentos

de projetos. *Prof. Dr. Günter Gunkel*, da TUB, pelas sugestões na área da limnologia durante a realização do Doutorado-sanduíche na Alemanha.

- **Aos Professores.** *Prof. Dr. Gilberto Gonçalves Rodrigues* do Laboratório de Ecologia da Universidade Federal da Bahia (UFBA) que oportunizou a realização do curso para a determinação do carbono orgânico dissolvido. *Prof. Dr. João Sarkis Yunes* da Unidade de Pesquisa em Cianobactérias da Universidade Federal do Rio Grande (FURG) que oportunizou a realização do curso para a determinação da clorofila *a*;
- **À banca examinadora.** *Prof. Dr. Ailton Luchiari*, *Prof. Dr. Albano Schwarzbold*, *Prof. Dr. Carlos Antônio Tavares*, *Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição* e *Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto*, pelas sugestões na tese.
- **Aos colegas.** *Mônica Marlise Wiggers* por liderar as atividades práticas de laboratório na fase inicial do projeto. *Daniela Wancura Barbieri* por liderar as atividades de laboratório no seguimento do projeto. *Rosana Corazza* pela determinação da clorofila *a*. *André Luís Domingues* pela identificação e contagem das algas. Aos *demaís colegas*, que participaram dos trabalhos de campo e/ou que determinaram as variáveis limnológicas em laboratório.
- **Aos técnicos de laboratório.** *Jorgelina de Freitas* (UFBA) por ensinar a metodologia do carbono orgânico dissolvido. *Rômulo* (UFSM) pela determinação do carbono orgânico dissolvidos das amostras.
- **À revisora:** *Dr^a. Silvia Saito* (INPE) pelas sugestões no trabalho.
- Às pessoas trabalhadoras e honestas desse Brasil que custearam a minha qualificação profissional.

Muito Obrigado,

Flávio Wachholz

RESUMO

A construção de barragem é uma intervenção antrópica na rede de drenagem que altera o fluxo natural da água. O presente trabalho caracterizou e analisou a estruturação limnológica e espectral na escala espaço-temporal nos reservatórios das Usinas Hidrelétricas (UHE) Passo Real e Dona Francisca do rio Jacuí – RS, e a relação com as bacias hidrográficas que os compõem no Alto Jacuí. A hipótese foi a de que ocorrem diferenças nas propriedades ópticas da água na escala espaço-temporal de reservatórios em função das próprias características e de suas bacias hidrográficas. Os procedimentos metodológicos foram: 1) adquirir dados limnológicos (transparência Secchi, temperatura, total de sólidos em suspensão - TSS, carbono orgânico dissolvido e clorofila *a*) e de espectrorradiometria de campo (dados hiperespectrais) do período de fevereiro de 2009 a março de 2010; 2) construção de um banco de dados com os elementos da bacia hidrográfica (geossistema e sistema socioeconômico) e as variáveis limnológicas na perspectiva espaço-temporal; 3) identificação das fragilidades da bacia hidrográfica e as características dos reservatórios que interferem na qualidade da água; 4) relacionar os dados espectrais com os dados limnológicos para verificar o potencial destes no monitoramento dos reservatórios. Os resultados mostraram que a bacia hidrográfica do reservatório Passo Real, com relevo colinoso, apresenta dominância de uso do solo com agricultura, com destaque para as culturas da soja no verão e trigo no inverno. O reservatório Dona Francisca, na base da série em cascata de reservatórios, recebe o tributário Jacuizinho, cuja bacia hidrográfica é de relevo de morros, os principais usos da terra são florestas e campos. A temperatura da água para ambos os reservatórios é inferior a 20°C nos meses de inverno e a maior amplitude térmica foi registrada durante todo o período no reservatório Passo Real. A transparência, o TSS e a clorofila *a* mostraram-se relacionados a ocorrência de um período normal de chuvas (fevereiro a julho de 2009 e março 2010) e período chuvoso (agosto 2009 a janeiro 2010). A concentração de TSS é maior no período chuvoso, tendo como consequência a redução da transparência nesse período. O pulso de material fornecido pela bacia hidrográfica no período chuvoso criou condições propícias ao desenvolvimento de algas, principalmente para reservatório Passo Real, o qual apresentou estado eutrófico a hipereutrófico. A maior concentração de TSS e clorofila *a* do reservatório Passo Real em relação à Dona Francisca é oriunda de vários fatores: maior tempo de retenção das águas, mais similar a um lago, mesmo em períodos chuvosos; maiores temperaturas da água; presença de vários compartimentos aquáticos; maior acesso do vento, que ressuspende e desloca parte dos nutrientes; e, principalmente a bacia hidrográfica com domínio agrícola. O carbono orgânico dissolvido apresentou concentrações baixas durante todo período. Os dados limnológicos correlacionados com os espectros de campo apresentaram relação significativa para comprimentos de onda do vermelho e infravermelho próximo, permitindo a derivação de equações de regressão (e.g., transparência da água, $y = 1,0094 \cdot (752/697\text{nm}) - 0,5747$, $R^2=0,97$). A hipótese foi confirmada para os reservatórios do Alto Jacuí, em que há maior introdução de material da bacia hidrográfica e longo tempo de residência no reservatório Passo Real conduzem no seu assoreamento e o desenvolvimento excessivo de algas.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Variáveis Limnológicas, Sensoriamento Remoto, Uso da Terra, Relevo.

ABSTRACT

The building of a dam is an anthropic intervention in the drainage system that changes the natural water flow. This work has characterized and analyzed the limnological and spectral structure on a spatial and temporal scale of the freshwater reservoirs Hidropower Plants (HPP) Passo Real and Dona Francisca of the river Jacuí – RS and, the relationship with the hydrographic basins that make up on the Alto Jacuí. The hypothesis was that the optical proprieties varies on the spatial and temporal scale as a function of the own reservoir proprieties as well of the hydrographic basins. The methodological procedures were: 1) limnological data acquisition (Secchi transparency, temperature, total of suspended solids - TSS, dissolved organic carbon and chlorophyll *a*) and field spectroradiometry (hyperspectral data) of the period from February 2009 to March 2010; 2) data base elaboration with the hydrographic basin elements (geosystem and social-economic system) and the limnological variables at the spatial and temporal perspective; 3) identification of the fragility areas of the hydrographic basin and the reservoir characteristics that affect the water quality; 4) relation analysis between the spectral and the limnological data to verify the potential of these to reservoir monitoring. The results showed that Passo Real reservoir hydrographic basin, with a hilly relief, has land use predominance of agriculture, especially for crops such as soybean in the summer and wheat at the winter season. The Dona Francisca reservoir, which is in the basis of the sequence of reservoirs, receives the tributary named Jacuizinho, has a relief characterized by hills and land use with predominance of forest and open fields. In both reservoirs the water temperature is bellow to 20 °C in the winter season. Further, the greatest thermic amplitude of water was verified always in the Passo Real reservoir. The transparency, TSS and chlorophyll *a* values were related to a normal rain occurrence (February to July 2009 and February to Mach 2010) and to the winter rainy season (August 2009 to January 2010). Concentration of TSS was higher in the rainy season, therefore the water transparency decreased in this season. The pulse of material provided by the hydrographic basin in the rainy season created favorable conditions to the algae development, especially in the Passo Real reservoir, which showed a eutrophic to hyper-eutrophic state. The higher concentration of TSS and chlorophyll *a* in the Passo Real reservoir in relation to the Dona Francisca reservoir is related to several factors: larger water retention time, which is more similar to a lake even in the rainy season; higher water temperature; presence of several aquatic compartments; more wind access, which re-suspend sediment and moves part of the nutrients; and the mainly factor is related to the agricultural land use in the hydrographic basin. The dissolved organic carbon showed low concentrations along all period. The correlation between the limnological data and field spectral data presented significant correlation for the red and near infrared wavelengths, allowing the derivations of regression equations (e.g. water transparency: $y = 1.0094 \cdot (752/697 \text{ nm}) - 0.5747$, $R^2=0.97$). The hypothesis was confirmed for the Alto Jacuí reservoir, where a higher material input from the hydrographic basin was verified and the longer water residence time in the Passo Real reservoir lead to siltation and to an excessive development of algae.

Keywords: Hydrographic basin, limnological variables, remote sensing, land use, relief.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Mapa de localização da BH do alto rio Jacuí – RS com seus municípios.....	21
Figura 2.1 – Estruturação do geossistema e do sistema socioeconômico	25
Figura 2.2 – Compartimentação vertical e horizontal de reservatórios e suas características .	30
Figura 2.3 – Hierarquia de fatores e as complexidades que determinam a produtividade de um lago.....	32
Figura 2.4 – Probabilidade da distribuição das categorias de estado trófico proposto pela OECD (1992) e os intervalos segundo Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004) com aplicação em reservatórios	34
Figura 2.5 - Curva de espalhamento e absorção da água pura e as regiões do espectro eletromagnético.....	36
Figura 2.6 – Padrão espectral da água e os constituintes opticamente ativos em imagens do sensor hiperespectral Hyperion/EO-1 na região Amazônica	37
Figura 3.1 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho	39
Figura 3.2 – Definição dos pontos amostrais para os reservatórios Passo Real e Dona Francisca (Composição da imagem TM LANDSAT 5, 543RGB).....	46
Figura 4.1 – Radiação global média, insolação, evaporação, temperatura do ar, precipitação acumulada e dias de chuva das estações climatológicas.	58
Figura 4.2 – Mapa hipsométrico da BH do Alto Jacuí.....	61
Figura 4.3 – Mapa de declividade da BH do Alto Jacuí.	62
Figura 4.4 – Mapa de solos da BH do Alto Jacuí.	64
Figura 4.5 – Mapa das regiões fitogeográficas da BH do Alto Jacuí.	66
Figura 4.6 – Mapa da densidade demográfica rural e urbana dos municípios da BH do Alto Jacuí.	69
Figura 4.7 – Mapa de saneamento básico dos municípios da BH do Alto Jacuí.....	71
Figura 4.8 – Mapa de indústrias com potencial poluidor hídrico dos municípios da BH do Alto Jacuí	73
Figura 4.9 – Mapa de unidades mineradoras dos municípios da BH do Alto Jacuí.	75
Figura 4.10 – Desenvolvimento fenológico das culturas anuais: fumo, milho, soja e trigo	77
Figura 4.11 – Mapa de cultivo do fumo dos municípios da BH do Alto Jacuí.	78
Figura 4.12 – Mapa de cultivo do milho dos municípios da BH do Alto Jacuí.	79
Figura 4.13 – Mapa de cultivo da soja dos municípios da BH do Alto Jacuí.	80
Figura 4.14 – Mapa de cultivo do trigo dos municípios da BH do Alto Jacuí.	81
Figura 4.15 – Mapa do emprego do sistema de preparo do solo plantio direto na palha dos municípios considerando a área cultivada da BH do Alto Jacuí	83
Figura 4.16 – Mapa da densidade bovina dos municípios da BH do Alto Jacuí.....	85
Figura 5.1 – Mapa dos compartimentos do relevo da BH do Alto Jacuí	87
Figura 5.2 – Mapa de uso e ocupação das terras (Out.2009) da BH do Alto Jacuí.....	89
Figura 5.3 – Diferenças no uso da terra no Alto Jacuí em função do relevo. A) Relevo colinoso (domínio das áreas agrícolas). B) Relevo de morros (domínio florestal).	92
Figura 5.4 – Distribuição das classes de uso e ocupação e uso das terras em função da declividade na BH do Alto Jacuí.	93
Figura 5.5 – NDVI das SHs do Alto Jacuí.....	94
Figura 5.6 – Vazão histórica do rio Jacuí mensais e sua relação com os dados pluviométricos	97
Figura 5.7 – Perfis longitudinais dos rios do Alto Jacuí.....	98

Figura 5.8 – Mapas resultantes da interpolação da profundidade dos pontos amostrais com sua localização nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca.....	100
Figura 5.9 – Precipitação pluviométrica do Alto Jacuí considerando os períodos mensais e anteriores as coletas	102
Figura 5.10 – Precipitação pluviométrica em cinco dias anteriores a coleta de campo nos reservatórios Passo Real (Município Alto Alegre) e Dona Francisca (Município Estrela Velha)	103
Figura 5.11 – Volume pluviométrico acumulado em trinta dias anteriores ao trabalho de campo no Alto Jacuí.....	104
Figura 5.12 – Velocidade e direção do vento durante o período de coleta dos dados no reservatório Passo Real	105
Figura 5.13 – Velocidade e direção do vento para cinco dias anteriores de coleta dos dados no reservatório Passo Real	106
Figura 5.14 – Radiação global média diurna (média diária dos dados horários das 9 a 21 horas) durante o período de coleta dos dados no reservatório Passo Real.....	106
Figura 5.15 – Tempo de residência, vazão e cota do reservatório Passo Real.....	109
Figura 5.16 – Tempo de residência, vazão e cota do reservatório Dona Francisca.....	109
Figura 5.17 – Estatística descritiva mensal e períodos normal/chuvoso da transparência da água do reservatório Passo Real.	111
Figura 5.18 – Estatística descritiva mensal e períodos normal/chuvoso da transparência da água do reservatório Dona Francisca.	111
Figura 5.19 – Dendrograma para a análise de agrupamento da transparência da água do reservatório Passo Real	112
Figura 5.20 – Dendrograma para a análise de agrupamento da transparência da água do reservatório Dona Francisca.....	112
Figura 5.21 – Média da transparência da água para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.....	113
Figura 5.22 – Média da transparência da água para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.....	114
Figura 5.23 – Espacialização da transparência da água do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10).....	115
Figura 5.24 – Espacialização da transparência da água do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10)	116
Figura 5.25 – Estatística descritiva mensal e sazonal da temperatura da água do reservatório Passo Real.....	118
Figura 5.26 – Estatística descritiva mensal e sazonal da temperatura da água do reservatório Dona Francisca.	118
Figura 5.27 – Dendrograma para a análise de agrupamento da temperatura da água do reservatório Passo Real	119
Figura 5.28 – Dendrograma para a análise de agrupamento da temperatura da água do reservatório Dona Francisca.....	120
Figura 5.29 - Média da temperatura da água sazonal (Fev. 09 a Mar. 10) para os pontos amostrais dos reservatórios Passo Real no sentido do rio. Verão (Fev.09, Mar.09, Jan.10 e Mar.10), Outono (Abr.09 e Jun.09), Inverno (Jul.09 e Ago.09) e Primavera (Out.09 e Dez.09)	120
Figura 5.30 - Média da temperatura da água sazonal (Fev. 09 a Mar. 10) para os pontos amostrais do reservatório Dona Francisca no sentido do rio. Verão (Fev.09, Mar.09, Jan.10 e Mar.10), Outono (Abr.09 e Jun.09), Inverno (Jul.09 e Ago.09) e Primavera (Out.09).	121

Figura 5.31 – Espacialização da temperatura da água do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10).....	123
Figura 5.32 – Relação entre o deslocamento no sentido do rio e a temperatura da água no reservatório Passo Real.	124
Figura 5.33 – Espacialização da temperatura da água do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10)	125
Figura 5.34 – Diferença de temperatura na coluna d’água (subsuperfície menos três vezes a medida do disco de Secchi) nos principais pontos amostrais e o volume de chuvas dos cinco dias anteriores (Alto Alegre) a medida de campo para o reservatório Passo Real.	126
Figura 5.35 – Diferença de temperatura na coluna d’água (subsuperfície – três vezes a medida do disco de Secchi) nos principais pontos amostrais e o volume de chuvas dos cinco dias anteriores (Estrela Velha) a medida de campo para o reservatório Dona Francisca.	126
Figura 5.36 – Perfil vertical e temporal da temperatura da água para os principais setores do reservatório Passo Real	128
Figura 5.37 – Perfil vertical e temporal da temperatura da água para os principais setores do reservatório Dona Francisca.....	129
Figura 5.38 – Estatística descritiva mensal e períodos seco/chuvoso da clorofila <i>a</i> do reservatório Passo Real.	130
Figura 5.39 – Estatística descritiva mensal e períodos seco/chuvoso da clorofila <i>a</i> do reservatório Dona Francisca.	130
Figura 5.40 – Dendrograma para a análise de agrupamento da clorofila <i>a</i> do reservatório Passo Real.....	131
Figura 5.41 – Dendrograma para a análise de agrupamento da clorofila <i>a</i> do reservatório Dona Francisca.....	132
Figura 5.42 – Média da clorofila <i>a</i> para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.....	133
Figura 5.43 – Média da clorofila <i>a</i> para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Dona Francisca no sentido do rio.....	133
Figura 5.44 – Espacialização da clorofila <i>a</i> do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10)..	135
Figura 5.45 – Espacialização da clorofila <i>a</i> do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10)	136
Figura 5.46 – Perfil vertical e temporal da clorofila <i>a</i> para os principais setores do reservatório Passo Real.....	137
Figura 5.47 – Perfil vertical e temporal da clorofila <i>a</i> para os principais setores do reservatório Dona Francisca	138
Figura 5.48 – Relação da clorofila com a temperatura de Fev.09 a Mar.10, sinalizando duas situações: outono, primavera e verão; e, inverno. a) Reservatório Passo Real e b) Reservatório Dona Francisca.	139
Figura 5.49 – Relação da clorofila com a transparência de Fev.09 a Mar.10, sinalizando duas situações: período normal e período chuvoso. a) Reservatório Passo Real e b) Reservatório Dona Francisca.	139
Figura 5.50 – Estatística descritiva mensal e períodos normal e chuvoso do TSS do reservatório Passo Real.	141
Figura 5.51 – Estatística descritiva mensal e períodos normal e chuvoso do TSS do reservatório Dona Francisca.	142
Figura 5.52 – Dendrograma para a análise de agrupamento do TSS do reservatório Passo Real	143
Figura 5.53 – Dendrograma para a análise de agrupamento do TSS do reservatório Dona Francisca.....	143

Figura 5.54 - Média do TSS para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.	144
Figura 5.55 – Média do TSS para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Dona Francisca no sentido do rio.	145
Figura 5.56 – Espacialização do TSS do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10).....	146
Figura 5.57 – Espacialização do TSS do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10) ...	148
Figura 5.58 – Perfil vertical e temporal do TSS para os principais setores do reservatório Passo Real.....	149
Figura 5.59 – Perfil vertical e temporal do TSS para os principais setores do reservatório Dona Francisca	150
Figura 5.60 – Estatística descritiva mensal e períodos normal/chuvoso do COD do reservatório Passo Real.	151
Figura 5.61 – Estatística descritiva mensal e períodos normal/chuvoso do COD do reservatório Dona Francisca.	151
Figura 5.62– Média do COD para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.	152
Figura 5.63 – Média do COD para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Dona Francisca no sentido do rio.	153
Figura 5.64 – Espacialização do COD do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10)	154
Figura 5.65 – Espacialização do COD do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10) ..	155
Figura 5.66 – Perfil vertical e temporal do COD para os principais setores do reservatório Passo Real.....	156
Figura 5.67 – Perfil vertical e temporal do COD para os principais setores do reservatório Dona Francisca	157
Figura 5.68 – Efeito do vento a montante do ponto 12 (Jacuí-Mirim) com a ressuspensão de material inorgânico (Mar.09) e deslocamento de cianofíceas (Dez.10)	158
Figura 5.69 – Cores da água durante o período de coleta (Fev.09 a Mar.10) do reservatório Passo Real.....	161
Figura 5.70 – Cores da água durante o período de coleta (Fev.09 a Mar.10) do reservatório Dona Francisca	162
Figura 5.71 - Relação entre precipitação pluviométrica e a média do TSS/Transparência para o reservatório Passo Real	165
Figura 5.72 - Relação entre precipitação pluviométrica e a média do TSS/Transparência para o reservatório Dona Francisca	165
Figura 5.73 – Relação entre precipitação pluviométrica e TSS, precipitação pluviométrica e a média da transparência da água dos tributários	166
Figura 5.74 – Relação do NDVI e precipitação pluviométrica com o TSS médio do reservatório Passo Real	168
Figura 5.75 – Relação do NDVI e precipitação pluviométrica com a transparência média do reservatório Passo Real	168
Figura 5.76 – Espectros de reflectância de campo para o reservatório Passo Real	170
Figura 5.77 – Espectros de reflectância de campo para o reservatório Dona Francisca.....	171
Figura 5.78 – Correlograma do valor de reflectância, análise derivativa e remoção do contínuo nos diferentes comprimentos de onda com o total de sólidos em suspensão (linha em vermelho – limite dos valores estatisticamente significativos, $\alpha = 0,001$)	173
Figura 5.79 – Correlograma do valor de reflectância, análise derivativa e remoção do contínuo nos diferentes comprimentos de onda com transparência do Disco de Secchi (linha em vermelho – limite dos valores estatisticamente significativos, $\alpha = 0,001$)	173

Figura 5.80 – Correlograma do valor de reflectância, análise derivativa e remoção do contínuo nos diferentes comprimentos de onda com clorofila <i>a</i> (linha em vermelho – limite dos valores estatisticamente significativos, $\alpha = 0,001$)	174
Figura 5.81 – Correlograma do valor de reflectância, análise derivativa e remoção do contínuo nos diferentes comprimentos de onda com carbono orgânico dissolvido (linha em vermelho – limite dos valores estatisticamente significativos, $\alpha = 0,001$).....	174
Figura 5.82 – Diagramas de correlação entre razão de bandas e variáveis limnológicas	175
Figura 5.83 – Relação dos dados de reflectância com as variáveis limnológicas	177

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Variáveis limnológicas, relação com outras variáveis e principais indicadores ambientais em reservatórios	29
Quadro 3.1 - Matriz dos índices de dissecação das formas de relevo.....	44
Quadro 3.2 – Características das classes de uso e ocupação das terras utilizadas para determinação do mapa temático	45
Quadro 3.3 – Datas dos trabalhos de campo realizados nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca.....	47
Quadro 3.4 – Variáveis condições do tempo, características da água e do entorno	50
Quadro 3.5 – Características morfométricas mensuradas para os reservatórios	52
Quadro 4.1 - Características altimétricas da BH do Alto Jacuí.....	60
Quadro 4.2 – Duração dos ciclos vegetativos para as principais culturas anuais.....	76
Quadro 5.1 – Modelado do relevo do alto Jacuí e declividade média, tipo de solo e uso da terra de compartimento.	92
Quadro 5.2 – Características morfométricas dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca.	99
Quadro 5.3 – Pontos amostrais dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca com concentrações de clorofila <i>a</i> superiores a 30 µg/L (Inadequado segundo a Classe II – Resolução CONAMA – 357/2005).....	140
Quadro 5.4 – Correlação significativa entre intervalos espectrais e variáveis limnológicas	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Coeficientes de exportação de fósforo total e nitrogênio total de acordo com o uso da terra e os seres vivos presentes em uma BH.....	33
Tabela 2.2 – Comprimentos de onda das bandas de absorção e emissão de fluorescência dos pigmentos fitoplanctônicos.....	38
Tabela 3.1 – Área das SHs do Alto Jacuí e número de municípios abrangidos	40
Tabela 3.2 – Classes adotadas para o mapa de declividade, com as suas características de forma do relevo e velocidade do escoamento superficial relacionadas	42
Tabela 5.1 – Normal climatológica da precipitação pluviométrica do Alto Jacuí (1940-2006)	101
Tabela 5.2 – Condição do céu durante a aquisição dos dados de campo nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca	107
Tabela 5.3 – Velocidade do vento média (Km/h) e direção durante a aquisição dos dados de campo nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca.....	107
Tabela 5.4 – Rugosidade da superfície da lâmina d’água durante a aquisição dos dados de campo nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca.....	107
Tabela 5.5 – Correlação entre as variáveis limnológicas para o reservatório Passo Real	160
Tabela 5.6 – Correlação entre as variáveis limnológicas para o reservatório Dona Francisca	160
Tabela 5.7 – Variância dos dados limnológicas para o reservatório Passo Real.....	163
Tabela 5.8 – Variância dos dados limnológicas para o reservatório Dona Francisca	163
Tabela 5.9 – Valores de TSS e transparência estimados para os reservatórios segundo normais climatológicas de precipitação, períodos e a probabilidade de ocorrência	166
Tabela 5.10 – Estimativas dos modelos de TSS e transparência para o reservatório Passo Real	168
Tabela 5.11 – Modelos empíricos de estimativa de variáveis limnológicas com diferentes técnicas de análise de dados espectrais	176

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AJ: BH Alto Jacuí
ANA: Agência Nacional das Águas
BH: Bacia hidrográfica
CEE: Companhia Estadual de Energia Elétrica - RS
Chl: Clorofila
COAJU: Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí - RS
COD: Carbono orgânico dissolvido
CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente
Dc: Denudacional de topo convexo
DF: Dona Francisca
DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral
DS: Disco de Secchi
EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENVI: *Environment for Visualizing Images*
ER: SH Ernestina
FEE: Fundação de Economia e Estatística - RS
FEPAGRO: Fundação Estadual de Agropecuária - RS
FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS
HAND: *Height Above the Nearest Drainage*
IDESE: Índice de Desenvolvimento Socioeconômico
IN: SH Ingaí
INMET: Instituto Nacional de Meteorologia
IV: SH Ivaí
JA: SH Jacuí
JM: SH Jacuí-Mirim
JZ: SH Jacuizinho
MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MNT: Modelo numérico do terreno
NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
PR: Passo Real
Prob.: Probabilidade
SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission*
SH: Sub-bacia Hidrográfica
Temp: Temperatura da água
TSS: Total de Sólidos em Suspensão
UHE: Usina Hidroelétrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1. Intervenção antrópica na natureza.....	24
2.2. Bacias hidrográficas e erosão do solo.....	25
2.3. Construção de barragens e alterações nas variáveis limnológicas	28
2.4. Propriedades ópticas da água e constituintes opticamente ativos	35
3. METODOLOGIA	39
3.1. Delimitação das bacias hidrográficas	40
3.2. Banco de dados geográficos.....	41
3.3. Caracterização geral da área de estudo	41
3.4. Compartimentos do relevo	43
3.5. Uso da terra	44
3.6. Precipitação pluviométrica.....	45
3.7. Determinação dos pontos amostrais nos reservatórios	45
3.8. Trabalhos de campo.....	47
3.8.1. Variáveis limnológicas	48
3.8.2. Condições de campo	50
3.8.3. Dados espectrais de campo	51
3.9. Dados complementares	51
3.9.1. Morfometria dos reservatórios	51
3.9.2. Dados históricos: chuva e vazão	52
3.9.3. Perfis longitudinais dos rios	53
3.9.4. Dados atuais: meteorológicos e vazão	53
3.10. Tratamento e análise dos dados.....	53
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	56
4.1. Hidrologia	56
4.2. Características climáticas.....	57
4.3. Relevo	59
4.4. Solos	63
4.5. Cobertura vegetal nativa	65
4.6. Sistema Socioeconômico	68
4.6.1. Densidade demográfica.....	68

4.6.2. Saneamento básico	70
4.6.3. Indústria	72
4.6.4. Mineração.....	74
4.6.5. Culturas anuais	76
4.6.5.1. Sistemas de Preparo do solo.....	82
4.6.6. Pecuária.....	84
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
5.1. Bacia hidrográfica do Alto Jacuí.....	86
5.1.1. Compartimentação do relevo	86
5.1.2. Uso e ocupação das Terras.....	88
5.1.2.1. Uso da terra, compartimentos do relevo e conflitos ambientais.....	91
5.1.2.2. Uso da terra no contexto temporal.....	93
5.1.3. Fragilidade ambiental no Alto Jacuí e pressão antrópica.....	94
5.2. Os reservatórios Passo Real e Dona Francisca	96
5.2.1. Vazão do rio Jacuí	96
5.2.2. Perfil longitudinal dos rios	98
5.2.3. Caracterização morfométrica dos reservatórios	99
5.2.3. Definição da normal climatológica e tempo atual.....	101
5.2.3.1. Condições <i>in situ</i> durante a coleta de dados.....	107
5.2.4. Tempo de residência das águas dos reservatórios	108
5.2.5. Variáveis limnológicas	110
5.2.5.1. Transparência Secchi	110
5.2.5.2. Temperatura da água.....	117
5.2.5.3. Clorofila <i>a</i>	129
5.2.5.4. Total de sólidos em suspensão	141
5.2.5.5. Carbono Orgânico Dissolvido	150
5.2.6. Relação entre as variáveis limnológicas dos reservatórios.....	157
5.2.6.1. Relação das variáveis com a cor da água.....	161
5.2.6.2. Variabilidade espaço-temporal.....	163
5.2.7. Influência das SHs nas variáveis limnológicas	164
5.3. Uso potencial dos dados de sensoriamento remoto.....	169
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	178
5.1. Recomendações.....	180
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	182

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O crescimento acelerado da população urbana e da industrialização no Brasil nas últimas décadas motivou a construção de reservatórios como maneira de suprir a demanda de abastecimento de água e a geração de hidroeletricidade. Em virtude dessa demanda muitos rios foram represados em diferentes setores e resultando, em muitos casos, a série de reservatórios em cascata. Assim, as distintas condições de origens dos ambientes lênticos e os impactos das atividades antrópicas conferem aos reservatórios diferentes características, em especial quanto à qualidade da água (BRANCO; ROCHA, 1977; KIMMEL *et al.*, 1990; ESTEVES, 1998; TUNDISI *et al.*, 2006; REBOUÇAS, 2006).

Os reservatórios em geral têm seu funcionamento em uma posição intermediária de rio e lago (KIMMEL *et al.*, 1990). O material de suspensão introduzido pelos tributários nos reservatórios desencadeia o processo de deposição à medida que diminui a velocidade da água sobre o reservatório, tendo como consequência o assoreamento e aumento da transparência da água. A maior transparência da água também proporciona maior disponibilidade de luz no ecossistema aquático (BRANCO, 1986) e havendo nutrientes (fósforo, nitrogênio) disponíveis na coluna d'água são fatores que contribuem para a produtividade primária. Portanto, o material dissolvido e suspenso na água, juntamente com aumento na temperatura podem ser os fatores responsáveis pelo aumento de algas e eutrofização de reservatórios.

No estado do Rio Grande do Sul, os principais reservatórios foram construídos no alto curso do Rio Jacuí e no rio Uruguai (Planalto Sul-Rio-Grandense) com a finalidade de atender a demanda energética. No rio Jacuí foram construídas a Usina Hidrelétrica (UHE) Ernestina, sendo a primeira a ser concluída (1957), seguida por UHE Jacuí (1962), Passo Real (1973), Itaúba (1978) e Dona Francisca (2001), sequencialmente no sentido do rio (CRUZ, 1996). As maiores superfícies aquáticas, no rio Jacuí, pertencem a Passo Real com 225,3 km² e Dona Francisca com 19,6 km².

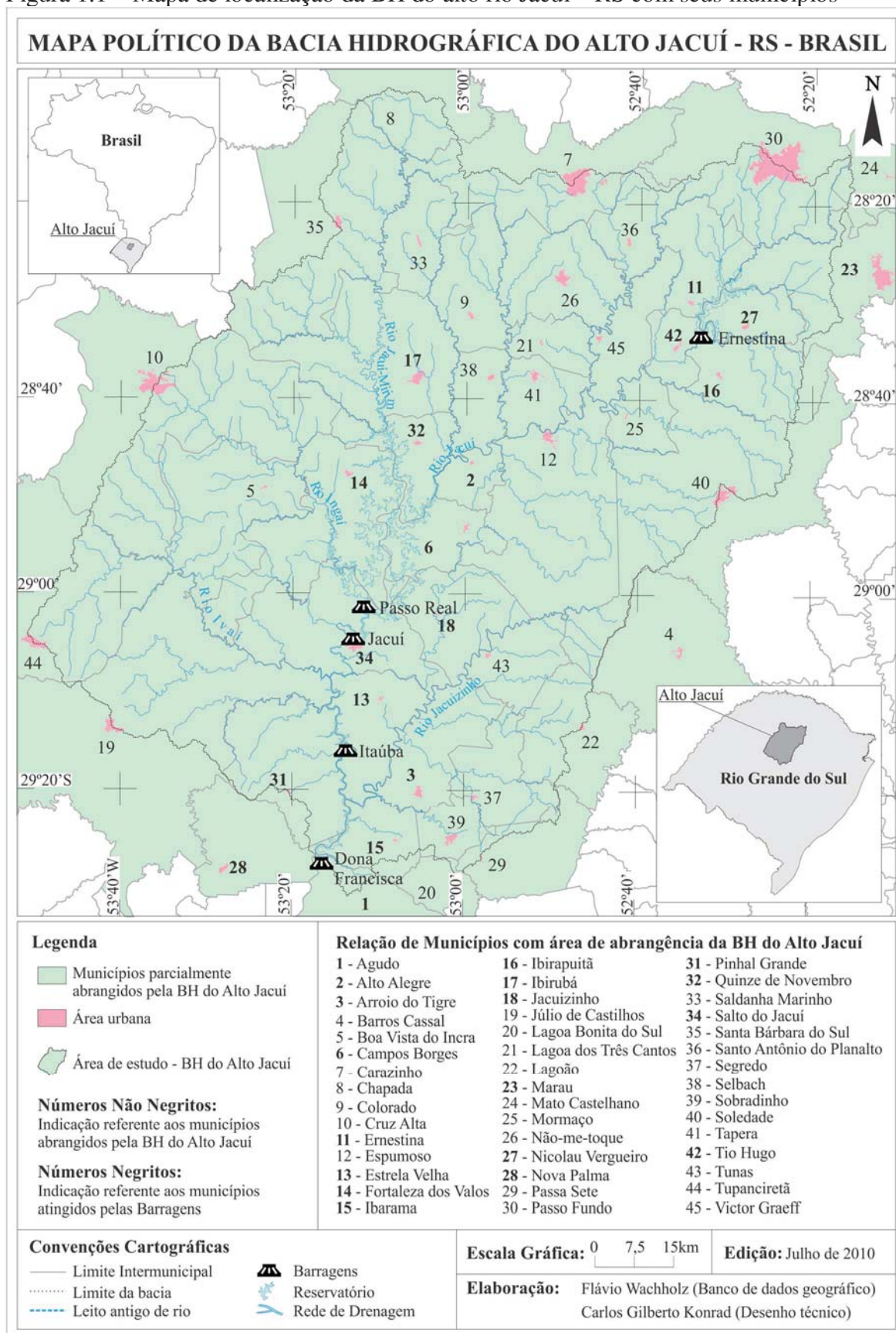
O alto curso da bacia hidrográfica (BH) do rio Jacuí encontra-se ocupada principalmente pela agricultura, com destaque para as culturas da soja e do trigo (com a prática do sistema de cultura rotativa anual). O relevo do entorno do reservatório Passo Real é caracterizado por apresentar colinas, enquanto que o de Dona Francisca é caracterizado pelo relevo de morros. Dessa forma, a água recebida pelos reservatórios pode apresentar interferência das condições do uso das terras e do relevo das áreas de captação. Ainda a situação em que os reservatórios se encontram, em cascata, na qual a saída de água de um

sistema representa a entrada de outro, pode interferir na qualidade da água dos reservatórios até o exutório do rio Jacuí no Lago Guaíba. A BH do alto rio Jacuí localizado no centro-norte do Rio Grande do Sul está representado na Figura 1.1, com os reservatórios inseridos no rio Jacuí e os municípios que compreendem a BH.

Variações espaciais e temporais nas características de superfície das águas dos reservatórios podem ser estudadas (analisadas e monitoradas), com suporte das técnicas de sensoriamento remoto. Essa técnica permite identificar a gênese e o deslocamento de substâncias específicas em suspensão ou dissolvidas na água (RUDORFF, 2005). Nesse contexto, o sensoriamento remoto permite estimar a transparência da água, a concentração de sólidos em suspensão e a quantidade de clorofila (DEKKER, 1993; NOVO, 2001). Em síntese, auxilia na estimativa do estado trófico de um reservatório. A eficiência dessa ferramenta foi comprovada em vários estudos com imagens multiespectrais (GIARDINO *et al.*, 2001; BARBOSA, 2005; NOVO *et al.*, 2006) e dados de espectrorradiometria de campo (BARBOSA, 2005; RUDORFF, 2005).

Com base em dados de sensoriamento remoto, Pereira Filho e Galvão (1997) identificaram um aumento na reflectância na faixa do vermelho do espectro eletromagnético para o reservatório Passo Real. Além disso, os autores observaram uma variação do comprimento de onda de máxima reflectância para diferentes compartimentos aquáticos do reservatório. Essa variação esteve relacionada a diferenças no uso e ao manejo do solo nas bacias de captação de cada compartimento aquático. Os compartimentos localizados em bacias hidrográficas onde foi praticado o plantio direto apresentaram picos de reflectância na faixa verde do espectro, o que indica maior presença de clorofila em relação aos Totais de Sólidos em Suspensão (TSS). Por outro lado, nas bacias hidrográficas onde a prática predominante era o preparo de solo com cultivo convencional ocorreu a maior reflectância no vermelho.

Figura 1.1 – Mapa de localização da BH do alto rio Jacuí – RS com seus municípios



O sensoriamento remoto aplicado ao estudo da água compreende a relação entre espectros de reflectância da própria água e seus constituintes opticamente ativos (KIRK, 1994). Neste sentido, definem-se quatro domínios a serem investigados com os recursos de sensoriamento remoto, a nível orbital. O primeiro está relacionado com a periodicidade da obtenção de dados, visto que o satélite obtém informações de um mesmo lugar em intervalos regulares de tempo. O segundo está relacionado com resolução espectral, que permite explorar as propriedades espectrais produzidas por constituintes específicos na água. O terceiro domínio refere-se a resolução espacial, refere-se ao menor elemento no terreno (EIFOV - *Effective Instantaneous Field of View*) que pode ser registrado como em um ponto na imagem. E, o quarto domínio, a resolução radiométrica, que consiste na sensibilidade dos detectores em registrar pequenas variações de radiação refletida pelos alvos.

A hipótese do trabalho é de que ocorram diferenças nas propriedades ópticas da água no contexto espaço-temporal de reservatórios em função das características de suas bacias hidrográficas abastecedoras e os processos hidrodinâmicos do próprio reservatório. Portanto, destacam-se os seguintes questionamentos: 1) Qual a influência do uso e ocupação das terras, do relevo e dos solos das bacias hidrográficas contribuintes dos reservatórios sobre as variáveis limnológicas, considerando as variações no tempo e espaço? 2) Quais são as mudanças que ocorrem na qualidade da água na estrutura vertical e horizontal dos reservatórios? 3) E, qual o potencial dos dados de sensoriamento remoto para o mapeamento dos constituintes opticamente ativos?

Nesse contexto, o objetivo geral consistiu em analisar e caracterizar a estruturação espaço-temporal das variáveis limnológicas nos reservatórios das UHEs Passo Real e Dona Francisca do rio Jacuí, no contexto de suas bacias hidrográficas. Os objetivos específicos foram:

a) Estabelecer relações entre a temperatura, os totais de sólidos em suspensão, a transparência, a clorofila *a* e carbono orgânico dissolvido nas águas dos reservatórios. Nesse contexto, a representação de mapas temáticos das variáveis limnológicas no contexto espaço-temporal permite entender a origem de substâncias, processos hidrodinâmicos e a identificação de compartimentos aquáticos.

b) Relacionar as variáveis limnológicas com as características climáticas, de relevo, dos solos e de uso das terras das bacias hidrográficas de cada compartimento aquático. As características naturais e a ocupação antrópica na bacia hidrográfica são responsáveis em

diferentes graus na entrada de materiais/nutrientes para os rios e consequente alteração limnológica dos reservatórios.

c) Verificar o uso potencial dos dados de espectrorradiometria de campo para monitoramento dos constituintes opticamente ativos dos reservatórios. O dado de sensoriamento remoto de campo consegue representar com maior fidelidade as características ópticas da água. Os dados de reflectância são relacionados com as variáveis limnológicas para identificar os comprimentos de onda com melhor correlação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Intervenção antrópica na natureza

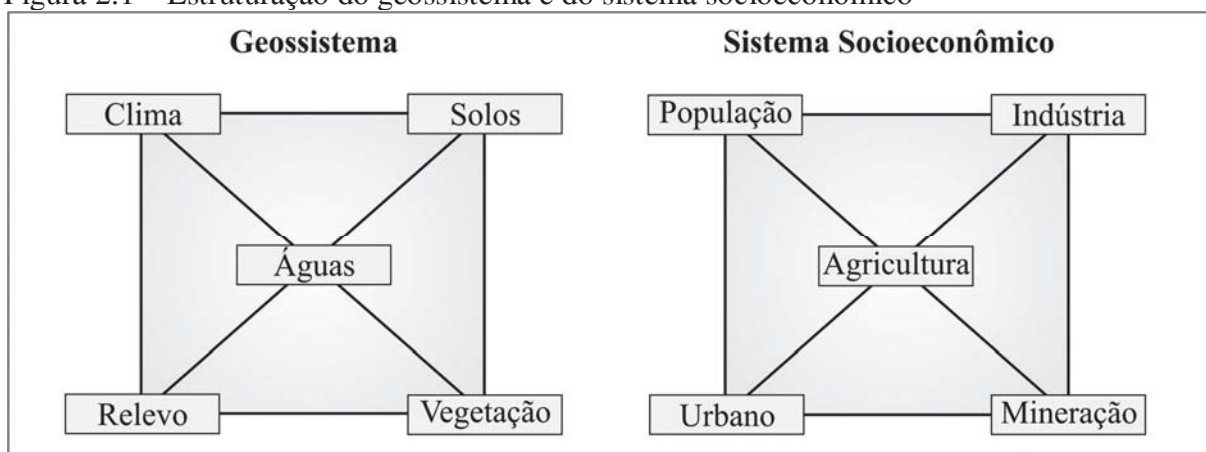
Os corpos d'água são constituintes da paisagem, tanto pelo ponto de vista morfológico quanto econômico (SCHAFER, 1985) e estabelecem comunicação direta com a BH, estabelecendo fluxos de energia e matéria. A BH é configurada por um conjunto de superfícies inclinadas, na qual a água do escoamento superficial segue uma trajetória rica em interações (vegetação, culturas agrícolas, cidades) e orientada pela maior inclinação do plano definido pelo comprimento de rampa e a intensidade do fluxo de energia que aumenta conforme a declividade do terreno (D'AGOSTINE, 1999). A rede de drenagem é o produto de intensificação do escoamento superficial e dos processos erosivos, ocorrentes em uma BH.

As áreas antropizadas são crescentes nas bacias hidrográficas, principalmente com a ampliação das cidades e da agricultura. Em detrimento, ação antrópica têm alterado o funcionamento natural das bacias hidrográficas com exposição e impermeabilização do solo, tendo consequências ao ciclo hidrológico.

A intervenção antrópica em muitos rios brasileiros tem acontecido com a instalação de barragens para a produção de energia elétrica. A quantidade e qualidade da água dos reservatórios formados e a própria dinâmica dependem das características da BH, por meio da entrada de energia e matéria de origem alóctone. Portanto, as barragens interferem e dependem da organização espacial da BH.

A organização espacial da BH compreende a estruturação do geossistema e do sistema socioeconômico (CHRISTOFOLETTI, 1999) (Figura 2.1). Essa organização é resultante da interação dos elementos componentes do sistema físico da natureza (estruturação do geossistema) possuindo expressão espacial na superfície terrestre e constituído por sistema de elementos, funcionando através da circulação de energia e matéria (CHRISTOFOLETTI, 1999). Embora os geossistemas sejam naturais, há necessidade da conexão da natureza com a sociedade, caracterizando a influência do sistema socioeconômico na organização espacial (SOTCHAVA, 1977; PEREZ FILHO, 2008). O geossistema é uma classe de sistema aberto e hierarquicamente organizado, sob ação antrópica cada vez mais intensa (CRUZ, 1985). O geossistema transforma-se como um todo, mas alguns de seus componentes o fazem sob diferentes velocidades e, algumas vezes, com rumos diferentes (SOTCHAVA, 1977).

Figura 2.1 – Estruturação do geossistema e do sistema socioeconômico



Fonte: Christofolletti (1999).

As mudanças nos subsistemas devem ser entendidas na escala temporal (PEREZ FILHO, 2006). A temporalidade do geossistema pode ser caracterizada pelo estado sazonal, pois explora de forma avançada o comportamento anual do geossistema, assim como a representação paisagística (BERTRAND; BERTRAND, 2007). Na condição da BH e os reservatórios inseridos foi colocada em evidência no geossistema as águas (Figura 2.1), que depende dos elementos do próprio geossistema e do sistema socioeconômico. O levantamento das características da água é normalmente realizado com a coleta de dados de campo, por meio da amostragem de fatores abióticos e bióticos, em diferentes locais e períodos do ano (BICUDO; BICUDO, 2004).

Considerando o sistema socioeconômico coloca-se em evidência a agricultura. O estudo a partir do ciclo vegetativo das culturas agrícolas inclui-se no estado sazonal, na qual a ação antrópica tem forte participação no processo de evolução. O monitoramento realizado em determinada fase agrícola, com dados coletados *in situ* ou através de sensores orbitais, representa um estado do geossistema. A noção de dinâmica permite classificar o geossistema quanto ao estado do sistema ou estados sucessivos, no qual possibilita assumir ou propor hipóteses sobre a sua dinâmica futura (RODRIGUES, 2001).

2.2. Bacias hidrográficas e erosão do solo

Nas regiões de clima úmido, as chuvas são as principais causadoras da erosão do solo nas bacias hidrográficas. O escoamento superficial desagrega as partículas e as transporta até áreas de aggradação ou a rede de drenagem até ocorrer a sua deposição. A erosão atua no

modelado do relevo e, até mesmo na formação de solos, mas, esse processo vem sendo acelerado pelas atividades antrópicas, com a perda substancial de elementos físicos e químicos em escala de algumas décadas (FARIA, 1996).

Os tipos de erosão, geradas pelo regime pluvial em uma BH (AMARAL, 1984; LEPSCH *et al.*, 1991; FARIA, 1996; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999) são: a) erosão por salpicamento: remoção das partículas dos agregados dos solos pelas gotas da chuva; b) erosão laminar: transporte dos sedimentos e ação erosiva dos fluxos em lençol; e, c) erosão linear: fluxos concentrados que erodem e transportam sedimentos através de sulcos, ravinas e voçorocas.

A erosão do solo conduz à mudança na sua coloração e ao aparecimento de eventuais blocos que poderão permanecer no local, enquanto os de menor granulometria, como silte e argila, são retirados do solo, resultando no seu empobrecimento (MAFRA, 1981). A erosão é acelerada quando atividades humanas são desenvolvidas, como as práticas de desmatamento, queimadas, pisoteio do gado com implantação da pecuária e construção de rodovias. Com isso, a perda de solos no Brasil é em média 2,5 vezes maior que a taxa de formação, causando prejuízos à natureza e à agricultura (FARIA, 1996). A susceptibilidade à erosão do solo, ou seja, sua erodibilidade frente à água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999) dificilmente é considerada em processos para ocupação humana. Apenas, considera-se, quando é uma limitação a ocupação antrópica, como a baixa fertilidade dos solos e/ou relevo dissecado.

A intensidade, a duração e a frequência das precipitações pluviométrica estabelecem um limite de saturação do solo, deixando-o de absorver água e, dependendo da intensidade da chuva conduzir a dinamização do escoamento superficial (MENDES, 1993). A intensidade das precipitações pluviométricas determina diferentes diâmetros das gotas de chuva, como exemplificado em Ayoade (1996), em que 10, 30 e 102 mm/h proporciona um diâmetro de 1, 2 e 3 mm, respectivamente. A capacidade da chuva em causar erosão em uma área não protegida é chamada de erosividade das chuvas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

A presença de vegetação em uma BH aumenta a proteção e a retenção do solo erodido. A faixa de vegetação presente em uma encosta aumenta progressivamente a infiltração e retém as substâncias suspensas do escoamento (SANTOS, 2004). O dossel da vegetação (arbóreo-arbustiva) diminui a velocidade das gotas da chuva e o impacto delas no solo; e, as raízes que se mantêm fixas ao solo, proporcionam modificações na estrutura do solo, que evitam a compactação e favorecem a infiltração. A alta proteção exercida por florestas na BH

foi verificada em trabalhos como Sheridan *et al.* (1999), Ferreira *et al.* (2008) e Gomi *et al.* (2008).

As áreas agrícolas são muito dinâmicas; o período com maior proteção é a fase em que as culturas estão em desenvolvimento vegetativo e menor proteção na fase de preparo do solo (ROSS, 1996). O crescimento das culturas agrícolas reduz a exposição e dependendo da quantidade de folhas que essas possuem, poderá contribuir significativamente no processo de interceptação e diminuir a erosão pluvial. As culturas agrícolas fecham o ciclo com a colheita, quando o solo tem a tendência de ficar desprotegido.

No sistema de preparo do solo de cultivo convencional é realizada a mobilização do solo. A erosão neste sistema produz impactos na forma e na estrutura do solo, densidade, resistência a penetração e diminuição da estabilidade dos agregados (HOUSE; PARMELEE, 1985; COSTA *et al.*, 2003). Tendo em vista a proteção do solo das áreas agrícolas, no estado do Rio Grande do Sul, através da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Associação Rio-Grandense de Empreendimentos de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) tem incentivado o plantio direto, técnica que consiste na ausência da remoção do solo no plantio. Apesar dos ganhos assumidos com o melhoramento das técnicas utilizadas no desenvolvimento das atividades agrícolas (redução na perda de solos), ainda registra-se a forte compactação exercida pelas máquinas agrícolas, dificultando o processo de infiltração da água no solo (HILL, 1990; CAMARA; KLEIN, 2005).

O uso de fertilizantes na agricultura (N – Nitrogênio, P – Fósforo e K – Potássio) também tem apresentado impactos nos constituintes do solo como: decréscimo do teor de matéria orgânica, degradação das características físicas, alterando a capacidade de retenção e escoamento das águas (MOTA, 1997; SILVA *et al.*, 2004). O papel da matéria orgânica é de agregar as partículas do solo, e os fertilizantes reduzem essa capacidade, logo a perda de nutrientes em uma BH predominantemente agrícola pode ser significativa.

Ross (1996) e Crepani *et al.* (1998), com base no PROJETO RADAMBRASIL (IBGE, 1973), apresentam diferentes graus de proteção do solo em relação a cobertura terrestre (Floresta > gramíneas > solo exposto) e ao tipo de solo (Latossolo > Argissolos, Nitossolos e Chernossolos > Neossolos). Os autores fazem referência ainda à dissecação do relevo, amplitude altimétrica e declividade das encostas como indicadores de vulnerabilidade de erosão.

O sistema fluvial recebe a carga de material advinda da bacia hidrográfica e transporta para diferentes níveis, que de acordo com a capacidade e competência desse rio, ocorre ou não

a deposição do sedimento. Os rios, por sua vez, podem erodir seus canais, verticalmente, aprofundando o talvegue, ou lateralmente, alargando o canal (NOVO, 2008), resultante da ação conjunta da incisão fluvial e da denudação da encosta (CUNHA; GUERRA, 1996). A carga transportada pelo rio, normalmente, apresenta granulometria reduzida que se conserva em suspensão pelo fluxo turbulento e se deposita em águas muito calmas como a de lagos (CHRISTOFOLETTI, 1981).

2.3. Construção de barragens e alterações nas variáveis limnológicas

A construção de barragens – imposição antrópica – em rios proporciona alterações espaço-temporais como o aumento da taxa de sedimentação, a inundação de áreas florestais e agrícolas, alterações físicas e químicas no meio aquático e modificações substanciais na fauna e na flora silvestre (ESTEVES, 1998). A morfologia, as condições físicas e a química da água representam impactos na origem de um reservatório. Além disso, os organismos lóticos são substituídos por novas espécies e surgem novos processos ecológicos (sedimentação e desenvolvimento de plâncton) (GUNKEL *et al.*, 2003). Essas condições podem estar relacionadas a uma maior disponibilidade de nutrientes, a proliferação de algas e o aparecimento de macrófitas aquáticas. Algumas das variáveis limnológicas que descrevem a situação ambiental de um reservatório são: a temperatura, sólidos em suspensão, clorofila, transparência, carbono orgânico dissolvido. O Quadro 2.1 apresenta as principais características das variáveis limnológicas mencionadas em relação a outras variáveis da água e indicadores no ecossistema aquático.

A inserção das barragens em rios proporciona características hidrodinâmicas e de qualidade da água semelhante a um lago. A redução da velocidade da água à medida que a água do rio avança até a barragem condiciona a formação de três zonas (WETZEL, 2001): zona de rio, zona de transição e zona de lago. Cada uma dessas zonas ou compartimentos aquáticos apresenta diferenças limnológicas entre si, com a possibilidade de encontrar múltiplos compartimentos, decorrentes do padrão temporário da estrutura vertical, como o caso da estratificação térmica, pelo padrão dendrítico da represa e entrada de tributários (HENRY, 1999). A participação das condições externas e a circulação interna na formação de compartimentos aquáticos de um reservatório estão representadas na Figura 2.2.

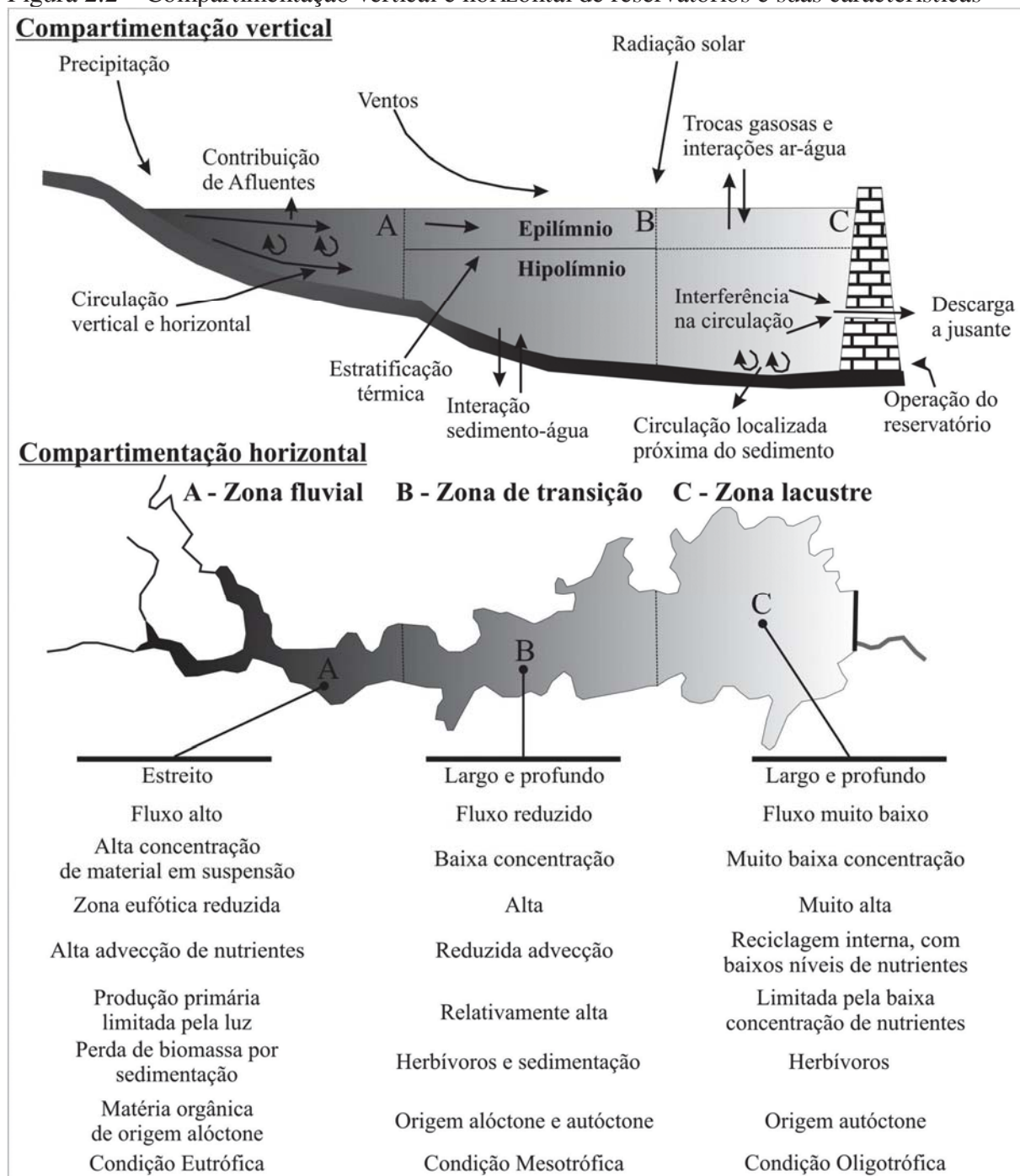
Quadro 2.1 – Variáveis limnológicas, relação com outras variáveis e principais indicadores ambientais em reservatórios

Variável limnológica	Unidade	Relações com outras variáveis	Principais indicadores no ecossistema aquático
Temperatura	°C	O aumento da temperatura diminui a concentração de oxigênio da água e crescimento do fitoplâncton.	Estratificação térmica.
Clorofila <i>a</i>	µg/L	Mudanças de sabor, odor, turbidez, cor e aumento da matéria orgânica (MOTA, 1997). Além de influenciar no pH e Oxigênio.	Representa a produtividade biológica no sistema, pois representa o principal pigmento das algas e cianobactérias (LONDE <i>et al.</i> , 2005).
Carbono Orgânico Dissolvido	mg/L	Aumento de COD condiciona um pH ácido.	Efetivamente em medidas não exageradas traduz-se em alimento para as bactérias. As macrófitas aquáticas contribuem no aporte de COD para o sistema.
Total de Sólidos em Suspensão	mg/L	Aumento do TSS aumenta os valores de turbidez.	Atua na absorção da luz diminuindo a produtividade biológica dos reservatórios (ESTEVES, 1998).
Transparência	m	A transparência é inversamente proporcional aos constituintes opticamente ativos (fitoplâncton, sólidos orgânicos e inorgânicos) e pode indicar indiretamente a concentração de oxigênio dissolvido.	A transparência é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no percurso da luz e ao coeficiente de atenuação da irradiância (KIRK, 1994; ESTEVES, 1998).

A vegetação, o relevo, a forma e o tamanho do reservatório são condições que diferem o acesso do vento na circulação das águas em um reservatório. A energia cinética promovida pelo vento gera correntes, ondas, turbulência e situações transientes que promovem a mistura e dissipação no ecossistema aquático (TUNDISI; TUNDISI, 2008), alterando as condições da temperatura da água (WETZEL, 2001) e a ressuspensão de material. As trocas gasosas também são motivadas pela ação do vento e proporcionam uma quantidade de oxigênio à água.

A radiação solar ao atingir e atravessar a massa d'água apresenta dois fenômenos físicos: uma, passa o líquido e vai diminuindo em quantidade ao mesmo que muda a qualidade, é a luz; a outra é absorvida pela água, o calor (BRANCO, 1986). A importância da radiação no ecossistema aquático consiste o meio necessário para os organismos produtores realizarem a conversão da energia luminosa pela fotossíntese.

Figura 2.2 – Compartimentação vertical e horizontal de reservatórios e suas características



Fonte: Adaptado de Tundisi, 1999 (Compartimentação vertical); Kimmel *et al.*, 1990 (Compartimentação horizontal).

A estratificação térmica, um dos primeiros impactos produzidos na formação de um sistema lântico, caracteriza-se pela formação de camadas variadas de temperatura, conduzindo a alterações físico-químicas da água com prejuízo para os seres vivos. As camadas decorrentes da estratificação térmica são: epilímnio (camada superior), metalímnio (intermediária, com a definição da termoclina) e hipolímnio (camada inferior). A

estratificação térmica é provocada pela resistência térmica à mistura, que é crescente com a temperatura, em função da diminuição da densidade e sua diferença entre as camadas (ESTEVES, 1998). Por isso, o ambiente com estratificação térmica apresenta limitação em relação à troca de energia e matéria entre epilímnio e hipolímnio. A radiação diurna também pode propiciar microestratificações térmicas e termoclinas secundárias no epilímnio, influenciando nos processos químicos e biológicos (TUNDISI; TUNDISI, 2008). No estudo da estratificação térmica é importante ter conhecimento do tempo de residência das águas, a profundidade do reservatório, a velocidade do vento e sua direção (FORD, 1990).

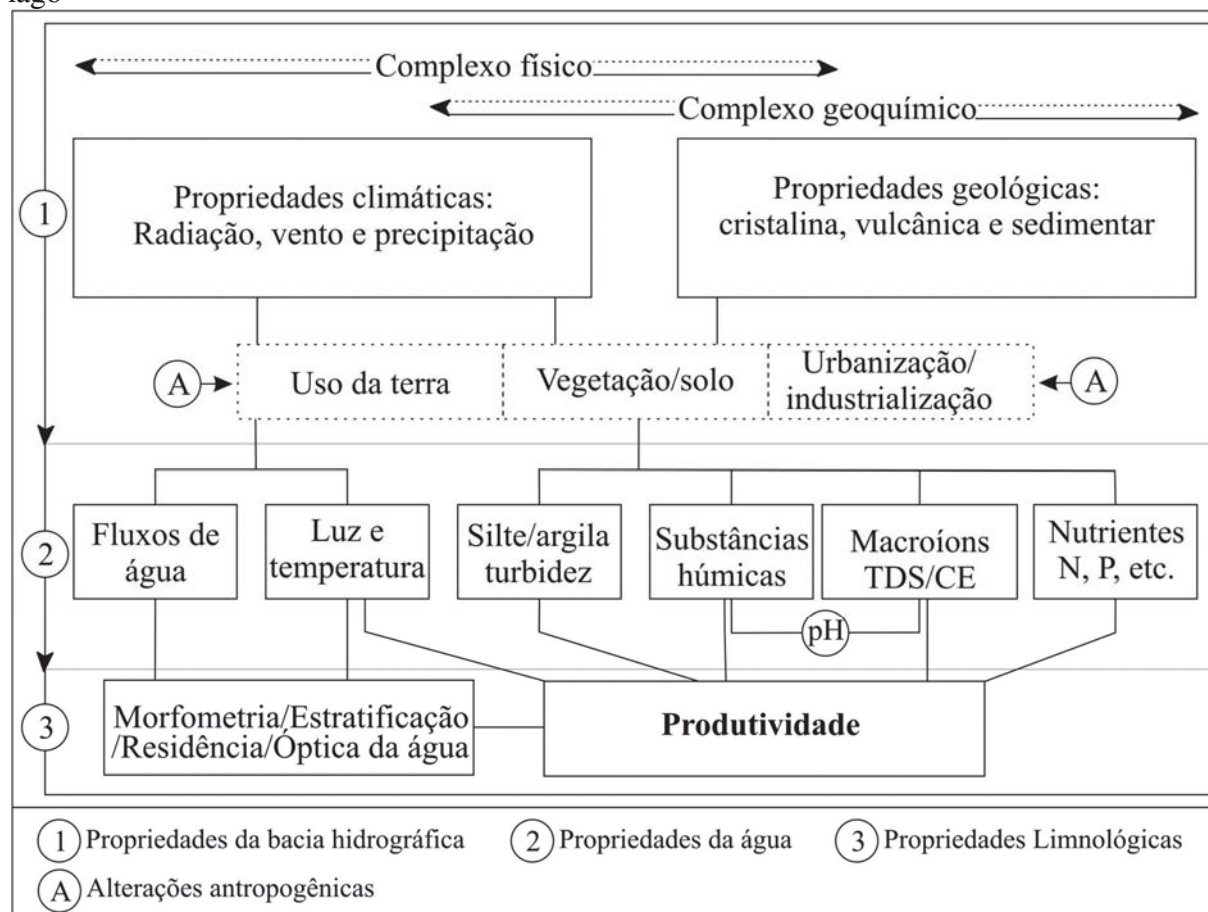
Os reservatórios, quanto à temperatura da água, podem ser classificados de acordo com o balanço térmico (HUTCHINSON; LÖFFLER, 1956). A latitude e a altitude são fatores a serem considerados para classificação. Com essa condição os lagos no sul do Brasil são monomíticos quentes, ou seja, a circulação ocorre no inverno com temperaturas acima de 4° C e a estratificação térmica nas demais estações do ano (WETZEL, 2001). Na condição particular do Estado do Rio Grande do Sul, os reservatórios apresentam normalmente estratificação térmica de setembro a fevereiro, quando a superfície aquática oferece resistência para circulação, que, pode ser rompida nesse período em caso de enchentes, mas, após alguns dias, a estratificação retorna (RODRIGUES, 2002).

O aumento significativo da transparência da água no sentido do rio-barragem, associado à deposição de material inorgânico (STEVAUX *et al.*, 2009) proporciona de imediato a ampliação da zona eufótica. A extensão da zona iluminada é um fator muito importante para o grau de produtividade do reservatório, seguido pela localização geográfica e a idade do ecossistema, a diversidade biológica, a intensidade e a duração da radiação solar, a quantidade de nutrientes, a temperatura e geologia local (CLETO FILHO, 2005).

A produtividade biológica pode ser acelerada e descontrolada, tendo como consequência, a eutrofização. A hierarquia de fatores e as complexidades que determinam a produtividade de um lago estão representadas na Figura 2.3. A eutrofização é a resposta da água de um reservatório em relação ao enriquecimento de nutrientes, principalmente de fósforo e nitrogênio, cuja origem pode ser natural e mais frequente das atividades humanas (Industrial, cidades, agricultura e o uso de fertilizantes) (OCDE, 1992). As consequências são a alta produção de algas e macrófitas aquáticas que podem alterar as propriedades organolépticas da água potável, corrosão de equipamentos hidrelétricos, diminuição da concentração de oxigênio, acumulação de amoníaco na coluna de água e a ressuspensão de certos metais (Fe, Mn) do sedimento em condições anóxicas (SALAS; MARTINO, 1990). Os

reservatórios são mais susceptíveis à eutrofização, pois a quantidade de nutrientes que entra na maior parte permanece no reservatório em circulação e a quantidade de saída depende do tempo de residência (TUNDISI, 1988).

Figura 2.3 – Hierarquia de fatores e as complexidades que determinam a produtividade de um lago



Fonte: Adaptado de Thienemann (1925).

O fósforo e nitrogênio podem ser fornecidos pelos tributários da bacia hidrográfica de forma pontual e difusa, ou ainda pela precipitação pluviométrica (VON SPERLING, 2005). O transporte do sedimento realizado no escoamento superficial tem alta capacidade de levar altas cargas de fósforo à rede de drenagem (THORNTON, 1990). Esse nutriente pode ser utilizado pela produção fitoplanctônica e a deposição dos sedimentos no decorrer no reservatório e podendo ser disponibilizado novamente através da circulação (OCDE, 1982).

Normalmente a redução da concentração de fósforo e ferro ocorre no sentido rio-barragem e sua posterior sedimentação que podem ser atribuídos a três principais fatores (RODRIGUES, 2002): 1) absorção pelo fitoplâncton e sua posterior sedimentação; 2)

absorção ao material particulado inorgânico (THORNTON, 1990) e; 3) precipitação do fósforo com compostos férricos (WETZEL, 2001).

A razão nitrogênio/fósforo na água controla a produtividade da maioria das espécies de algas. No entanto, a baixa razão nitrogênio/fósforo cria condições propícias, principalmente no verão, para o desenvolvimento de cianofíceas, pois estas apresentam a capacidade de fixar nitrogênio (THORNTON, 1990; PAERL, 2008). Com isso, a presença de fósforo pode ser determinante para a eutrofização e o problema maior decorre que algumas espécies de cianofíceas são potencialmente tóxicas.

Estudos realizados em diferentes áreas na Europa, Estados Unidos e Austrália reunidos no *Nutrient data Book* (MARSTON *et al.*, 1995) apontam maiores coeficientes de exportação de fósforo e nitrogênio das bacias hidrográficas agrícolas e urbanas. Estimativas de coeficientes de exportação foram utilizadas pelo Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPES) (SALAS; MARTINO, 1990) para lagos tropicais, incluindo reservatórios Brasileiros. Tais coeficientes de fósforo e nitrogênio estão dispostos para alguns usos da terra e seres vivos (Tabela 2.1), que podem ser exportados através dos processos erosivos na BH aos corpos d'água (BRAGA *et al.*, 2005).

Tabela 2.1 - Coeficientes de exportação de fósforo total e nitrogênio total de acordo com o uso da terra e os seres vivos presentes em uma BH

Coeficientes de Exportação	Fósforo Total (g)	Nitrogênio Total (g)
Uso da terra		
Urbano (ha/ano)	1.000	5000
Agricultura (ha/ano)	500	5000
Vegetação (ha/ano)	100	3000
Seres vivos		
Pessoas (hab./ano)	1.000	
Bovinos (animal/ano)	7.000	
Porco ou ovino (animal/ano)	3.000	
Cavalo (animal/ano)	4.500	
Aves (animal/ano)	300	

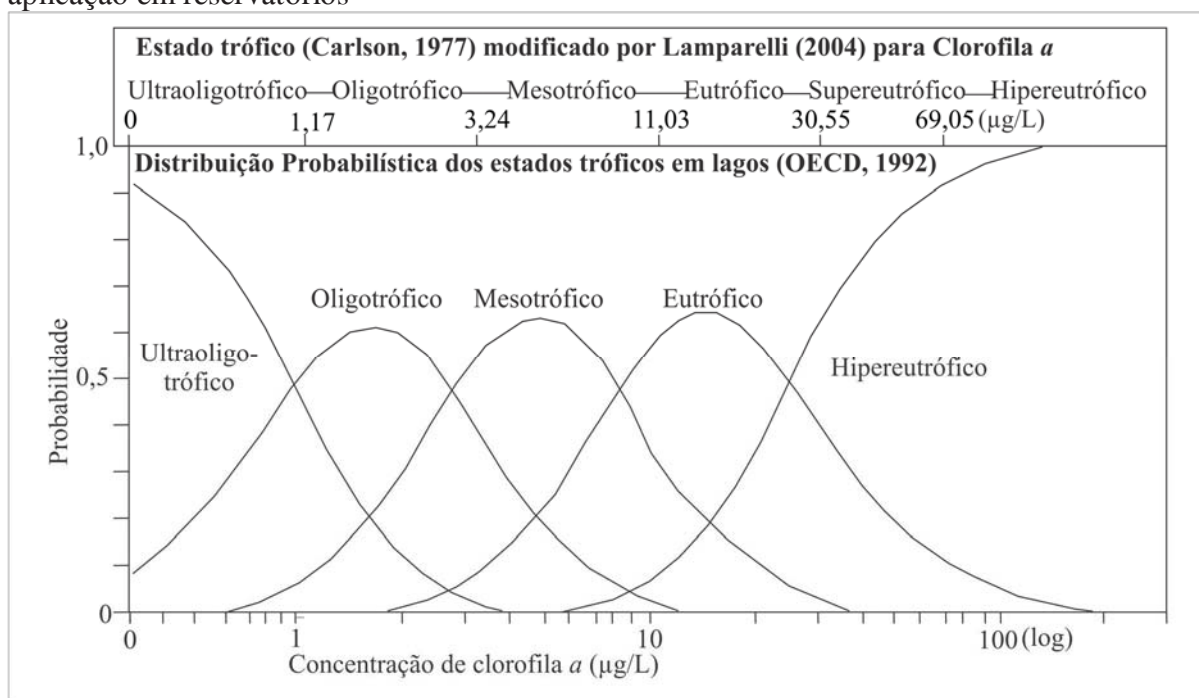
Fonte: Castagnino (1982), citado por Salas e Martino (1990).

A existência de nutrientes na coluna d'água, associado à radiação solar, transparência da água, estabilidade da coluna d'água, pH e herbivoria são fatores importantes para a proliferação de fitoplâncton (FERNANDES *et al.*, 2009). A clorofila *a* é uma variável muitas vezes utilizada para a determinação de biomassa fitoplanctônica, devendo ser considerado estado fisiológico e espécie (KURODA *et al.*, 2005). O aumento da vazão dos principais tributários implica no aumento da zona de transporte em um reservatório, e assim, a maior

produção de biomassa e produção fitoplanctônica ocorrem geralmente em zonas transicionais em reservatórios (KIMEL *et al.*, 1990), com modificações do pH da água (THOMAZ *et al.*, 1997). Por outro lado, o crescimento máximo de cianobactérias ocorre em *habitat* com pH variando de 7,5 a 10 (GIRALDEZ-RUIZ *et al.*, 1999), sendo impossibilitado em valores de pH abaixo de 5 (BROCK, 1973).

A concentração de clorofila *a* pode ser um indicador do grau de trofia dos reservatórios, ou seja, enriquecimento de nutrientes e produtividade biológica do ambiente. A distribuição probabilística dos estados tróficos em lagos realizada pela OECD (1992) foi sobreposta a proposta de CARLSON (1977), modificado por LAMPARELLI (2004) com aplicação em reservatórios conforme apresentado na Figura 2.4. A correspondência dos pode ser observada entre a distribuição probabilística e estados tróficos. O estado eutrófico a hipereutrófico é indesejado para um reservatório, pois representa um excesso de nutrientes na água e significa poluição do ecossistema aquático.

Figura 2.4 – Probabilidade da distribuição das categorias de estado trófico proposto pela OECD (1992) e os intervalos segundo Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004) com aplicação em reservatórios



O carbono orgânico dissolvido (COD) é uma das principais frações de matéria orgânica que se constitui em fonte de energia em ecossistemas aquáticos, exercendo influência nos processos biogeoquímicos. O COD apresenta dois tipos de substâncias,

classificadas em: húmicas e não-húmicas. As substâncias húmicas constituem a maior fração de COD em ambientes aquáticos continentais, normalmente associada à comunidade fitoplânctônica e às macrófitas aquáticas, mas, também, advinda dos processos erosivos envolvidos na BH (BIANCHINI JR, 1985; WETZEL, 2001). As substâncias não-húmicas são formadas por compostos nitrogenados, carboidratos solúveis, lipídios, vitaminas e enzimas, com participação de bactérias, fitoplâncton e por material em suspensão (ESTEVES, 1998).

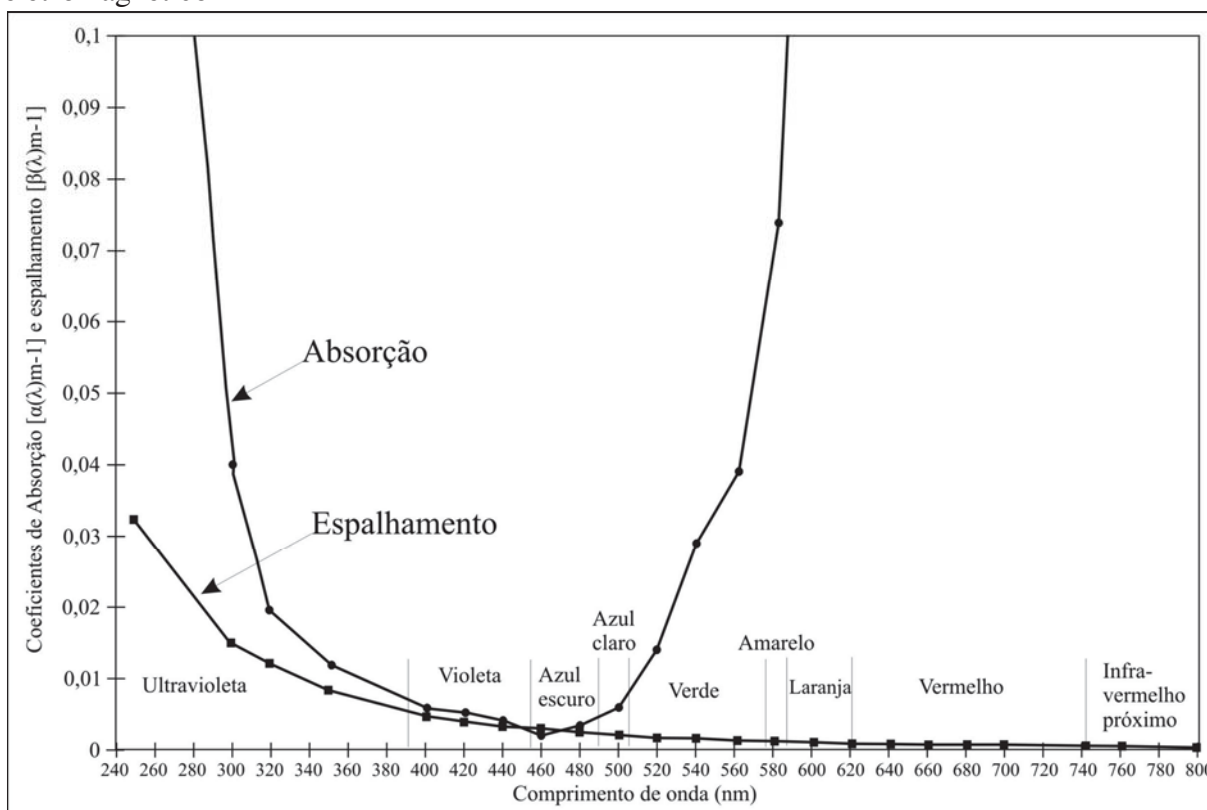
O TSS compreende os sólidos orgânicos em suspensão e sólidos inorgânicos em suspensão transportados pela água com um diâmetro maior que $0,45\ \mu\text{m}$ (TODESCHINI, 2004). Os sólidos orgânicos são representados principalmente pelo fitoplâncton, zooplâncton e substâncias húmicas com origem autóctone. Os sólidos inorgânicos são constituídos principalmente de silte e argila com origem alóctone (ESTEVES, 1998), cuja menor granulometria facilita o transporte.

2.4. Propriedades ópticas da água e constituintes opticamente ativos

A radiação solar que atinge a superfície de reservatórios é absorvida, transmitida e refletida pela água. A reflectância é registrada por sensores remotos, quanto a sua intensidade, largura de banda e tipicamente as feições espectrais denotam o grau de participação das propriedades limnológicas. As variáveis que possuem a capacidade de influenciar nas propriedades óticas da água são sólidos suspensos e dissolvidos, fitoplâncton e matéria orgânica chamados de constituintes opticamente ativos (ESTEVES, 1998; NÓBREGA, 2002; HELLWEGGER *et al.*, 2004).

No entanto, a água em estado puro possui intensa absorção molecular em comprimentos de onda do ultravioleta ($<400\ \text{nm}$) e a partir da faixa do verde ($520\ \text{nm}$) (JENSEN, 2009) (Figura 2.5). O espalhamento da radiação eletromagnética (muito menor que a absorção) diminui à medida que se aproxima de comprimentos de onda do infravermelho próximo. A soma dos coeficientes de absorção e espalhamento representa o coeficiente de atenuação. Por isso, o estudo das águas por sensoriamento remoto ocorre em comprimentos de onda de $400\ \text{a}\ 900\ \text{nm}$ (BARBOSA, 2005).

Figura 2.5 - Curva de espalhamento e absorção da água pura e as regiões do espectro eletromagnético



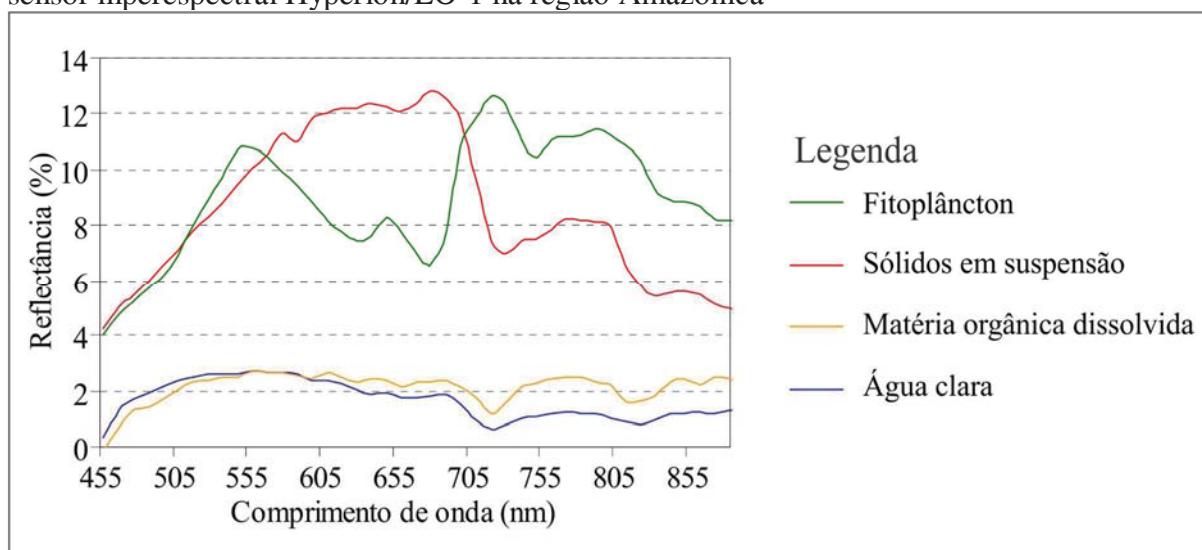
Fonte: Bukata *et al.* (1995). Adaptado por Jensen (2009).

As diferenças entre a concentração dos constituintes opticamente ativos na água resultam em propriedades ópticas inerentes de absorção e espalhamento da radiação eletromagnética. A distinção de assinaturas espectrais para cada tipo de água (sob diferentes concentrações de constituintes opticamente ativos) parte da radiação solar é absorvida pelas algas para a realização da fotossíntese (BARBOSA, 2005). O espalhamento da radiação ocorre principalmente com a presença de sólidos em suspensão. Na Figura 2.6 é apresentado o comportamento espectral dos constituintes opticamente ativos que podem estar presentes em uma massa d'água.

Com relação ao total de sólidos em suspensão (TSS) na água, a resposta espectral está associada a uma faixa ampla do espectro, com destaque para o aumento da reflectância (espalhamento) na faixa entre 600 e 700 nm, podendo se expandir para a região do infravermelho próximo de acordo com a concentração e tipo de material (SOUZA *et al.*, 1991; NOVO, 1998; ARRAUT *et al.*, 2005; RUDORFF *et al.*, 2005). A fração orgânica é responsável pela absorção da radiação eletromagnética nos comprimentos de onda do visível, com valores altos no ultravioleta e azul, decrescendo até o verde e valores muito baixos no

vermelho (MANTOVANI; NOVO, 1996; NOVO, 2001). A fração inorgânica favorece o espalhamento da radiação eletromagnética, aumentando a reflectância no vermelho (KIRK, 1994). A resposta espectral em função desse material varia de acordo com sua granulometria (CABRAL *et al.*, 1990), sendo que a presença de silte e areia tendem ter maiores reflectâncias do que aquele constituído por argila (JENSEN, 2009).

Figura 2.6 – Padrão espectral da água e os constituintes opticamente ativos em imagens do sensor hiperespectral Hyperion/EO-1 na região Amazônica



Fonte: Rudorff (2006).

O fitoplâncton, através dos pigmentos fotossintetizantes, é um dos constituintes responsáveis pela absorção da luz no meio aquático em função dos elementos utilizados para a fotossíntese. As propriedades de absorção do fitoplâncton conduzem a diminuição da reflectância da água na região do azul, passando o máximo de reflectância para a região do verde e um aumento da energia refletida no vermelho, devido à fluorescência de clorofila *a* (DEKKER, 1993; NOVO, 2001; BARBOSA, 2005). Regiões espectrais com picos de absorção referentes a clorofila *a* foram mais acentuados em 438nm e 676nm (DEKKER, 1993) e, ainda utilizando análise derivativa¹ de dados hiperespectrais de campo conclui que as regiões de 630–645nm, 660–670nm, 680–687nm e 700–735nm demonstraram melhor relação com o pigmento (HAN, 2005). Na Tabela 2.2 são apresentadas as bandas de absorção e de fluorescência dos pigmentos fitoplanctônicos.

¹ A utilização de análise derivativa para a análise de dados hiperespectrais é para detectar ou realçar os constituintes opticamente ativos nos espectros. Goodin *et al.* (1993) verificou que a primeira derivada é capaz de remover o sinal da reflectância da água, facilitando a detecção de TSS, já a segunda derivada permitiu a melhor identificação da clorofila.

Tabela 2.2 – Comprimentos de onda das bandas de absorção e emissão de fluorescência dos pigmentos fitoplanctônicos

Absorção (nm)	Pigmento	Tipo de Plâncton	Fluorescência (nm)	Pigmento	Tipo de plâncton
438	Clorofila <i>a</i>	Todos os tipos	560-570 570-660	Ficobilina Ficoeritrina	Cianobactérias Cianobactérias
470	Hexa-ficoxantina	Cianobactérias			
480	<i>B</i> - caroteno	Dinoflagelados, diatomáceas, crisófitas			
493	Ficobilina	Cianobactérias			
562	<i>c</i> -ficoeritrina	Cianobactérias			
567	Ficobilina	Cianobactérias			
615	<i>c</i> -ficocianina	Cianobactérias			
624	<i>Cp</i> -cianina	Cianobactérias			
627	Ficobilina	Cianobactérias			
650	Aloficocianina	Cianobactérias			
676	Clorofila <i>a</i>	Todos os tipos	650-660 685	Ficocianina Clorofila <i>a</i>	Cianobactérias Todos os tipos

Fonte: Weaver e Wrigley, 1994.

A matéria orgânica dissolvida tem como principal constituinte o carbono orgânico dissolvido na água oriundo da decomposição de organismos vivos terrestres ou aquáticos, principalmente o fitoplâncton durante sua senescência (ESTEVES, 1998). A matéria orgânica dissolvida no meio aquático interfere no coeficiente de absorção do fluxo de energia, alterando a cor da água pura. Mobley (2004) descreve a curva de absorção da matéria orgânica ou substância amarela, onde estas substâncias absorvem muito na região do ultravioleta, azul e verde e muito pouco na região do vermelho conforme a sua concentração.

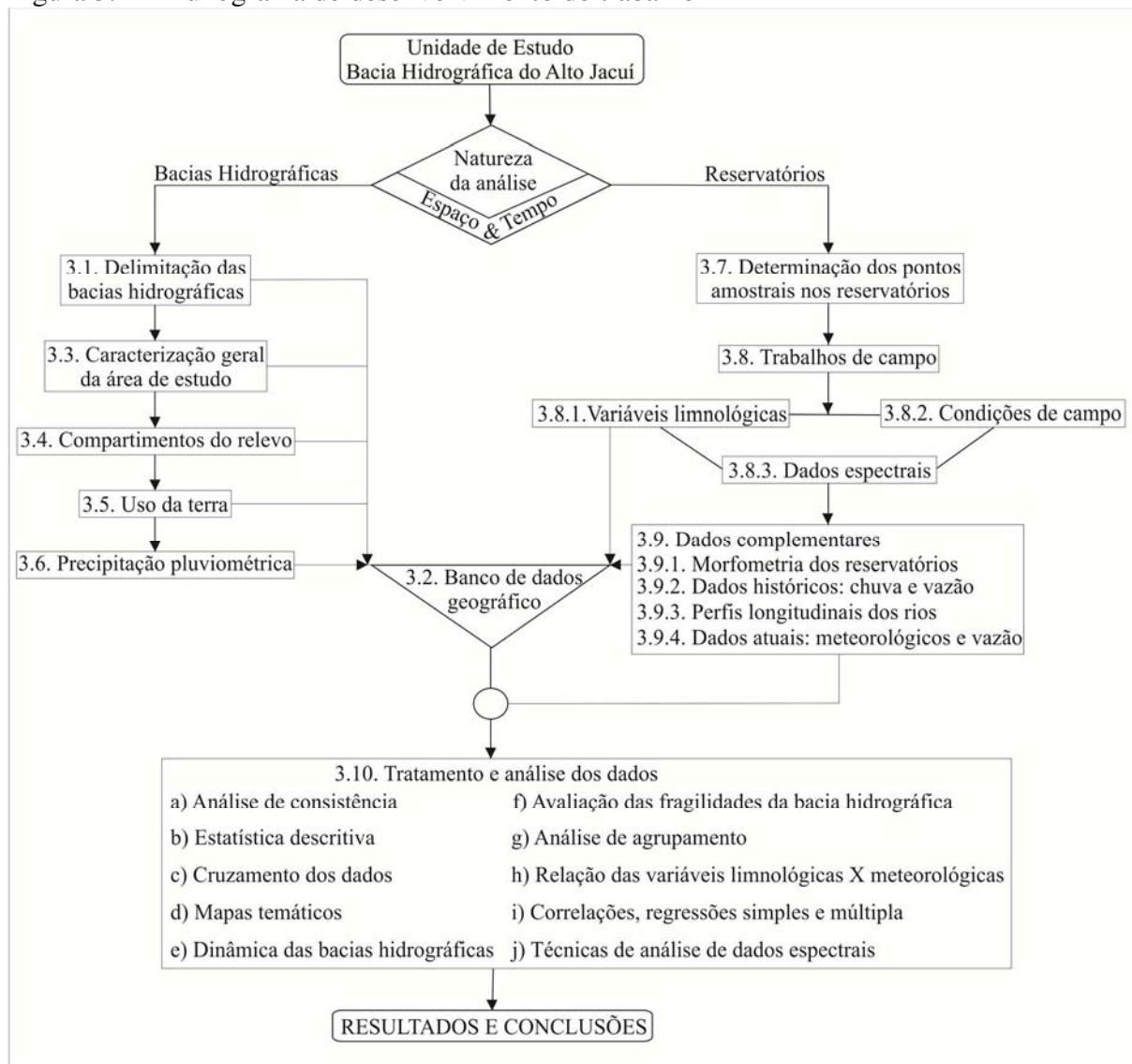
A combinação e proporcionalidade dos constituintes no meio aquático determinam às águas, uma maior complexidade na sua compreensão e dificultam o isolamento para a realização das análises espectrais em dados de sensoriamento remoto. A presença de partículas inorgânicas em suspensão aumenta o coeficiente de retroespalhamento da água, diminuindo os coeficientes de absorção proporcionados pelos pigmentos fitoplanctônicos (KIRK, 1994). Além disso, o alto coeficiente de atenuação da água na região do visível decorrente de sua alta transmitância proporciona baixo sinal de reflectância às massas d'água (WOODRUFF *et al.*, 1999; NOVO, 2001; JENSEN, 2009).

As medidas espectrorradiométricas de reflectância realizadas *in situ* descrevem com maior fidelidade a água e seus constituintes opticamente ativos do que as imagens de satélite, pela menor influência dos efeitos atmosféricos e de escala (BARBOSA, 2005). O grande número de canais, que os espectrorradiômetros em geral possuem, permitem relacionar os constituintes opticamente ativos a comprimentos de onda específicos, com possibilidade da construção de modelos precisos.

3. METODOLOGIA

O fluxograma da metodologia aplicada para o desenvolvimento do trabalho é apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Fluxograma de desenvolvimento do trabalho



O conceito de BH envolve explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos dos sedimentos e nutrientes (PIRES *et al.*, 2002). A BH está organizada e funcionalmente estabelecida, através de seus principais elementos: as vertentes e a rede de drenagem. As interações que ocorrem nesses elementos estão condicionadas as dimensões espaço e tempo. O espaço representa a dimensão da localização

(x, y e z) do objeto e o tempo envolve dinâmica do espaço (t) do estado do sistema (natureza da análise). Os reservatórios, por outro lado, são componentes diferenciados da paisagem que promovem alterações consideráveis no regime hidrológico e na dinâmica ecológica de rios e BH, muito dependentes da organização espaço-temporal (HENRY, 1999; TUNDISI, 2006).

A BH do Alto Jacuí e os reservatórios Passo Real e Dona Francisca foram selecionados para integração do estudo. Os motivos foram os seguintes: suas localizações no rio correspondem ao início e fim da série em cascata, respectivamente, diferença de área alagada, contexto de ocupação da BH. O motivo foi de trabalhar com as diferenças existentes entre os reservatórios, a participação das bacias hidrográficas que os abastecem e os impactos proporcionados às variáveis limnológicas.

3.1. Delimitação das bacias hidrográficas

A BH do Alto Jacuí compreende cinco Sub-bacias Hidrográficas (SH): rio Jacuí, rio Jacuí-Mirim, rio Ingaí, afluentes do reservatório Passo Real; rio Ivaí, afluente do reservatório Itaúba; e, Rio Jacuizinho, afluente do reservatório Dona Francisca. O trabalho considerou a BH do Alto Jacuí², e, especificamente, as SHs dos reservatórios mencionados. A BH do rio Jacuí foi considerada a jusante do reservatório Ernestina, o qual também foi individualizado com sua área de captação. A delimitação realizada visa contribuir para o estudo dos reservatórios do Alto Jacuí e os impactos proporcionados pelas SHs. As SHs do alto Jacuí individualizadas, extensão e número de municípios abrangidos são apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Área das SHs do Alto Jacuí e número de municípios abrangidos

BH e SHs	Área		Municípios abrangidos	
	Km ²	%	Área Total	Área Parcial
AJ - Alto Jacuí	13.290,64	100,00	24	21
ER – Ernestina	1.042,46	7,84	1	5
JA - Rio Jacuí	4.147,23	31,20	8	12
JM - Rio Jacuí-Mirim	1.606,21	12,09	-	8
IN - Rio Ingaí	1.088,60	8,19	-	5
IV - Rio Ivaí	1.699,59	12,79	-	6
JZ - Rio Jacuizinho	2.125,93	16,00	3	12

² O limite da bacia hidrográfica do Alto Jacuí considerado no Plano de Bacia (COAJU, 2009) e pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul não atinge a barragem Dona Francisca (dique), mas sim a área de captação decorrente do rio Jacuí até o ponto de inclusão da bacia do rio Jacuizinho.

3.2. Banco de dados geográficos

O banco de dados geográficos foi construído no SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), com as informações disponíveis do alto Jacuí, referentes a documentos cartográficos analógicos e georreferenciados. A base cartográfica incorporada ao banco de dados é oriunda da digitalização das cartas topográficas Passo Fundo, Cruz Alta e Santa Maria (Escala 1:250.000, ano 1980, Diretoria do Serviço Geográfico – Ministério do Exército) com os planos de informação: rede de drenagem, rede viária e cidades (FEPAM, 2008). Os limites municipais utilizados foram definidos a partir de IBGE (2008). Essas informações iniciais foram importantes para o reconhecimento da área de estudo, que posteriormente foram complementadas com dados obtidos em imagens de satélite e *in situ*.

Os limites das SHs foram extraídos a partir dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) utilizando o algoritmo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*) proposto por Rennó *et al.* (2008). A grade SRTM utilizada é oriunda do projeto TOPODATA – Banco de Dados Geomorfológico do Brasil (VALERIANO, 2008) com resolução espacial de 30 m (dados interpolados). O limite da lâmina d'água dos reservatórios foi obtida a partir do fatiamento (delimitação de um intervalo de número digital) da banda 5 da imagem de satélite TM Landsat 5 (órbita/ponto 222/80) da data 29 de outubro de 2009 (Cota de Passo Real -1,30 m e Dona Francisca +0,35 m, conforme dados disponibilizados pela CEEE).

3.3. Caracterização geral da área de estudo

A caracterização geral da área de estudo da BH do alto Jacuí visou realizar o levantamento dos elementos do geossistema e socioeconômico. O levantamento dessas informações teve o intuito de identificar os aspectos naturais e antrópicos na BH que podem proporcionar maior escoamento superficial, assim como fonte pontual/difusa de materiais/nutrientes e poluentes para rios e reservatórios.

Com a construção do banco de dados geográficos cada elemento foi incluído como plano de informação no SPRING. Os elementos considerados para a caracterização geral da área de estudo são descritos a seguir:

a) Clima: normal climatológica de temperatura, radiação solar, insolação e precipitação das estações meteorológicas localizadas nos municípios Cruz Alta (INMET), Júlio de Castilhos (FEPAGRO), Passo Fundo (INMET) e Soledade (INMET), realizado por Instituto de Pesquisas Agrônomicas do Rio Grande do Sul (1989).

b) Solos: o mapa de solos do estado do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973) na escala 1:1.000.000 foi modificado por Streck *et al.* (2008) com a finalidade de atender o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999). Esse mapa foi digitalizado e inserido no SPRING para vetorização dos polígonos correspondente às classes de solos existentes na área de estudo.

c) Declividade: a grade numérica SRTM de 30 m, oriunda do projeto TOPODATA, foi utilizada para elaboração do mapa de declividade no *software* ENVI (*Environment for Visualizing Images*) no algoritmo HAND. As classes de declividade utilizadas foram de acordo com Lepsch *et al.* (1991), que propõem sete classes, segundo a capacidade de uso da terra, a forma do relevo e a velocidade do escoamento superficial. As classes de declividade e tais características estão descritas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Classes adotadas para o mapa de declividade, com as suas características de forma do relevo e velocidade do escoamento superficial relacionadas

Classes de declividade (%)		Forma do relevo	Escoamento superficial
A:	0 a 2	Plano (terraços)	Muito lento ou lento
B:	2 a 5	Suave ondulado (colinas)	Lento ou médio
C:	5 a 10	Ondulado (morros e morrotes)	Médio ou rápido
D:	10 a 15	Muito inclinado (morros e morrotes)	Rápido
E:	15 a 45	Fortemente ondulado (morros e serras)	Muito rápido
F:	45 a 70	Montanhoso (montanhas e serras)	Muito rápido
G:	Mais de 70	Escarpado (serras e escarpas)	Muito rápido

Fonte: Lepsch *et al.* (1991).

d) Vegetação: o mapa de vegetação (IBGE, 1986) na escala 1:1.000.000 foi digitalizado, georreferenciado e vetorizado. O mapa foi digitalizado e inserido no SPRING para vetorização dos polígonos correspondente às classes de vegetação.

e) Água (Hidrologia): foi definido pela rede de drenagem de 5ª a 8ª ordem de Strahler e dos limites dos reservatórios do rio Jacuí. A rede de drenagem foi obtida nas imagens SRTM e os limites dos reservatórios foram obtidos da imagem de satélite (anteriormente descritos).

f) Agropecuária: dados sobre as principais culturas anuais (soja, trigo, milho e fumo), rebanho bovino e sistemas de preparo do solo (convencional, mínimo e plantio direto na palha) foram obtidos do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2006).

g) Indústria: indústrias com potencial poluidor hídrico foram encontradas em FEPAM (2005). Os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e

metais pesados são medidos na carga bruta de efluentes (antes do tratamento) para definir o potencial hídrico das indústrias.

h) População: os dados utilizados são oriundos da estimativa de população realizada pelo IBGE (2008) das áreas rurais e urbanas. As áreas urbanas foram interpretadas visualmente na imagem de satélite TM Landsat 5 e realizada a edição vetorial das mesmas. Com as medidas das áreas rurais e urbanas foi calculada a densidade demográfica correspondente a cada área.

i) Urbano: consulta dos índices de saneamento básico, componente do Índice de Desenvolvimento Socioeconômico do Rio Grande do Sul - IDESE (FEE, 2006).

j) Mineração: ocorrência de minerações por município, conforme DNPM (2005).

Os dados socioeconômicos, disponibilizados por município (dados censitários), foram tabulados e classes estabelecidas conforme cada tema. Os valores foram inseridos para cada município no SPRING. As variáveis socioeconômicas foram estimadas, conforme a área municipal pertencente a BH.

3.4. Compartimentos do relevo

A geração do mapa dos compartimentos do relevo seguiu a classificação proposta por Ross (2003). A construção do mapa obedeceu a ordem taxonômica com os seguintes níveis: a) unidades morfoestruturais, b) unidades morfoesculturais, c) formas denudacionais (D) e agradacionais (A), d) unidades de padrões de formas semelhantes, no caso de formas denudacionais pode ser aguçadas (a), convexas (c), tabulares (t) e aplanadas (p); e) representa a dimensão das formas, conforme a matriz de índices de dissecação (dimensão interfluvial média e grau de entalhamento dos vales) apresentada na Quadro 3.1.

Seguindo a metodologia proposta por ROSS (2003) foram desenvolvidas as seguintes etapas. Primeiramente a identificação e delimitação de áreas homogêneas na imagem de satélite Landsat 5 TM 5 (222/80 de 20 de outubro de 2009 e 223/80 de 29 de outubro de 2009) e na imagem de radar SRTM. Em seguida foi realizada a medida da dimensão interfluvial e grau de entalhamento dos vales, tendo como apoio a geração de perfis topográficos na grade SRTM. E, por fim, classificou as áreas homogêneas, segundo a matriz de dissecação das formas de relevo (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 - Matriz dos índices de dissecação das formas de relevo

Grau de entalhamento dos vales	Dimensão interfluvial média				
	Muito grande (1) > 3750 m	Grande (2) 1750 a 3750 m	Média (3) 750 a 1750 m	Pequena (4) 250 a 750 m	Muito pequena (5) < 250 m
Muito fraco (1) < 50 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 50 a 100 m	21	22	23	24	25
Médio (3) 100 a 150 m	31	32	33	34	35
Forte (4) 150 a 200 m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) > 200 m	51	52	53	54	55

Fonte: adaptado de Ross (2003).

3.5. Uso da terra

As imagens de satélite do sensor TM Landsat 5 (222/80 de 20 de outubro de 2009 e 223/80 de 29 de outubro de 2009) foram utilizadas para a elaboração do mapa de uso da terra. Os seguintes passos foram adotados para a elaboração do mapa de uso da terra:

1º) Escolha das imagens de satélite da área em questão, considerou a ausência da cobertura de nuvens e período de preparo do solo para plantio das culturas anuais.

2º) Foram elaborados mosaicos das imagens de satélite que posteriormente foram georreferenciadas no *software* ENVI. As imagens TM Landsat 5 ortorretificadas e disponibilizadas pela *University of Maryland* (<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>) foram utilizadas como base de georreferenciamento.

3º) As imagens georreferenciadas foram exportadas do *software* ENVI e importadas ao SPRING. A classificação supervisionada foi realizada e o classificador com melhor desempenho foi Distância Euclidiana. As características das classes de uso das terras da BH estão relacionadas no Quadro 3.2.

4º) As áreas urbanas delimitadas a partir da imagem de satélite foram incluídas por mosaico na matriz de classificação.

Quadro 3.2 – Características das classes de uso e ocupação das terras utilizadas para determinação do mapa temático

Classes	Uso e ocupação	Descrição
Áreas antrópicas não agrícolas	Área urbana	Áreas densamente povoadas, onde se concentram residências, vias de transporte e os locais em que se dão várias atividades econômicas e sociais da população.
Áreas antrópicas agrícolas	Cultura anual	Áreas com cobertura agrícola, abrangendo uma dada fase de desenvolvimento da planta conforme o período do ano.
	Solo exposto	Áreas de preparo do solo, por meio da mobilização do solo ou por meio de dessecante. Estão incluídas as áreas expostas por atividades de mineração estradas pavimentadas e não pavimentadas.
Áreas de vegetação	Florestal	Floresta nativa primária e secundária. Florestamentos realizados com espécies exóticas.
	Campestre	Áreas com gramíneas e cespitosas.
Águas	Corpos d'água	Superfícies aquáticas formadas por rios e reservatórios.

Fonte: Adaptado de IBGE, 2006.

3.6. Precipitação pluviométrica

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos de 59 municípios, localizados na BH do Alto Jacuí e à sua limítrofe, segundo dados medidos pela Defesa Civil do estado do Rio Grande do Sul. Foi verificada a consistência dos dados, com a comparação das médias e desvio-padrão municipais. Os períodos ou municípios com inconsistência foram excluídos. Os dados consistentes foram tabulados, com as coordenadas geográficas da sede municipal, e o somatório do volume de chuvas dos 30 dias anteriores a coleta dos dados de campo realizado. Os dados foram inseridos no banco de dados geográfico com a geração da grade retangular (Interpolador: inverso do quadrado da distância) para o fatiamento com estabelecimento de classes de precipitação pluviométrica.

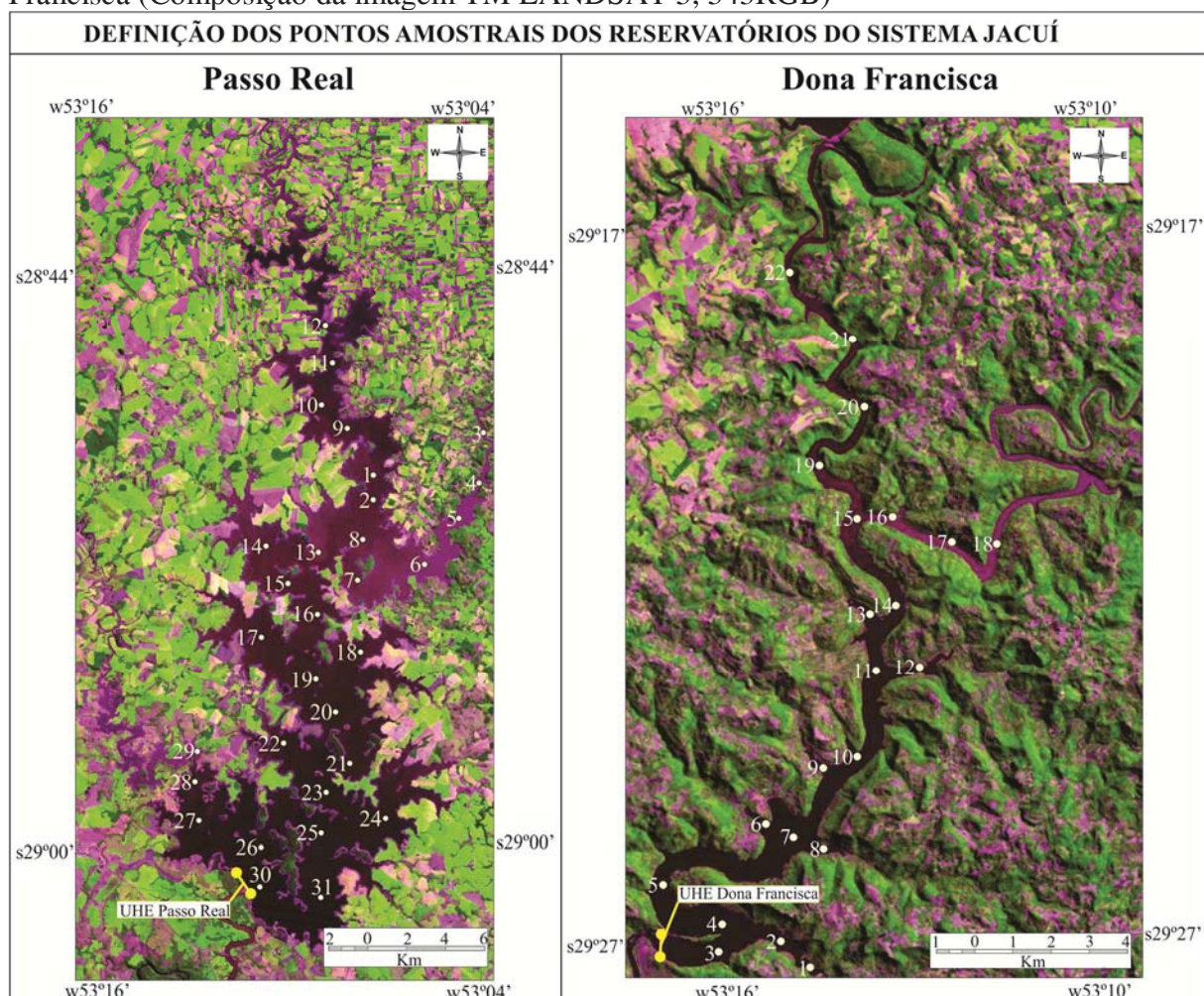
3.7. Determinação dos pontos amostrais nos reservatórios

Com a proposta de trabalho a ser realizado nos reservatórios de, principalmente, obter variáveis limnológicas opticamente ativas, pontos amostrais foram definidos em imagens de satélite. Imagens Landsat 5 TM sazonais foram utilizadas, conforme o trabalho realizado por Wachholz *et al.* (2009). As bandas 1, 2, 3 e 4 foram corrigidas dos efeitos da atmosfera na imagem e convertidas para reflectância. No trabalho mencionado foi realizado o fatiamento da banda 3, na qual foram identificadas áreas com diferente padrão espectral, associados a compartimentos aquáticos dos reservatórios da série em cascata.

A definição dos pontos amostrais nos reservatórios considerou o estudo mencionado. No reservatório Passo Real contemplou-se os diferentes setores espectrais encontrados na

imagem no total de 31 pontos de coleta (Figura 3.2). Pereira Filho *et al.* (2003) realizou uma coleta de dados limnológicos em 32 pontos amostrais no reservatório Dona Francisca, cuja distribuição contemplava as áreas centrais e a reentrâncias do mesmo. Essa malha de pontos foi considerada, no entanto, algumas alterações foram realizadas considerando as diferenças espectrais. Novos pontos amostrais foram definidos para o rio Jacuizinho e no setor que compreende o rio Jacuí, pontos amostrais foram excluídos, resultando em 22 pontos amostrais para o reservatório Dona Francisca. As coordenadas geográficas dos pontos amostrais em tabela estão no Apêndice A e os mapas dos reservatórios também estão disponíveis no Apêndice B e C na escala 1:200.000.

Figura 3.2 – Definição dos pontos amostrais para os reservatórios Passo Real e Dona Francisca (Composição da imagem TM LANDSAT 5, 543RGB)



Os dados relativos às variáveis limnológicas foram coletados em subsuperfície (0 a 10 cm de profundidade) para todos os pontos amostrais. Tendo em vista, a disponibilidade logística envolvida a fim de adquirir os dados de campo e a própria determinação em

laboratório foram selecionados os principais pontos amostrais para coleta de dados limnológicos na coluna d'água (descrito no item variáveis limnológicas). Foram considerados os pontos de entrada dos tributários, setores intermediário e próximo à barragem. Os pontos 4, 8, 10, 16, 20, 29 e 30 foram selecionados para o reservatório Passo Real; 3, 7, 14, 15, 18 e 22 para o reservatório Dona Francisca.

3.8. Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados nos reservatórios do período de fevereiro 2009 a março 2010 (Quadro 3.3). Buscou-se dentro das possibilidades, mecânicas e climáticas, a coleta de dados mensais. Medidas limnológicas (*in situ* e coleta de amostras para a posterior análise em laboratório), espectrais (espectrorradiometria de campo) e condições de campo foram obtidas. Os pontos amostrais foram armazenados em aparelho GPS Garmin MAP 60CSX para a localização precisa em campo.

Quadro 3.3 – Datas dos trabalhos de campo realizados nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca

Meses	Nº do trabalho de campo	Reservatório Passo Real		Reservatório Dona Francisca	
		Data	Nº de Pontos	Data	Nº de Pontos
Fev.09	1	06-07/02/2009	31	04/02/2009	10
Mar.09	2	13-14/03/2009	28	11/03/2009	22
Abr.09	3	17-18/04/2009	31	15/04/2009	22
Maio.09	Sem Coleta				
Jun.09	4	04/06/2009	31	05/06/2009	22
Jul.09	5	13/07/2009	31	15/07/2009	13
Ago.09	6	13/08/2009	31	15/08/2009	22
Set.09	Sem Coleta				
Out.09	7	21/10/2009	31	23/10/2009	22
Nov.09	Sem Coleta				
Dez.09	8	17-18/12/2009	31		
Jan.10	9	14/01/2010	31	12/01/2010	22
Fev.10	Sem Coleta				
Mar.10	10	12/03/2010	31	17/03/2010	22

As amostras de água para a posterior análise em laboratório foram coletadas em campo em garrafas de plástico de 1000 ml. Do campo até a chegada ao laboratório, as amostras foram preservadas em caixas térmicas com gelo para o seu resfriamento e a manutenção no escuro, para inibir a realização da fotossíntese. No laboratório, as amostras

foram mantidas resfriadas a uma temperatura de 4°C até a realização dos procedimentos de análise das variáveis medidas de laboratório.

3.8.1. Variáveis limnológicas

As variáveis limnológicas determinadas *in situ* foram a transparência e a temperatura e em laboratório foram o total de sólidos em suspensão, clorofila *a* e carbono orgânico dissolvido. A obtenção dessas variáveis está descrita a seguir:

a) TSS (mg/L): essa variável foi obtida com o uso de frascos plásticos de 600ml de água, nos pontos amostrais, para medida em laboratório. O filtro de celulose com 0,45 µm de porosidade e 47 mm de diâmetro foi utilizado no processo de filtração. A diferença entre os pesos inicial (Pi) e final (Pf) (antes e posterior a filtração) perante a razão do volume filtrado (V) permitiu identificar o valor de TSS, conforme a equação a seguir.

$$\text{TSS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{Pf}(\text{mg}) - \text{Pi}(\text{mg})}{\text{V}(\text{L})}$$

Onde: TSS = Total de Sólidos em Suspensão, Pf = Peso final do filtro, Pi = Peso inicial do filtro e V = Volume da amostra.

b) DS (m): obteve-se essa variável, mergulhando na água o disco de Secchi de 25 centímetros de diâmetro e cor branca, acoplado a uma corda graduada. Anotou-se o valor em que ocorreu o desaparecimento do disco na água. Essa medida foi adotada para a coleta das variáveis limnológicas na coluna d'água, para os pontos selecionados, na profundidade Secchi e no limite da zona eufótica (profundidade na água que recebe luz solar suficiente para que ocorra a fotossíntese, estimada através da transparência do disco de Secchi - 3 vezes a medida da transparência), (ISHII, 1987, citado em ESTEVES, 1998), sendo utilizada garrafa de *Van Dorn* como instrumento de coleta das amostras.

c) Temperatura da água (°C): a temperatura da água foi medida com auxílio de um termômetro digital da marca *Instrutherm* (Modelo TE – 400, com resolução de 0,1°C). A medida de subsuperfície foi obtida com o mergulho do termômetro, na profundidade Secchi e no limite da Zona Fótica, a temperatura foi obtida nos recipientes imediatamente à sua coleta com a garrafa de *Van dorn*.

d) Clorofila *a* (µg/L): foi obtida a partir da filtração com filtro fibra de vidro e devidamente embalado e congelado até o procedimento de análise. Os filtros, correspondentes as amostras filtradas, foram imersos no metanol 100% (10 ml) para extração do pigmento,

deixando em recipiente fechado a uma temperatura de 4°C por 24 horas. Após foi realizada a medida de absorbância, segundo o método espectrofotométrico sem acidificação (sem a determinação da feofitina) proposto por Mackinney (1941) em comprimento de onda de 663 nm e em 750 nm e calculado pela fórmula:

$$\text{Chl } a \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{Abs}(663 - 750) \times 12,63 \times V_{\text{met}}(\text{ml}) \times 1000}{V(\text{ml})}$$

Onde: Chl a = clorofila a, Abs=medida de absorbância, 12,63=constante, Vmet=Volume de metanol, 1000 = constante e V= volume da amostra.

e) Carbono orgânico dissolvido (mg/L): o método utilizado foi adaptação de Dabin (1971), utilizado pelo Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia. A amostra filtrada a partir da obtenção do TSS foi colocada em processo de evaporação a uma temperatura de 80°C em uma estufa de esterilização e secagem. Após a secagem foi adicionado 10 ml de Dicromato de Potássio ($\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ a 2%) e 5 ml de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4). A partir disso, as amostras foram aquecidas por uma hora a temperatura de 105°C. Em seguida, deixando-as esfriar e adicionado 4 ml de Ácido Fosfórico (H_3PO_4) e 5 gotas de Difenilamina Sulfato de Bário ($(\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{NO}_3\text{S})_2\text{Ba}$) como solução indicadora. O processo de titulação das amostras ocorre com o Sulfato Ferroso Amoniacal ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sendo anotado o volume utilizado. A fórmula é apresentada a seguir.

$$\text{COD} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = (V_1 - V_2) \cdot 0,615 \cdot \frac{10 \times 0,5}{0,2 \times X} \cdot \frac{1000}{V(\text{ml})}$$

Onde: V_1 = Volume gasto no sulfato ferroso amoniacal na titulação do branco; V_2 = Volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação das amostras; 0,615 = constante; 10 = alíquota usado do $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,5N para a titulação com sulfato ferroso amoniacal; 0,5 = concentração do $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; 0,2= concentração do sulfato ferroso amoniacal; X= volume gasto do sulfato ferroso amoniacal na titulação do padrão de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,5N; V = Volume da amostra filtrada; 1000= constante.

Os dados limnológicos foram inseridos no banco de dados geográfico do *software* SPRING, na forma de modelo numérico do terreno (MNT). Para cada data e variável limnológica foi gerada uma grade retangular (interpolador por média ponderada), que posteriormente foi utilizada no fatiamento em classes temáticas. Para a clorofila a foram definidas classes ponderadas de acordo com o estado trófico (LAMPARELLI, 2004) e às demais variáveis foi verificada a amplitude dos dados e definidos intervalos, tendo como limite 20 classes.

3.8.2. Condições de campo

As condições de campo para cada ponto amostral foram descritas pelas condições do tempo, da água e do entorno para cada ponto amostral (Quadro 3.4). Os dados de velocidade do vento e luminosidade foram obtidas com o aparelho Termo-Higro-Anemômetro-Luxímetro Digital *Instrutherm* (Modelo THAL 300). A direção do vento foi medida com a bússola do GPS. As condições do céu, da água e do entorno foram obtidas por observações visuais. Tendo como apoio a tomada de fotos, uma do ponto amostral (água) e outra do ambiente terrestre a partir deste.

Quadro 3.4 – Variáveis condições do tempo, características da água e do entorno

Variáveis	Situação	Condições de campo e/ou água
Condições do céu	1 – Claro	Condição adequada para a coleta de dados limnológicos.
	2 – Esparso	
	3 - Parcialmente Nublado	Apresenta restrições na coleta da transparência.
	4 – Nublado	
	5 - Nublado com chuvisco	
	6 – Chuvoso	
Direção do vento	NW – N – NE – E SE – S – SW – W	A direção do vento indica o deslocamento de substâncias contidas na água e as possibilidades de acesso do vento aquele ponto no reservatório.
Velocidade do vento	0 a 40 km/h	Rugosidade/movimentação da água.
Luminosidade*	0 a 20000 lux	É a luz que incide à superfície aquática.
Rugosidade	1 – Lisa	Condição adequada na coleta de dados limnológicos.
	2 – Baixa	
	3 – Média	
	4 – Alta	Condição que dificulta a navegação e ocasiona a derivação no ponto amostral.
	5 – Muito Alta	
Cor da água	1 – Azul	Água praticamente límpida com pouco material em suspensão.
	2 – Verde Claro	Água com grande quantidade de algas.
	3 – Verde	
	4 – Verde Escuro	
	5 – Avermelhada	Água com maiores níveis de sólidos inorgânicos.
	6 – Marrom Claro	Água com maiores níveis de concentração de matéria orgânica e/ou com bacias de captação com solo dessa cor.
	7 – Marrom Escuro	
Observações de campo/ponto amostral	Uso da terra	Contempla a natureza do uso/estágio e ocupação do entorno.
	Água	Características visíveis na água como a presença de comunidades de fitoplâncton e outros indicadores na formação de compartimentos aquáticos.

*Embora a luminosidade em condições de céu claro seja maior do alcance de medição do aparelho, o dado é importante para detectar a luz disponível em condição de tempo nublado e sua relação com as variáveis limnológicas.

3.8.3. Dados espectrais de campo

O espectrorradiômetro FieldSpec® Hand Held com faixa de operação entre 325 a 1075 nm e resolução espectral de 1 nm (ASD, 2007) foi utilizado para a aquisição dos dados espectrais da água. As medidas de cada ponto foram realizadas sob as mesmas condições de iluminação e observação, conforme Milton (1987). O espectrorradiômetro foi posicionado em cada ponto amostral sobre a embarcação a uma orientação de 90° de azimuth solar e a uma inclinação de 45° do sensor em relação à vertical, a uma altura aproximadamente de 1 m. A radiância foi medida para a placa de referência Spectralon®, cuja superfície é Lambertiana, e, em seguida, da água, obtendo-se a medida de reflectância.

Os trabalhos de campo foram realizados em condições de tempo adequadas, ou seja, com sol, sem vento ou com brisa e com a superfície da água lisa ou com pequenas ondulações, visto que o vento é um dos efeitos mais importantes na degradação das informações espectrais em coletas de campo (PEREIRA FILHO *et al.*, 2005).

Os dados espectrais foram adquiridos nos pontos amostrais correspondentes aos reservatórios Passo Real e Dona Francisca (Figura 3.2). Em função da disponibilidade do equipamento os dados espectrais foram adquiridos no período de outubro de 2009 a março de 2010, conforme as datas de trabalho de campo apresentadas no Quadro 3.3.

3.9. Dados complementares

Os dados complementares levantados para o estudo dos reservatórios foram as características morfométricas, dados históricos de chuva e vazão, perfil longitudinal dos rios e dados atuais meteorológicos e vazão.

3.9.1. Morfometria dos reservatórios

As características morfométricas obtidas para os reservatórios estão descritas no Quadro 3.5. As medidas morfométricas dos reservatórios foram obtidas com base em informações disponíveis em CEEE (2010) e medidos a partir do mapeamento realizado no *software* SPRING.

Quadro 3.5 – Características morfométricas mensuradas para os reservatórios

Característica	Sigla	Unidade	Fórmula	Observação
Área do reservatório	A	Km ²	-	A área foi obtida através da imagem de satélite, integrada por arquivo vetorial.
Volume cota máxima	V	Km ³	-	
Profundidade máxima	Z _m	m	-	Obtida em trabalho de campo com SONAR, correspondente ao ponto amostral de Z _m .
Profundidade média	$\bar{Z}$	m	$\bar{Z} = V/A$	
Largura máxima	L _m	m	-	Linha que une os pontos máximos entre as margens do reservatório, obtido na imagem de satélite.
Comprimento máximo	B _m	m	-	Linha que une os pontos máximos do reservatório, obtidos na imagem de satélite.
Índice de desenvolvimento de margem	L _d	Adimensional	$L_d = L_o / 2\sqrt{\pi A}$	
Índice de desenvolvimento de volume	V _d	Adimensional	$V_d = 3 \times \bar{Z} / Z_m$	
Perímetro	L _o	km	-	Comprimento do vetor que delimita o reservatório.
Bacia hidrográfica	BH	Km ²	-	Delimitação automática das SHs por meio de imagens SRTM.
Tempo de retenção	T	dias	$T = V/Q$	Q representa a vazão (m ³ /s) obtida na estação fluviométrica.

Fonte: adaptado de Wetzel (2001).

3.9.2. Dados históricos: chuva e vazão

A vazão histórica mensal do rio Jacuí na Estação Dona Francisca (ANA, 2010) foi utilizada para verificar as mudanças ocorridas na instalação das barragens no Alto Jacuí. Foram definidos dois períodos: 1940 a 1972 e 1973 a 2006, antes e depois do enchimento da barragem Passo Real, respectivamente.

Os dados históricos mensais de chuva, correspondente ao mesmo período da vazão, também foram consultados. As estações climatológicas de Passo Fundo (INMET), Cruz Alta (INMET), Usina Ivaí de Júlio de Castilhos (CEEE), Quevedos de Júlio de Castilhos (ANA), Armazém de Soledade (DEPRC), Auler de Soledade (CEEE) (ANA, 2010). A Usina Ivaí foi integrada com Quevedos (Júlio de Castilhos) e Armazém foi integrada com Auler (Soledade). No final foi realizada a média dos quatro municípios.

O quartil foi utilizado com conjunto de médias mensais de precipitação para definição de meses secos (0 a 25%), normais (25 a 75%) e chuvosos (75 a 100%). Com base na definição destes em todo conjunto de dados foi possível identificar a tendência mensal.

3.9.3. Perfis longitudinais dos rios

Os perfis longitudinais foram obtidos para os rios principais nas imagens SRTM. Também foram calculados os índices de sinuosidade, a amplitude altimétrica e declividade do rio.

3.9.4. Dados atuais: meteorológicos e vazão

Os dados meteorológicos constantes as estações meteorológicas de Ibirubá e Cruz Alta foram disponibilizados pelo INMET para o período da coleta de dados de campo. Da estação Ibirubá foram utilizados os dados de precipitação pluviométrica (diário), velocidade do vento (diário) e direção (0, 12, 18 horas). Da estação Cruz Alta foi utilizada os dados de radiação global média (Período: 9 a 21 horas).

Os dados de vazão e cota dos reservatórios do rio Jacuí foram disponibilizado pela CEEE para o período da coleta de dados de campo. Com os dados de vazão foi possível o cálculo do tempo de retenção dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca (Quadro 3.5).

3.10. Tratamento e análise dos dados

O tratamento dos dados consistiu na aplicação de diferentes técnicas, verificação, análise e representação. Isso vem ao encontro ao suporte da discussão dos resultados que concerne à caracterização limnológica, relação da BH e reservatórios e o uso potencial dos dados de sensoriamento remoto. As etapas seguidas no tratamento de dados são descritos a seguir.

a) Análise de consistência: com a tabulação dos dados e a realização de testes estatísticos (*outliers*) foi possível verificar a sua consistência, antes de qualquer processamento. Nos dados limnológicos foi verificada a dependência espacial, as condições de campo e a relação com as demais variáveis para a tomada de decisão, com as condições: aceito, tratamento particular ou excluído.

b) Estatística descritiva: para descrever o conjunto de dados limnológicas no contexto espaço-temporal e a comparação dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca foi calculada a média, desvio padrão, mínimo, máximo.

c) Cruzamento dos dados: os cruzamentos foram realizados entre os mapas de compartimentos do relevo, uso da terra, solo e declividade para a identificação de fragilidades na bacia hidrográfica.

d) Mapas temáticos: os dados inseridos no banco de dados geográficos foram representados em mapas temáticos e os dados numéricos (cálculos de área e estatística), quando necessário, foram obtidos para a realização de gráficos e tabelas.

e) Dinâmica das bacias hidrográficas: o levantamento das características das bacias hidrográficas em um determinado estado foi realizado. O acompanhamento temporal no período das coletas de campo foi possível com os dados de precipitação pluviométrica e NDVI³ (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*).

f) Avaliação das fragilidades da bacia hidrográfica: realizado com base nas informações levantadas na caracterização geral da área de estudo (elementos do geossistema e sistema socioeconômico), uso da terra e compartimentos do relevo. As fragilidades detectadas na BH são referentes a dinamização da perda de materiais inorgânicos e orgânicos frente o maior acesso dos processos erosivos ao solo e da ação antrópica (fonte alóctone de material ao reservatório).

g) Análise de agrupamento: a análise de agrupamento (*Cluster Analysis*), segundo o método *Ward*, foi utilizada para verificar a existência de grupos mensais segundo cada variável limnológica. O Teste-t foi empregado para confirmar se as médias iguais dentro de cada grupo, com intervalo de confiança de 90%. Essa análise possibilitou relacionar os grupos formados para cada variável limnológica e reservatório com períodos de precipitação, entrada de material e sazonalidade.

h) Relação das variáveis limnológicas X meteorológicas: os dados limnológicos foram relacionadas com a velocidade e direção do vento, precipitação pluviométrica, radiação global na condição de 30 e 5 dias anteriores das coletas para o reservatório Passo Real. Para o reservatório Dona Francisca foram utilizados os dados de precipitação pluviométrica da Defesa Civil, pois não há estação climatológica do INMET próxima ao reservatório.

i) Correlações, regressões simples e múltipla: as variáveis limnológicas foram correlacionadas entre si, com os dados meteorológicos e dados da BH. As variáveis com

³ A fórmula matemática é $NDVI = \rho_{nir} - \rho_{red} / \rho_{nir} + \rho_{red}$ Onde: ρ_{nir} é a reflectância na banda infravermelho próximo e ρ_{red} é a reflectância na banda do vermelho. Os dados NDVI utilizados nesse trabalho são oriundos do produto MOD13 na resolução espacial de 250 metros e na composição 16 dias.

correlação significativa foram determinadas a regressão simples ou a regressão múltipla. Com o modelo encontrado e a disponibilidade dos dados foi realizada a simulação.

j) Técnicas de análise de dados espectrais: além de relacionar os dados espectrais (brutos) com as variáveis limnológicas, também foram aplicadas técnicas de razão de bandas, remoção do contínuo (normalização de dados espectrais) e análise derivativa para realçar feições espectrais (absorção e/ou espalhamento) para o intervalo de comprimento de onda 400 a 900 nm. Por fim, os dados limnológicos e espectrais com aplicação das técnicas foram correlacionados, com intuito de identificar os comprimentos de onda com maior correlação e a possibilidade de elaborar modelos para os reservatórios em questão.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. Hidrologia

O Alto Jacuí é representado pelo rio Jacuí, com os principais tributários Jacuí-Mirim, Ingaí, Ivaí e Jacuizinho, e, assim segue ao baixo curso, totalizando 800 km de comprimento de rio no deságue do Lago Guaíba. A partir de 1950, diante a necessidade de geração de energia elétrica para abastecimento da população do Rio Grande do Sul foram construídos várias UHEs no rio Jacuí, sendo as principais: Ernestina, Passo Real, Jacuí, Itaúba e Dona Francisca. Essa intervenção antrópica na rede de drenagem original modificou as seções dos rios para reservatório, em que, os rios, agentes geomorfológicos capazes de erodir e depositar sedimentos passaram a encontrar os reservatórios como um novo nível de base (BLOOM, 1988; NOVO, 2008).

O primeiro reservatório construído, Ernestina (1954), representou grandes prejuízos ambientais ao ecossistema aquático por formar uma das maiores áreas alagadas do Alto Jacuí e, além disso, a produção de energia gerada foi baixa. Em 1973 foi construído Passo Real (maior lago artificial do Rio Grande do Sul) com uma área alagada de 225,3 km² (atingiu áreas de sete municípios) e o volume d'água de 3,671 km³. Os principais tributários afetados foram: rio Jacuí, rio Jacuí-Mirim e rio Ingaí, com alagamento da vegetação marginal, áreas agrícolas e residenciais. No período da instalação dessas barragens havia pouca previsão dos impactos ambientais, associada a uma legislação ambiental pouco restritiva, não ocorrendo a retirada da vegetação e a desapropriação de terras para área de preservação permanente (entorno do reservatório).

O reservatório Passo Real foi construído com a finalidade de produzir energia elétrica e, em outra perspectiva, a intenção era o funcionamento como regulador da quantidade da água nos reservatórios à sua jusante, principalmente UHE Jacuí. Neste sentido, por possuir a maior área alagada fornece um superávit de água, que na deficiência dos demais reservatórios constitui uma forma de garantir o constante fornecimento de energia. O reservatório Itaúba produz a maior quantidade de energia entre as usinas instaladas no rio Jacuí e área alagada perpassa o antigo leito do rio e tem como tributário o rio Ivaí.

O reservatório Dona Francisca (2001) é o último da série em cascata, com área alagada de 19,6 km² atinge cinco municípios. Além de receber água do rio Jacuí - série em cascata -, ainda tem como tributário, o rio Jacuizinho. Como a construção desse reservatório é mais recente foi realizado um estudo de impacto ambiental. Na área do reservatório foi

retirada a vegetação antes do alague e como medida de compensação a concessionária adquiriu uma área na margem esquerda (aproximadamente a área do reservatório) para a criação do Parque Estadual Quarta Colônia (RIO GRANDE DO SUL, 2005).

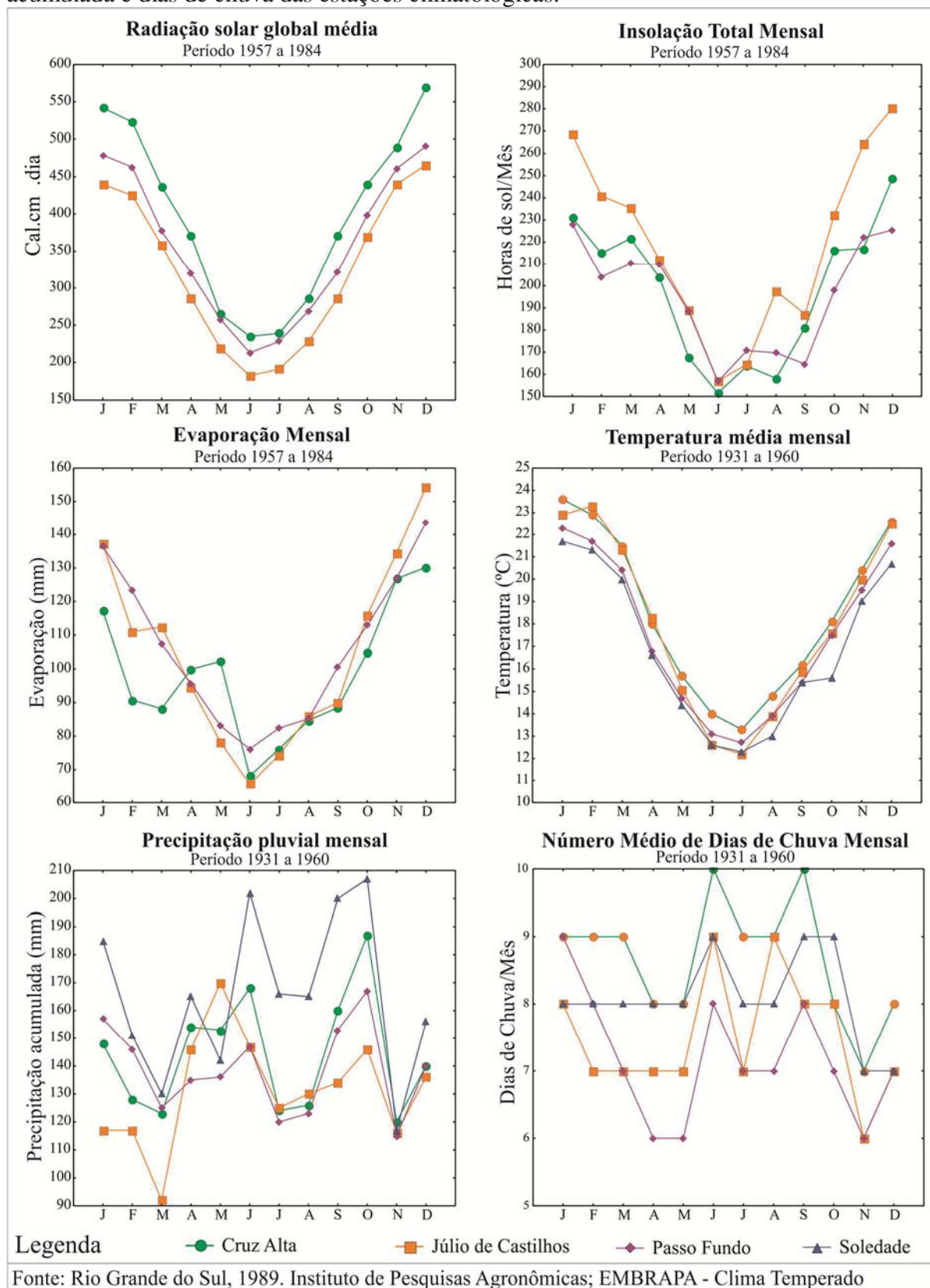
A presença desses reservatórios pode estar produzindo novo padrão de água aos tributários originais, pois com o encontro destes com os reservatórios a turbulência atinge um baixo limiar, e a carga de detritos passível de sedimentação. Reservatórios funcionam como bacias de decantação para os detritos sólidos transportados da montante (CHRISTOFOLETTI, 1981), que variavelmente mudam com a vazão dos rios e o tipo de material suspenso.

4.2. Características climáticas

As variáveis climáticas apresentam papel fundamental nas atividades agrícolas desenvolvidas em uma BH, bem como na presença de rios e a possibilidade de inserção de reservatórios. As atividades agrícolas são regidas por um calendário, no qual é mais favorável o estabelecimento de uma cultura, além disso, determinadas variáveis são fundamentais para sua produtividade. O regime fluviométrico é diretamente influenciado pelo clima, pois pode determinar a presença de peixes e produtividade biológica do ecossistema. As variáveis climatológicas que mais interferem nas atividades naturais e antrópicas são: radiação solar, insolação, temperatura do ar, vento e chuva. Os dados foram obtidos de estações climatológicas com distinta localização geográfica: Passo Fundo (nascente do rio Jacuí), Cruz Alta (nascente do rio Ingaí), Júlio de Castilhos (Nascente do rio Ivaí) e Soledade (nascente do rio Jacuizinho) (Figura 4.1).

A radiação solar média mensal incidente na superfície terrestre obedece a um ciclo anual. A máxima radiação é no verão, sendo reduzida pela metade nos meses mais rigorosos do inverno. No outono e na primavera esses valores são intermediários. As horas de sol disponíveis durante o dia também são maiores durante o verão, que é superior a 8 horas/diárias, enquanto que no inverno é apenas de 5 horas/diárias. A maior radiação solar e maior insolação no verão induzem a maiores temperaturas médias para essa estação ($>22^{\circ}\text{C}$) e maiores evaporações (127 mm para dezembro), acontecendo ao contrário para o inverno (13°C) (72 mm para junho).

Figura 4.1 – Radiação global média, insolação, evaporação, temperatura do ar, precipitação acumulada e dias de chuva das estações climatológicas.



O regime de precipitação da região é influenciado por alguns fenômenos atmosféricos, entre os mais importantes, pode-se citar a passagem de sistemas frontais (encontro de massa de ar frio e quente), que são responsáveis por grande parte dos totais pluviométricos registrados (OLIVEIRA, 1986; SARTORI, 2000). As chuvas orográficas podem ocorrer à medida que uma massa de ar avança da Depressão Periférica sobre o Planalto Sul-rio-grandense, quando esta se eleva e resfria-se, gerando, principalmente, precipitações nas encostas. Na primavera, e, muito localizadas, também podem ocorrer às chuvas convectivas associadas a Complexos Convectivos de Mesoescala (GUEDES, 1985).

Entre as principais causas da variabilidade da precipitação - distribuição, intensidade e volume das chuvas - estão os fatores geográficos associados à dinâmica da circulação atmosférica regional e a fenômenos climáticos como ENOS (*El Niño*/Oscilação Sul) (COSTA, 2010), havendo uma tendência de maiores períodos com *El Niño* (NASA, 2010) e como consequência precipitações pluviais superiores à normal climatológica.

O ritmo da precipitação pluvial para as estações de Passo Fundo, Soledade e Cruz Alta é significativo ($r > 0,77$, $\alpha \geq 0,02$) durante os meses do ano. O volume anual mínimo de chuvas é de Júlio de Castilhos com 1500 mm e a máxima é de Soledade com quase 2000 mm. O mês mais chuvoso é outubro com mais de 160 mm (exceto Júlio de Castilhos, em que o mês de maio é o mais chuvoso), enquanto que os mais secos são março e novembro com menos de 120 mm. O local mais chuvoso é Soledade, associado a orografia (maiores altitudes). Essas chuvas apresentam melhor distribuídas para Cruz Alta (média 15 mm/dia de chuva) e pior distribuídas para Soledade (média 20 mm/dia de chuva). As maiores médias observadas para Soledade podem indicar maiores precipitações, principalmente, para SH do Jacuí, e, possivelmente nas cabeceiras do rio Jacuí e Jacuizinho.

4.3. Relevo

A disponibilização dos dados SRTM no ano 2000 permitiu obter informações acerca do relevo, confiáveis e a escala compatível com trabalho, representando um ganho em operação e análise para o uso em projetos que necessitam de tais informações, principalmente em áreas mais extensas (VALERIANO, 2008). O mapa de declividade é um dos produtos que pode ser gerado com dados do SRTM. A declividade é uma variável que condiciona o transporte gravitacional (escoamento superficial, erosão e deslizamentos), pois é o ângulo de inclinação de uma superfície em relação à horizontal.

As áreas com relevo plano a suave ondulado (colinas) a infiltração supera o deflúvio, enquanto para as áreas com relevo ondulado (morros), o deflúvio prevalece sobre a infiltração (FLORENZANO, 2008). Com o enquadramento das classes de declividade proposta por Lepsch *et al.* (1991), os relevos planos e suave ondulado não oferecem problema em relação à erosão hídrica, desde que não tenham áreas circunvizinhas com relevo ondulado a escarpado. Nessas áreas recomenda-se a preservação da vegetação nativa, pois amortece os impactos das gotas da chuva e é uma barreira física contra o transporte de materiais. Além disso, a presença do sistema radicular da vegetação, detentora de uma infinidade de filamentos macroscópicos aderentes ao grão da terra, caracteriza uma maior solidez à estrutura e porosidade do solo (MOTA, 1997).

Algumas considerações sobre as altitudes nas SHs merecem destaque (Quadro 4.1): 52 m é a altitude do rio Jacuí, a jusante da barragem Dona Francisca e para demais rios representa a altitude de entrada nos reservatórios (nível de base). Embora tenha as maiores altitudes e amplitudes para o alto Jacuí e Jacuizinho, a média altimétrica é muito similar, sendo apenas maior para SH de Ernestina. As maiores amplitudes altimétricas são encontradas para SH do Jacuizinho, indicando maior dissecação do terreno. No mapa hipsométrico é verificado ainda as maiores altitudes na borda leste na BH Alto Jacuí (Figura 4.2).

Quadro 4.1 - Características altimétricas da BH do Alto Jacuí

Característica	BH e SHs						
	AJ	ER	JA	JM	IN	IV	JZ
Altitude mínima (m)	52	452	291	288	307	182	81
Altitude máxima (m)	772	772	769	596	499	535	718
Amplitude altimétrica (m)	720	320	478	308	192	353	637
Altitude média (m)	443	568	483	447	399	387	438
Desvio padrão (m)	97	64	84	60	34	40	117

BH: AJ – Alto Jacuí; SHs: ER – Ernestina, JA – Jacuí, JM – Jacuí-Mirim, IN – Ingaí, IV – Ivaí, JZ - Jacuizinho
 Fonte: Dados extraídos da grade SRTM, 2000.

A BH do Alto Jacuí caracteriza-se principalmente por relevo ondulado (5 a 10% de declividade) em mais de 40 % da área (Figura 4.3).

Figura 4.2 – Mapa hipsométrico da BH do Alto Jacuí.

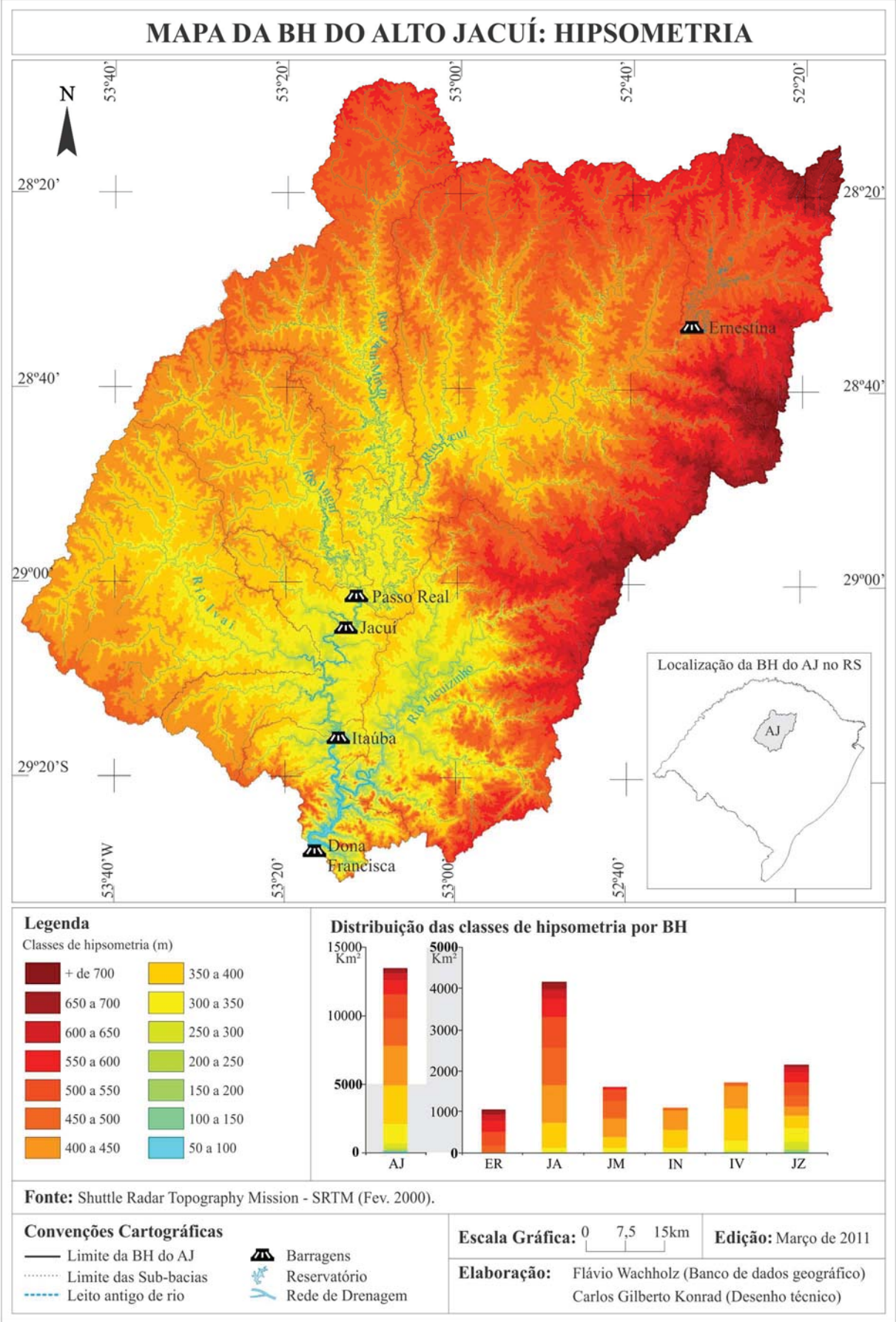
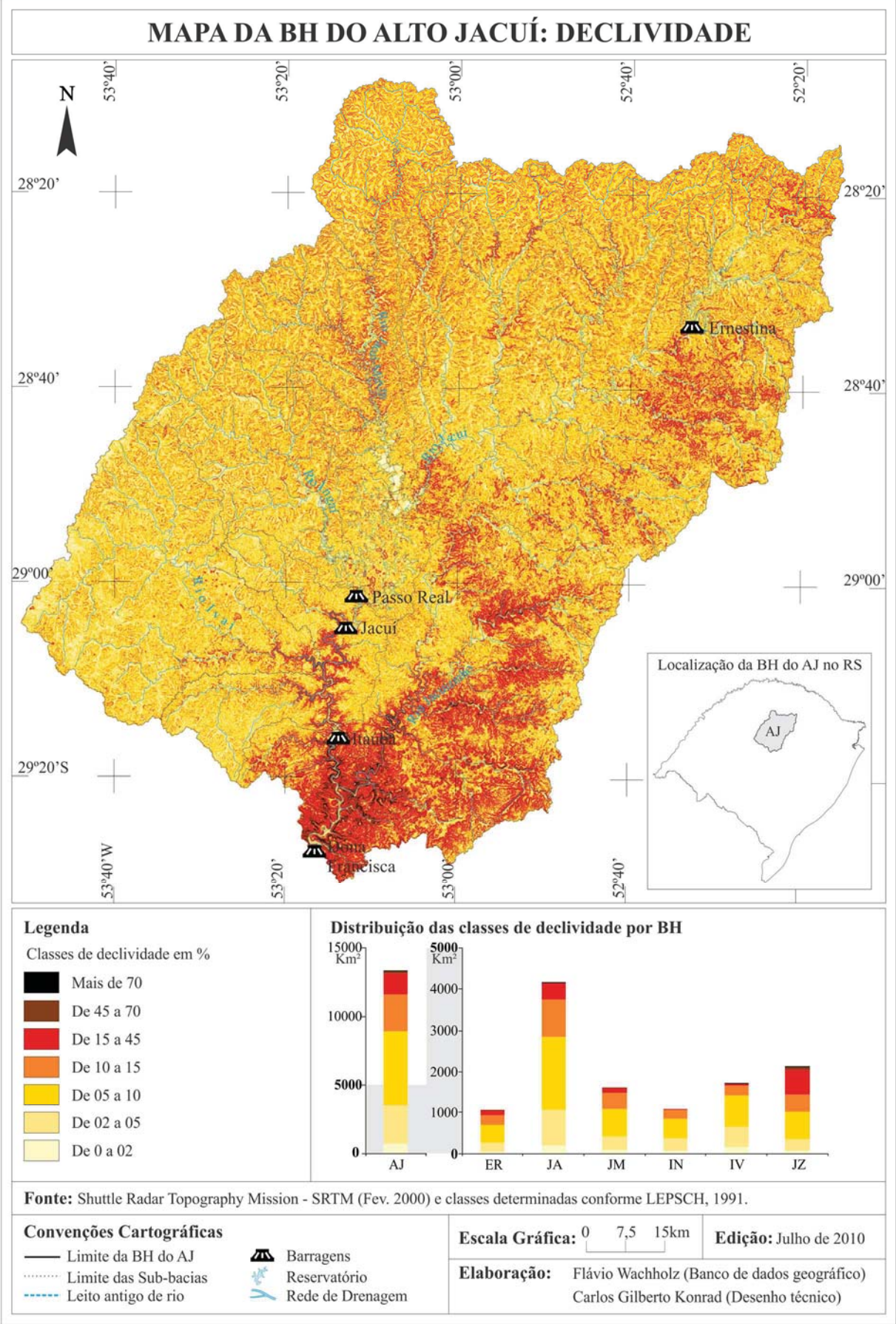


Figura 4.3 – Mapa de declividade da BH do Alto Jacuí.



Dos tributários que abastecem o reservatórios Ernestina, Passo Real e Itaúba, as SHs são similares, possuindo predomínio relevo ondulado, porém a SH do Ingaí e do Ivaí possui mais áreas com relevo plano (0 a 2%) e suave ondulado (3 a 5%). Essas classes de declividades favorecem a infiltração (LEPSCH *et al.*, 1991). A SH do Jacuizinho apresenta também o predomínio relevo ondulado (morros) com a presença de relevo montanhoso (45 a 70%) e escarpado (mais de 70%) para áreas próximas ao reservatório Dona Francisca. Na SH do Jacuizinho pode prevalecer, perante a declividade o escoamento superficial sobre a infiltração, causando maior perda de solos (LESCH *et al.*, 1991).

4.4. Solos

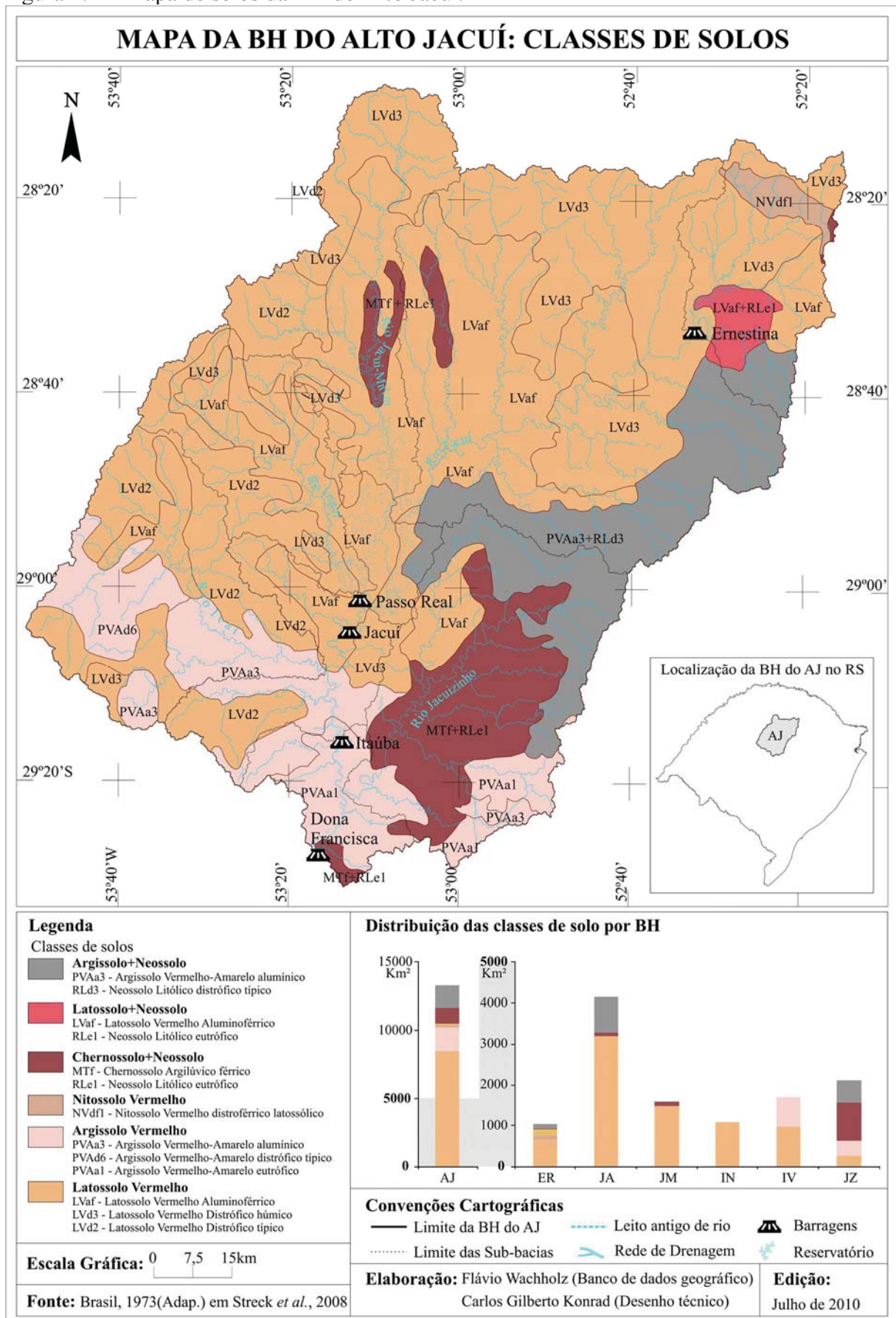
De acordo com Streck et al (2008), as principais classes de solos que compreendem a área de estudo são: Latossolo, Argissolo, Neossolo e o Nitossolo (Figura 4.4), sendo descritos a seguir.

Os Latossolos são solos geralmente muito profundos, homogêneos, altamente intemperizados (difícil diferenciação entre os horizontes), bem drenados e com textura argilosa. A alta intemperização desse solo conduz na sua constituição, caulinita e óxidos de ferro, que proporciona uma acentuada acidez e baixa reserva de nutrientes (IBGE, 1986; STRECK *et al.*, 2008). Os solos exigem a prática de calagem e adubação mais intensiva de fósforo e nitrogênio (IBGE, 1986). Essa classe de solos ocorre principalmente nas SHs do reservatório Passo Real, com o Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd2), Latossolo Vermelho Distrófico húmico (LVd3) e Latossolo Vermelho Aluminoférrico (LVaf).

Os Argissolos são solos com horizonte subsuperficial mais argiloso, bem drenados, porém menos desenvolvido que em relação aos Latossolos. Os Argissolos apresentam baixa fertilidade e forte acidez (baixa saturação de bases) (IBGE, 1986; STRECK *et al.*, 2008). Essa classe de solo ocorre principalmente nas SHs do Ivaí e Jacuizinho com Argissolo Vermelho-Amarelo aluminico (PVAa3), Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico (PVAa1) e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (PVAd6).

Os Nitossolos são solos profundos, bem drenados, muitos porosos, friáveis e bem estruturados, mas ácidos. Entre os horizontes, destaca-se a do horizonte B nítico (STRECK *et al.*, 2008). Mesmo assim, o perfil homogêneo, dificulta a distinção em campo dos Latossolos. Essa classe em uma pequena área a montante do reservatório Ernestina com Nitossolo Vermelho distroférico latossólico (NVdf1).

Figura 4.4 – Mapa de solos da BH do Alto Jacuí.



Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos, pouco profundos, mal drenados, no qual o horizonte A repousa diretamente na rocha (regolito intemperizado), sendo moderadamente ácidos a neutros (IBGE, 1986; KOFFLER, 1993; STRECK *et al.*, 2008). Portanto, esse tipo de solo necessita como manejo de preferência, preservação permanente onde o relevo é mais ondulado e para as demais áreas, pode ser usado para agricultura, desde que sejam estabelecidas curvas de nível e mantenha cobertura permanente do solo. O Neossolo Litólico eutrófico (RLe1) encontram-se associado com LVaf para a SH Ernestina e o Neossolo Litólico distrófico típico (RLd3) com PVAa3 para as cabeceiras da SHs Ernestina, Jacuí e Jacuizinho.

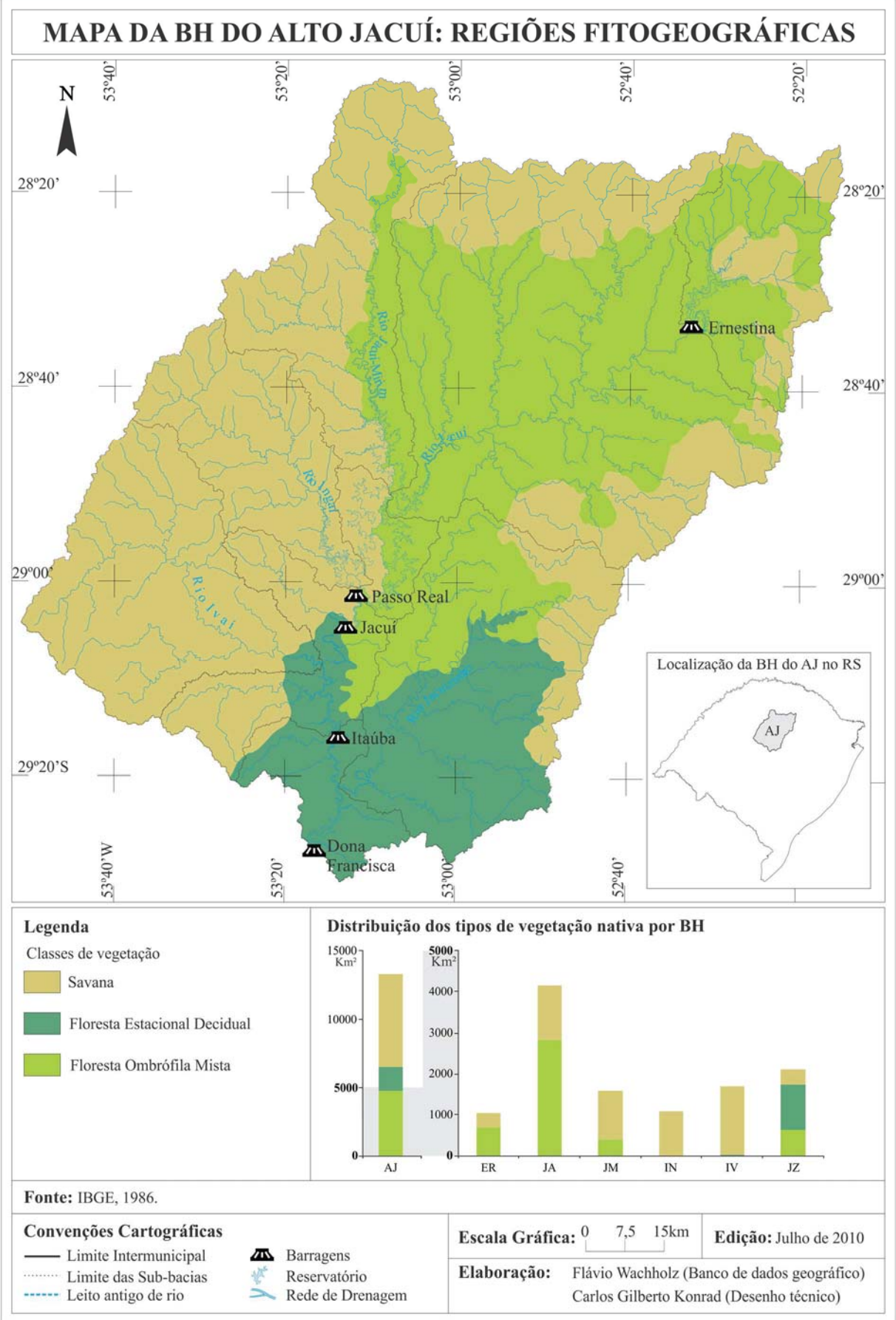
Os Chernossolos são solos rasos a profundos e dependendo de suas características pode apresentar alta fertilidade. Os Chernossolos são representados na SH do Jacuizinho pelo Chernossolo Argilúvico férrico (MTf) que apresentam B textural ou acumulação de argila no Horizonte B, com teor elevado de ferro (STRECK *et al.*, 2008) associado com RLe1.

4.5. Cobertura vegetal nativa

A BH do Alto Jacuí é ocupada originalmente pela Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária), Floresta Estacional Decidual (Floresta Caducifólia) e Savana (Cerrados e campos) como mostra a Figura 4.5, que atualmente foram substituídas, em sua maioria, por culturas anuais.

A Floresta Ombrófila Mista está presente principalmente, nas SHs Ernestina e Jacuí, associada às maiores altitudes (500 a 700 m), pois exige para seu desenvolvimento de 90 a 150 dias de frios no ano e altos índices pluviométricos (IBGE, 1986). A característica dominante é a composição de dois estratos arbóreos (RAMBO, 1956): o inferior de meia altura e algumas mais altas (20 a 30 m de altura); e, o superior é constituído pelas araucárias. Essa espécie, em função de suas características heliófilas, encontra-se atualmente desfavorecida, não apenas pela destruição pela ação antrópica, mas pela incompatibilidade atual diante do gradativo aumento de temperatura (LEITE; KLEIN, 1990).

Figura 4.5 – Mapa das regiões fitogeográficas da BH do Alto Jacuí.



A Floresta Estacional Decidua, existente na SH do rio Jacuizinho, tem como característica principal, a queda foliar, nas estações mais frias, fazendo parte do processo de hibernação, como resposta de reações hormonais da vegetação diante dessa situação (SEMA/UFSM, 2001). Leite e Klein (1990) a dividem em cinco estratos na estrutura organizacional: um emergente, descontínuo, quase integralmente composto por árvores decíduas com até 30 m de altura; de copagem bastante densa e, em geral, predomínio de árvores perenifólias com alturas em torno de 20 m; das arvoretas, constituído de poucas espécies; arbustivo, com representantes jovens de espécies dos estratos superiores e espécies adensadas; herbáceo, bastante denso e com variadas formas de vida.

A região de savana ocupa a maior parte da BH do Alto Jacuí (51%), especificamente, as nascentes do Jacuizinho, do Jacuí, e predomina no Jacuí-Mirim, e todo Ingaí e Ivaí. A designação dessa vegetação para a região é savana gramíneo-lenhosa (IBGE, 1986), tendo como características principais, a presença de matas galeria e eventuais capões e campos. As espécies arbóreas apresentam representantes da Floresta Estacional Decidua e da Floresta Ombrófila Mista. As matas localizadas ao longo dos cursos d'água seriam uma adaptação inicial, com a sua provável expansão para as demais áreas. No entanto, há uma dificuldade de expansão natural das comunidades arbóreas sobre os campos (LEITE e KLEIN, 1990). Os campos são formados por espécies cespitosas (capins) e rizomatosas. Diante, da facilidade de ocupação dos campos, o homem tem utilizado para a pecuária. O manejo dessas áreas incluiu por muito tempo, a utilização das queimadas, a fim de eliminar partes não comestíveis e promover a rebrota da vegetação. O pisoteio do gado reduziu drasticamente as espécies cespitosas e a ampliação das rizomatosas (IBGE, 1986; SEMA/UFSM, 2001).

As condições adequadas do clima, solo e relevo da região para os três tipos de vegetação proporcionam uma maior riqueza de espécies ao Alto Jacuí, do que em outras áreas onde esses tipos de vegetação ocorrem no Rio Grande do Sul. Todos os tipos de vegetação são importantes para a preservação da água dos rios e reservatórios. A Floresta Ombrófila Mista, destaca-se, além do predomínio arbóreo, por possuir espécies capazes de manterem as folhas durante as estações mais frias, e, portanto participar na interceptação; a Floresta Estacional Decidua, apesar de muitas espécies não manterem as folhas, a presença nas encostas é primordial para evitar maiores perdas de solo; a Savana contém a mata galeria, que contribui na conservação dos recursos hídricos.

4.6. Sistema Socioeconômico

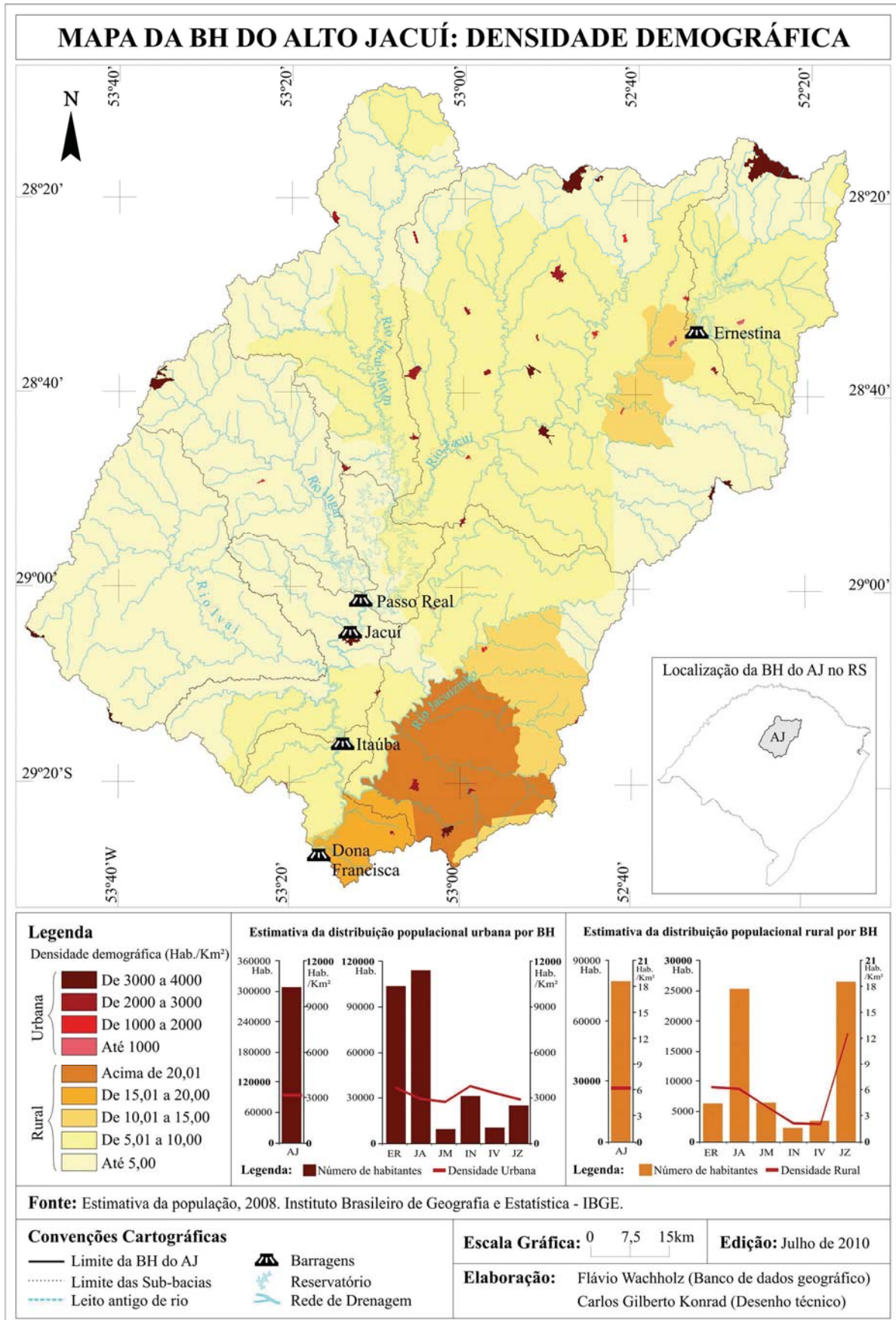
O sistema socioeconômico representa a ação antrópica no geossistema. A densidade demográfica, saneamento básico, indústrias com potencial poluidor e mineração são fontes pontuais de emissão de materiais para a rede de drenagem. As culturas anuais, representadas pelo fumo, milho, soja e trigo, e pecuária são fontes de emissão difusa. Na sequência são apresentadas as características desses elementos no Alto Jacuí.

4.6.1. Densidade demográfica

A densidade demográfica foi dividida em rural e urbana, conforme IBGE (2008) (Figura 4.6). A densidade demográfica rural é baixa para BH do Alto Jacuí (6 hab./km²), assim como nas SHs Ingaí e Ivaí (2 hab./km²). Por outro lado, na SH Jacuizinho é maior com 12 hab./km². Essa diferença populacional é explicada pela estrutura fundiária, grandes propriedades no Ingaí e Ivaí (produção da soja e trigo) e pequenas propriedades no Jacuizinho (produção do fumo e milho).

A densidade demográfica urbana é maior nas cidades médias. As áreas urbanas em geral no Alto Jacuí apresentam densidade demográfica superior a 2000 hab./km². A maior quantidade de áreas urbanas é encontrada nas SHs Ernestina e Jacuí, tendo como possíveis impactos, a impermeabilização e a canalização do escoamento, o aumento de poluição devido à contaminação do ar, das superfícies urbanas e do material sólido disposto pela população. Esses impactos refletem nos processos de evapotranspiração (redução), do escoamento subterrâneo (redução) e do escoamento superficial (aumento) (TUCCI, 2003).

Figura 4.6 – Mapa da densidade demográfica rural e urbana dos municípios da BH do Alto Jacuí.

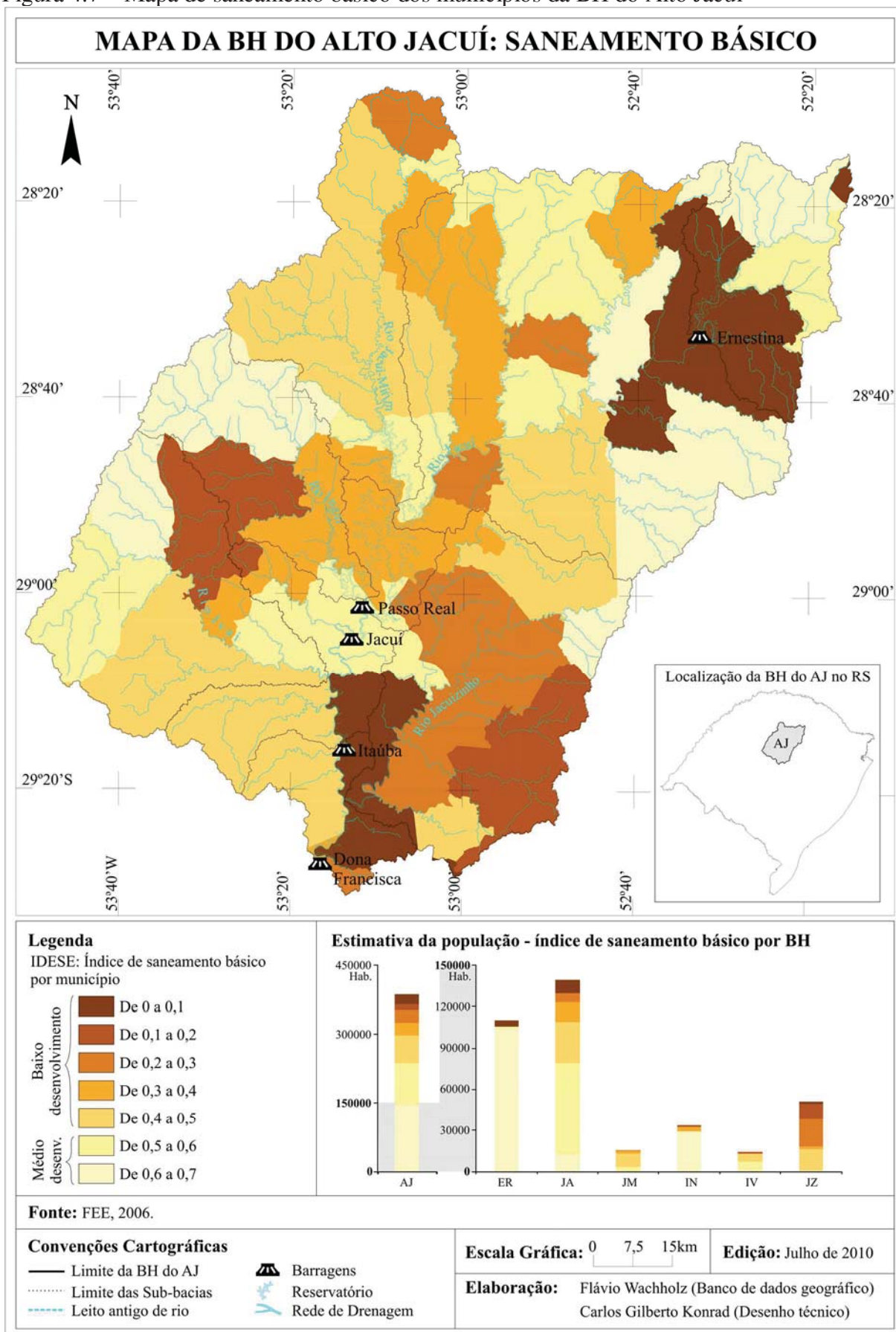


4.6.2. Saneamento básico

O saneamento básico do Índice de Desenvolvimento Socioeconômico do Rio Grande do Sul (IDESE) é dos quatro blocos temáticos (educação, renda, saneamento básico e saúde) calculado pela Fundação de Economia e Estatística (FEE). O saneamento básico é constituído de três índices e pesos: acesso por parte da população ao abastecimento de água (0,50); o tratamento de esgoto (águas servidas); disposição e tratamento adequado de resíduos sólidos (0,40), e média de moradores por domicílio (0,10). O índice é calculado por município e podem ser considerados em três grupos: baixo desenvolvimento (índices de até 0,499), médio desenvolvimento (entre 0,500 e 0,799) e alto desenvolvimento (maiores ou iguais a 0,800) (FEE, 2009).

Os municípios do Alto Jacuí, segundo o índice, enquadram-se em baixos e médios graus de desenvolvimento (Figura 4.7). Embora, as SHs Ernestina e Jacuí apresentem as maiores concentrações urbanas, o grau de desenvolvimento de saneamento básico é o melhor na BH. No entanto, a cidade de Passo Fundo com maior número de habitantes no Alto Jacuí, em 2009, por exemplo, tratava apenas 20 % do esgoto produzido (CORTE; SANTIN, 2009). O baixo grau de desenvolvimento é encontrado na maioria dos municípios da SH Jacuizinho, com possível ausência de um sistema de tratamento de esgoto.

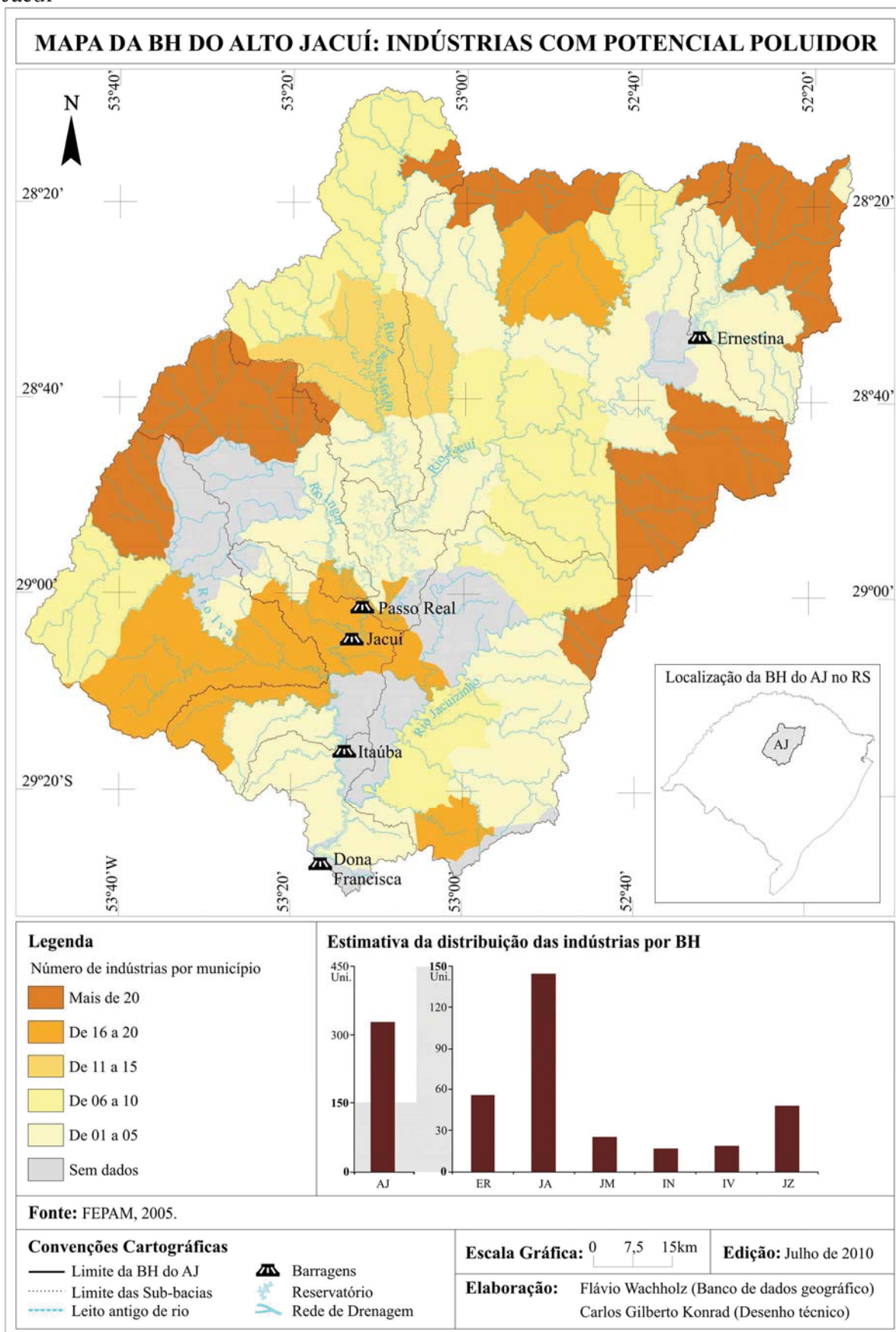
Figura 4.7 – Mapa de saneamento básico dos municípios da BH do Alto Jacuí



4.6.3. Indústria

A BH do Alto Jacuí é caracterizada pela baixa densidade industrial com potencial poluidor das águas, no entanto, os municípios com as maiores áreas urbanas concentram em mais de 50% das indústrias, que se localizam nas nascentes dos principais tributários (Figura 4.8). As indústrias com potencial poluidor hídrico são aquelas que liberam efluentes para o ambiente. A vazão de efluentes em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) por parte das indústrias na SH Jacuí é de 9,92%, enquanto 90,08% (78% da carga poluidora) é de origem doméstica, decorrente da ausência/deficiência do sistema de saneamento e tratamento de esgoto cloacal (COAJU, 2009).

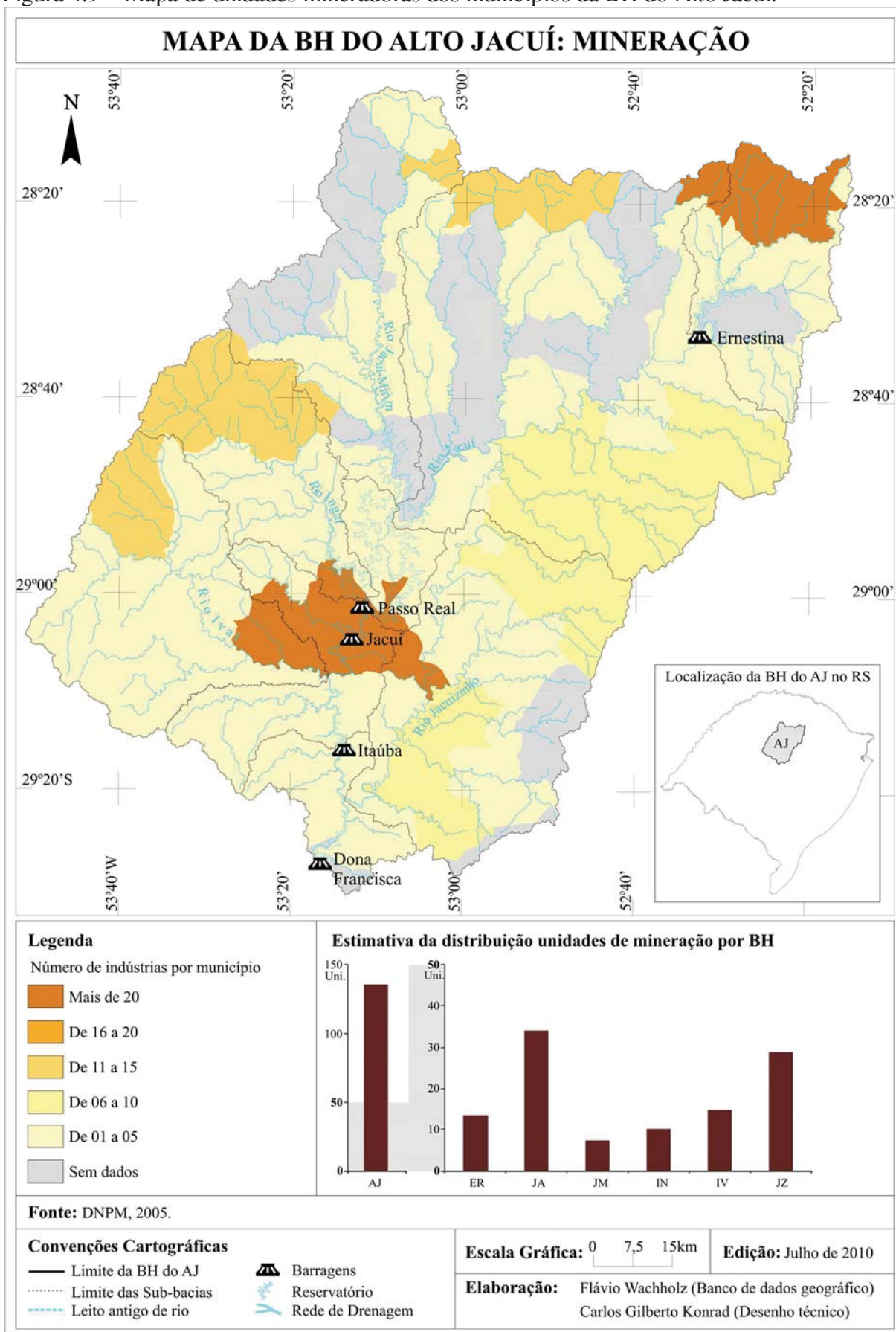
Figura 4.8 – Mapa de indústrias com potencial poluidor hídrico dos municípios da BH do Alto Jacuí



4.6.4. Mineração

A maior parte das empresas de mineração da BH do Alto Jacuí explora basalto e argila, sendo estas utilizadas em pavimentação e conservação de ruas e estradas. Os impactos ambientais das minerações constituem-se como focos de erosão, com potencialidade de escorregamentos, e possível participação no assoreamento dos cursos d'água (COAJU, 2009). Em geral são poucas unidades de mineração por SH, sendo encontradas em maior número na SH Ingaí (município de Cruz Alta) (Figura 4.9). Vale destacar, a presença de várias unidades de mineração no município de Salto de Jacuí, à jusante do reservatório Jacuí, para a produção de rochas ornamentais e com possíveis impactos no reservatório Itaúba.

Figura 4.9 – Mapa de unidades mineradoras dos municípios da BH do Alto Jacuí.



4.6.5. Culturas anuais

As lavouras são as principais fontes de sedimentos em uma BH (MINELLA *et al.*, 2007). O ciclo das culturas agrícolas envolve vários estágios: germinação/emergência, crescimento/desenvolvimento, floração/enchimento do grão e maturação fisiológica (MAPA, 2009). O período de desenvolvimento vegetativo e floração protegem mais o solo contra erosão do que nas demais fases dos cultivos. A maior exposição do solo é encontrada, antes do plantio das culturas, no momento em que ocorre o preparo do solo. Mesmo no período de germinação, essa exposição continua sendo elevada. A duração do ciclo vegetativo para as culturas agrícolas e seus períodos de plantio são diferentes para soja, milho, trigo e fumo (Quadro 4.2).

Quadro 4.2 – Duração dos ciclos vegetativos para as principais culturas anuais

Cultura agrícola	Ciclo (dias)	Plantio indicado	Desenvolvimento vegetativo	Colheita
Fumo	210	Jul. a Set.*	Nov. a Dez.	Out. a Fev.
Milho	110 a 145	11 Ago. a 20 Jan.	Dez. a Mar.	Dez. a Jun.
Soja	115 a 135	21 Out. a 10 Dez.	Jan. a fev.	Fev. a Abr.
Trigo	120 a 140	21 Maio a 10 Jul.	Ago. a Set.	Set. a Nov.

*O período refere-se o transplante do fumo na lavoura, pois, antes disso, são produzidas as mudas (60 dias).

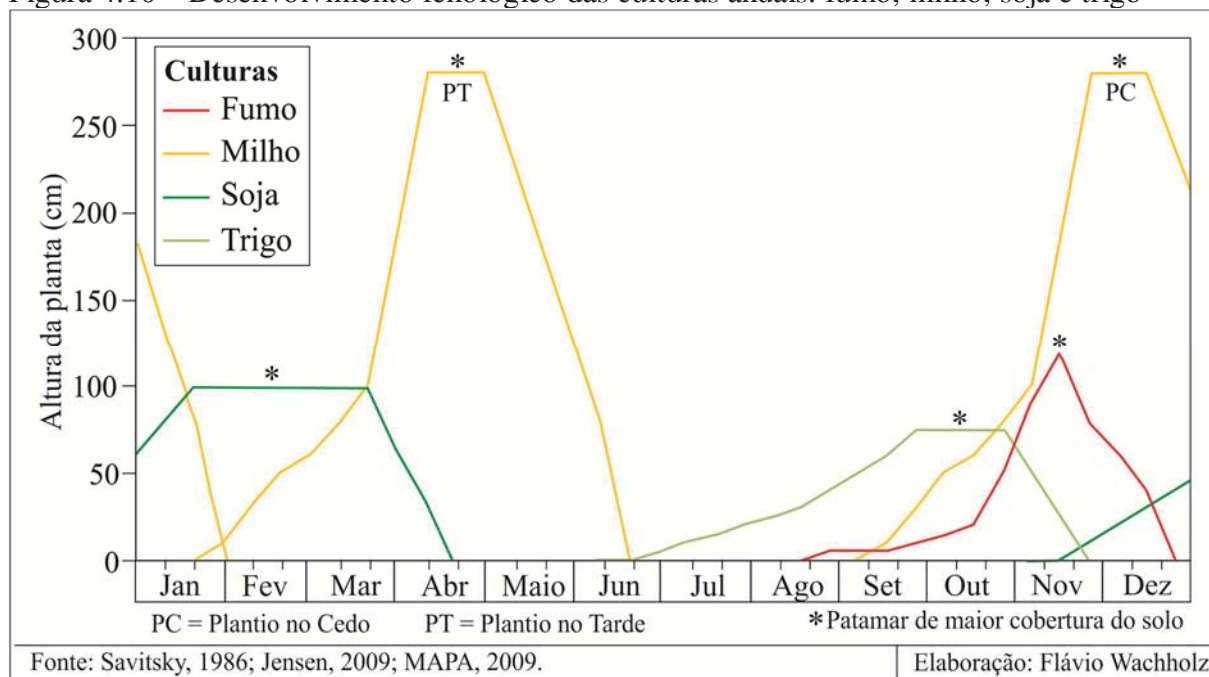
Fonte: MAPA (2009). (Plantio indicado e ciclo)

As principais culturas anuais com a duração de cada fase do desenvolvimento fenológico estão representadas na Figura 4.10. O desenvolvimento vegetativo máximo de uma planta indica o máximo de cobertura que a mesma oferece ao solo. Essa fase segue um patamar, podendo englobar os estágios de floração, formação dos grãos e maturação, interrompido com a colheita. Os patamares mais duradouros são proporcionados com a cultura da soja e trigo. O fumo apresenta o pico máximo de desenvolvimento vegetativo, quando é interrompido com a colheita. Nos meses de junho, julho, agosto, final de outubro e início de novembro as áreas agrícolas ficam mais susceptíveis a erosão, pois são períodos de entressafra. O uso de agrotóxicos, associados ao cultivo do fumo, pode ser uma fonte em potencial de contaminação dos rios na região do reservatório Dona Francisca, como em afluentes no município de Agudo onde foram encontrados resíduos tóxicos na água (GONÇALVES, 2003; SEQUINATTO *et al.*, 2006).

A fumicultura distingue-se por envolver uma maior mão-de-obra, e com isso, ocorre mais em pequenas propriedades. A sementeira ocorre normalmente em maio, realizado em canteiros, para a produção de mudas. Após 60 dias, é realizado o replante das mudas (fase lavoura) e a colheita começa a partir dos 130 dias com a retirada das folhas (LIMA, 2000).

Dessa forma, o preparo do solo nas áreas agrícolas ocorre em agosto, quando geralmente inicia o transplante do fumo (a semeadura ocorre em canteiros no mês de maio para a produção de mudas), cuja cobertura vegetal é baixa até novembro e antes mesmo de atingir o seu nível máximo de crescimento, inicia-se a colheita das folhas, expondo progressivamente o solo à ação das chuvas até o final da colheita.

Figura 4.10 – Desenvolvimento fenológico das culturas anuais: fumo, milho, soja e trigo



Destaca-se o plantio do fumo na margem esquerda do rio Jacuizinho, já nas áreas de captação do reservatório Passo Real quase não é praticada essa cultura (Figura 4.11). Subsequentemente, após a conclusão da colheita do fumo, essas áreas são cultivadas com o milho (plantio no tarde ou safrinha) (Figura 4.12). Todavia, principalmente, nas SHs do reservatório Passo Real (terceira cultura mais importante) é realizado o cultivo do milho com plantio no cedo.

Em relação a cultura da soja, as SHs dos tributários do reservatório Passo Real, Ernestina e Ivaí apresentam aproximadamente 50% das áreas ocupadas com essa cultura (Figura 4.13). O trigo é cultivado no inverno (Figura 4.14), somente menos expressivo do que a soja, com mais de 14% nas SHs Jacuí e Jacuí-Mirim e menos de 10% para as SHs Ernestina, Ingaí e Ivaí. Na SH Jacuizinho, a ocorrência do trigo é ainda menor (7%). Em municípios da região da reservatório Dona Francisca é cultivado o feijão (Arroio do Tigre – 8%, Ibarama – 2%, Nova Palma – 7%, Pinhal Grande – 2% e Sobradinho – 2%), mas no Alto Jacuí representa menos de 1%.

Figura 4.11 – Mapa de cultivo do fumo dos municípios da BH do Alto Jacuí.

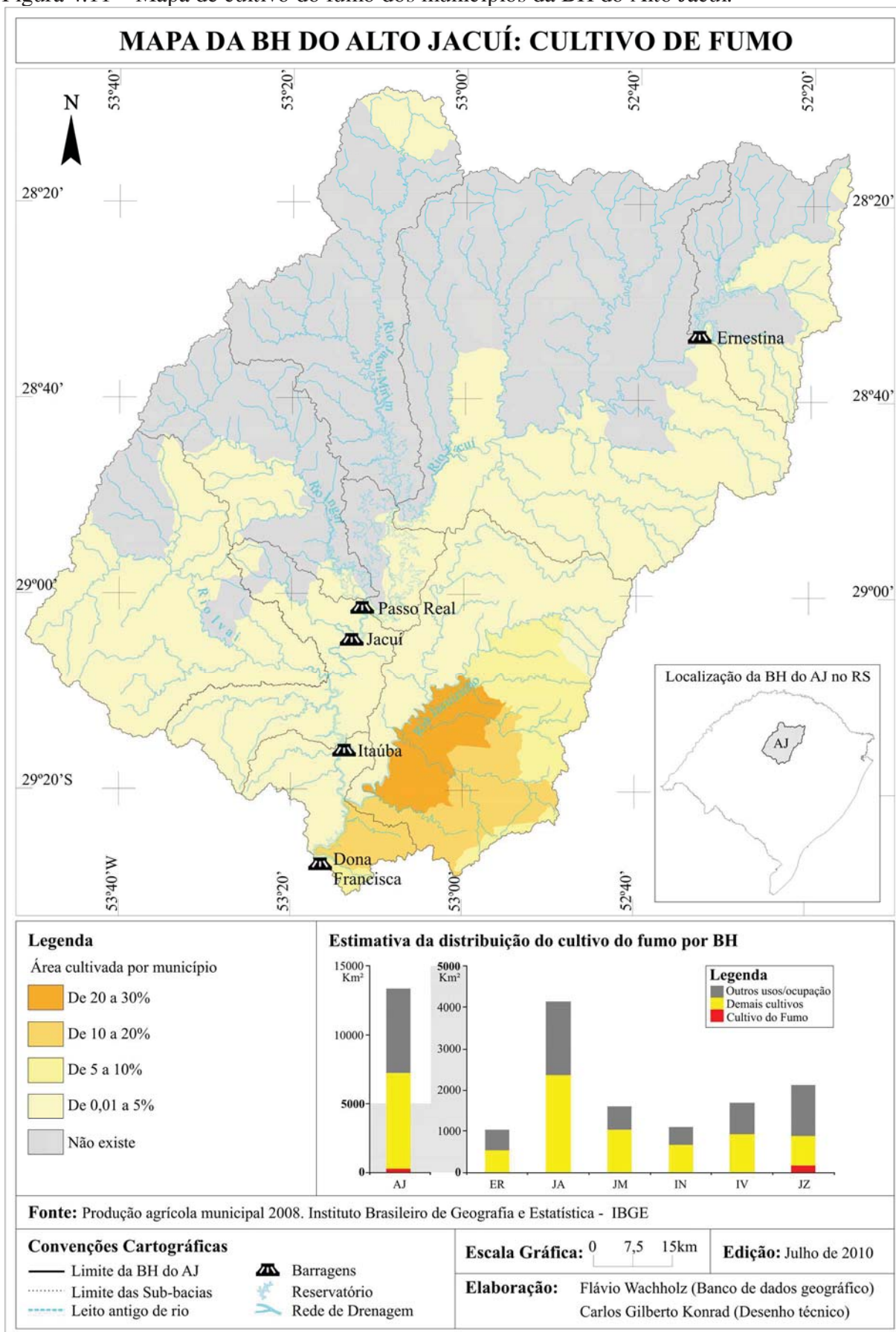


Figura 4.12 – Mapa de cultivo do milho dos municípios da BH do Alto Jacuí.

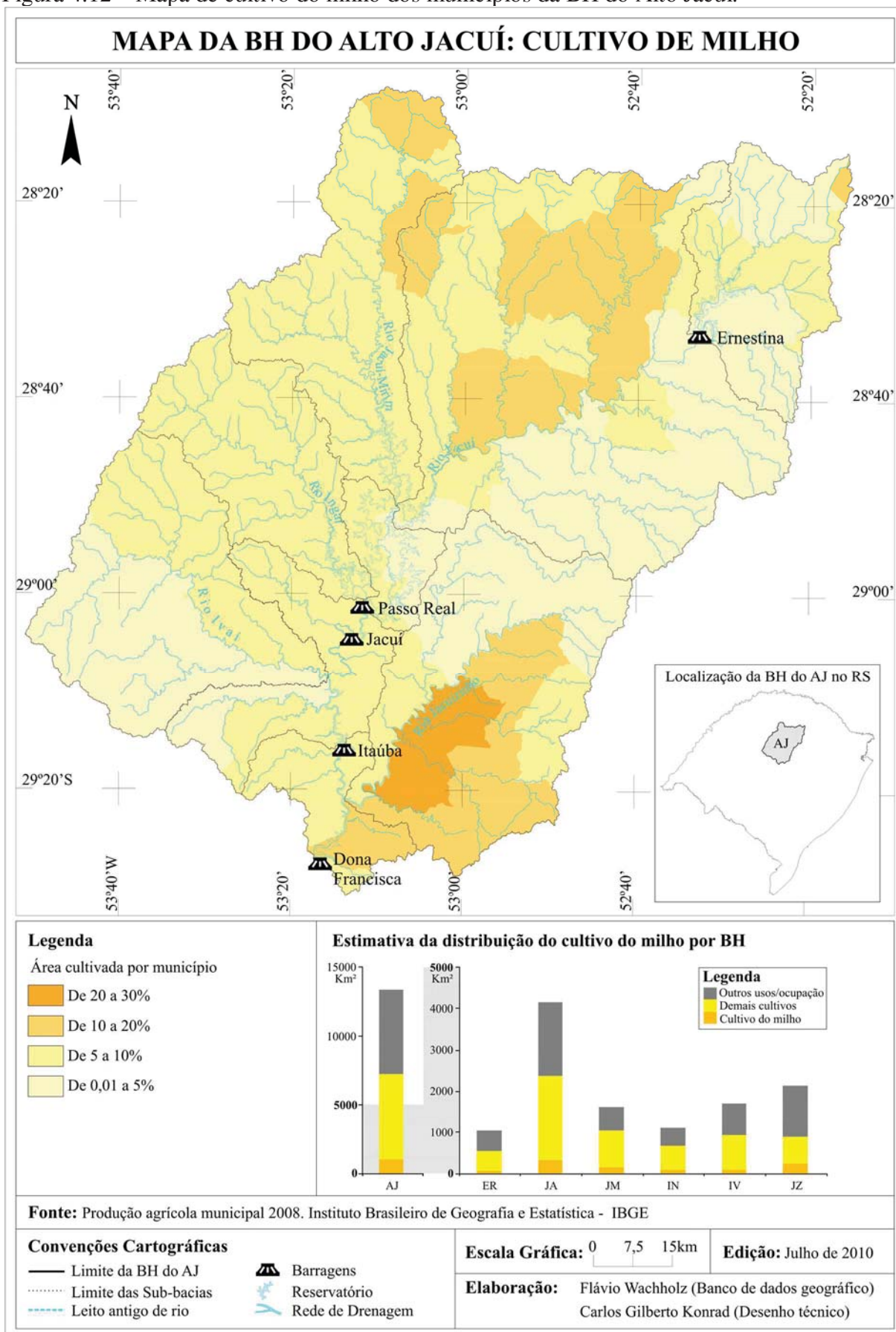


Figura 4.13 – Mapa de cultivo da soja dos municípios da BH do Alto Jacuí.

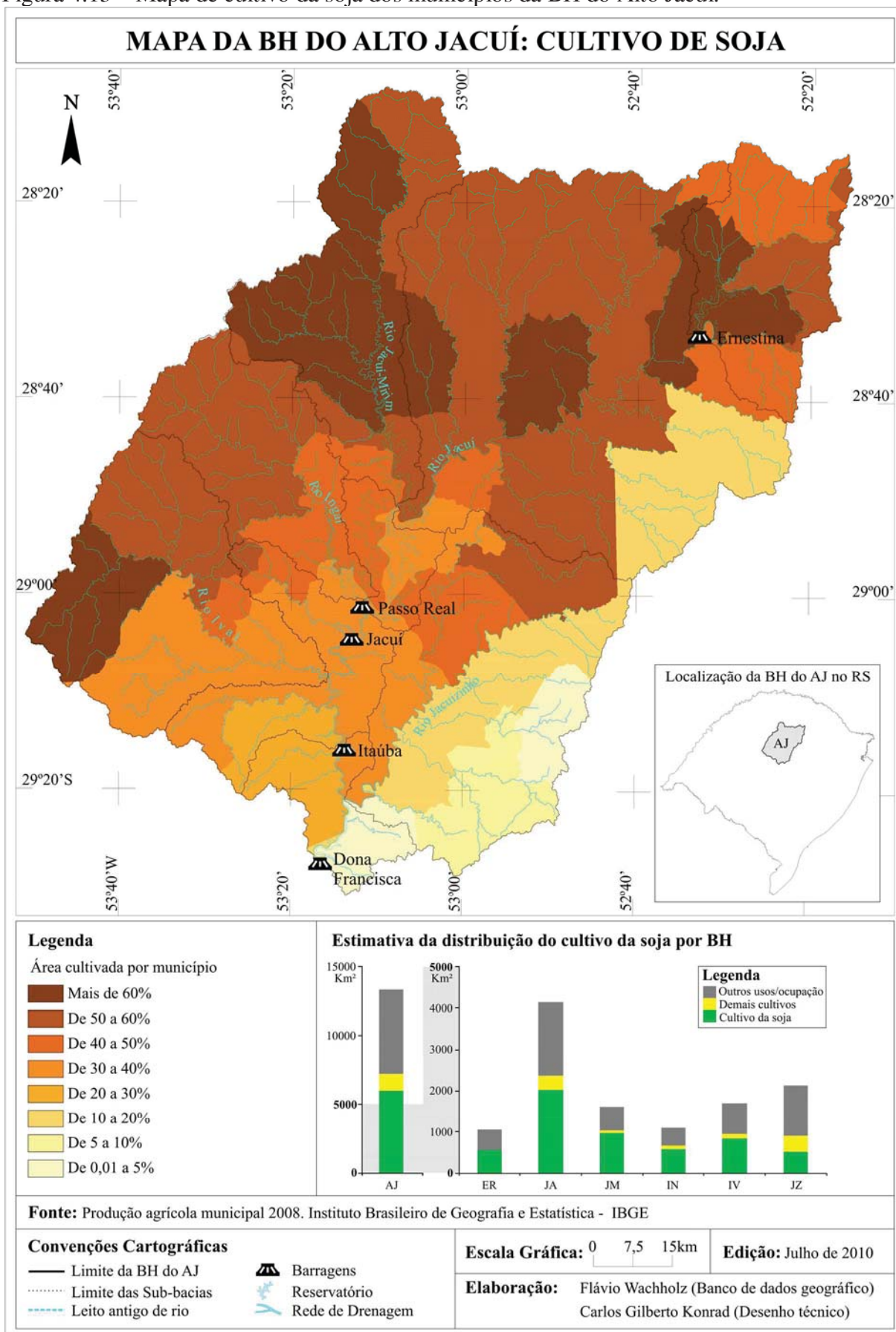
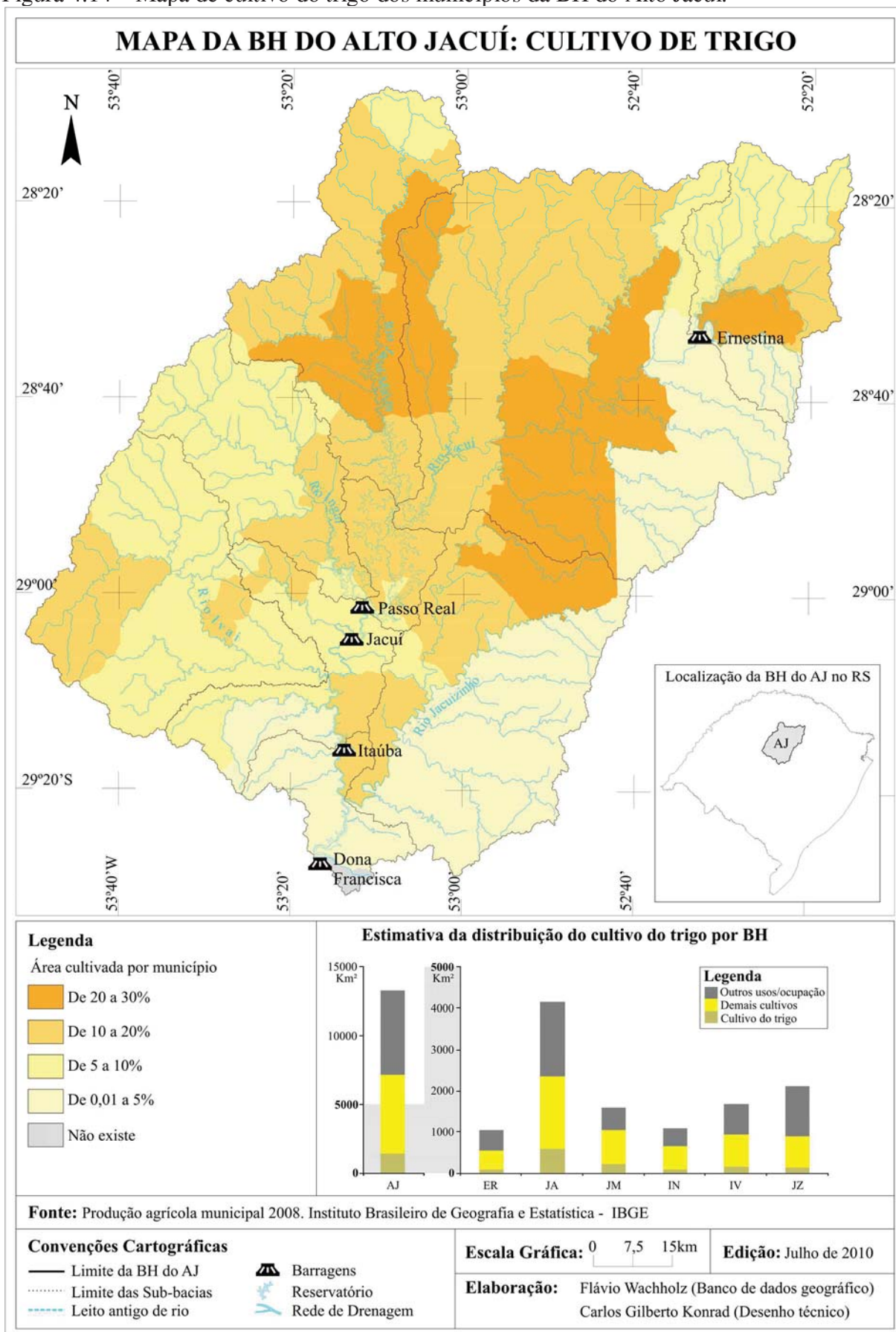


Figura 4.14 – Mapa de cultivo do trigo dos municípios da BH do Alto Jacuí.

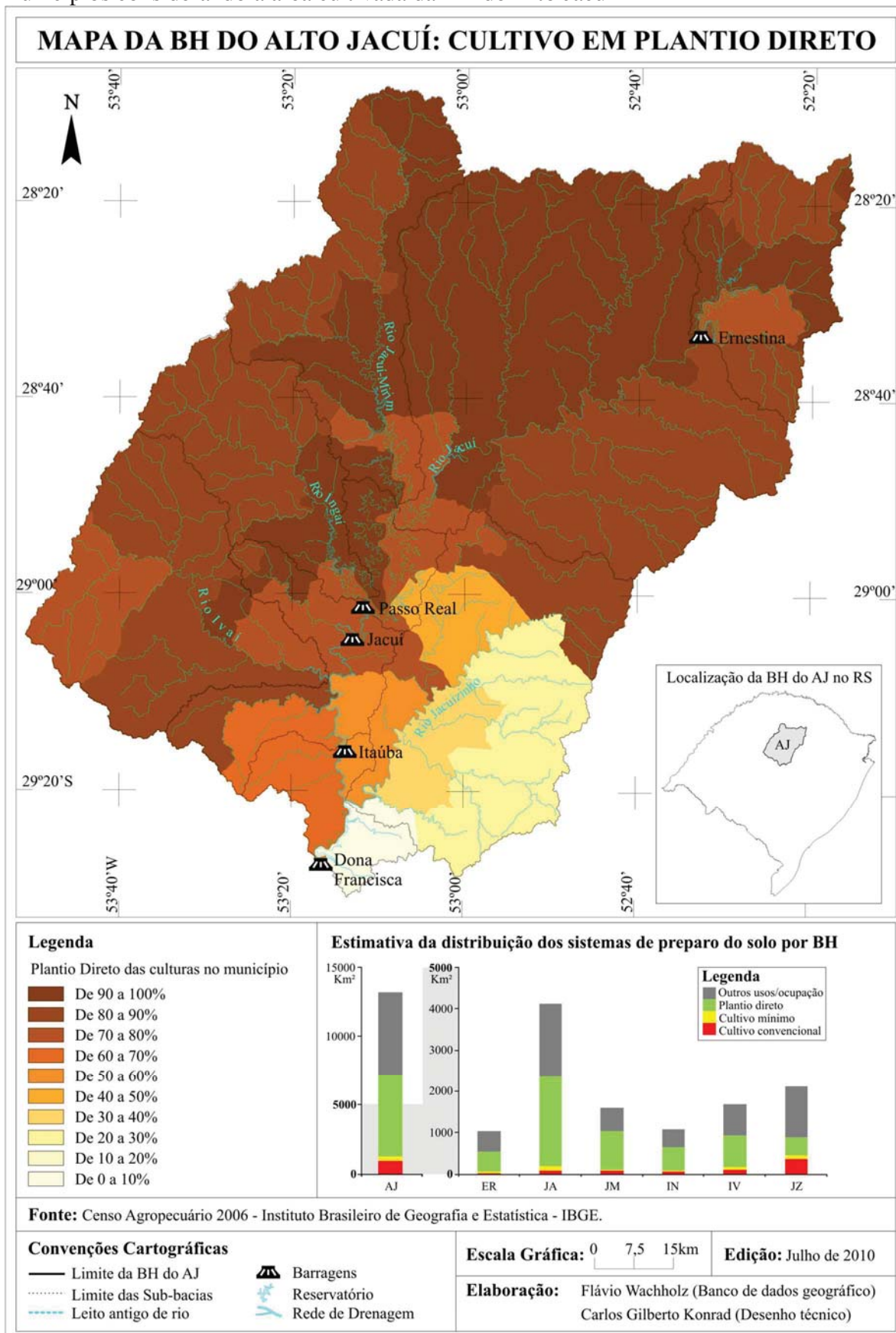


4.6.5.1. Sistemas de Preparo do solo

A partir da década de 1970, as áreas agrícolas na BH Alto Jacuí foram ampliadas com a respectiva expansão da soja, decorrente da utilização de calcário para a correção ácida dos solos, fertilizantes, pesticidas e emprego da mecanização, que na época realizava-se o revolvimento do solo para a realização do plantio. Na década de 90, expandiu-se o sistema de plantio direto, tendo como a principal vantagem a redução dos processos erosivos, decorrente da permanência na superfície, da elevada massa de resíduos culturais (mobilização de solo apenas na linha de plantio), que, além disso, vem melhorando as condições físicas e químicas do solo e a profundidade (PERIN *et al.*, 2003; STRECK *et al.*, 2008). Além disso, o plantio direto tem como benefício o aumento de disponibilidade de água para as plantas, redução da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, redução da incidência de plantas daninhas, redução nos custos de produção (menor uso de máquinas agrícolas) e aumento do sequestro de carbono ao solo (EMBRAPA, 2009). Em relação ao uso de máquinas agrícolas, no plantio convencional é aproximadamente de sete horas, enquanto que para o sistema de plantio direto varia de duas a três horas (LEPSCH, 2002). O sistema de plantio direto é um meio eficiente em controlar a erosão mesmo durante o *El Niño*, e importante estratégia de convivência com a *La Niña*, diminuindo o impacto da erosividade da chuva no solo e escoamento superficial (AMADO *et al.*, 2002; PAULA, 2009). Juntamente com o plantio direto, o cultivo mínimo passou também a ser empregado, técnica que consiste em proteção do solo intermediária com a realização do gradagem do solo antecedente ao plantio.

As três formas de preparo do solo são empregadas de forma diferenciada na BH, mas o destaque é para o plantio direto em quase todas as SHs (Figuras 4.15). O cultivo convencional ainda é bastante utilizado na SH Jacuizinho, principalmente para a margem esquerda desse rio, indicando que os solos são removidos para o cultivo do fumo e do milho. Nas SHs do reservatório Passo Real, o plantio direto na palha supera em 90% das áreas cultivadas, sendo um bom indicador de conservação do solo. O sistema de cultivo mínimo, embora mais indicado que o sistema convencional é menos utilizado em todas as SHs.

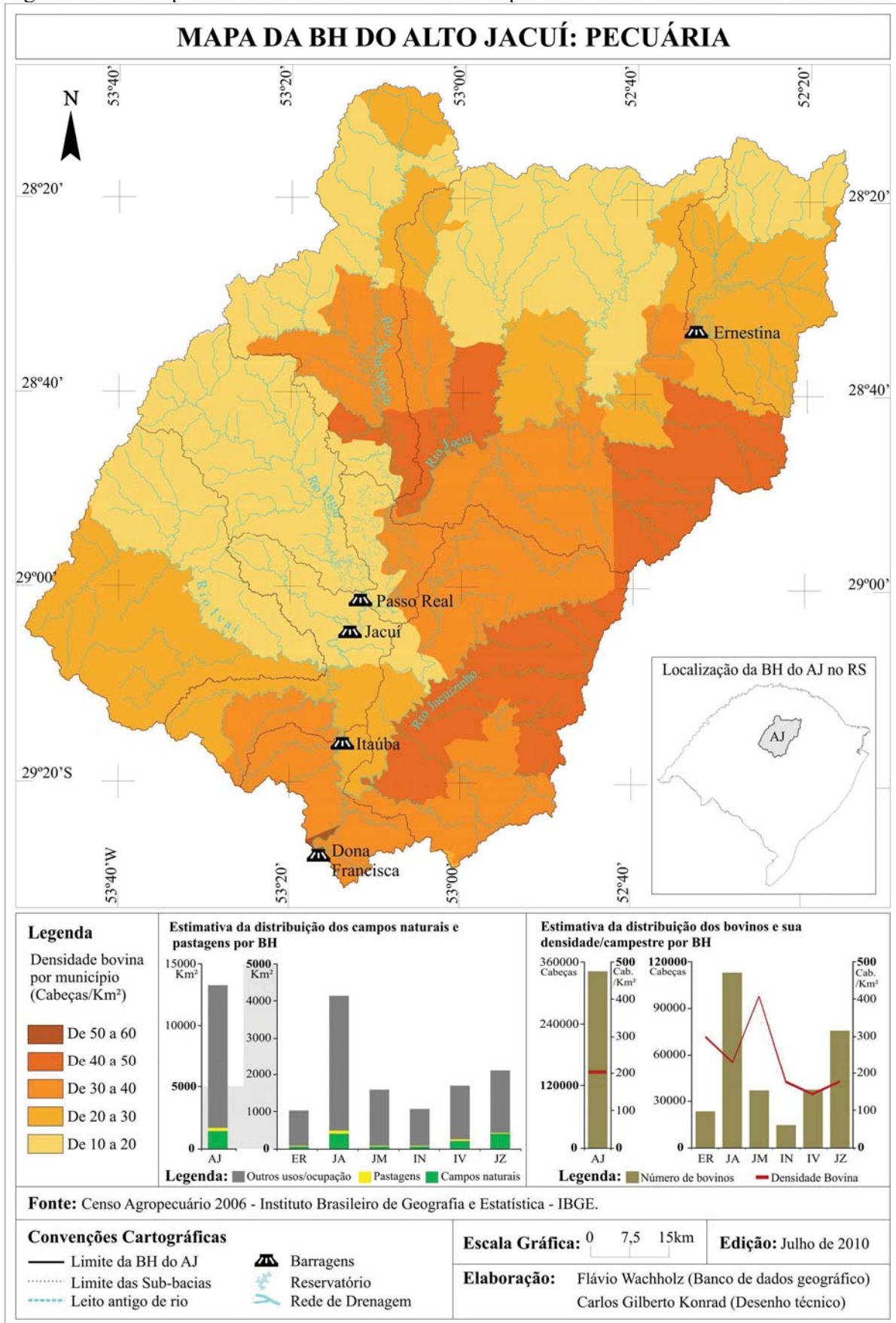
Figura 4.15 – Mapa do emprego do sistema de preparo do solo plantio direto na palha dos municípios considerando a área cultivada da BH do Alto Jacuí



4.6.6. Pecuária

A criação de bovinos é a pecuária desenvolvida nas SHs do alto Jacuí (Figura 4.16). O maior número de bovinos é encontrado nas SHs Jacuí e Jacuizinho. A SH Jacuí-Mirim apresenta uma maior densidade bovina por área campestre, mais de 4 cab./ha. Essa SH apresenta mais de 30% das áreas de campo formadas por pastagens, com aproveitamento agrícola, enquanto para a SH Jacuizinho é de 6%, com domínio dos campos naturais.

Figura 4.16 – Mapa da densidade bovina dos municípios da BH do Alto Jacuí



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Bacia hidrográfica do Alto Jacuí

Os resultados referentes a BH do Alto Jacuí mostram a compartimentação do relevo, uso e ocupação das terras, fragilidade ambiental e pressão antrópica. Juntamente, informações apresentadas na caracterização da área de estudo são resgatadas para a identificação das fragilidades existentes na BH do Alto Jacuí.

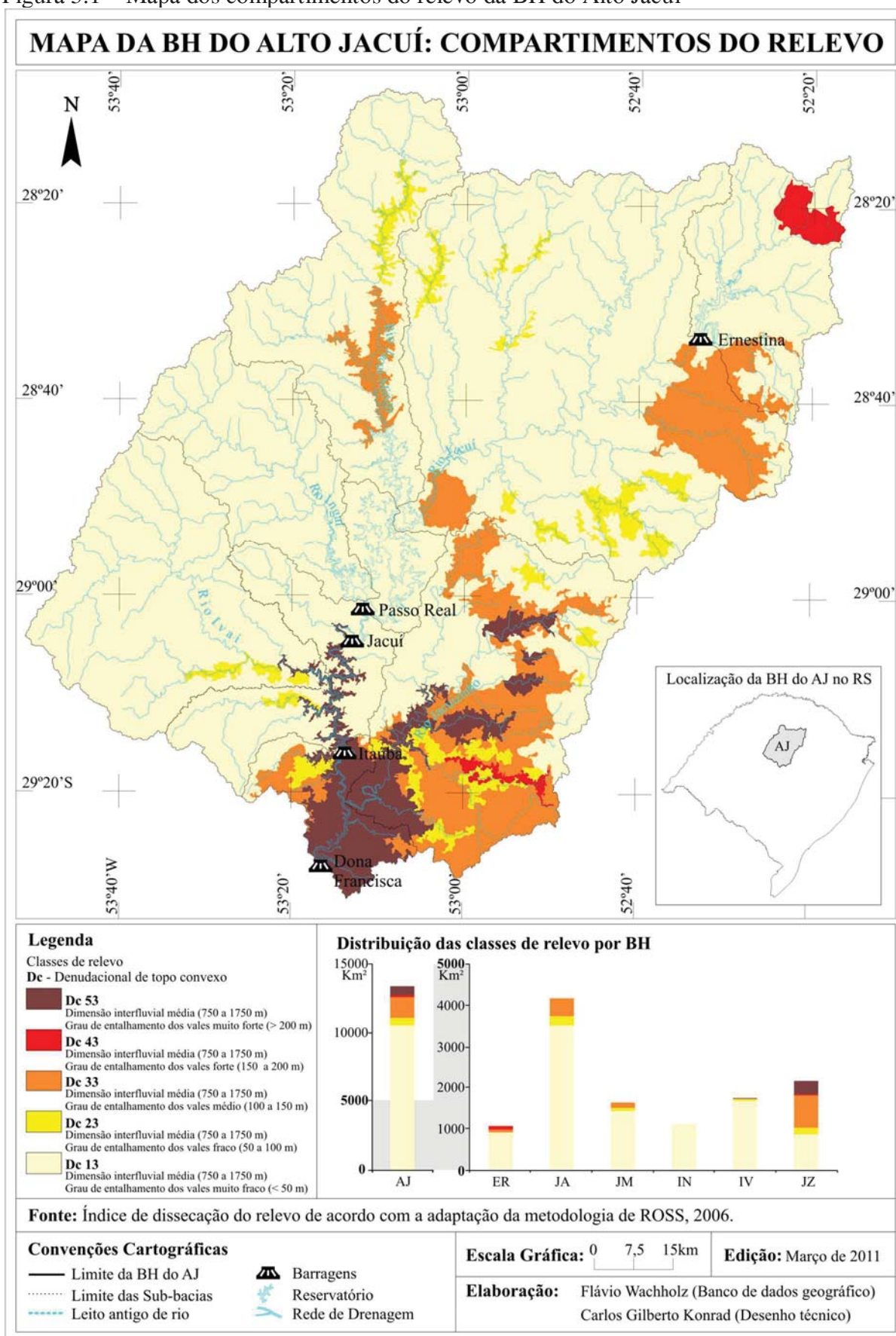
5.1.1. Compartimentação do relevo

O Alto Jacuí está localizado no compartimento geomorfológico do Planalto Meridional (Província da Bacia do Paraná). O modelado do relevo é do tipo denudacional de topo convexo (Dc) e a dimensão interfluvial média foi de 750 a 1750 m na BH. O grau de entalhamento dos vales apresenta a abrangência da classe muito fraca a muito forte. As cinco formas de relevo de modelado denudacional convexo encontradas foram: Dc 13, Dc 23, Dc 33, Dc 43, Dc 53. O mapa de compartimentos do relevo está representado na Figura 5.1.

A classe Dc 13 ocupa a maior área do alto Jacuí (79%), abrangendo, principalmente as SHs do reservatório Passo Real e Ivaí. O relevo é colinoso, resultante do modelado em rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e, em menores proporções, de rochas sedimentares correspondentes da Formação Tupanciretã (menor resistência aos processos erosivos) (IBGE, 1986). Esse compartimento de relevo favorece a ocupação humana com destaque para a prática da agricultura. A SH Jacuí apresenta, além da classe dominante Dc 13, os compartimentos Dc 23 e Dc 33 que são áreas mais dissecadas podem conduzir a uma maior fragilidade a essa SH.

O entalhamento dos vales é mais intenso na porção sul do Alto Jacuí. O acentuado desnível altimétrico entre os compartimentos Planalto e Depressão Periférica é um dos principais responsáveis pela intensificação dos processos erosivos pluviais e fluviais (entalhamento dos vales e regressão das vertentes) na porção Sul do Alto Jacuí. A área do entorno do reservatório Dona Francisca e SH Jacuizinho destaca-se pelo relevo dissecado, representado pelas classes Dc 53, Dc 43, Dc 33 e Dc 23. A classe Dc 23 é resultante do entalhamento dos principais canais do alto Jacuí.

Figura 5.1 – Mapa dos compartimentos do relevo da BH do Alto Jacuí



A porção à jusante da Barragem Jacuí até a Barragem Dona Francisca está inserida na classe Dc 53, com grau de entalhamento dos vales muito forte, que pode ser caracterizado como relevo montanhoso. Em algumas situações podem ser encontradas morros aguçados e escarpados. A declividade acentuada nas encostas nessa classe pode provocar deslizamentos, quando da ocorrência de precipitações intensas (anomalia de precipitação). A vegetação original desse compartimento é a floresta estacional decidual, que protege as encostas diante os processos erosivos.

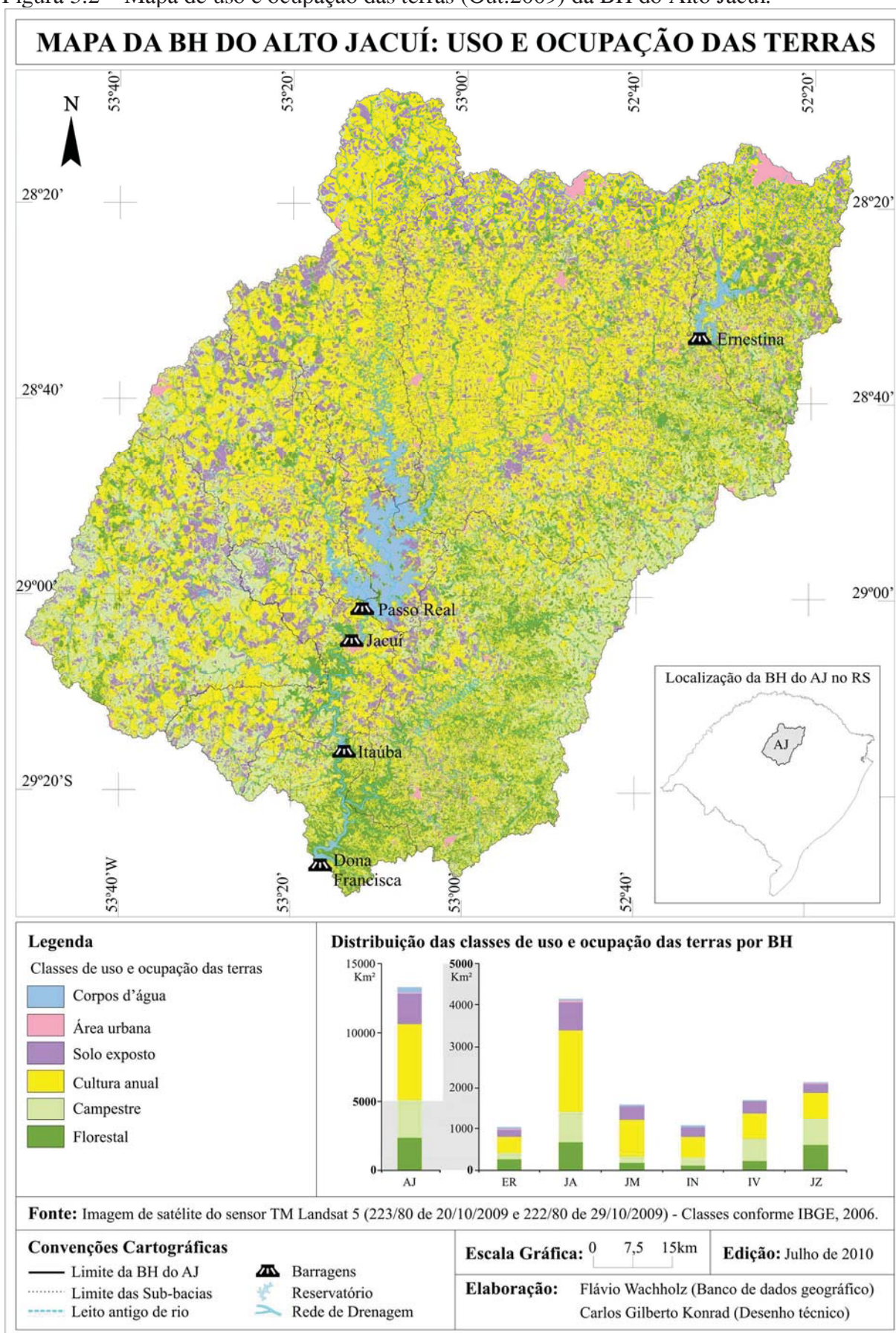
5.1.2. Uso e ocupação das Terras

O mapeamento do uso da terra de uma BH auxilia à compreensão do geossistema, pois representa as diferentes ocupações antrópicas sobre o ambiente. As atividades antrópicas exploram o potencial do geossistema, que nem sempre é de forma sustentável/conservacionista, podendo levar a exaustão dos recursos naturais. O mapa de uso e ocupação das terras para o Alto Jacuí é apresentado na Figura 5.2 e as características descritas a seguir.

As florestas ocupam áreas reduzidas na maioria das SHs, principalmente para a SH Ingaí (9%), restringindo-se mais ao entorno da rede de drenagem. As margens do rio Jacuí e as áreas de contribuição direta são protegidas da jusante da barragem Passo Real até Dona Francisca, e, ainda, na SH Jacuizinho. O relevo montanhoso desse setor restringiu a ocupação antrópica e propiciou o desenvolvimento e permanência da Floresta Estacional Decidual (IBGE, 1986).

As áreas de campo, por sua vez, são mais expressivas do que as de florestas, em função da expressividade das savanas no Alto Jacuí (IBGE, 1986) e a possibilidade do uso antrópico com a pecuária. A savana com ocupação pecuária tem como impacto o avanço das espécies rizomatosas sobre as cespitosas (IBGE, 1986). Destaca-se, porém, que algumas áreas classificadas por campo, são pastagens plantadas (14% das áreas de campo, segundo IBGE, 2006), utilizadas durante o inverno para pecuária e que no verão são substituídas por algum tipo de cultura anual.

Figura 5.2 – Mapa de uso e ocupação das terras (Out.2009) da BH do Alto Jacuí.



A SH Jacuizinho, com relevo ondulado a montanhoso, diferencia-se pelas associações do Chernossolo e Argissolo com o Neossolo, que são solos menos profundos (STRECK *et al.*, 2008). Nesse contexto, a atividade agrícola que conseguiu melhor resultado econômico foi a cultura do fumo. A densidade demográfica rural supera 20 hab./km² em municípios da margem esquerda do rio Jacuizinho, que indica a predominância de pequena propriedade à exigência de maior mão-de-obra para o cultivo do fumo. Após a conclusão da colheita do fumo, essas áreas são ocupadas com o milho (plantio no tarde ou safrinha). Também nas SHs do reservatório Passo Real ocorre o cultivo do milho, sendo a terceira cultura mais importante, com plantio normalmente no cedo (setembro a novembro).

A maior área de campo pertence à SH Jacuizinho, comportando um grande número de bovinos, com uma densidade de dois animais por hectare de campo (IBGE, 2006). Embora, as áreas de campo sejam menores nas SHs Jacuí e Jacuí-Mirim, o número de bovinos por hectare de campo é mais de quatro animais. A SH Ingaí possui baixa densidade bovina por município e poucos animais por área de campo (2 bovinos/ha).

As culturas anuais são o uso da terra dominante do Alto Jacuí, no caso, representadas principalmente pelos cultivos da soja (83%), trigo (20%) (cultura de inverno), milho (14%) e fumo (3%) (IBGE, 2006). As culturas anuais superam em mais 40% nas SHs do Alto Jacuí, exceto para a SH Jacuizinho (menos de 30 %). Vale ressaltar que na data da passagem do satélite (20 de outubro de 2009) as áreas com culturas anuais apresentavam com as seguintes características: a) soja, em preparo do solo e início do plantio; b) trigo, em fase de colheita; c) milho, preparo do solo, plantio e desenvolvimento vegetativo; e d) fumo, em fase de desenvolvimento vegetativo. Com essa sucessão de fases envolvidas, é possível concluir que no período as áreas agrícolas estão ocupadas por as culturas anuais (fase de colheita do trigo) e solo exposto (fase de plantio, portanto vulnerável a perda de solos).

A ocorrência de Latossolos Vermelhos, solos mais desenvolvidos, e o relevo colinoso (STRECK *et al.*, 2008) são características relevantes do geossistema para a expansão da soja e do trigo na área de captação do reservatório Passo Real. Além disso, o avanço da mecanização (facilidade e rapidez no desenvolvimento das etapas e redução da mão-de-obra) e do cultivo plantio direto na palha foram importantes, para que transformassem uma das regiões mais agrícolas e mecanizadas do Rio Grande do Sul. Fato que, para a SH Jacuí-Mirim, a soja responde por mais de 60% da área.

As maiores propriedades agrícolas são encontradas nas SHs Ingaí e Ivaí (menor densidade demográfica rural – menos de 5 hab./km²), que são ocupadas principalmente com a

cultura da soja. A SH Ingaí contém pivôs centrais de irrigação que em outubro, encontrava-se em fase de preparo do solo para plantio. No inverno, o trigo é pouco cultivado nessas duas áreas de captação (9%), ou seja, as áreas agrícolas recebem a adubação verde e pastagens como meio de proteção do solo e possível alimentação do rebanho bovino, nos meses mais frios do ano. Isso possibilita anteceder o período de preparo do solo e plantio da soja, sendo observado pelas maiores áreas de solo exposto nessas SHs.

Em relação a cultura da soja, as SHs do reservatório Passo Real, Ernestina e Ivaí apresentam aproximadamente 50% das áreas ocupadas com essa cultura. No inverno, o trigo é cultivado, porém muito menos do que a soja, predominando de 14% nas SHs Jacuí e Jacuí-Mirim e menos de 10% para as SHs Ernestina, Ingaí e Ivaí. Na SH Jacuizinho a ocorrência do trigo é menor (7%). A diferença proporcional entre a soja (verão) e trigo (inverno) é explicada, pela inserção de espécies para adubação verde nas estações mais frias, das quais algumas espécies permitem a alimentação bovina. Essa forma de consorciar as áreas agrícolas com pecuária é mais comum nas áreas de captação do reservatório Passo Real.

As áreas urbanas também são reduzidas, ocupando menos de 1% para as SHs do Alto Jacuí. A maioria dos municípios possui áreas urbanas com menos de 1 km² e apenas oito municípios tem área urbana superior a 3 km² (Passo Fundo, Carazinho, Espumoso, Soledade, Não-me-Toque, Ibirubá, Cruz Alta e Salto do Jacuí). As maiores cidades oferecem melhores condições de saneamento básico apresentando médio grau de desenvolvimento (FEE, 2006). Contudo, os municípios localizados na SH Jacuizinho apresentam baixo grau de desenvolvimento quanto ao saneamento básico, que, com a ausência de tratamento esgoto, podem ser fontes de poluição das nascentes do mesmo rio.

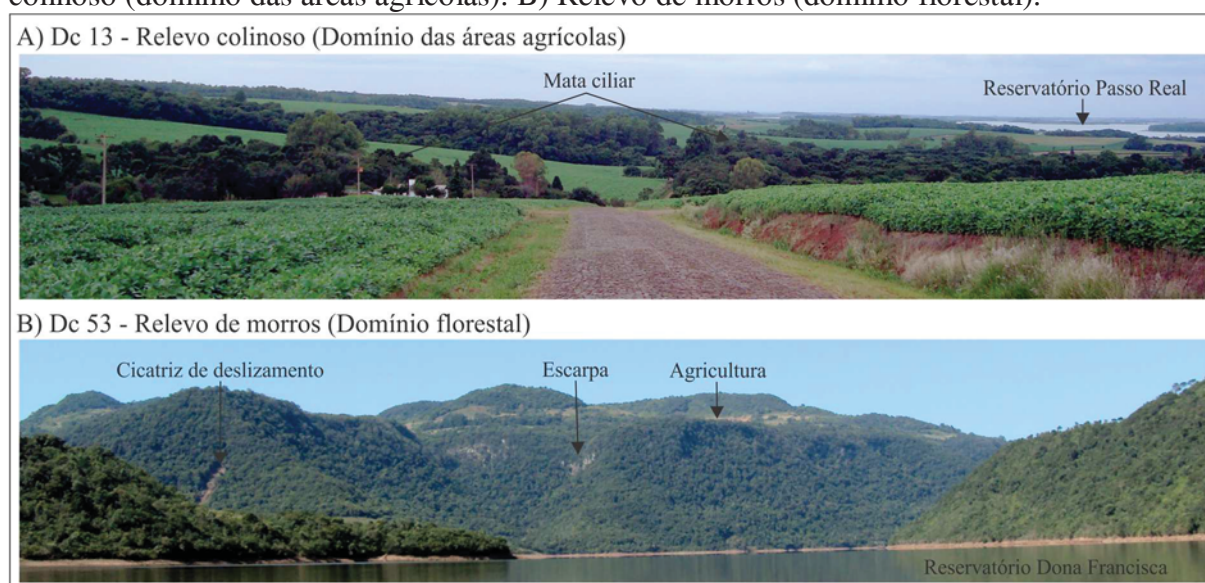
5.1.2.1. Uso da terra, compartimentos do relevo e conflitos ambientais

Os compartimentos do relevo foram utilizados para realizar o cruzamento com a declividade média, tipo de solo e uso da terra (Quadro 5.1). As culturas anuais são dominantes no compartimento Dc 13. A Figura 5.3a destaca o cultivo da soja próximo do reservatório Passo Real, com presença de florestas restringe-se ao entorno da rede de drenagem. Nos demais compartimentos, as áreas de campo e de floresta são mais expressivas. A Dc 53 é o compartimento que está mais ocupado com florestas. A Figura 5.3b destaca as florestas localizadas no entorno do reservatório Dona Francisca, com áreas agrícolas nos topos de morros.

Quadro 5.1 – Modelado do relevo do alto Jacuí e declividade média, tipo de solo e uso da terra de compartimento.

Modelado	Morfografia dominante	Área no AJ	Declividade média	Tipo de solo	Uso da terra
Dc 13	Colinas	79%	6 %	Latossolo vermelho (76%)	Área com domínio agrícola (62%), sendo o principal cultivo a soja.
Dc 23		4%	9 %	Latossolo vermelho (32%) e Argissolo + Neossolo (24%)	Área com domínio agrícola (44%) e ampliação das áreas de campo (31 %)
Dc 33	Morros e morrotes	11%	11 %	Chernossolo + Neossolo (34%) e Argissolo + Neossolo (30%)	Área com domínio agrícola (41%) e ampliação das áreas de campo (27 %), ampliando as áreas de floresta (31%).
Dc 43		1%	13 %	Nitossolo Vermelho (46%) e Latossolo Vermelho (21%)	Área com domínio agrícola (47%) e florestal (39%)
Dc 53		5%	23 %	Argissolo Vermelho (59%)	Área com domínio florestal (53%) e agrícola (28%)

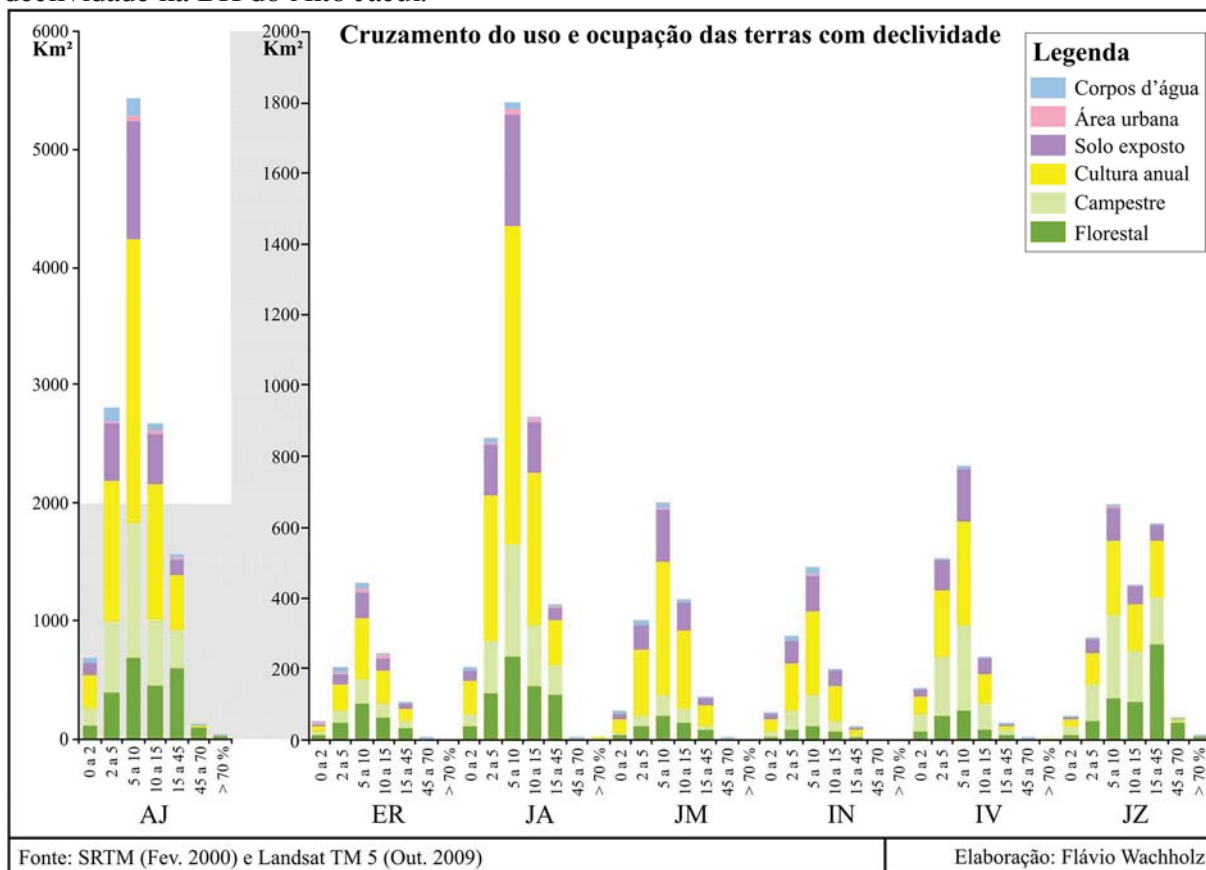
Figura 5.3 – Diferenças no uso da terra no Alto Jacuí em função do relevo. A) Relevo colinoso (domínio das áreas agrícolas). B) Relevo de morros (domínio florestal).



O cruzamento das áreas de uso e ocupação das terras com a declividade permitiu a quantificação do uso inadequado da terra (LEPSCH *et al.*, 1991) na BH do Alto Jacuí (Figura 5.4). Tendo em vista que as áreas de declividade entre 5 a 10 % predominam nas SHs, as culturas anuais também predominam nessa classe. O conflito é encontrado nas classes 10 a 15% e 15 a 45%, as quais deveriam estar ocupadas com florestas, campos ou culturas perenes, sendo mais de 50 % dessas áreas estão ocupadas com culturas anuais e solo exposto, principalmente para as SHs do reservatório Passo Real. As áreas de preservação permanente

em declividade acima de 45% estão ocupadas em sua maioria com florestas, mas, mesmo assim cerca de 8 km² são ocupadas com culturas anuais na SH Jacuizinho.

Figura 5.4 – Distribuição das classes de uso e ocupação e uso das terras em função da declividade na BH do Alto Jacuí.

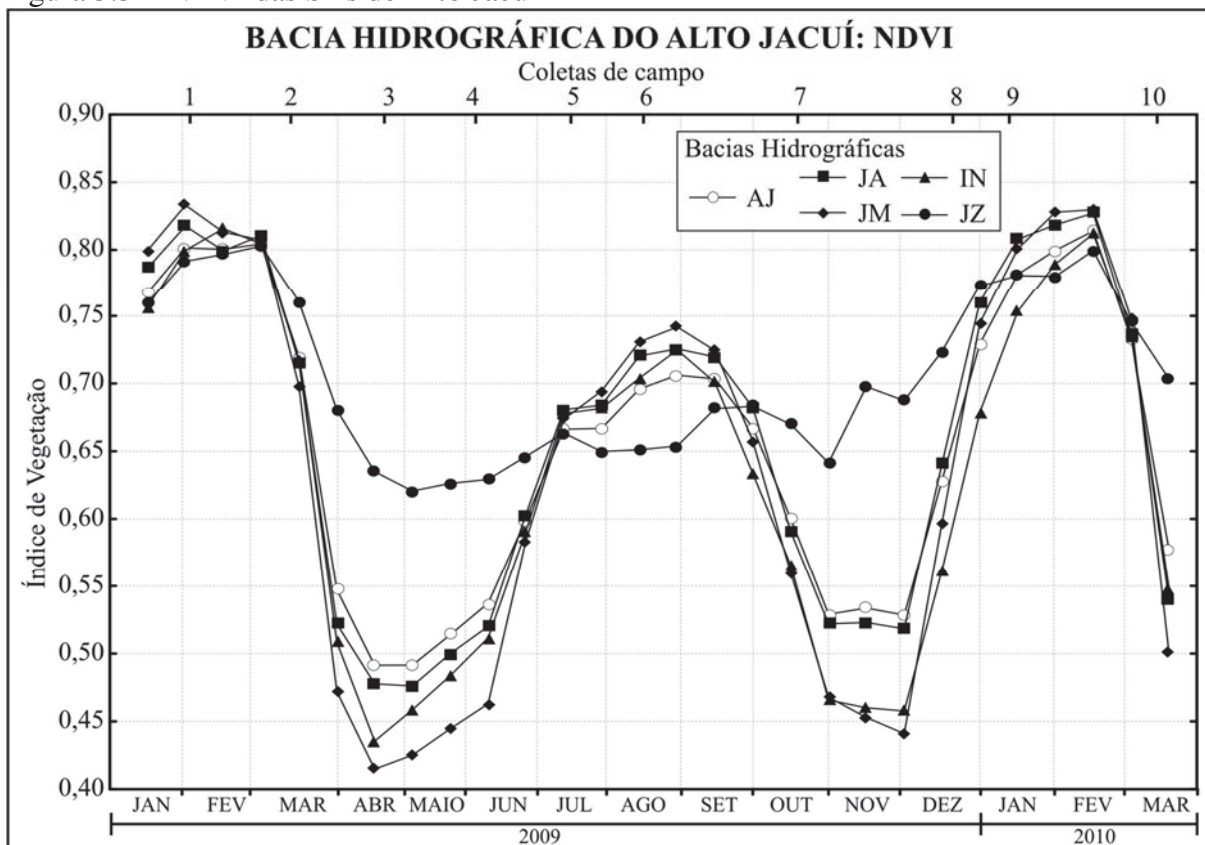


5.1.2.2. Uso da terra no contexto temporal

O contexto temporal do uso da terra das SHs foi acompanhado com imagens do sensor MODIS/Terra, a partir das imagens NDVI. As imagens permitiram a obtenção do NDVI médio das SHs do período de janeiro de 2009 a março de 10. O impacto do ciclo fenológico do cultivo da soja e do trigo no índice para as SHs pode ser observado na Figura 5.5. A menor variação do índice de vegetação ocorre para SH Jacuizinho em função da maior participação efetiva das florestas. Nas demais SHs ocorre a participação significativa das áreas agrícolas, tendo como aspecto relevante as diferenças proporcionadas pelo desenvolvimento fenológico e os períodos de entressafra. O solo está mais protegido contra a erosão quando os índices de vegetação são maiores (desenvolvimento vegetativo das culturas agrícolas) e muito desprotegido na entressafra quando o NDVI é baixo (período pós-colheita com solos cobertos

por palha ou expostos). Os períodos de entressafra ocorrem de 15 de abril a 15 de junho e de 20 de outubro a 10 de dezembro.

Figura 5.5 – NDVI das SHs do Alto Jacuí



5.1.3. Fragilidade ambiental no Alto Jacuí e pressão antrópica

As características dos elementos do geossistema e do sistema socioeconômico revelam a exposição ou proteção das SHs contra o escoamento superficial (perdas de solo e água) e as paisagens formadas representam diferentes estágios de evolução. O material transportado por escoamento superficial atinge a rede de drenagem, alcançando diferentes níveis altimétricos, de acordo com a capacidade e competência do rio. Fato que pode estar acontecendo na entrada desses rios nos reservatórios do Alto Jacuí, em que o processo dominante é deposição do material alóctone, produzindo impactos na limnologia dos reservatórios. A seguir são listadas as principais características que podem aumentar o escoamento superficial e uma maior facilidade na perda de materiais orgânicos e inorgânicos nas SHs para a rede de drenagem.

a) Precipitação pluviométrica: as chuvas são mais concentradas para borda leste da BH (município de Soledade). Por outro lado, as anomalias de precipitação, com alteração da frequência, duração e intensidade estão associadas à *El Niño* e à *La Niña*. Com a influência do *El Niño* as precipitações pluviométricas são superiores a normal climatológica em toda BH.

b) Relevo: o relevo ondulado, montanhoso e escarpado no setor sul da BH é um fator que determinada à sua fragilidade. O relevo dissecado do compartimento Dc 53, no entanto, dificultou a ocupação antrópica do setor e, a Floresta Estacional Decidual ficou preservada em muitas encostas.

c) Vegetação: a Savana, localizada no oeste da BH, apresenta matas ripárias (no entorno da rede de drenagem), e, principalmente gramíneas. São áreas que foram ocupadas com pecuária, e, são facilmente usadas para agricultura.

d) Solos: os solos na SH Jacuizinho, como os Neossolos Litólicos, são pouco desenvolvidos (STRECK *et al.*, 2008). Embora, sejam frágeis e estejam localizados em um relevo dissecado, a presença da Floresta Estacional Decidual auxilia na proteção do solo.

e) População: a alta densidade populacional das áreas urbanas, embora as cidades sejam pequenas, apontam para a impermeabilização do solo; e, além disso, os baixos índices de desenvolvimento de saneamento básico indicam a deficiência e/ou inexistência do tratamento de esgoto para quase todas as cidades.

f) Mineração: os maiores problemas com mineração estão no município de Salto do Jacuí, com a exploração de rochas ornamentais, onde é retirada a vegetação nas encostas e solo fica exposto aos processos erosivos. O primeiro reservatório a sofrer impacto é Itaúba.

g) Agricultura: o relevo colinoso e o Latossolo Vermelho (compartimento Dc 13) foram características naturais importantes na BH de Passo Real, para expansão das culturas da soja e do trigo. Atualmente, essa área é dominante agrícola, com culturas anuais que apresentam estágios de desenvolvimento vegetativo e, em função disso, expõe o solo sob diferentes formas aos processos erosivos. A exploração intensa do solo e o tipo de cultura exigem o uso de fertilizantes e agrotóxicos. Na SH Jacuizinho o cultivo do fumo ocorre em relevo dissecado, utilizando técnicas convencionais de preparo do solo.

e) Pecuária: a presença da Savana propiciou a ocupação da BH por bovinos. Os processos erosivos são bastante ocorrentes com essa atividade (pisoteio do gado) e os bovinos são seres que apresentam altos coeficientes de exportação de fósforo (SALAS e MARTINO, 1990).

5.2. Os reservatórios Passo Real e Dona Francisca

A vazão do rio Jacuí e perfil longitudinal dos rios abastecedores dos reservatórios do Alto Jacuí foram estudados. Na sequência são apresentadas as características morfométricas dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca, a definição da normal climatológica e do tempo atual e o tempo de residência dos reservatórios. As variáveis limnológicas são analisadas, relacionadas entre si e detectada a influência das SHs sobre as mesmas.

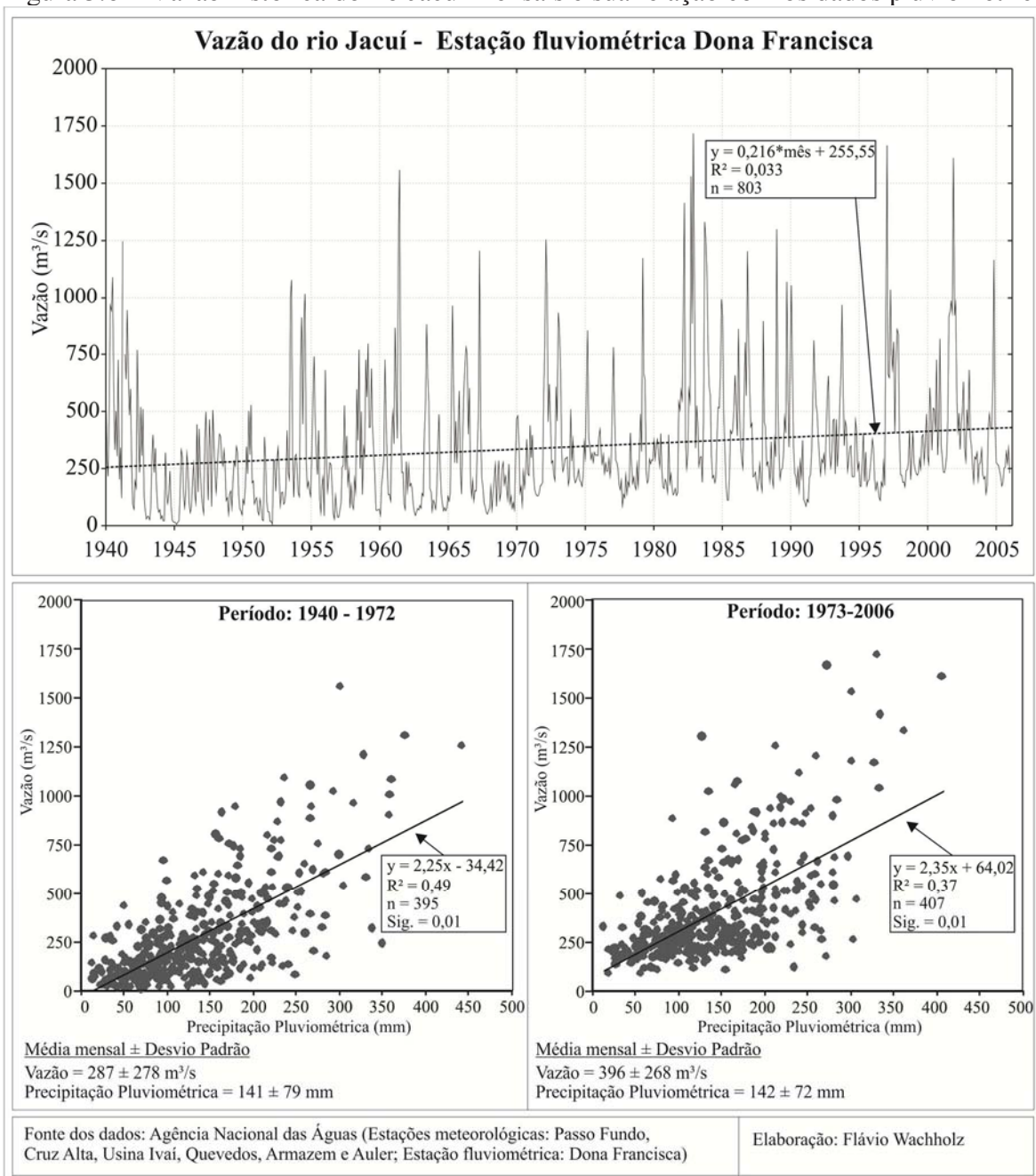
5.2.1. Vazão do rio Jacuí

O estudo sobre a vazão do rio Jacuí a partir dos dados da estação fluviométrica localizada à jusante da barragem de Dona Francisca do período de 1940 a 2006 (66 anos) permitiu identificar uma tendência no aumento da vazão ao longo do tempo (Figura 5.6). Para verificar a influência da inserção das barragens no Alto Jacuí, dividiu-se em dois períodos: 1940 a 1972 (Barragens Ernestina e Jacuí instaladas) e 1973 a 2006 (Passo Real e demais barragens instaladas). As médias de precipitação pluviométrica foram similares nos dois períodos (141 mm).

Analizando-se os gráficos da Figura 5.6, verifica-se a regularização da vazão do rio Jacuí após a instalação da barragem Passo Real para vazão mínima (a vazão mínima no primeiro período foi de 6 m³/s e segundo período foi de 85 m³/s) e máxima (a vazão máxima no primeiro período foi de 2.656 m³/s e segundo período foi de 1.718 m³/s). O maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,49$) no primeiro período mostrou que a vazão do rio era mais dependente do volume de chuvas. No segundo período, a forma como são operados as barragens interfere na vazão do rio Jacuí, indicando, portanto a regularização do rio após a instalação das barragens ($R^2=0,39$).

Outro fator a ser destacado é a maior vazão registrada no período 1973 a 2006 que excede 109 m³/s ao período anterior. No contexto histórico, em 1970, ocorre o processo de modernização da agricultura (mecanização, uso de fertilizantes e agrotóxicos) no planalto gaúcho, possibilitando a expansão das áreas e da produtividade do trigo e da soja (BRUM, 1987). A ampliação das áreas agrícolas com o suprimimento da vegetação e a consequente compactação do solo exercido pelas máquinas agrícolas causou a impermeabilização do solo na BH. Ainda, o sistema de plantio direto que controlou a superfície do solo contra a erosão hídrica, mas os terraços foram eliminados, pelos agricultores, e, consequência foi um maior escoamento superficial (GARCIA; RIGHES, 2008) e aumento da vazão do rio Jacuí.

Figura 5.6 – Vazão histórica do rio Jacuí mensais e sua relação com os dados pluviométricos

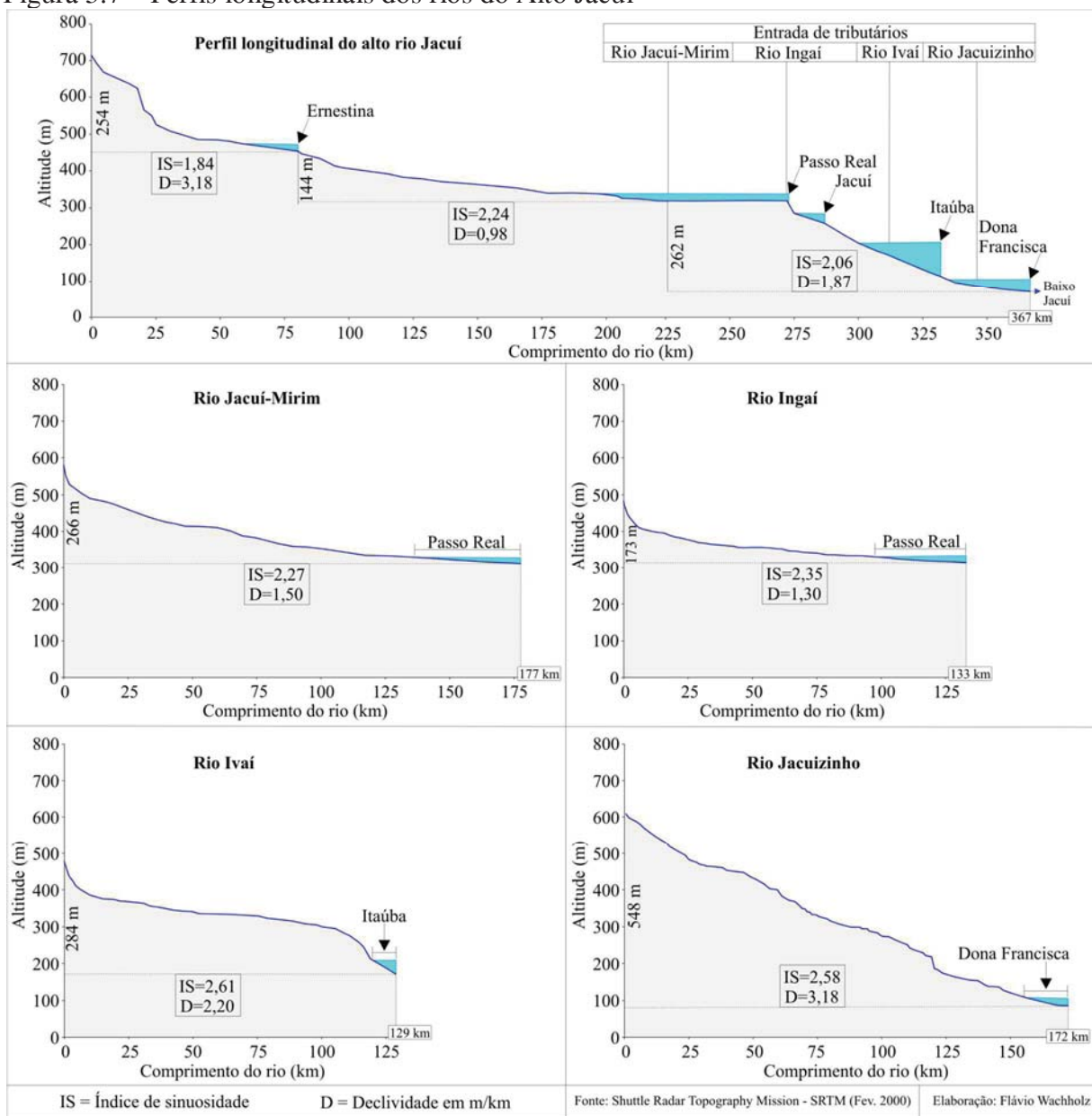


O escoamento superficial é ainda maior do que aquele representado pelo aumento da vazão do rio na estação Dona Francisca. A extensa lâmina d'água dos reservatórios, como é o caso de Passo Real, facilita o processo de evaporação. Por outro lado, quando se trata de balanço hídrico, a quantidade na entrada de água no sistema por meio da precipitação é igual, então onde está a perda no período anterior a construção das barragens? Provavelmente, a presença de áreas florestadas e maior infiltração nessas áreas, repercutiram nas perdas de água por evapotranspiração. Perdas de evapotranspiração decorrente do desmatamento são conhecidas na região Amazônica (CORREIA *et al.*, 2007).

5.2.2. Perfil longitudinal dos rios

O perfil longitudinal do rio Jacuí destaca três situações para o alto curso (Figura 5.7). O primeiro trecho refere-se da nascente até a barragem Ernestina, passando por relevos mais dissecados apresentando maior declividade e menor sinuosidade do canal. O segundo trecho que compreende a jusante da barragem Ernestina até Passo Real, com canal mais sinuoso, porém com menor declividade. O terceiro trecho refere-se da barragem Passo Real até a barragem Dona Francisca, passando por relevo dissecado que permitiu a construção de reservatórios em cascata para aproveitamento hidroelétrico.

Figura 5.7 – Perfis longitudinais dos rios do Alto Jacuí



A tipologia dos rios do Alto Jacuí é de padrão meandrante psamítico na qual a planície de inundação é estreita e apresenta uma descarga menos uniforme e com maior carga de fundo (IBGE, 2009). O rio Jacuí-Mirim apresenta-se inclinado e regular. O rio Ingaí apresenta-se com menor declividade. O rio Ivaí apresenta um longo trecho parecido com o Ingaí, mas nos seus últimos 25 km apresenta alta declividade com característica de rio encachoeirado. Nessa seção está instalada a Pequena Central Hidroelétrica Ivaí. E por último, o rio Jacuizinho que possui o maior desnível, com maior índice de sinuosidade e declividade.

5.2.3. Caracterização morfométrica dos reservatórios

As características morfométricas demonstram a superioridade do reservatório Passo Real (reservatório de acumulação) em relação à Dona Francisca (reservatório à fio d'água), conforme os dados apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Características morfométricas dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca

Característica	Unidade	UHE - Passo Real	UHE - Dona Francisca
Início de operação		Mar. 1973	Fev. 2001
Cidade de Localização		Salto do Jacuí	Nova Palma
Concessionária		CEEE*	DFESA** e CEEE*
Produção de energia	MW	158	125
Turbinas		2	2
Área do reservatório	Km ²	225,3	19,6
Altura do dique	m	58	51
Comprimento do dique	m	715	610
Profundidade máxima	m	47,0	43,5
Profundidade média	m	16,3	17,1
Queda líquida	m	41,0	38,5
Volume cota máxima	Km ³	3,671	0,335
Largura máxima	m	11.471,0	2.985,1
Comprimento máximo	m	44.600,0	21.740,0
Índice de desenvolvimento de margem	Adimensional	1,4	1,1
Índice de desenvolvimento de volume	Adimensional	1,04	1,17
Perímetro	km	593,8	142,5
Bacia hidrográfica	Km ²	8.199,4	13.290,0

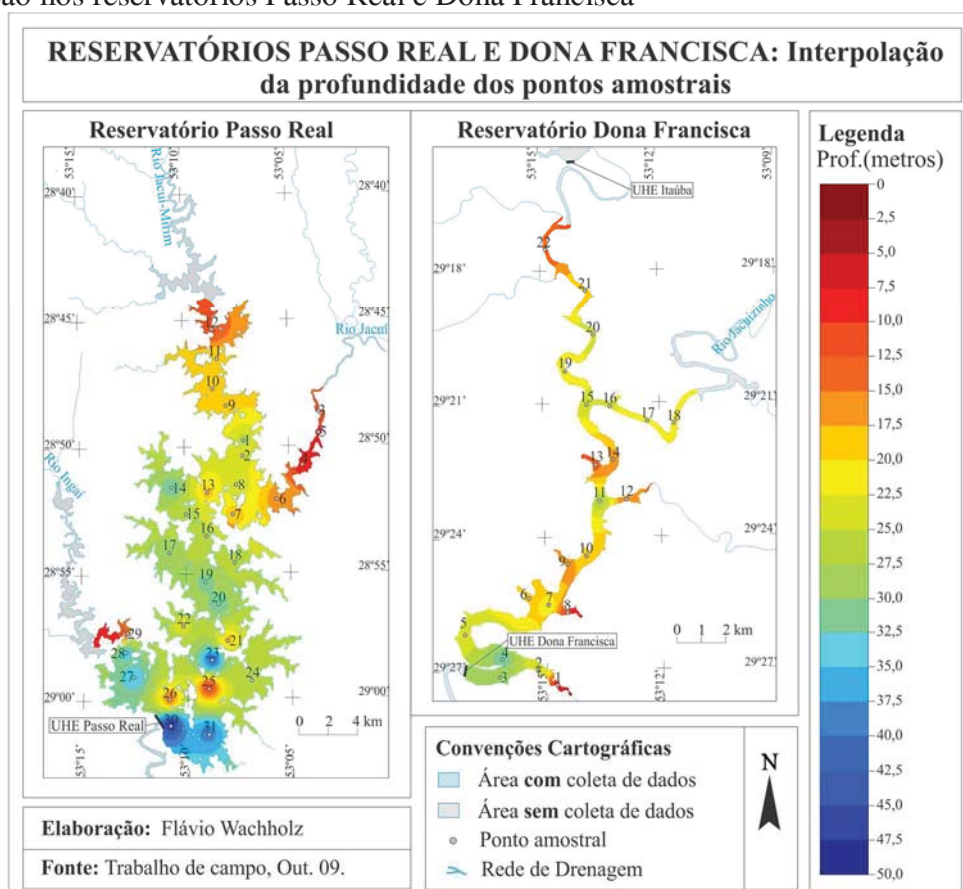
*Companhia Estadual de Energia Elétrica – Rio Grande do Sul **Dona Francisca Energética S.A

As complexidades do reservatório Passo Real são originárias da antiga rede de drenagem e ao compartimento geomorfológico no qual estão inseridos. O reservatório Passo Real, por estar inserido em compartimento de relevo colinoso, apresenta a maior área e volume, conseqüentemente apresenta as maiores larguras, comprimentos e perímetro que podem estar conferindo distintas características limnológicas aos reservatórios e a presença de

vários compartimentos aquáticos. Dona Francisca apresenta morfometria mais simples e poucos compartimentos aquáticos. Essas são condições que estabelecem gradientes vertical e horizontal nas variáveis limnológicas (KIMMEL *et al.*, 1990; TUNDISI e TUNDISI, 2008), possivelmente mais intensos para o reservatório Passo Real. Cardoso (2009) realizou um estudo com distintos lagos e reservatórios do Brasil e exterior, encontrando correlação significativa entre diversidade fitoplancônica com área, perímetro, volume, índice de desenvolvimento de margem e índice de desenvolvimento de volume.

Os mapas resultantes da interpolação dos pontos amostrais nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca são apresentados na Figura 5.8. As menores profundidades são encontradas na entrada dos rios no reservatório que conferem curtos tempos de residência a esses setores. As maiores profundidades estão presentes próximos ao dique, sendo observado com maior intensidade para o reservatório Passo Real. Esse reservatório apresenta uma maior variação na profundidade (variância de 73m para Passo Real e 34 m para Dona Francisca).

Figura 5.8 – Mapas resultantes da interpolação da profundidade dos pontos amostrais com sua localização nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca



5.2.3. Definição da normal climatológica e tempo atual

A normal climatológica da precipitação pluviométrica anual para o Alto Jacuí foi definida (1397 (25%) – 1643 (50%) – 1929 mm (75%)). Na Tabela 5.1 estão as normais climatológicas mensais de precipitação pluviométrica do Alto Jacuí e a probabilidade de ocorrência de mês seco, normal e chuvoso. Nesse sentido, abril e maio são meses secos; setembro e outubro são meses chuvosos.

Tabela 5.1 – Normal climatológica da precipitação pluviométrica do Alto Jacuí (1940-2006)

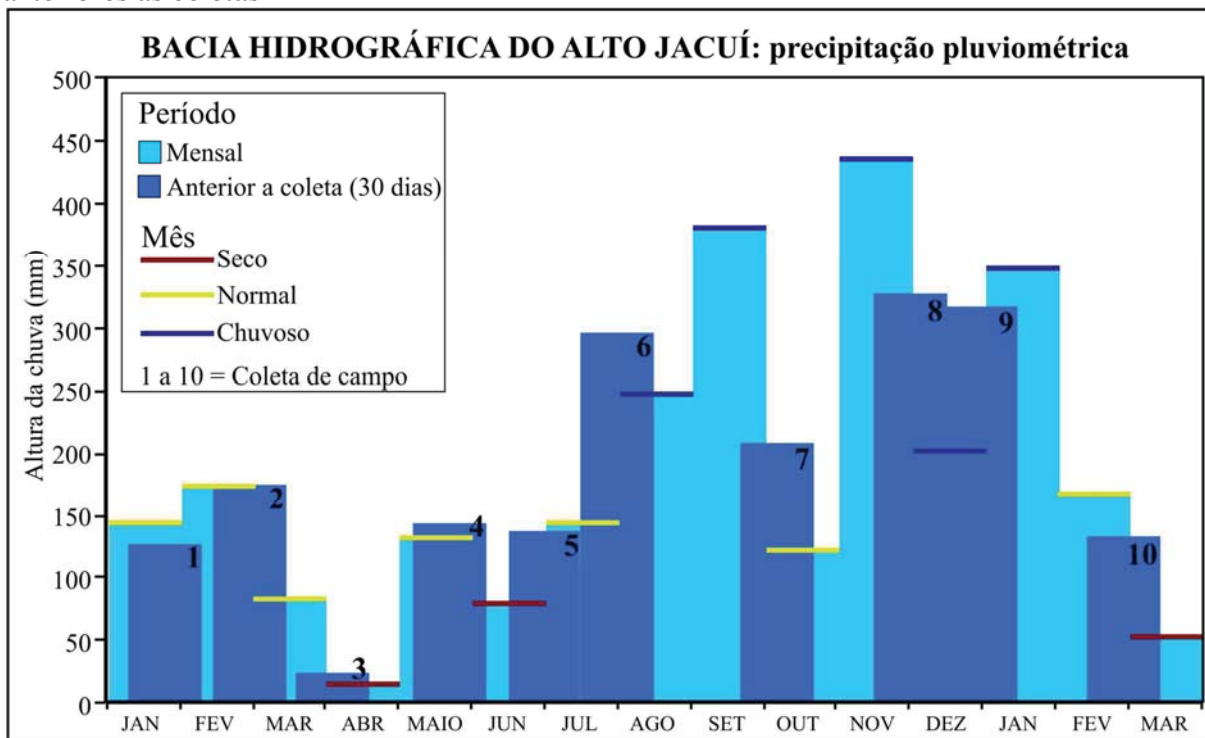
Chuva (mm)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Anual
1º Quartil	89	82	79	64	59	86	80	76	104	102	69	83	87
2º Quartil	131	131	115	103	110	130	129	124	154	164	108	121	131
3º Quartil	195	169	163	185	178	185	177	190	211	221	177	187	186
Prob. (%)*													
Seco	16	25	25	37	33	24	22	28	15	16	34	25	25
Normal	56	56	62	36	43	51	56	46	54	45	46	51	50
Chuvoso	28	19	13	27	24	25	22	25	31	39	19	24	25

* Em negrito a tendência dos meses diante a normal climatológica da precipitação pluviométrica.

Fonte: obtido com base nos dados contidos em ANA, 2010.

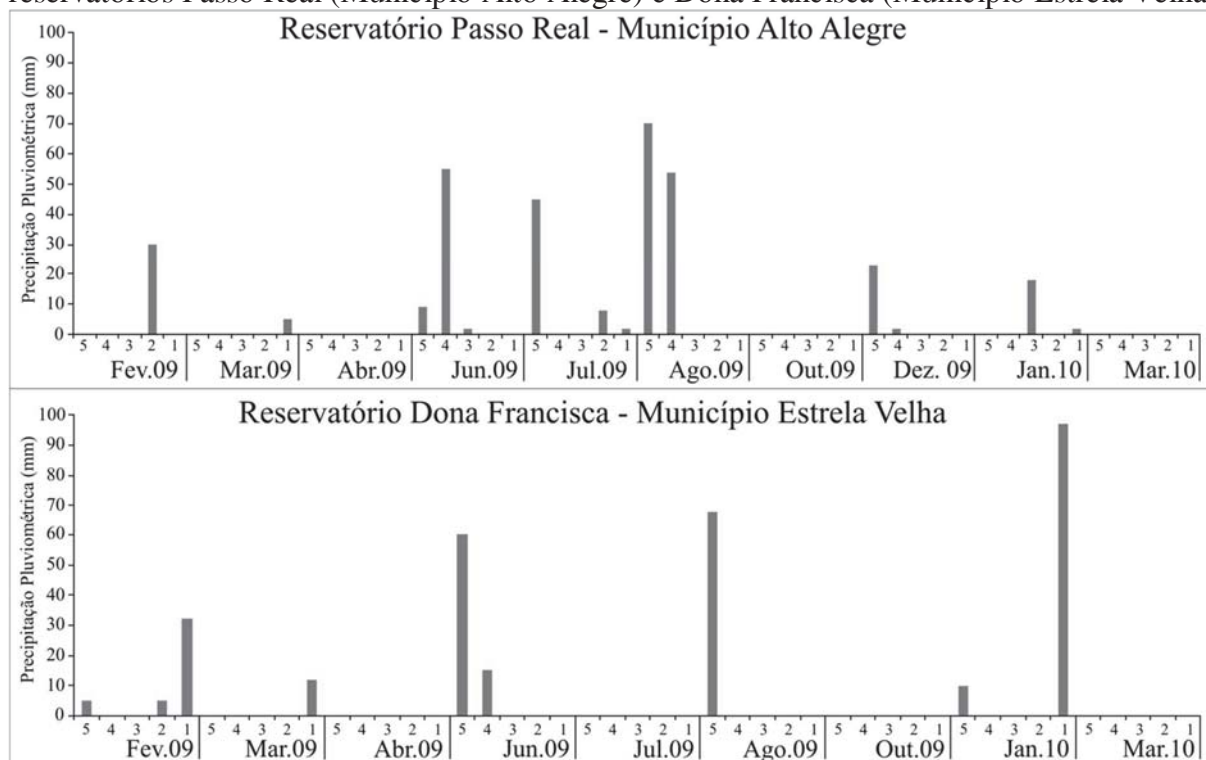
Com base na normal climatológica foi verificado o volume de precipitações no período da realização dos trabalhos de campo. A precipitação pluviométrica registrada no ano de 2009 foi em média de 2.152 mm para a BH do Alto Jacuí caracterizado como sendo um ano chuvoso. No entanto, a distribuição mensal foi irregular, conforme apresentado na Figura 5.9. No período de janeiro de 2009 até julho de 2009 compreendem o período seco a normal (influência da *La Niña*, com 110 mm mensais), e, agosto de 2009 a janeiro de 2010, o período chuvoso (influência do *El Niño*, com 288 mm mensais). No mês seguinte, fevereiro de 2010, os dados apontam para o retorno do período normal de chuvas.

Figura 5.9 – Precipitação pluviométrica do Alto Jacuí considerando os períodos mensais e anteriores as coletas



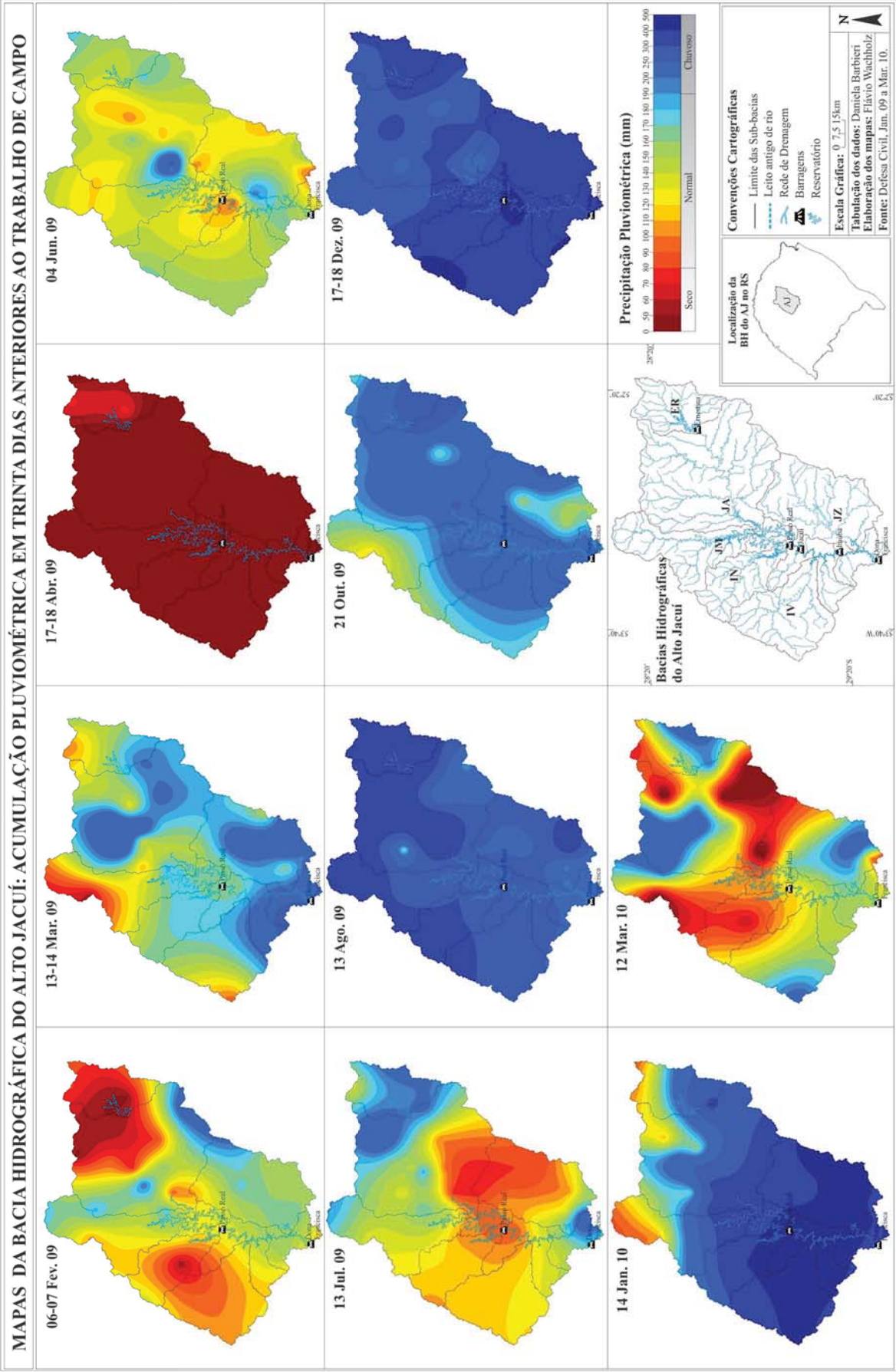
O registro de chuvas em cinco dias anteriores dos trabalhos de campo para municípios limítrofes dos reservatórios foi caracterizado para verificar as possíveis interferências nas variáveis limnológicas dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca (Figura 5.10). Os dados de chuva cinco dias anteriores a coleta mostraram a maior ocorrência de chuvas em Jun.09 a Ago.09 para o reservatório Passo Real e Jun.09, Ago.09 e Jan.10 para o reservatório Dona Francisca.

Figura 5.10 – Precipitação pluviométrica em cinco dias anteriores a coleta de campo nos reservatórios Passo Real (Município Alto Alegre) e Dona Francisca (Município Estrela Velha)



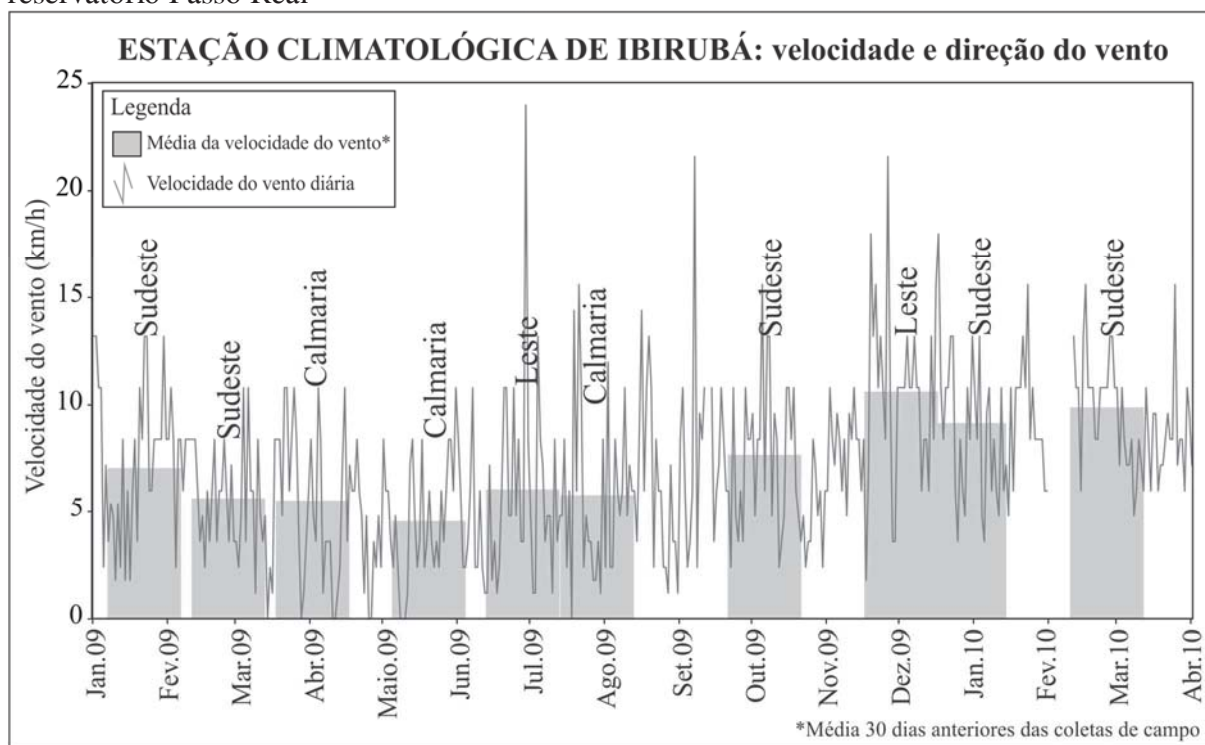
A interpolação dos dados pluviométricos mostra uma regularidade no volume de chuvas para o Alto Jacuí para os períodos chuvosos (30 dias anteriores à coleta) (Figura 5.11). No período seco a normal caracteriza-se pela irregularidade na distribuição das chuvas. O mês de abr.09 é o mais seco e os meses ago.09 e dez.09 são chuvosos para todo Alto Jacuí. O período de nov.09 a jan.10 o rio Jacuí ocorreram várias inundações causando prejuízos a população, com destaque da queda da ponte sobre o mesmo rio no dia 5 de janeiro de 2010 no município de Agudo (SAUSEN, 2011). Nesse episódio as chuvas foram muito intensas na SH Ivaí e Jacuizinho. A irregularidade das chuvas durante o período de análise e para as SHs pode determinar particularidades limnológicas aos compartimentos aquáticos dos reservatórios.

Figura 5.11 – Volume pluviométrico acumulado em trinta dias anteriores ao trabalho de campo no Alto Jacuí



A velocidade e a direção do vento registradas na Estação Climatológica de Ibirubá (Norte do reservatório Passo Real) permitem constatar o domínio dos meses de calmaria que compreende Fev.09 a Ago.09 com uma velocidade média 5,7 km/h e com ventos sudeste de Set.09 a Mar.10 com uma velocidade média 8,7 km/h (Figura 5.12). As duas situações estão relacionadas às condições de precipitação pluviométrica que define os períodos normal e chuvoso.

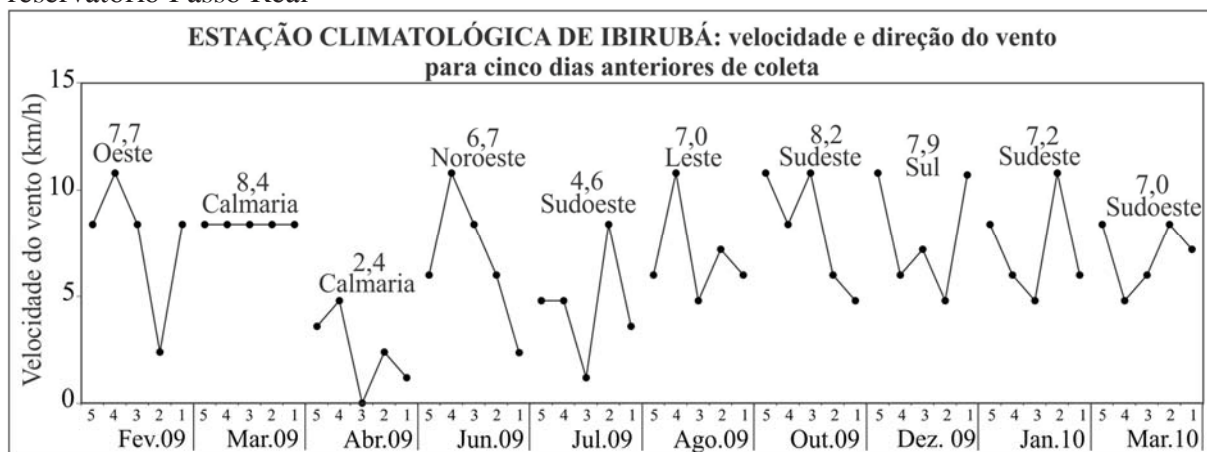
Figura 5.12 – Velocidade e direção do vento durante o período de coleta dos dados no reservatório Passo Real



Fonte: INMET, 2011.

A condição mais específica para a análise foi delimitada cinco dias anteriores das coletas dos dados de campo para o reservatório Passo Real (Figura 5.13). Os dias de calmaria de vento ocorreram em abr.09 e mar.09, sendo que neste último ocorrem ventos sudeste que levou as médias diárias. No período chuvoso os ventos dominantes são originários do quadrante leste e sul.

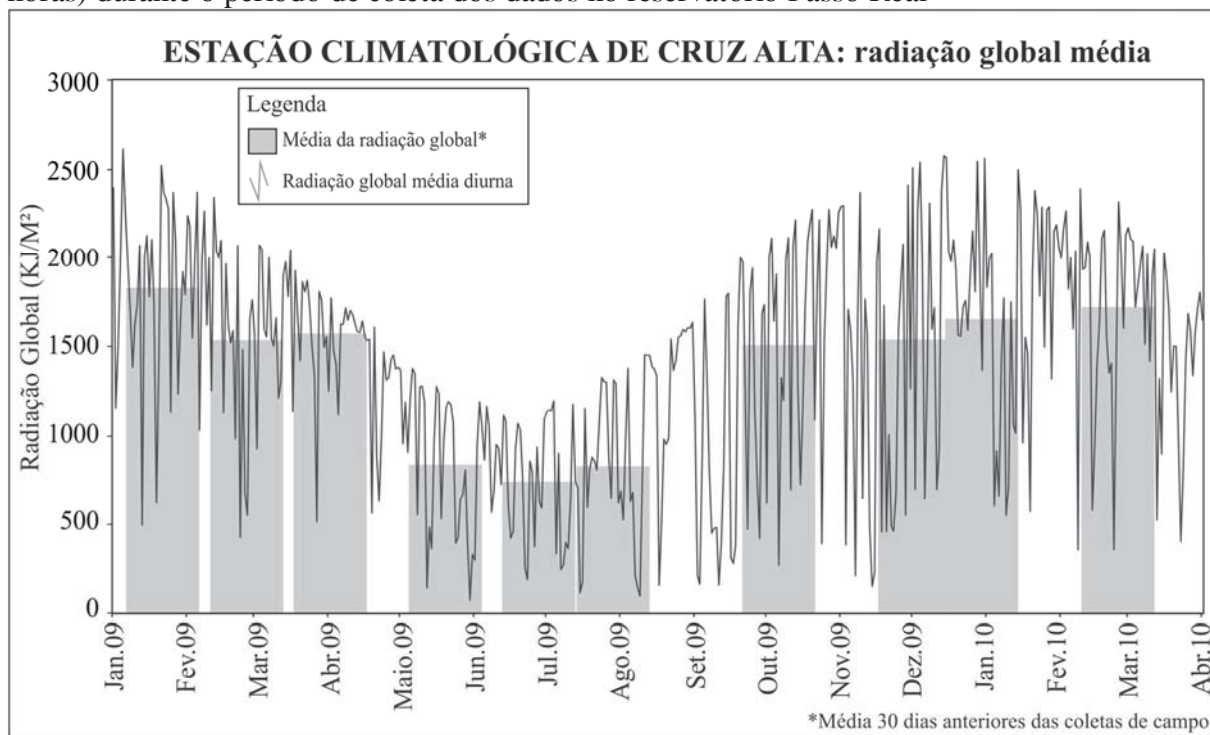
Figura 5.13 – Velocidade e direção do vento para cinco dias anteriores de coleta dos dados no reservatório Passo Real



Fonte: INMET, 2011.

A radiação global média diurna apresentou um padrão associado aos meses de inverno e outro padrão os meses de coleta de primavera/verão/outono (Figura 5.14).

Figura 5.14 – Radiação global média diurna (média diária dos dados horários das 9 a 21 horas) durante o período de coleta dos dados no reservatório Passo Real



Fonte: INMET, 2011.

5.2.3.1. Condições *in situ* durante a coleta de dados

Embora as condições meteorológicas adequadas fossem consideradas para a realização de trabalhos de campo ocorreram situações *in loco* de céu coberto com nuvens. No reservatório Dona Francisca ocorreu restrições de luminosidade em Mar.09, Jul.09 e Jan.10 (Tabela 5.2). Essa restrição pode influenciar na medida da transparência da água e no albedo de reflectância.

A velocidade média do vento durante o período analisado no reservatório Passo Real foi de 6,8 km/h e Dona Francisca foi de 5,6 km/h (Tabela 5.3). A direção do vento dominante em campo foi leste. Velocidades do vento acima de 10 km/h no reservatório Passo Real podem desenvolver alta rugosidade (Tabela 5.4) conforme seu acesso à massa d'água (localização do ponto amostral). Com a mesma velocidade do vento no reservatório Dona Francisca a rugosidade na água é baixa para todos os pontos amostrais. Dada à condição do vale encaixado (Dc 53) no qual o reservatório Dona Francisca está inserido, dificulta o acesso do vento a superfície da água e sua movimentação.

Tabela 5.2 – Condição do céu durante a aquisição dos dados de campo nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca

	Fev.09	Mar.09	Abr.09	Jun.09	Jul.09	Ago.09	Out.09	Dez.09	Jan.10	Mar.10
PR	1 a 2	1	1	1 e 3	3	1	2 a 4	1 a 4	1 a 2	1 a 2
DF	1	3 a 4*	1	2 a 4	4*	1	1		4*	1

Legenda: 1 – Céu Claro; 2 – Esparso; 3 – Parcialmente Nublado; 4 – Nublado. * Nublado com restrições de luminosidade: < 20.000 Lux.

Tabela 5.3 – Velocidade do vento média (Km/h) e direção durante a aquisição dos dados de campo nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca

	Fev.09	Mar.09	Abr.09	Jun.09	Jul.09	Ago.09	Out.09	Dez.09	Jan.10	Mar.10
PR	3,2 N	10,2 NW	5,5 E	8,7 E	8,2 N	4,6 NW	4,5 E	12,5 E	7,2 SE	3,6 *
DF	11,0 S	3,6 E	9,1 E	4,5 E	2,6 NW	6,5 N	3,1 W		5,4 W	4,3 *

* Diferentes direções do vento durante o dia de coleta

Tabela 5.4 – Rugosidade da superfície da lâmina d'água durante a aquisição dos dados de campo nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca

	Fev.09	Mar.09	Abr.09	Jun.09	Jul.09	Ago.09	Out.09	Dez.09	Jan.10	Mar.10
PR	1 a 2	2 a 4	2	2 a 3	3	2	1 a 3	2 a 4	2 a 3	2
DF	2	1 a 2	2	2	2	2	2		2	2

Legenda: 1 – Lisa; 2 – Baixa; 3 – Média; 4 – Alta.

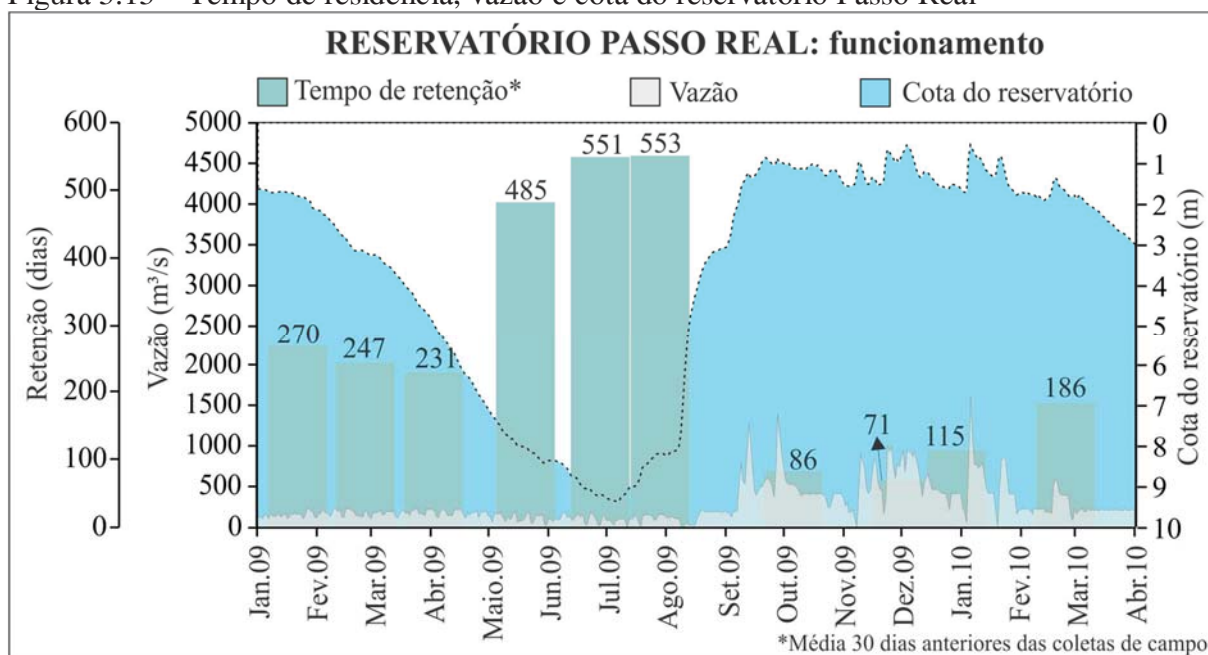
5.2.4. Tempo de residência das águas dos reservatórios

A menor dimensão da BH do reservatório Passo Real em relação à Dona Francisca faz com que receba uma menor vazão pelos tributários e juntamente com grande volume de água do reservatório, proporcionam um tempo de residência de aproximadamente 17 vezes superior ao do reservatório Dona Francisca (Figura 5.15 e 5.16). Com base nos dados históricos de vazão, o tempo de residência médio do reservatório Passo Real é de 187 dias e Dona Francisca é de 11 dias (1973-2006). Durante o período de coleta o tempo de residência médio foi de 261 dias para Passo Real e 16 dias para Dona Francisca. No período normal, o tempo de residência de Passo Real foi em média de 319 dias e Dona Francisca foi de 21 dias. No período chuvoso, o tempo de residência de Passo Real é em média de 175 dias e Dona Francisca é de 7 dias.

A redução da vazão dos rios durante os meses normais no reservatório reduziu a cota dos reservatórios. Passo Real por seu tamanho apresentou a maior redução da cota de até 9 m em jul.09. Dona Francisca apesar de ter apresentado uma redução do nível de até 3 m no final de ago.09, que destaca é a passagem da água pelo vertedor de set.09 até fev.09, relacionado às altas vazões do rio Jacuí durante o período chuvoso. A administradora da usina diante o baixo nível das barragens represou a água oriunda dos altos índices pluviométricos ocorridos na BH no mês de ago.09.

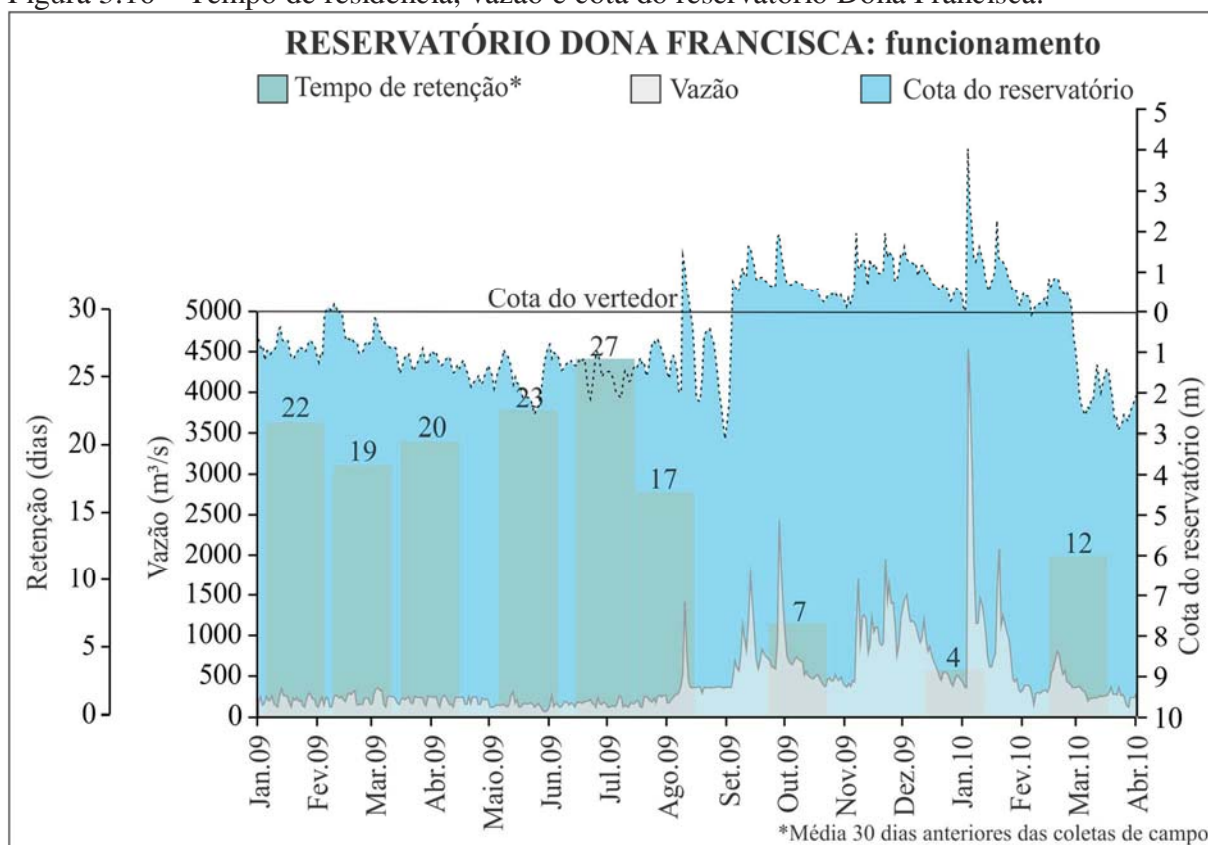
De acordo com a classificação proposta por Straškraba e Tundisi (2000), o reservatório Passo Real apresenta um tempo de residência médio (15 a 365 dias, com comportamento intermediário e características lacustres) e Dona Francisca é curto (<15 dias – reservatório com correntes longitudinais rápidas, similar a um rio). O maior tempo de residência do reservatório Passo Real, juntamente com a complexidade do contorno, proporciona diferentes tempos de residência para seus compartimentos aquáticos. Nesse sentido, próximo ao dique do reservatório, o tempo de residência da água ainda é mais elevado, com o registro de baixas concentrações de nutrientes dissolvidos (KIMMEL *et al.*, 1990) e material em suspensão. Vale destacar, o tempo de residência dos reservatórios Jacuí e Itaúba, que foram em média de 2 e 33 dias durante o período analisado, respectivamente. Com esse tempo de residência o reservatório de Itaúba pode desenvolver estratificação térmica na coluna d'água.

Figura 5.15 – Tempo de residência, vazão e cota do reservatório Passo Real



Fonte: CEEE, 2011.

Figura 5.16 – Tempo de residência, vazão e cota do reservatório Dona Francisca.



Fonte: CEEE, 2011.

5.2.5. Variáveis limnológicas

As variáveis limnológicas analisadas foram transparência Secchi, temperatura, concentração de clorofila *a*, total de sólidos em suspensão e carbono orgânico dissolvido. A transparência da água é apresentada em primeiro momento, pois a partir dessa medida foram realizadas as coletas das demais variáveis limnológicas na coluna d'água.

5.2.5.1. Transparência Secchi

A transparência Secchi média da água do reservatório Passo Real foi de $1,2 \pm 0,9$ m e de Dona Francisca foi de $1,4 \pm 0,8$ m. Considerando os períodos relacionados à precipitação pluviométrica, Passo Real apresentou $1,7 \pm 0,8$ m no período normal e $0,6 \pm 0,3$ m no período chuvoso; Dona Francisca apresentou $1,8 \pm 0,7$ m no período normal e $0,7 \pm 0,3$ m no período chuvoso (Figuras 5.17 e 5.18). Com isso, pode-se confirmar uma maior transparência para o reservatório Dona Francisca, e, indicando a participação do regime de chuvas na variação da transparência para ambos os reservatórios. No entanto, as mínimas e as máximas transparências são encontradas no reservatório Passo Real.

Na análise temporal, o reservatório Passo Real apresentou um período de altas transparências de Fev.09 a Ago.09 e maior amplitude nos dados. De Out.09 a Jan.10 dominam as baixas transparências e baixa variação dos dados. Em Mar.10, quando retornam as condições normais de precipitação pluviométrica, as altas transparências são recuperadas. O reservatório Dona Francisca apresenta um ritmo semelhante, porém a amplitude dos dados da transparência é menor. As transparências máximas são encontradas para os meses de Abr.09, Jun.09 e Jul.09. O mês de Jan.10 apresentou a menor transparência em função do grande volume de chuvas ocorrido anteriormente a coleta.

Figura 5.17 – Estatística descritiva mensal e períodos normal/chuvoso da transparência da água do reservatório Passo Real.

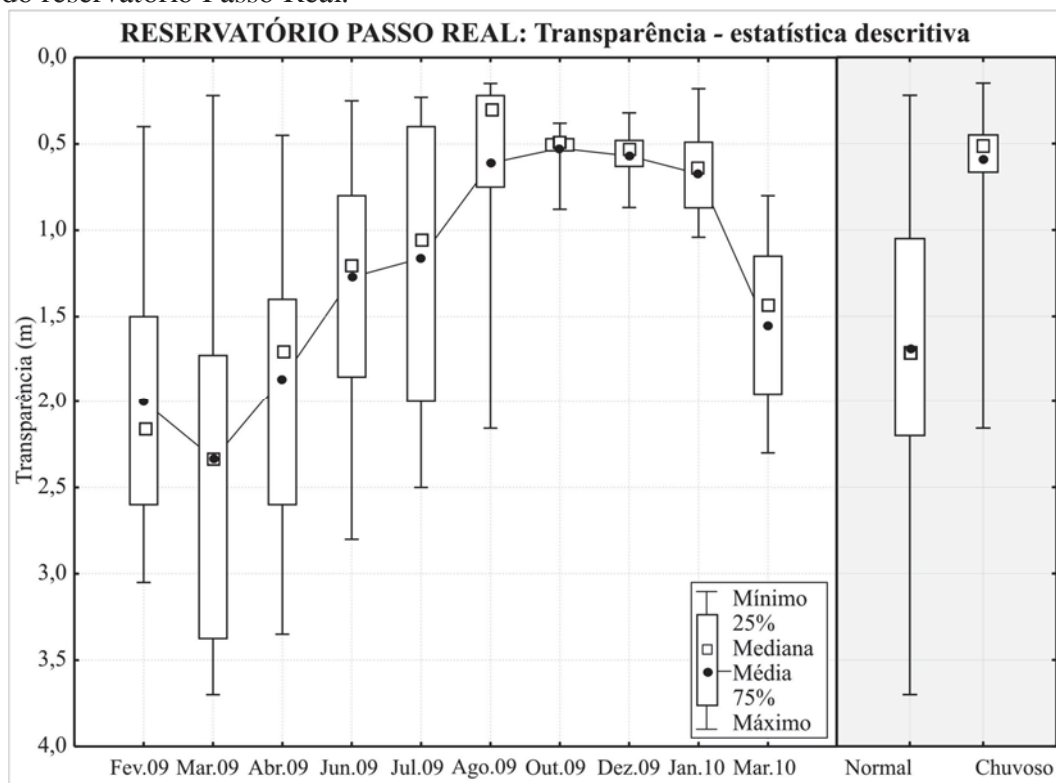
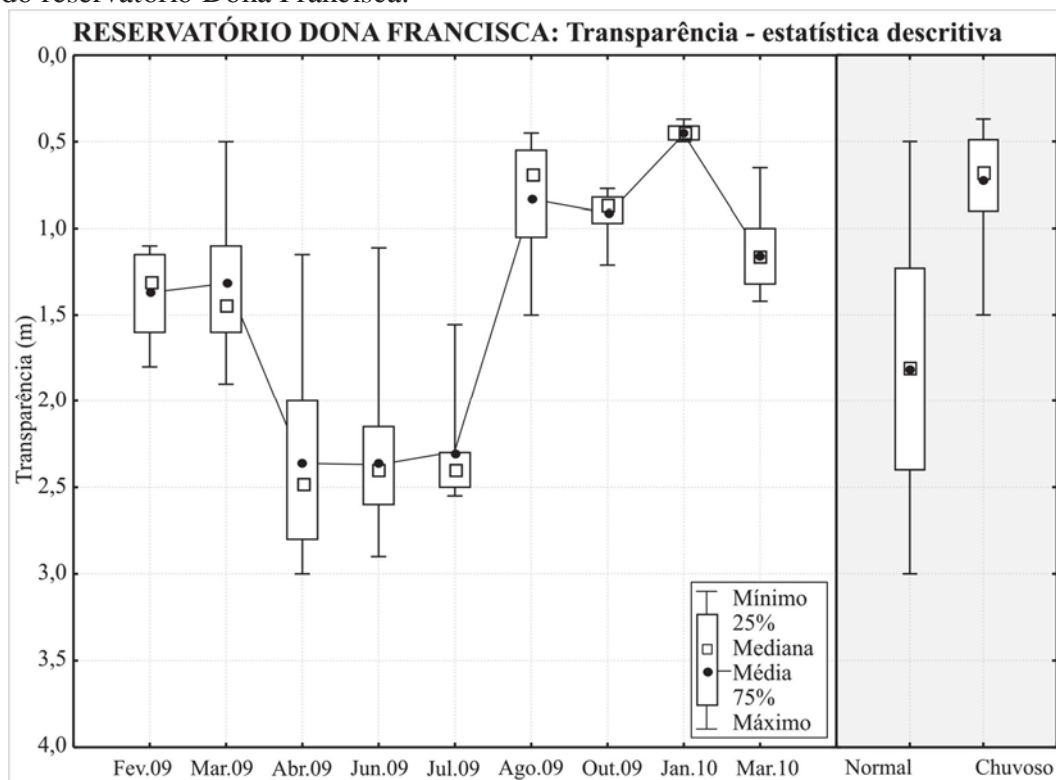


Figura 5.18 – Estatística descritiva mensal e períodos normal/chuvoso da transparência da água do reservatório Dona Francisca.



A análise de agrupamento para a transparência da água mostrou principalmente a interferência dos períodos normais e chuvosos (Figuras 5.19 e 5.20). A redução do nível do reservatório Passo Real também resultou na diminuição da transparência da água, que individualiza o grupo de Jun.09 e Jul.09. Isso aconteceu a meses sucessivos de baixo volume pluviométrico e a manutenção da vazão para a geração de hidroeletricidade, tendo como consequência a redução do nível do reservatório e migração da zona de rio para regiões mais interiores do reservatório.

Figura 5.19 – Dendrograma para a análise de agrupamento da transparência da água do reservatório Passo Real

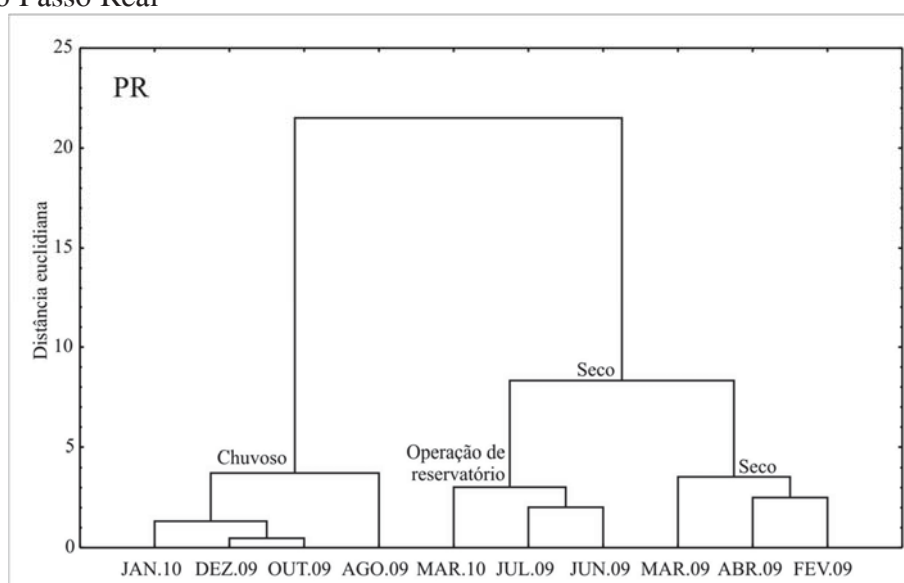
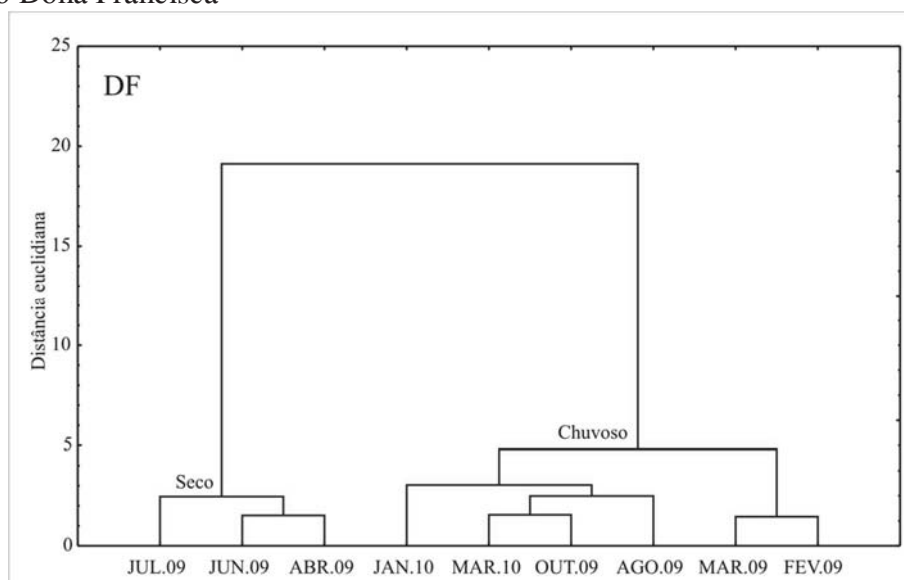


Figura 5.20 – Dendrograma para a análise de agrupamento da transparência da água do reservatório Dona Francisca



As menores transparências são encontradas nos tributários e aumenta no sentido deste até a barragem (Figuras 5.21 e 5.22). Esse resultado também foi encontrado por Stevaux et al (2009) nos reservatórios do rio Paraná. A diferença no reservatório Passo Real no período normal é superior a 2 m e no período chuvoso é de 0,5 m. No reservatório Dona Francisca, a diferença do rio Jacuizinho ao dique no período normal é superior a 1 m, enquanto no período chuvoso a transparência diminui. O aumento da transparência da água reforça a ideia de que o reservatório Passo Real apresenta as zonas longitudinais bem definidas. Já Dona Francisca, dado o seu menor tempo de residência, principalmente no período chuvoso, quando é de aproximadamente 4 dias, cujo funcionamento é semelhante a um rio.

Figura 5.21 – Média da transparência da água para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.

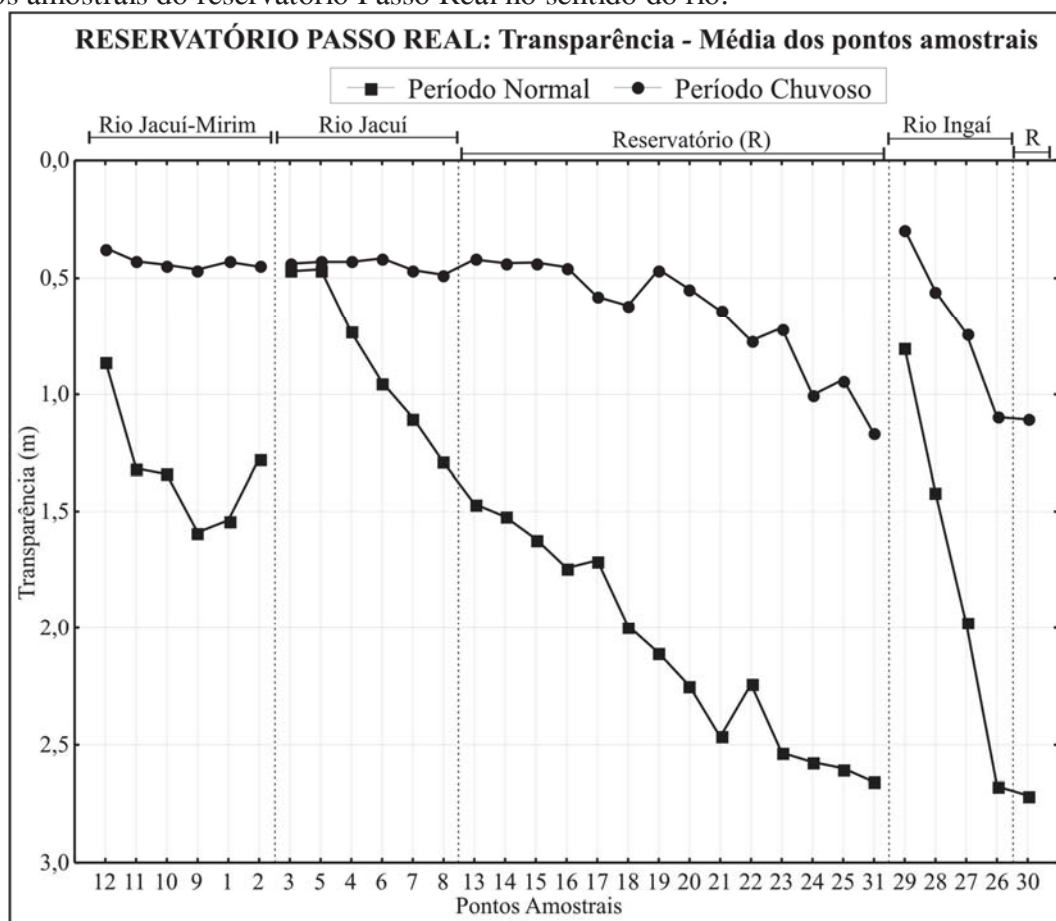
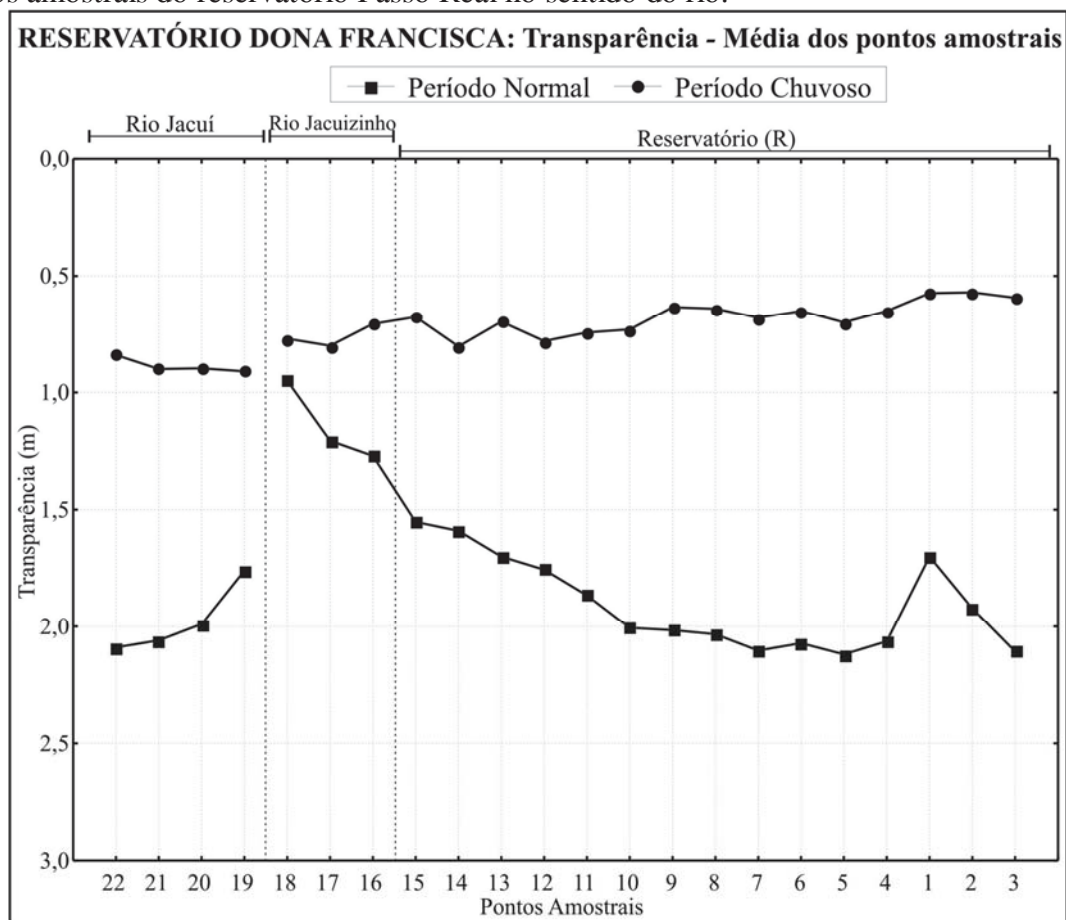


Figura 5.22 – Média da transparência da água para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.



O contexto espaço-temporal mostra a participação dos tributários na interferência na transparência do reservatório Passo Real (Figura 5.23). O período de fev.09 a abr.09 as águas são muito transparentes, principalmente correspondentes o eixo do ponto PR-20 a PR-30. Essa condição é alterada em Jun.09 e Jul.09, quando as águas dos rios avançam para áreas mais centrais do reservatório. Em ago.09, a redução do nível da água, e, aumento das chuvas (mês chuvoso), proporcionou a diminuição da transparência em quase todo reservatório. Esse momento pode ser caracterizado como um grande pulso de material no reservatório. Em out.09 e Dez.09 a transparência apresenta pouca variação no reservatório, relacionado ao grande volume de chuvas e o baixo tempo de retenção das águas no reservatório. Em jan.10 ocorre a redução da precipitação pluviométrica na BH e a transparência aumenta. Em mar.10, com o retorno do período normal a transparência já é semelhante ao ano anterior de altas transparências.

Figura 5.23 – Espacialização da transparência da água do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10)

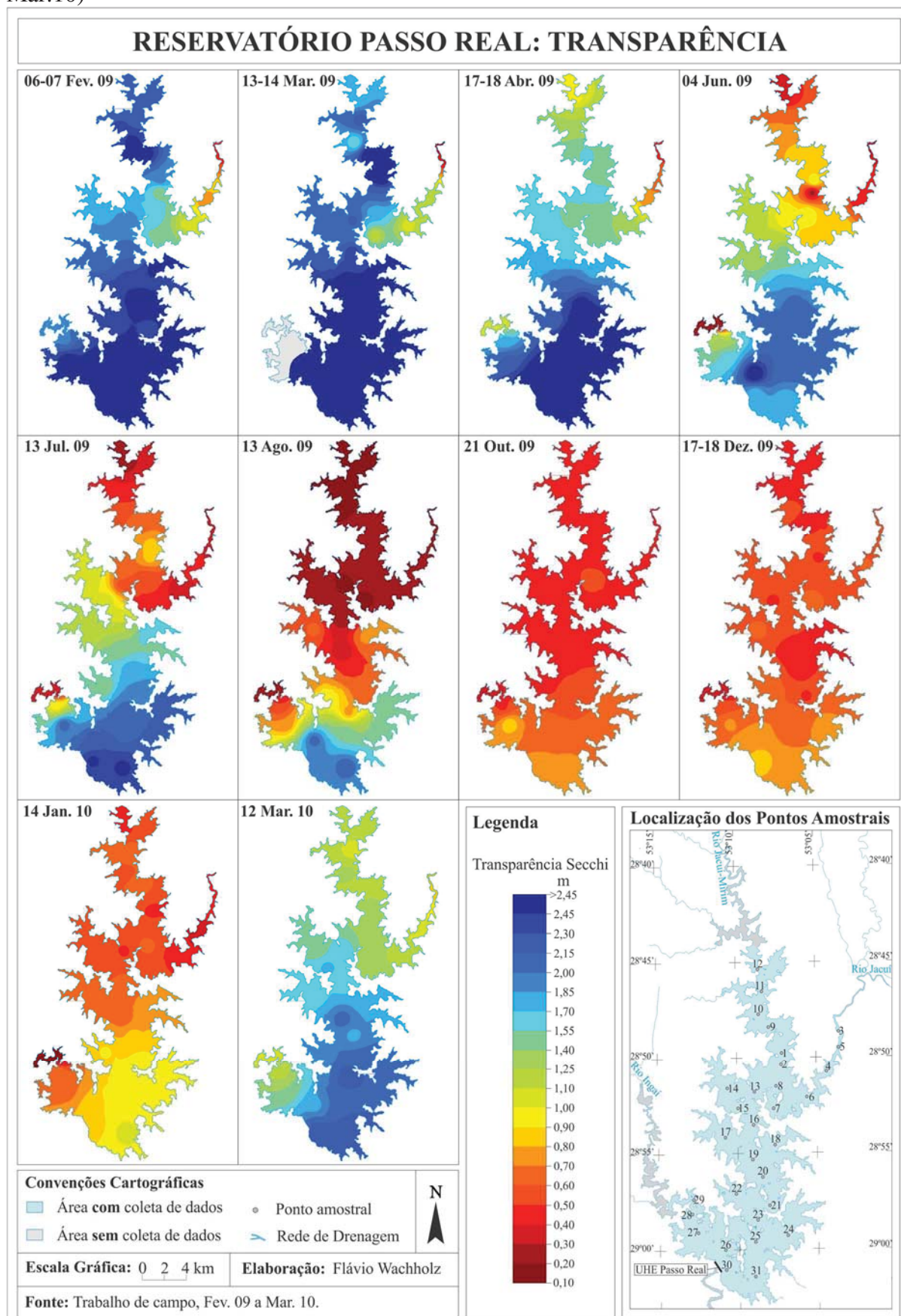
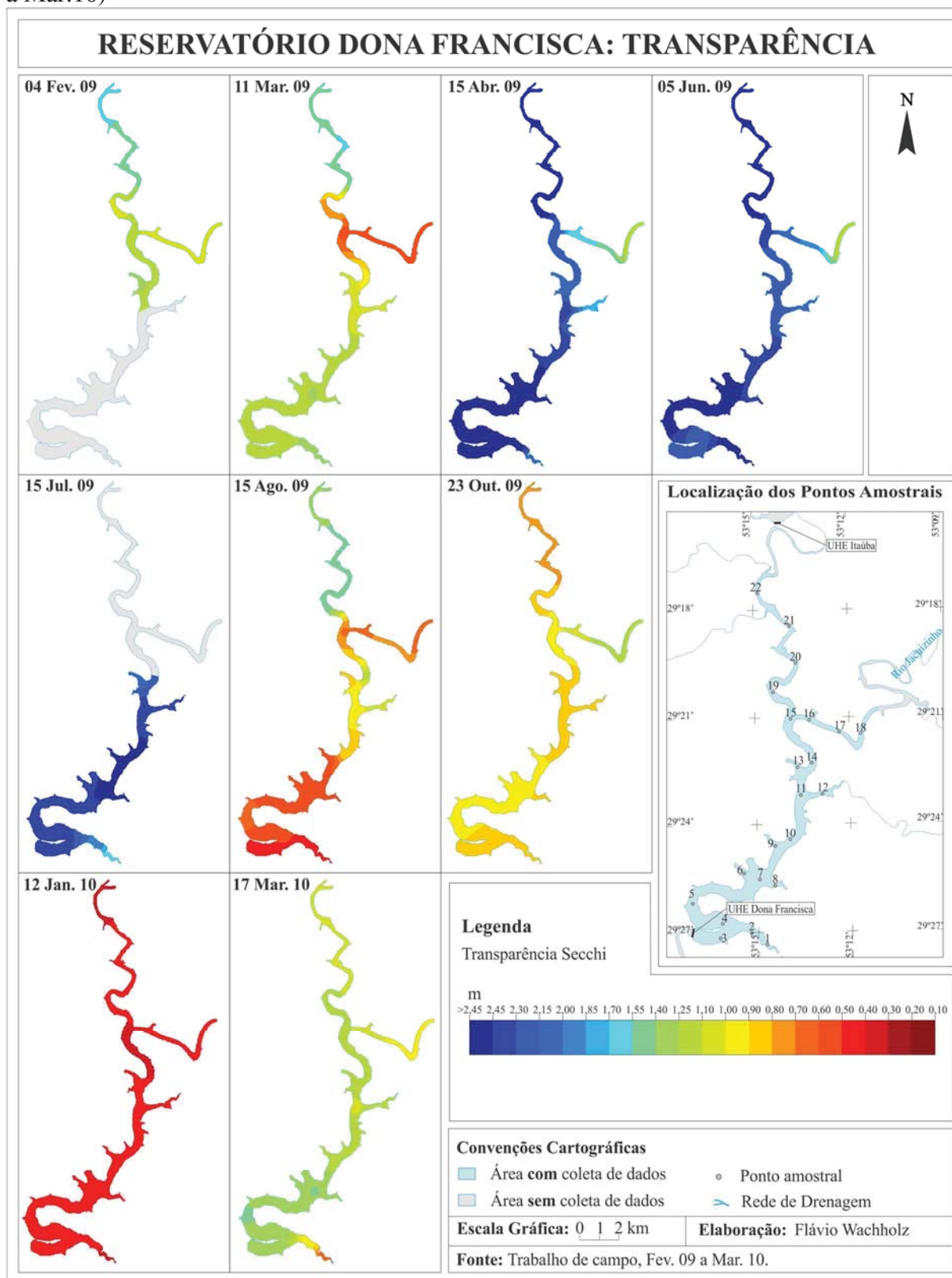


Figura 5.24 – Espacialização da transparência da água do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10)



O reservatório Dona Francisca recebe águas transparentes da série em cascata. A interferência na redução da transparência ocorre com o recebimento das águas do rio Jacuizinho (Figura 5.24). Em out.09 ocorre a maior transparência no rio Jacuizinho em função da menor precipitação pluviométrica para aquela BH. Em Mar.09 e Ago.09 diante do aumento da vazão deste rio, a água se desloca a montante e a jusante de sua confluência.

5.2.5.2. Temperatura da água

A temperatura da água do reservatório Passo Real foi de $23,2 \pm 4,9^{\circ}\text{C}$ e do reservatório Dona Francisca foi de $23,1 \pm 4,1^{\circ}\text{C}$. As temperaturas do reservatório Passo Real são maiores no verão ($27,5 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$ para $26,6 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$) e primavera ($24,2 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ para $22,3 \pm 2,6^{\circ}\text{C}$) e menores no outono ($21,0 \pm 4,3^{\circ}\text{C}$ para $22,2 \pm 2,9^{\circ}\text{C}$) e inverno ($16,1 \pm 0,9^{\circ}\text{C}$ para $17,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$) do que em relação ao reservatório Dona Francisca (Figura 5.25 e 5.26). As maiores temperaturas observadas para o reservatório Passo Real são decorrentes de seu maior tempo de residência das águas, cujo funcionamento é mais similar a um lago. Já as menores temperaturas registradas para esse reservatório são decorrentes da maior altitude de sua localização e o acesso do vento à circulação das águas no inverno. O maior desvio-padrão encontrado para ambos os reservatórios no outono e na primavera decorre das maiores diferenças sazonais de radiação solar e insolação. A relação da temperatura da água do reservatório com a radiação global média foi significativa ($r=0,98$, $\alpha \geq 0,01$).

No conjunto de dados mensais verifica-se a tendência das temperaturas dos reservatórios serem inferiores a 20°C nos meses de inverno e superior a 25°C no verão. No mês de julho a temperatura da água foi mais homogênea (menor variância), indicando o máximo resfriamento e a ocorrência da circulação térmica dos reservatórios. Conforme a redução da média e a variação dos dados de temperatura nos meses de outono e inverno mostram o resfriamento das águas e circulação térmica, enquanto na primavera e verão ocorre o aquecimento das águas com maiores diferenças espaciais e com resistência a circulação da água.

Figura 5.25 – Estatística descritiva mensal e sazonal da temperatura da água do reservatório Passo Real.

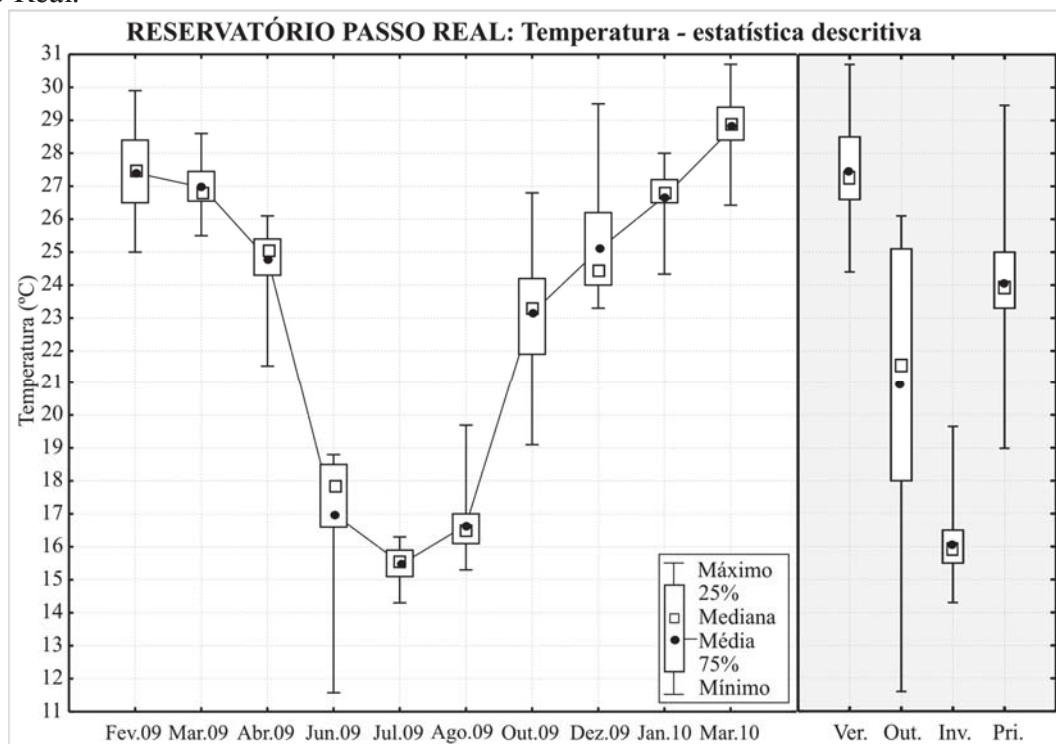
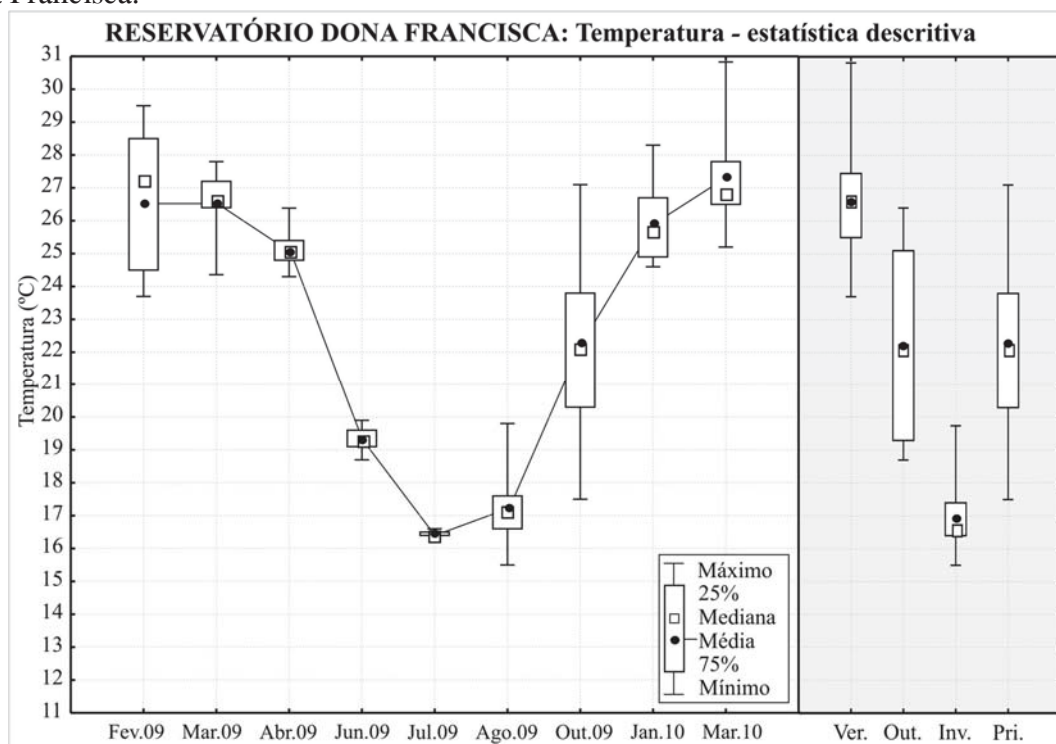
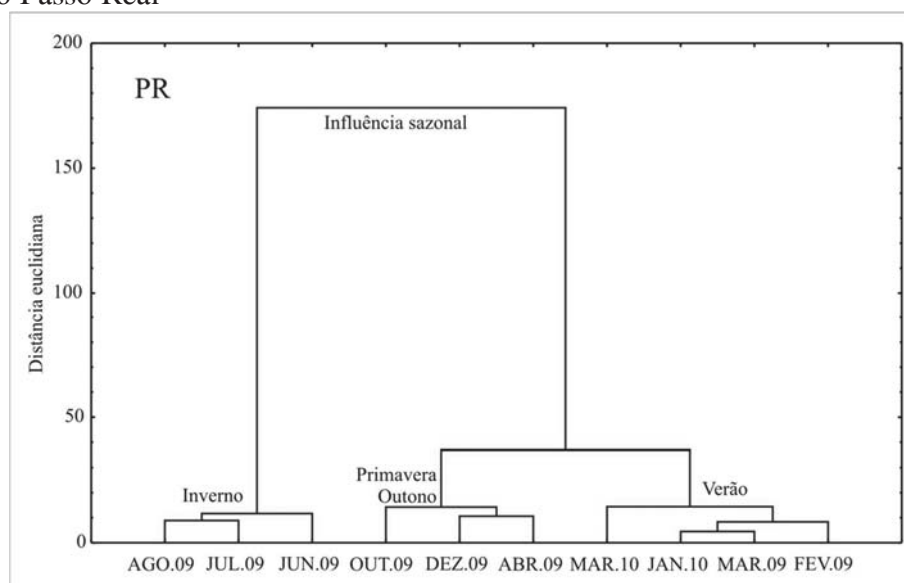


Figura 5.26 – Estatística descritiva mensal e sazonal da temperatura da água do reservatório Dona Francisca.



A análise de agrupamento da temperatura mostrou a influência sazonal na individualização de grupos (Figuras 5.27 e 5.28). Os meses de inverno formaram um grupo para ambos os reservatórios. Por outro lado, para o reservatório Passo Real os meses da primavera e outono formaram grupo e os meses de verão formaram outro, enquanto para o reservatório Dona Francisca as estações outono/primavera/verão formaram um único grupo. A individualização do grupo primavera/outono para o reservatório Passo Real está associada à presença de compartimentos aquáticos, que apresentam diferentes mecanismos de circulação e diferença do acesso do vento. Por outro lado, o reservatório Dona Francisca apresenta menor tempo de residência das águas e o aquecimento/resfriamento em função da radiação/vento tende a ser limitada por sua localização em uma região de morros com forte grau de entalhamento dos vales.

Figura 5.27 – Dendrograma para a análise de agrupamento da temperatura da água do reservatório Passo Real



A temperatura média da água dos pontos amostrais do reservatório Passo Real realizada para as estações do ano destaca as menores temperaturas para entrada dos rios no reservatório, principalmente do Jacuí e Ingaí (Figura 5.29). As áreas centrais do reservatório, cujo ambiente aproxima-se a lântico, as temperaturas das águas são maiores. A espacialização da temperatura mostra a sua homogeneidade, principalmente nos meses de inverno e verão e definição de vários compartimentos aquáticos nos meses da primavera, em virtude do aumento da velocidade do vento que promove diferenças na circulação/aquecimento das águas.

Figura 5.28 – Dendrograma para a análise de agrupamento da temperatura da água do reservatório Dona Francisca

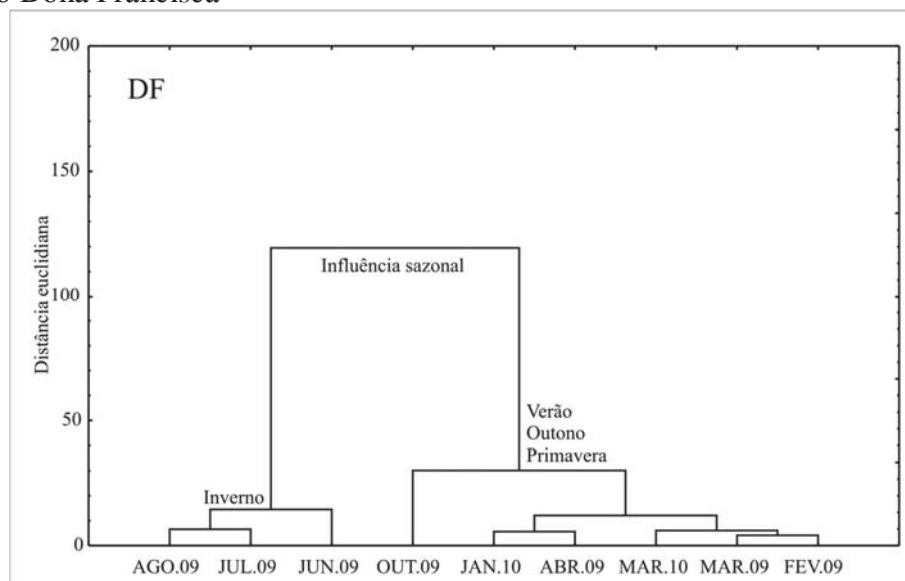
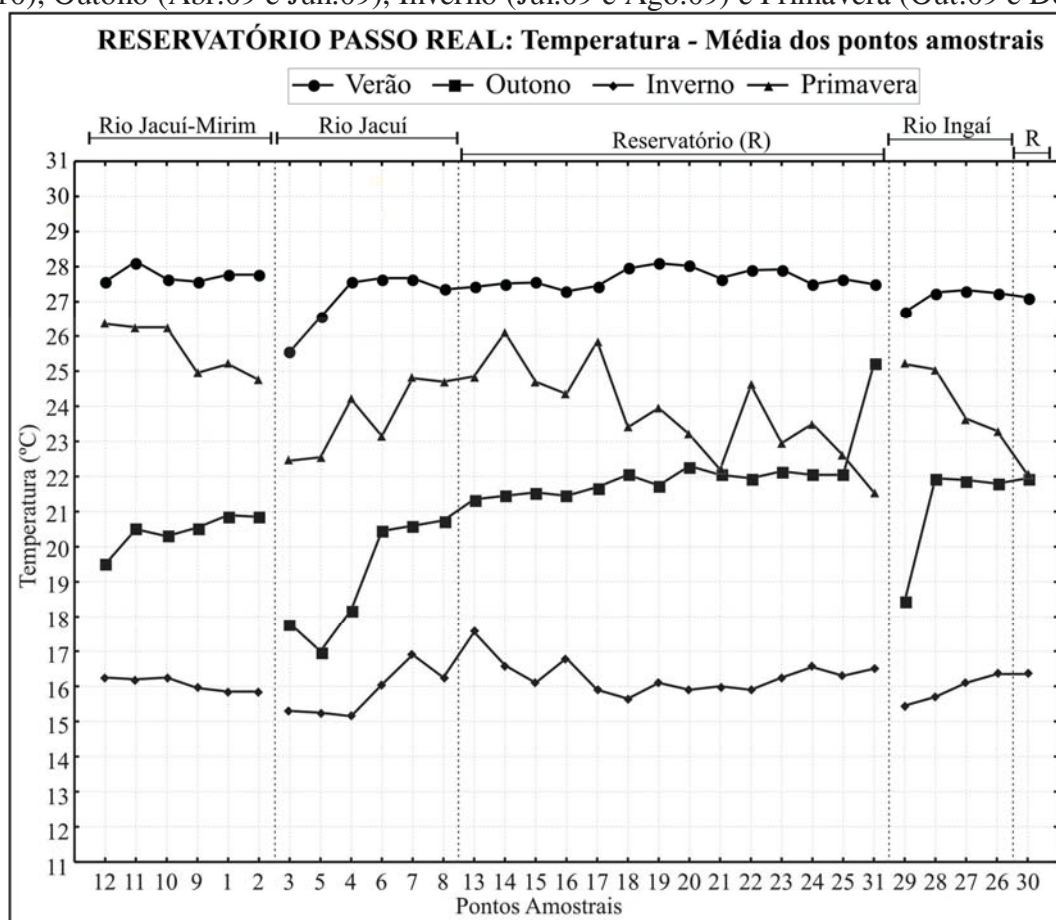
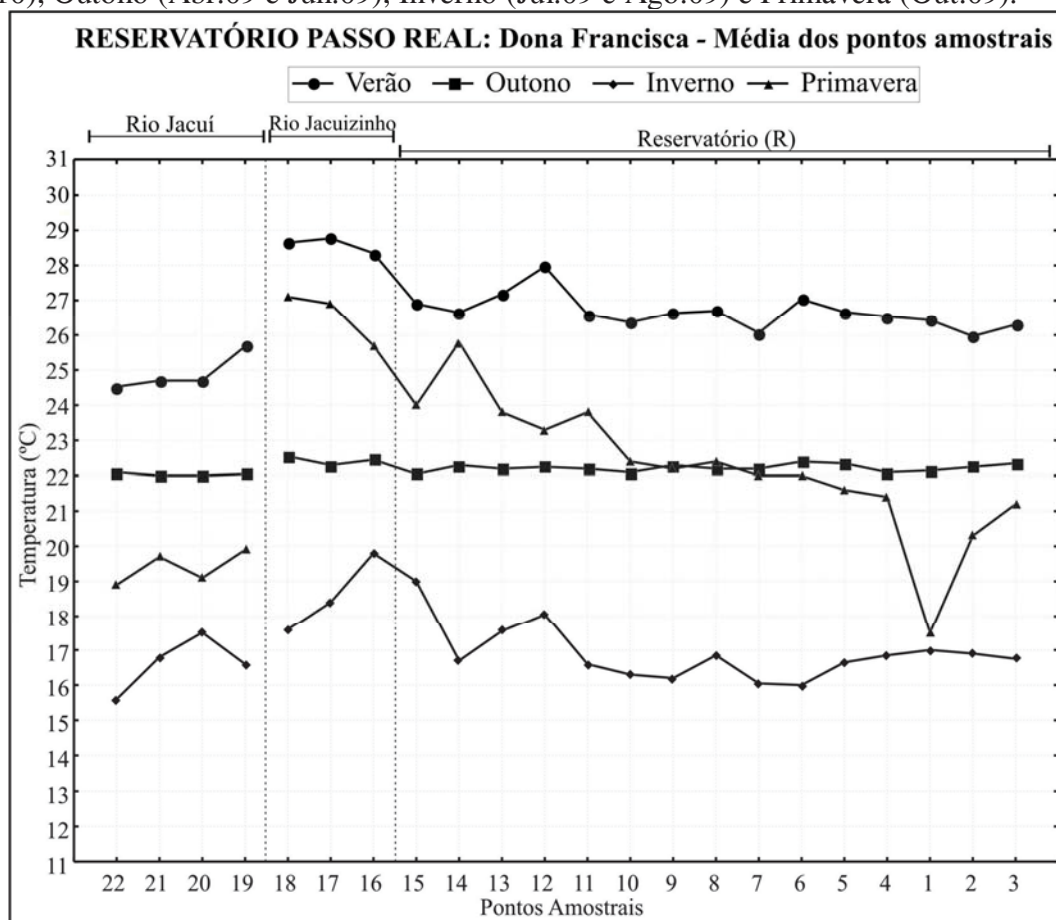


Figura 5.29 - Média da temperatura da água sazonal (Fev. 09 a Mar. 10) para os pontos amostrais dos reservatórios Passo Real no sentido do rio. Verão (Fev.09, Mar.09, Jan.10 e Mar.10), Outono (Abr.09 e Jun.09), Inverno (Jul.09 e Ago.09) e Primavera (Out.09 e Dez.09)



O gradiente horizontal do reservatório Dona Francisca diferencia-se por receber água de menor temperatura da série em cascata do rio Jacuí, fato decorrente da água originar das turbinas cuja tomada d'água ocorre em maiores profundidades do reservatório Itaúba, que possivelmente possui águas estratificadas (Figura 5.30). Portanto, as águas do rio Jacuizinho são maiores em comparação à recebida pela série em cascata e propriamente os tributários do Passo Real. As causas dessa maior temperatura podem ser oriundas do menor acesso do vento em função do grau de entalhamento dos vales e na região amostrada nesse rio, de direção oeste-leste que expõe a maior insolação. Além disso, a maior vazão do rio Jacuí com diferentes vazões resultantes da operação do reservatório de Itaúba pode conferir um maior tempo de residência ao setor represado do rio Jacuizinho, repercutindo em maiores temperaturas da água.

Figura 5.30 - Média da temperatura da água sazonal (Fev. 09 a Mar. 10) para os pontos amostrais do reservatório Dona Francisca no sentido do rio. Verão (Fev.09, Mar.09, Jan.10 e Mar.10), Outono (Abr.09 e Jun.09), Inverno (Jul.09 e Ago.09) e Primavera (Out.09).



O reservatório Passo Real apresentou em Fev.09, Abr.09 e Jan.10 uma situação típica provocada pelo barramento de um curso d'água e formação de uma grande massa d'água: o aumento da temperatura no sentido do rio Jacuí, com uma amplitude média de 4,2°C (Figura 5.31 e 5.32). Em Mar.09, Out.09, Dez.09 e Mar.10 não foram encontradas relações com sentido do rio/barragem em possibilidade da ação do vento sobre a circulação das águas do reservatório. As maiores temperaturas encontradas em Out.09 e Dez.09 na metade oeste do reservatório Passo Real ocorreram em função do aumento da incidência do vento sudeste sobre o mesmo. Para Jun.09, Jul. 09 e Ago.09, a ocorrência da chuva nos cinco dias anteriores a coleta, que reduziu a temperatura da água do reservatório e interferiu na distribuição espacial.

A condição da temperatura da água do reservatório Dona Francisca apresenta águas oriundas do rio Jacuí (série em cascata) de menores temperaturas em relação ao rio Jacuizinho de até -3°C (Figura 5.33). A maior temperatura da água do rio Jacuizinho faz com que a água (menor densidade), normalmente, se desloque sobre as águas do rio Jacuí (maior densidade), variável à vazão. A mistura da água ocorre a partir do ponto 14. Essa situação, não foi encontrada em Jun.09 e Jan.10, quando ocorreu chuva nos dias anteriores a coleta.

A inversão térmica também ocorreu nos reservatórios, em períodos sucessivos a maiores volume de chuvas sempre superiores a 50 mm (medida de subsuperfície e três vezes à medida Secchi). No reservatório Passo Real a inversão térmica ocorreu em Jun.09, Jul.09 e Ago.09 (Figura 5.34). A inversão térmica é comum quando da entrada de períodos frios sobre reservatórios de clima temperado (VON SPERLING, 2005). Como no inverno ocorre à circulação térmica, essa água oriunda das chuvas se mistura rapidamente na coluna d'água.

Em Dona Francisca, a estação amostral localizada na condição mais a montante no reservatório, DF-22, apresenta inversão térmica para todo período coletado, em virtude do processo resultante da estratificação hidráulica do reservatório Itaúba e/ou pela turbulência da água que chega a esse setor (Figura 5.35). As demais estações amostrais apresentam temperatura superior na subsuperfície, mas com a chuva a amplitude térmica na coluna d'água diminui.

Figura 5.31 – Espacialização da temperatura da água do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10)

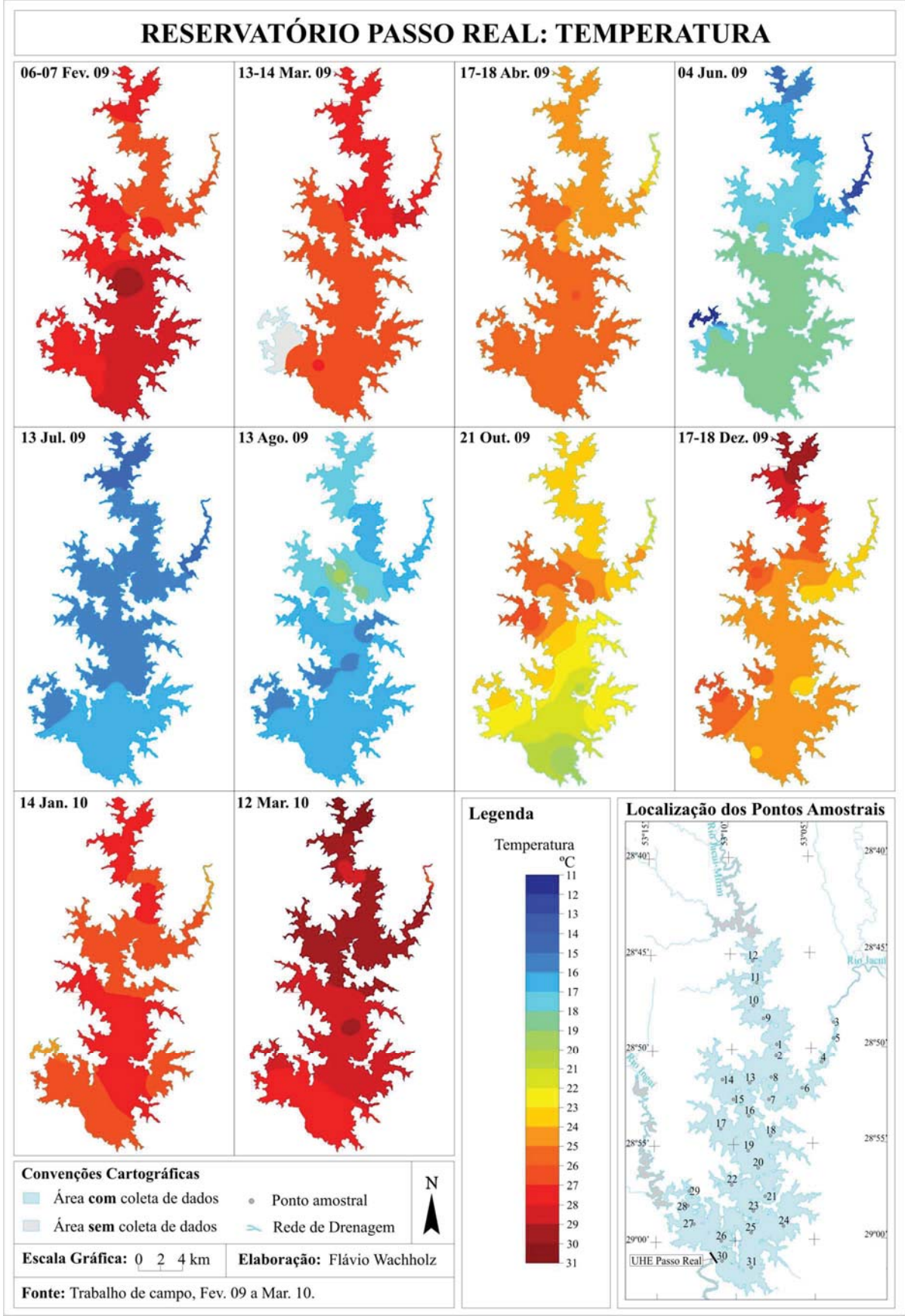


Figura 5.32 – Relação entre o deslocamento no sentido do rio e a temperatura da água no reservatório Passo Real.

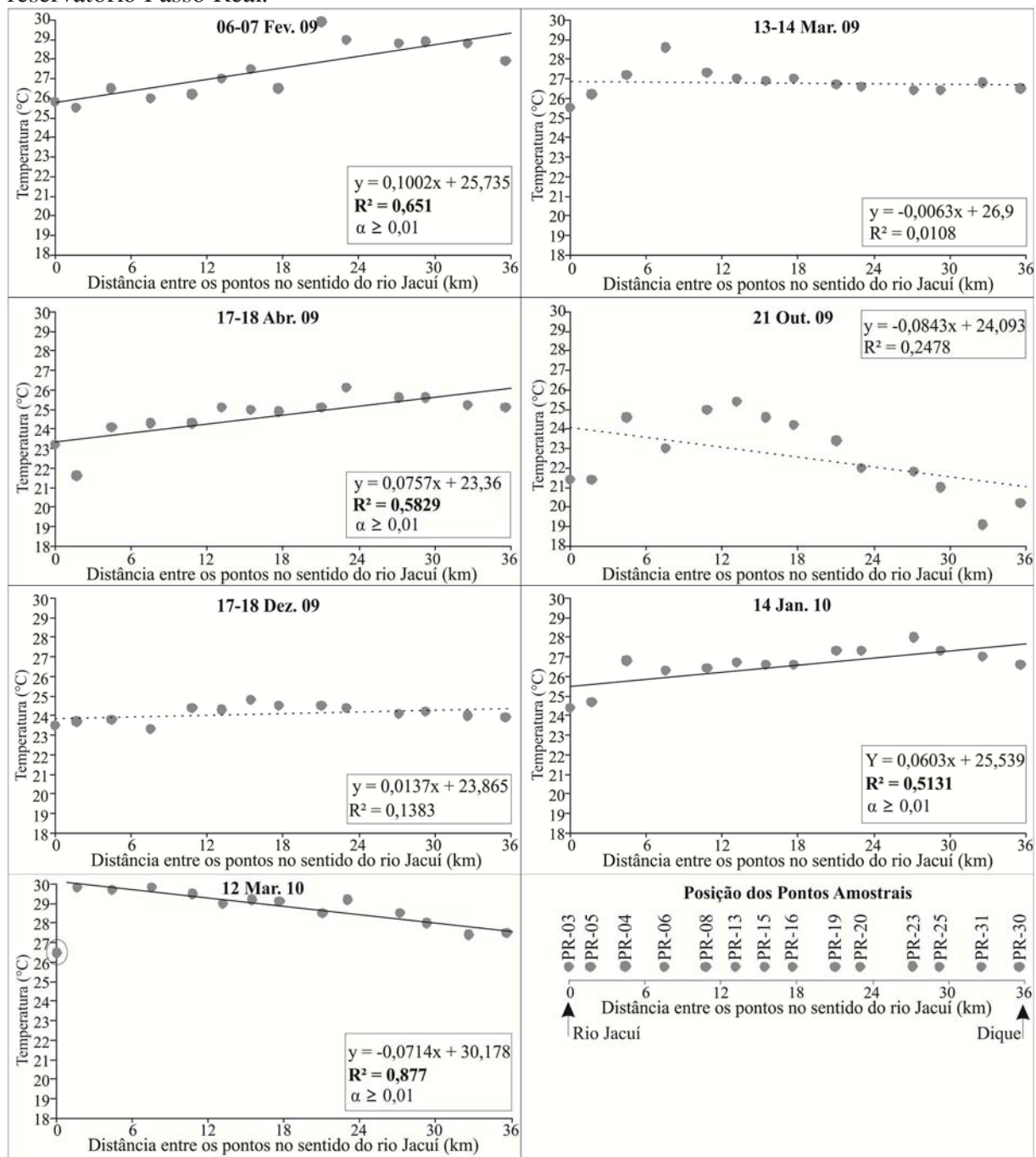


Figura 5.33 – Espacialização da temperatura da água do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10)

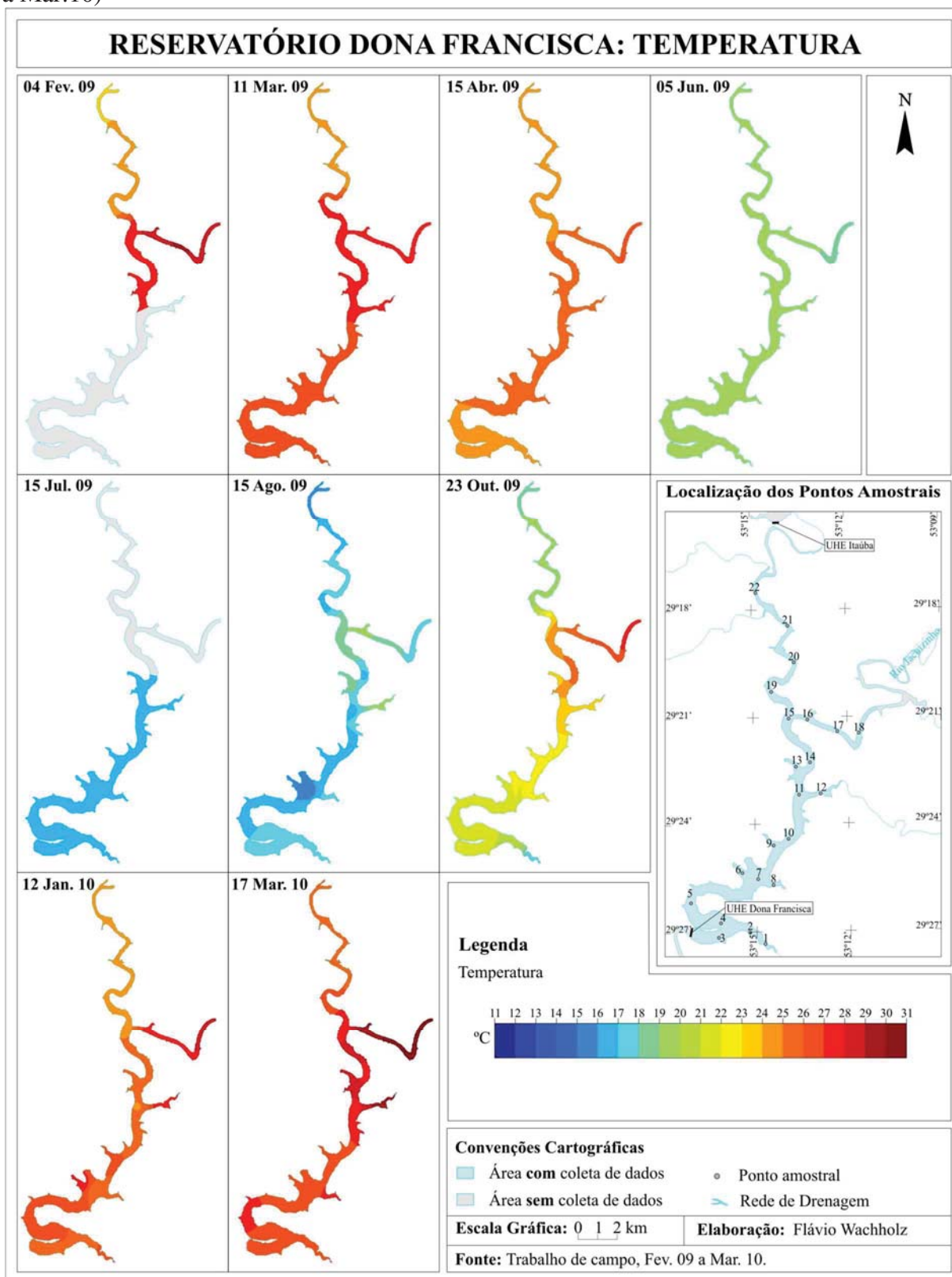


Figura 5.34 – Diferença de temperatura na coluna d'água (subsuperfície menos três vezes a medida do disco de Secchi) nos principais pontos amostrais e o volume de chuvas dos cinco dias anteriores (Alto Alegre) a medida de campo para o reservatório Passo Real.

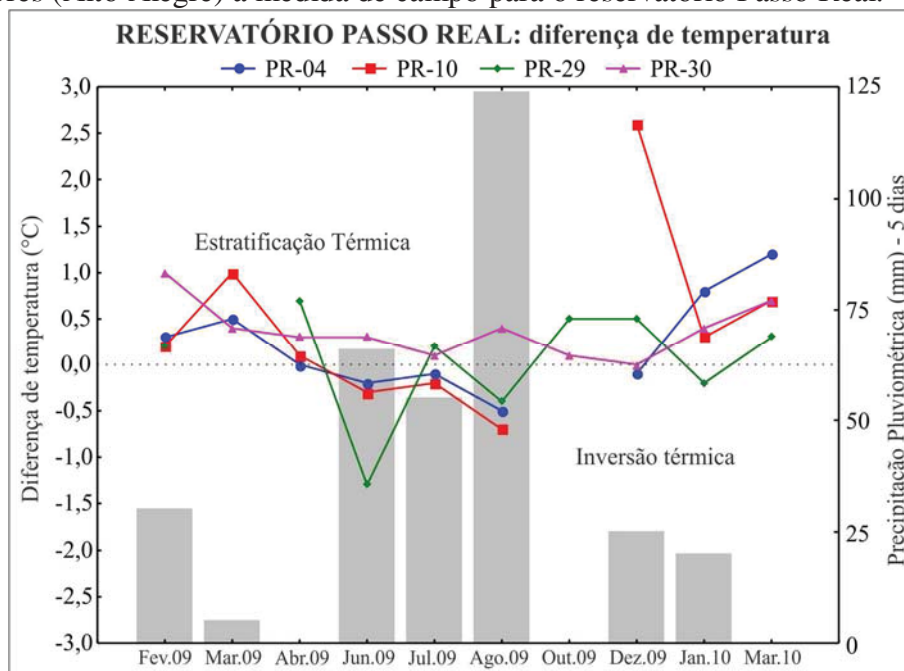
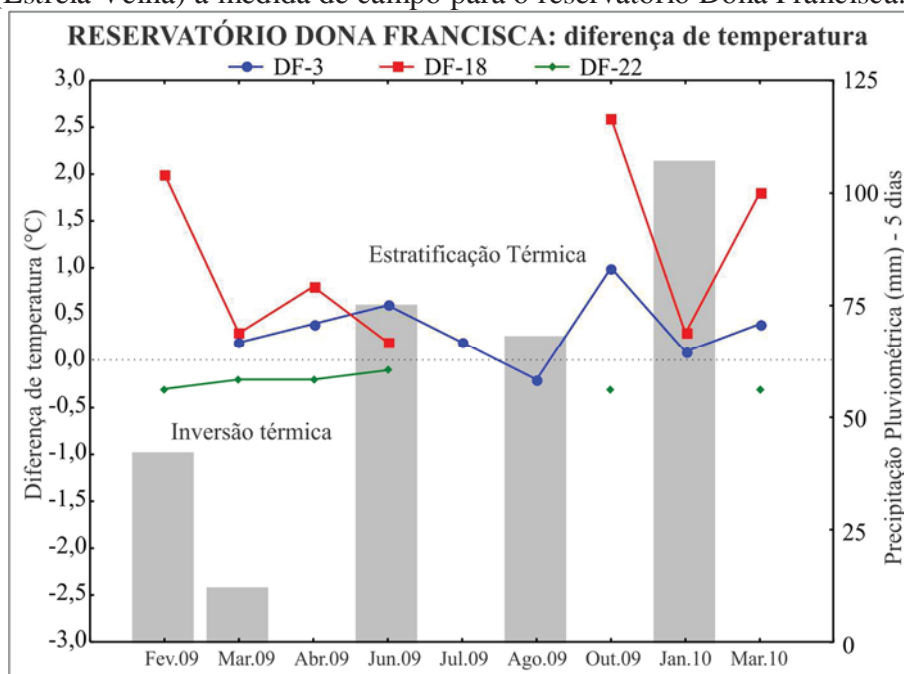


Figura 5.35 – Diferença de temperatura na coluna d'água (subsuperfície – três vezes a medida do disco de Secchi) nos principais pontos amostrais e o volume de chuvas dos cinco dias anteriores (Estrela Velha) a medida de campo para o reservatório Dona Francisca.



O perfil temporal da temperatura demonstra que na maior parte do ano as temperaturas da água estão acima de 20°C (Out. a Abr.) para os reservatórios (Figuras 5.36 e 5.37). Os meses com menores temperaturas da água são junho, julho e agosto. O resfriamento é mais

rápido, que acontece na transição do outono para o inverno, com a entrada das frentes frias, porém o aquecimento das águas é mais lento, que acontece na transição do inverno para primavera. Esse processo ocorre com maior intensidade no reservatório Passo Real (o resfriamento diário de Abr.09 a Jun.09 foi de 0,16°C e o aquecimento diário de Ago.09 a Out.09 foi de 0,09°C) do que em Dona Francisca (o resfriamento diário de Abr.09 a Jun.09 foi de 0,11°C e o aquecimento diário de Ago.09 a Out.09 foi de 0,07°C). O aquecimento mais lento pode estar relacionado o resfriamento noturno (ALCÂNTARA *et al.*, 2011) nesse período e maior ocorrência de chuvas (menor tempo de residência aos reservatórios). As maiores temperaturas foram registradas no dique do reservatório, em função das características lânticas aumentarem a temperatura da água. A microestratificação térmica ocorre principalmente no rio Jacuí-Mirim (Mar.09 e Dez.09) e no dique (Fev.09 e Mar.10).

As maiores diferenças de temperatura na coluna d'água são encontradas na primavera e verão, em virtude da microestratificação térmica. Essa maior microestratificação térmica foi encontrada para o PR-10, rio Jacuí-Mirim, em Dez.09 de 2,6°C. No rio Jacuizinho (DF-18) a diferença da temperatura é maior que no setor do dique e é geralmente maior que no rio Jacuí. A maior microestratificação térmica encontrada para DF-18 foi em Out.09 de 2,6°C. A microestratificação térmica foi eliminada em Jan.10, que sucede à enchente do dia 5 de janeiro, registrando a baixa diferença de temperatura (Circulação térmica). A entrada do rio Jacuí no reservatório Dona Francisca apresentou as menores temperaturas na primavera, verão e outono em relação aos demais setores do reservatório. O rio Jacuizinho possui as maiores temperaturas durante o ano analisado e apresenta microestratificação térmica nos meses da primavera e verão. O setor do dique apresentou uma temperatura intermediária entre os outros dois setores e microestratificação térmica apenas no mês de Out.09.

Figura 5.36 – Perfil vertical e temporal da temperatura da água para os principais setores do reservatório Passo Real

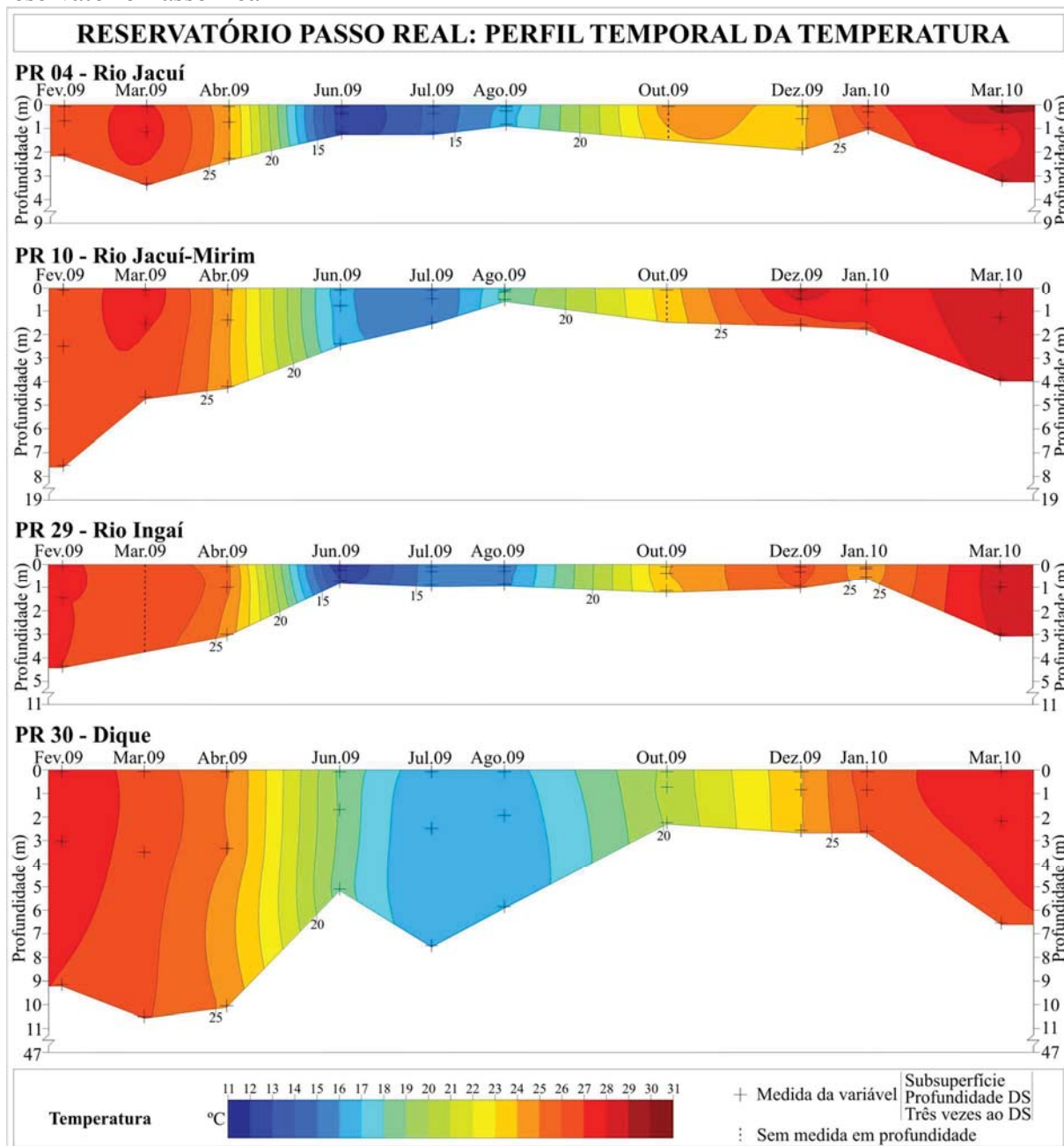
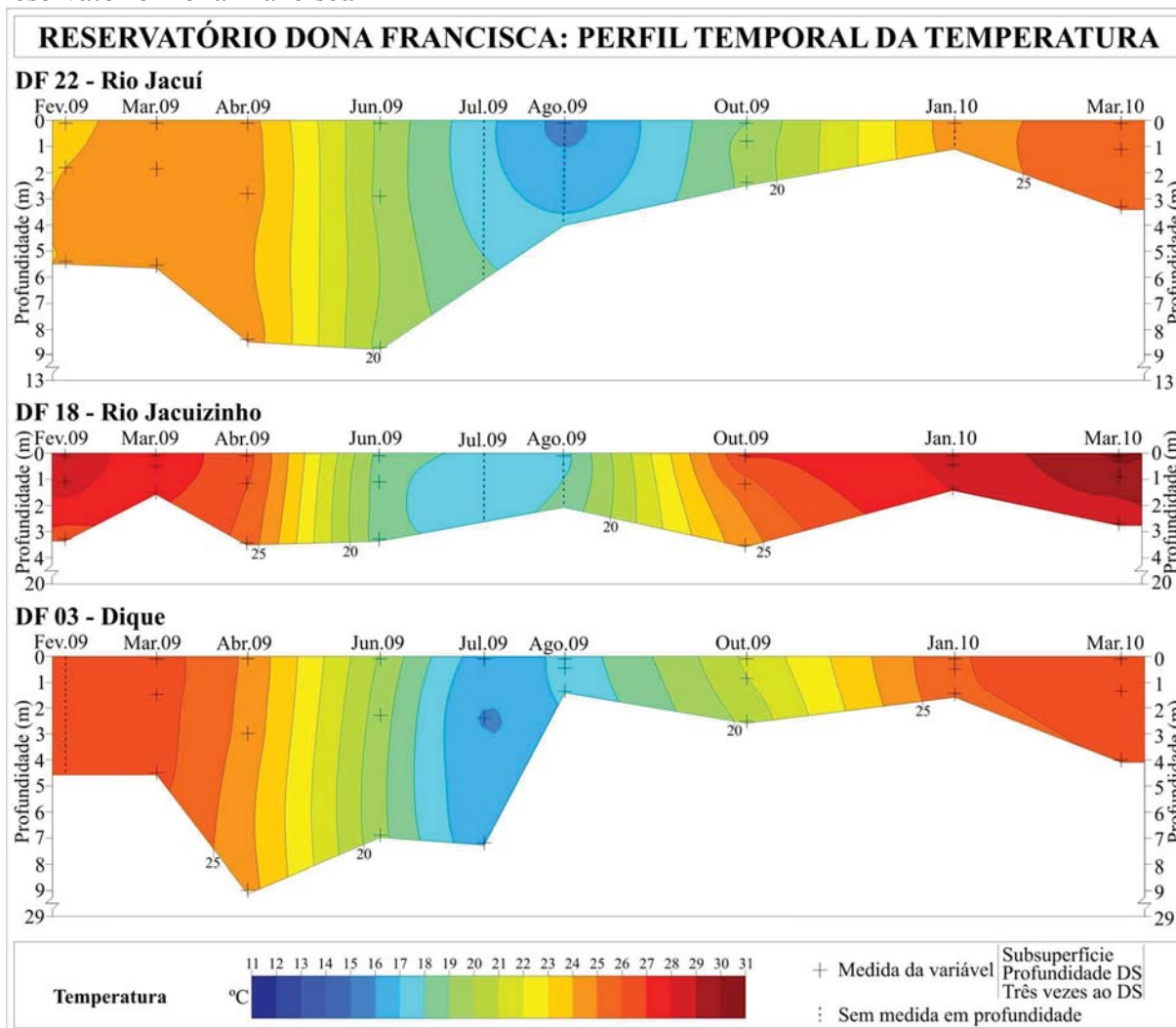


Figura 5.37 – Perfil vertical e temporal da temperatura da água para os principais setores do reservatório Dona Francisca



5.2.5.3. Clorofila *a*

A concentração média de clorofila *a* na água do reservatório Passo Real foi de $11,4 \pm 30,9 \mu\text{g/L}$ e do reservatório Dona Francisca foi de $7,2 \pm 5,0 \mu\text{g/L}$. Nota-se que, com essa concentração, Passo Real indica sinais de eutrofização, enquanto Dona Francisca um domínio mesotrófico. Nos meses normais de precipitação, Passo Real apresentou $6,2 \pm 11,1 \mu\text{g/L}$ e nos meses chuvosos $19,1 \pm 45,9 \mu\text{g/L}$, porém Dona Francisca não apresentou diferença entre os períodos ($7,2 \pm 5,0 \mu\text{g/L}$) (Figuras 5.38 e 5.39).

Figura 5.38 – Estatística descritiva mensal e períodos seco/chuvoso da clorofila *a* do reservatório Passo Real.

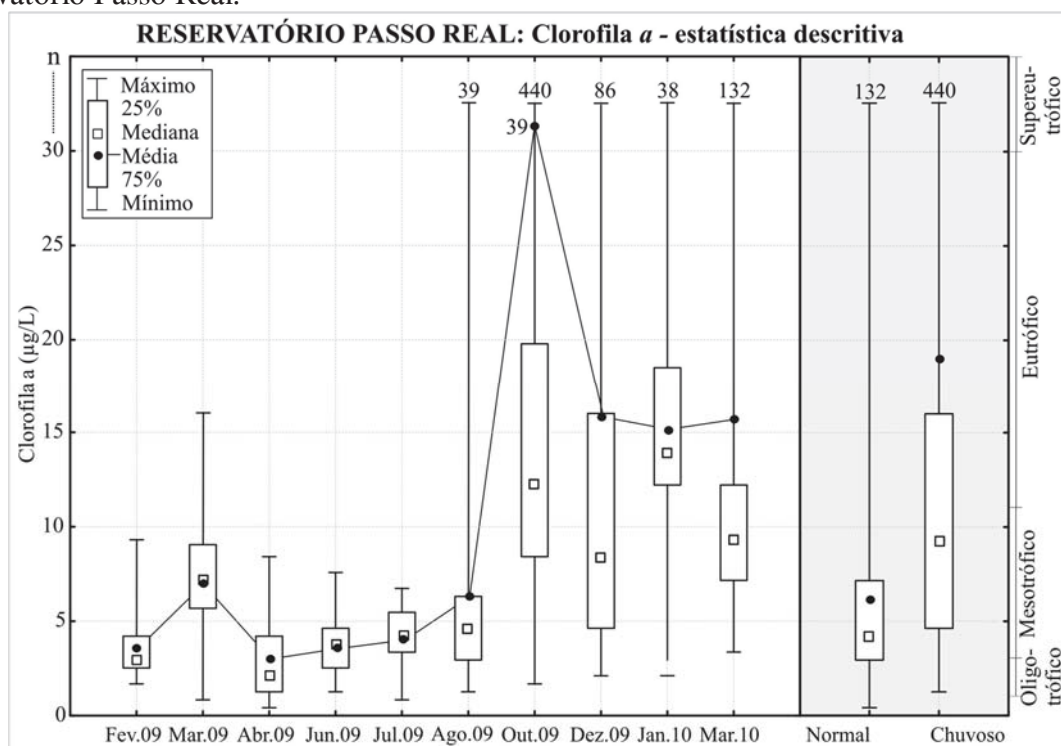
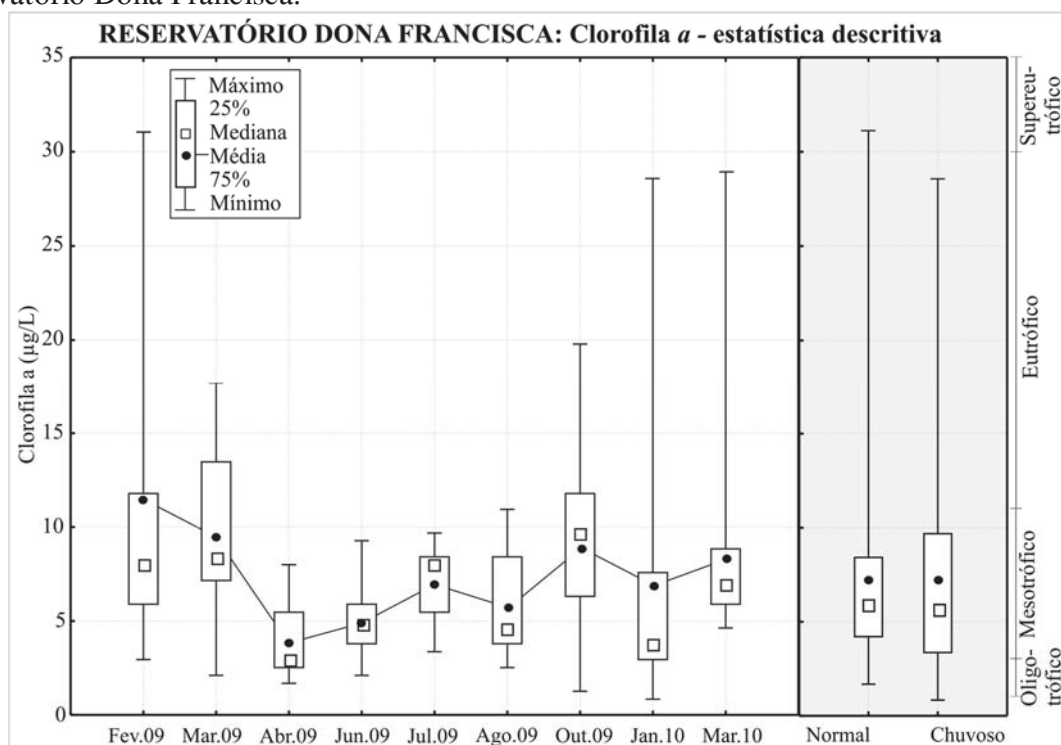
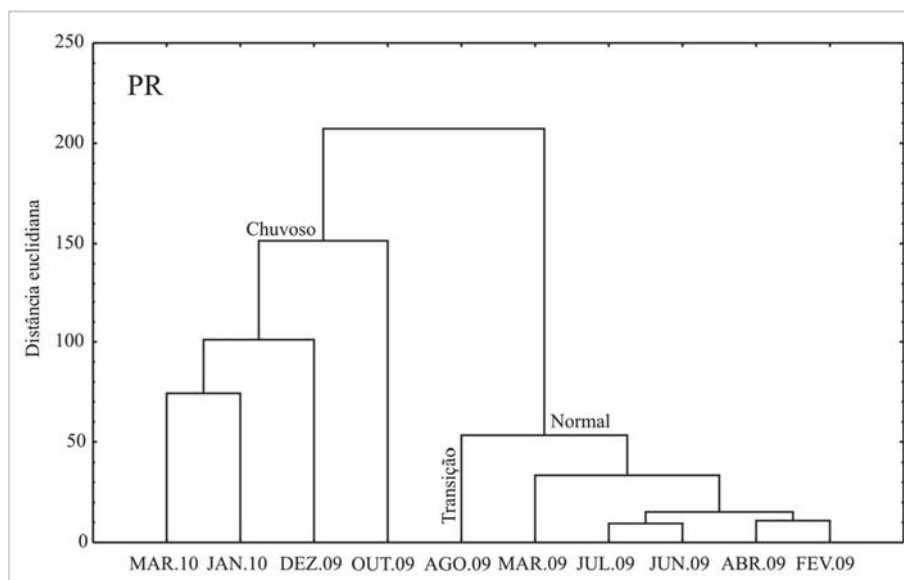


Figura 5.39 – Estatística descritiva mensal e períodos seco/chuvoso da clorofila *a* do reservatório Dona Francisca.



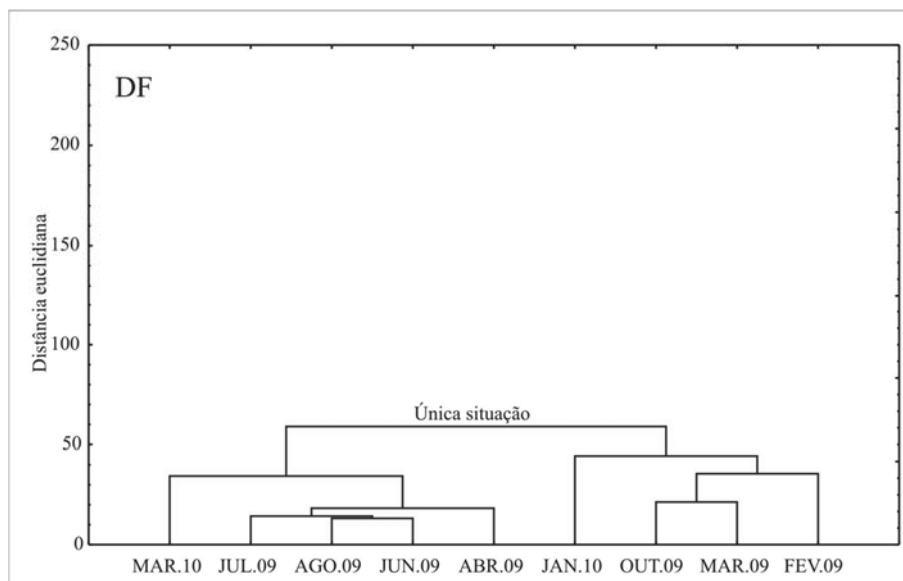
As médias de clorofila *a* durante a série temporal do reservatório Passo Real permitiu verificar um padrão de baixas concentrações de Fev.09 a Jul.09 (estado mesotrófico, associado a meses normais) e outro com altas concentrações e maior amplitude dos dados dos meses de Ago.09 a Mar.10 (estado eutrófico a hipereutrófico, associado a meses chuvosos). Os dois grupos formados pela análise de agrupamento estão diretamente associados ao período normal e chuvoso (Figura 5.40). Os meses normais apresentam um comportamento muito parecido e o mês de agosto ocorre a transição das baixas concentrações para as altas concentrações de clorofila *a*. No entanto, os meses chuvosos apresentam a maior distância euclidiana.

Figura 5.40 – Dendrograma para a análise de agrupamento da clorofila *a* do reservatório Passo Real



O reservatório Dona Francisca não apresentou períodos distintos de concentração de clorofila *a* (Figura 5.41), considerando a distância euclidiana de Passo Real. As médias foram mais regulares durante o período analisado, com sensível aumento da concentração na primavera e no verão. Contudo a maioria dos valores está na condição mesotrófica. A análise de agrupamento, embora tenha apresentado dois grupos, um associado aos meses de inverno e outro aos meses de primavera e verão, o teste de comparação das médias demonstrou todos os meses iguais.

Figura 5.41 – Dendrograma para a análise de agrupamento da clorofila *a* do reservatório Dona Francisca



A média dos pontos amostrais da clorofila *a* no sentido do rio-barragem (Fev.09 a Mar.10) mostra que após a entrada dos rios (zonas de transição) apresentam a maior concentração (Figura 5.42 e 5.43). A zona de transição é propícia para desenvolvimento de algas, pois além da alta quantidade de nutrientes recebidos dos tributários, ampliação da transparência e maiores temperaturas é responsável no aumento da produtividade biológica. Apenas no rio Jacuí as concentrações foram menores, em função dos primeiros pontos localizarem-se em zona do rio, onde há tendência de maior turbidez e correnteza (baixo tempo de residência), cuja concentração aumenta no sentido do rio, quando é definida a zona de transição. No caso de Passo Real, o compartimento do rio Ingaí apresenta a maior concentração de clorofila *a*, conforme a média, indica o estado de eutrofização. Para o reservatório Dona Francisca, o rio Jacuizinho possui as maiores concentrações no período chuvoso do reservatório. E as menores concentrações para esse reservatório estão no setor do rio Jacuí, à jusante do reservatório Itaúba. Entre os fatores estão o baixo tempo de residência das águas para aquele setor, águas com baixas temperaturas e possivelmente uma baixa concentração de nutrientes, majoritariamente retidos nos reservatórios Passo Real e Itaúba.

Figura 5.42 – Média da clorofila *a* para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.

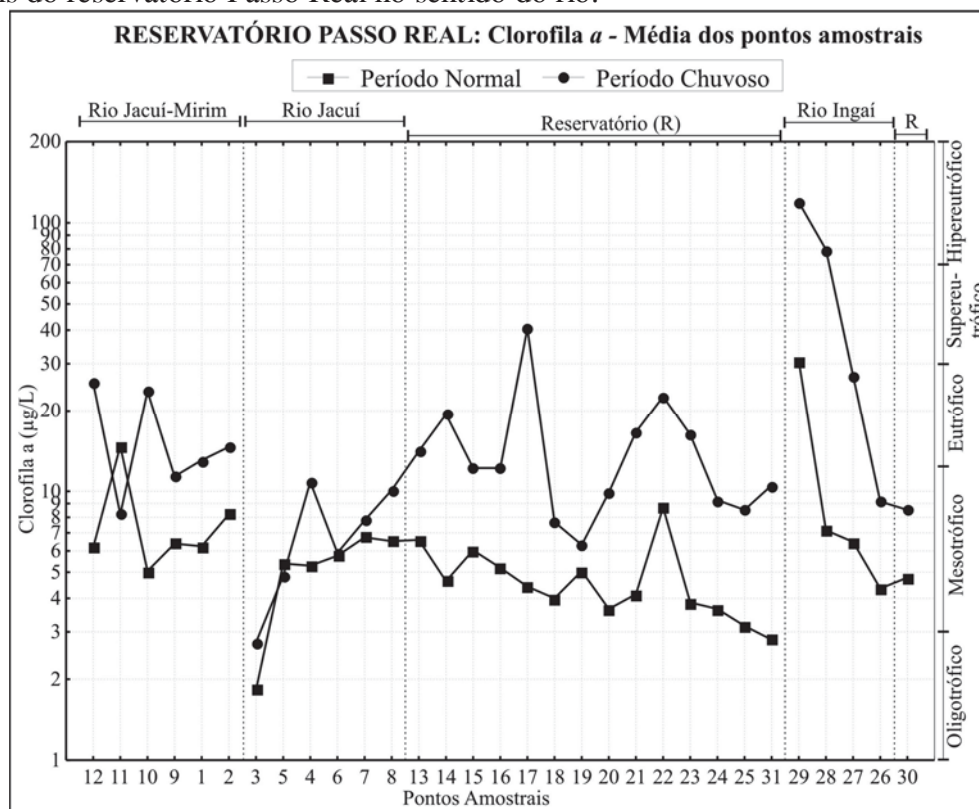
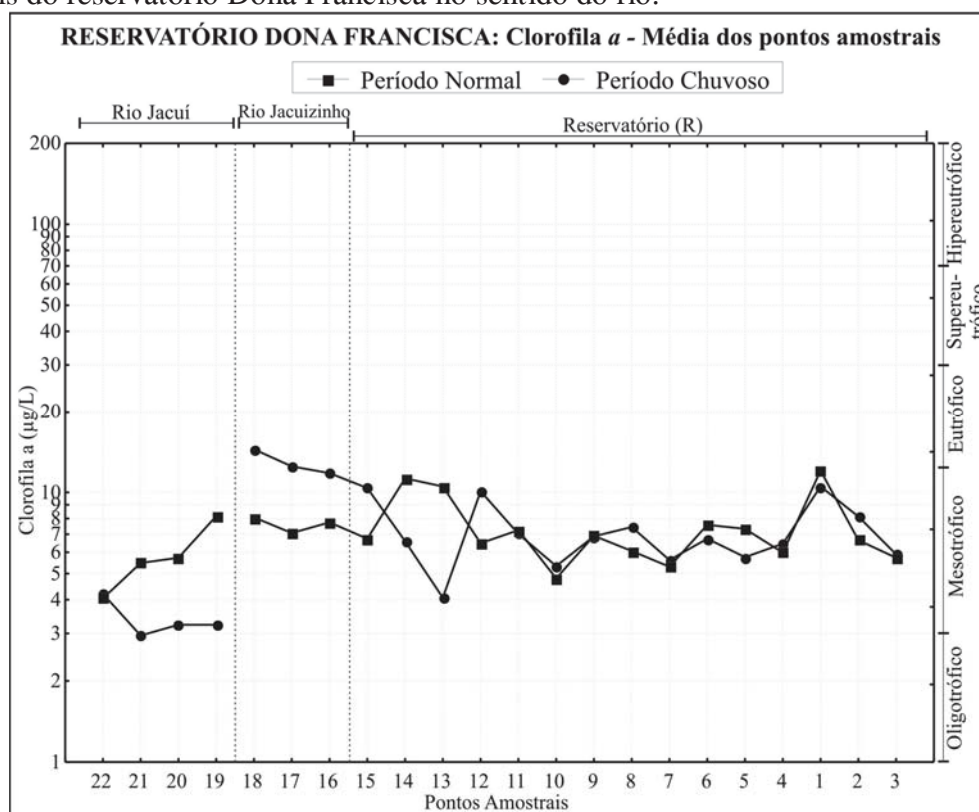


Figura 5.43 – Média da clorofila *a* para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Dona Francisca no sentido do rio.



A espacialização da clorofila *a* demonstra águas muito homogêneas (oligotrófica à mesotrófica) nos meses normais para Passo Real (Figura 5.44). A entrada de nutrientes parece ser muito reduzida durante esse período, que é um fator limitante ao desenvolvimento de algas. No mês de mar.09 quando ocorreu o aumento da precipitação pluviométrica na SH do rio Jacuí, essa concentração aumentou na zona de transição do reservatório (estado eutrófico). No mês de agosto, ocorreu um pulso de nutrientes no reservatório em decorrência da precipitação, decorrente das perdas ocasionadas através do escoamento superficial na BH. Dada a condição da redução do nível da água do reservatório, e a invasão de nutrientes para áreas mais centrais do reservatório, a superfície aquática do ponto PR-21 estava eutrofizada. Nos meses sucessivos, outubro, dezembro e janeiro, a temperatura da água, insolação e radiação solar aumentaram, e, associado à alta carga de material no reservatório recorrente ao período chuvoso foram condições favoráveis ao desenvolvimento de algas. Além disso, a incidência de ventos leste de maior velocidade nessa época do ano, que age na circulação das águas, deslocou os nutrientes para lado oeste do reservatório, tendo como resultado a ocorrência, em alguns setores, de floração de algas. A disponibilidade de nutrientes no reservatório fez com que em Mar.10, já em condições normais de precipitação, ocorressem ainda altas concentrações de clorofila *a*.

Associado as maiores temperaturas da água e certamente a entrada de nutrientes, o rio Jacuizinho apresenta as maiores concentrações de clorofila *a* (Figura 5.45). Schneck *et al.* (2011) encontraram concentrações de fósforo mesoeutrófico (CARLSON, 1977 modificado por LAMPARELLI, 2004) no reservatório Dona Francisca. O DF-01 é um compartimento aquático, que recebe um pequeno tributário, é um compartimento aquático que apresenta um maior tempo de residência, sendo, por isso, encontrada uma maior concentração de clorofila *a*.

Com análise do perfil temporal da clorofila *a* verificam-se as maiores concentrações na medida realizada em subsuperfície, quando em condições eutróficas. Para ambos os reservatórios a entrada de rios representa a maior concentração (Figura 5.46 e 5.47). Entre os rios, o rio Ingaí apresentou a situação mais duradoura do estado eutrófico até hipereutrófico das águas (Out.09 a Mar.10), com exceção de Jan.10, quando entrou uma grande quantidade de material inorgânico em suspensão e limita o desenvolvimento de algas naquele setor. No entanto, é o único mês em que a concentração no dique do reservatório Passo Real adquire condição eutrófica.

Figura 5.44 – Espacialização da clorofila *a* do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10)

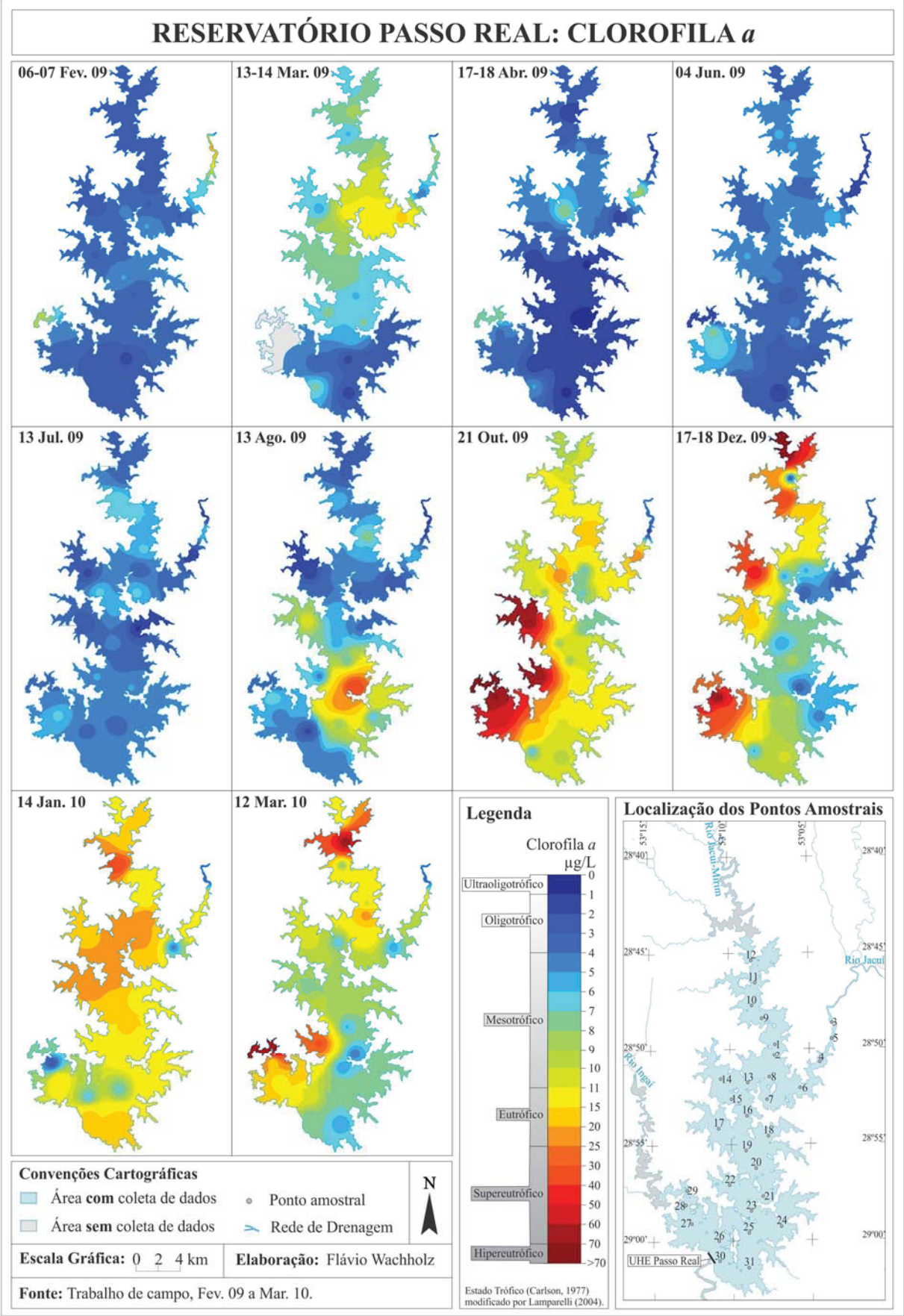


Figura 5.45 – Espacialização da clorofila *a* do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10)

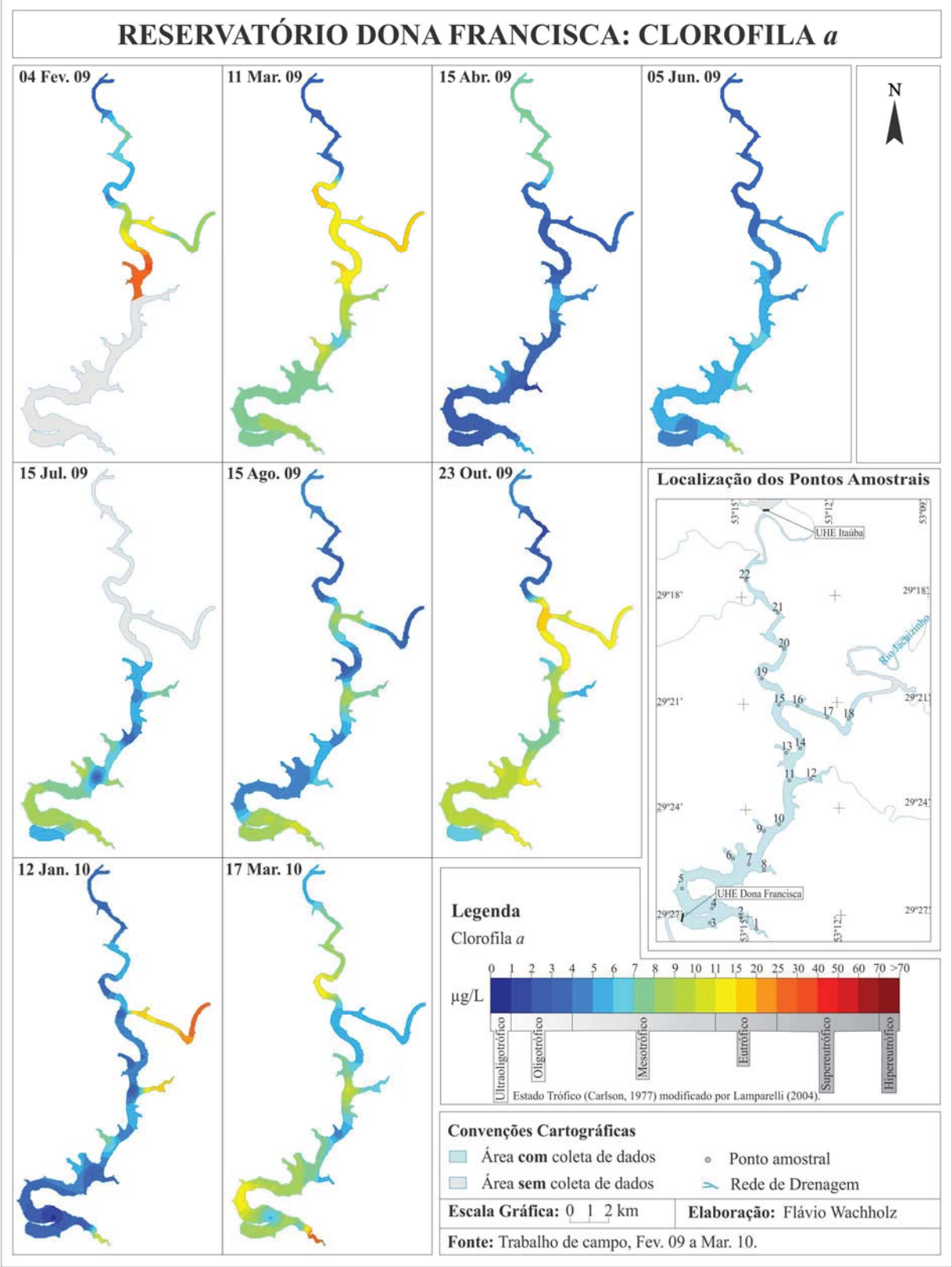


Figura 5.46 – Perfil vertical e temporal da clorofila *a* para os principais setores do reservatório Passo Real

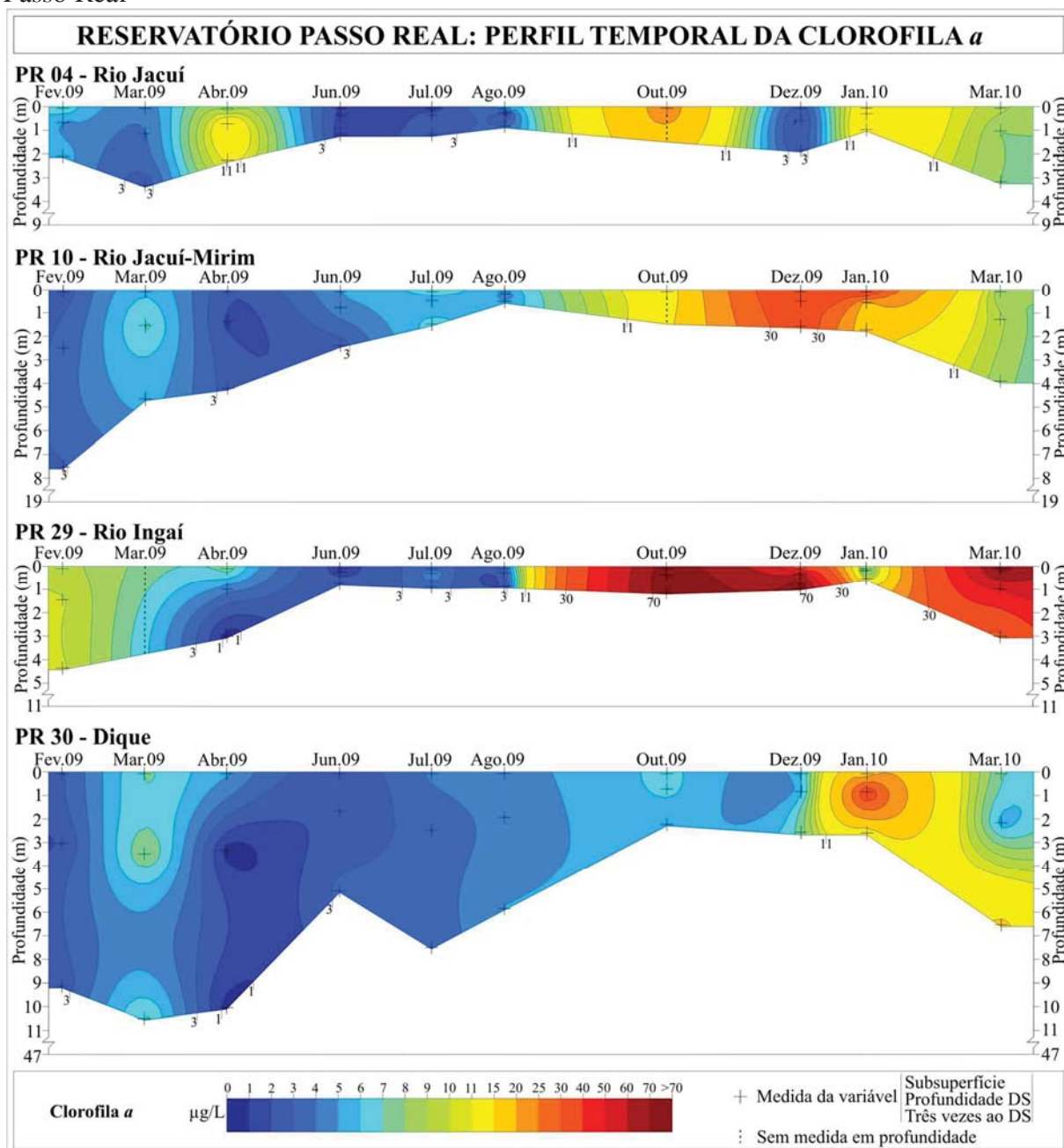
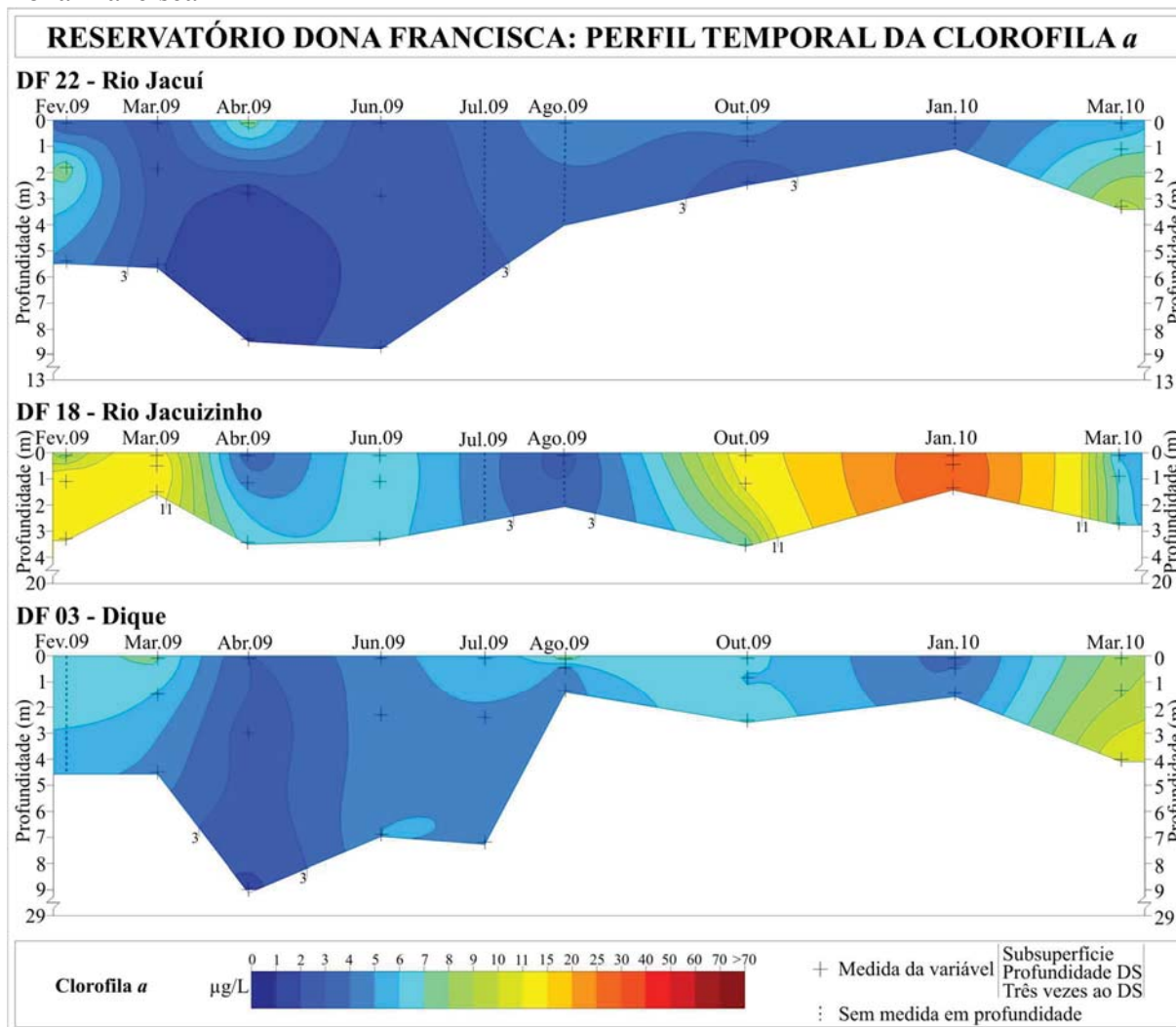


Figura 5.47 – Perfil vertical e temporal da clorofila *a* para os principais setores do reservatório Dona Francisca



Os dados de clorofila *a* do período de Fev.09 a Mar.10 foram relacionados com a temperatura da água e transparência dos reservatórios (Figura 5.48 e 5.49). Sazonalmente, o inverno apresenta as menores concentrações de clorofila *a*, em decorrência da redução da radiação solar. Embora o coeficiente de determinação seja baixo para ambos os reservatórios (5,5% para PR e 7,7% para DF) essa tendência é confirmada nos meses mais quentes com os maiores concentrações de clorofila e a ocorrência de eutrofização para alguns pontos amostrais. As maiores concentrações de clorofila estão relacionadas com redução da transparência, possivelmente a maior presença de nutrientes. Deve ser ressaltado também que ocorre a redução da transparência com a presença de algas.

Figura 5.48 – Relação da clorofila com a temperatura de Fev.09 a Mar.10, sinalizando duas situações: outono, primavera e verão; e, inverno. a) Reservatório Passo Real e b) Reservatório Dona Francisca.

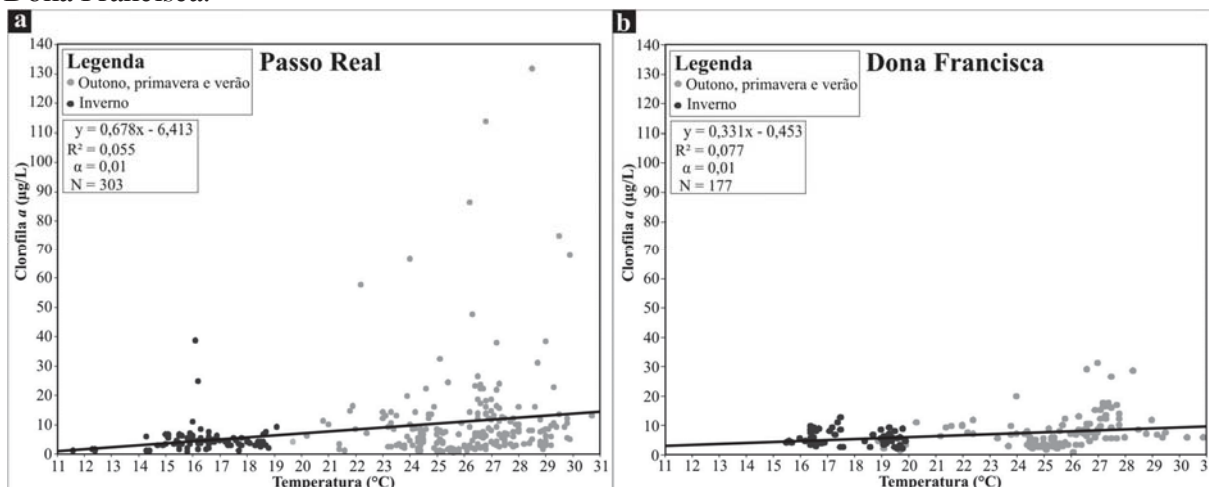
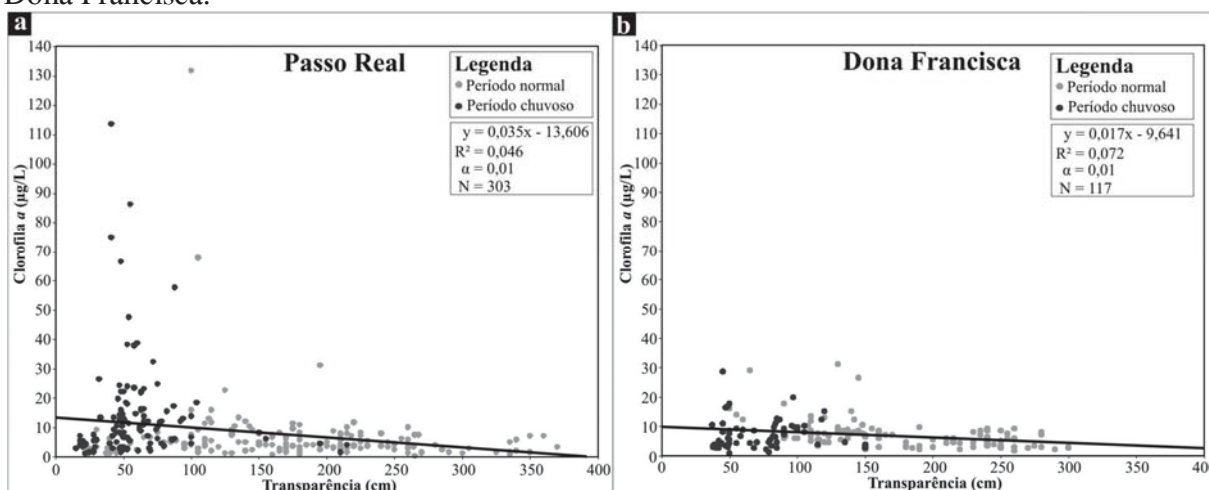


Figura 5.49 – Relação da clorofila com a transparência de Fev.09 a Mar.10, sinalizando duas situações: período normal e período chuvoso. a) Reservatório Passo Real e b) Reservatório Dona Francisca.



Segundo a classificação proposta de estado trófico de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004), utilizando a variável clorofila *a*, o reservatório Passo Real apresentou uma condição de estado trófico predominante de oligotrofia a mesotrofia de Fev.09 a Ago.09. Na sequência com elevada quantidade de nutrientes disponibilizada ao sistema aquático no período chuvoso e a maior incidência da radiação solar, no período de Out.09 a Jan.09, possibilitou a proliferação excessiva de algas em muitos pontos no reservatório a eutrofização, principalmente nas zonas de transição. O reservatório Dona Francisca apresentou a condição dominante a mesotrofia para todo o período analisado e, apenas, alguns pontos de eutrofização na primavera e no verão, associado a entrada do Rio Jacuizinho. Noutro aspecto,

considerando a Resolução CONAMA – 357/2005 – Classe II⁴, o reservatório Passo Real apresentou os maiores problemas (pontos que não estão de acordo com essa resolução), no período de Ago.09 a Mar.10. Destaca-se que os pontos amostrais PR-10, PR-11 e PR-12, que não estão de acordo com Classe II, em Dez.09, Jan.10 e Mar.10, contemplam áreas do rio Jacuí-Mirim onde estão inseridos balneários com atividades de recreação no reservatório. O reservatório Dona Francisca apresentou problema no DF-14 em Fev.09 e nos demais meses analisados, todos os pontos amostrais, se enquadraram na Classe II.

Quadro 5.3 – Pontos amostrais dos reservatórios Passo Real e Dona Francisca com concentrações de clorofila *a* superiores a 30 µg/L (Inadequado segundo a Classe II – Resolução CONAMA – 357/2005)

Período	Fev.09	Mar.09	Abr.09	Jun.09	Jul.09	Ago.09	Out.09	Dez.09	Jan.10	Mar.10
PR						PR-21	PR-17 PR-22 PR-27 PR-28 PR-29	PR-10 PR-12 PR-14 PR-27 PR-28	PR-10	PR-11 PR-22 PR-29
DF	DF-14									

A contagem de células algais foi realizado por Domingues (2011) para os pontos amostrais dos reservatórios Passo Real (PR-04, PR-10, PR-29 e PR -30) e Dona Francisca (DF-3, DF-18 e DF-22) do período de Out.09 a Jan.10. Os pontos amostrais do reservatório Passo Real (PR-29 e PR-30, em Out.09 – PR-10 e PR-29 em Dez.09 e PR-04, PR-10 e PR -30 em Jan.10) apresentaram densidade de cianobactérias superior ao recomendado para Classe II – Resolução CONAMA – 357/2005 de 50.000 cél/ml nesse período. O reservatório Dona Francisca apresentou-se adequado à Classe II durante o período mencionado e pontos analisados. Os pontos amostrais com alta densidade de cianobactérias apresentaram também dominância das células, em quase 99%, no reservatório Passo Real. Algumas espécies de cianobactérias encontradas são potencialmente tóxicas, como é o caso da *Anabaena sp.* e *Microcystis sp.*

Por fim, o reservatório Passo Real pode ser classificado quanto o estado trófico (Clorofila *a*) no período seco a normal como oligomesotrófico (probabilidade de 90% das amostras em campo) e período chuvoso como Mesoeutrófico (probabilidade de 76% das amostras em campo) com alguma tendência pontual superhipereutrófica. Dona Francisca não

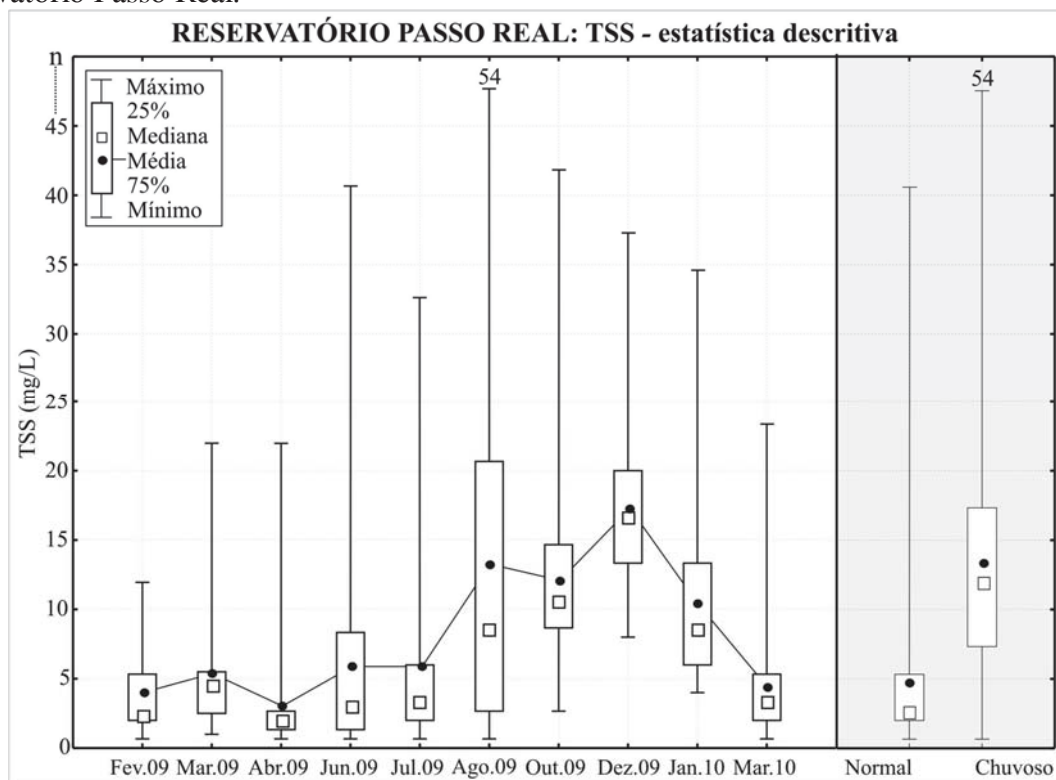
⁴ A classe 2 da resolução 357/2005 é utilizada em função dos usos múltiplos realizados nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca, tais como recreação de contato primário, irrigação, dessedentação animal e pesca.

apresentou diferenças associados ao regime pluviométrico, podendo ser classificado como oligomesotrófico (probabilidade > 83% das amostras de campo).

5.2.5.4. Total de sólidos em suspensão

A concentração média de sólidos em suspensão do reservatório Passo Real foi de $8,3 \pm 8,4$ mg/L e Dona Francisca foi de $6,6 \pm 6,3$ mg/L. Considerando os períodos de precipitação pluviométrica, Passo Real apresentou $4,7 \pm 5,6$ mg/L no período normal e $13,1 \pm 9,3$ mg/L no período chuvoso (Figura 5.50); Dona Francisca apresentou $3,7 \pm 3,2$ mg/L no período normal e $11,0 \pm 7,4$ mg/L no período chuvoso (Figura 5.51).

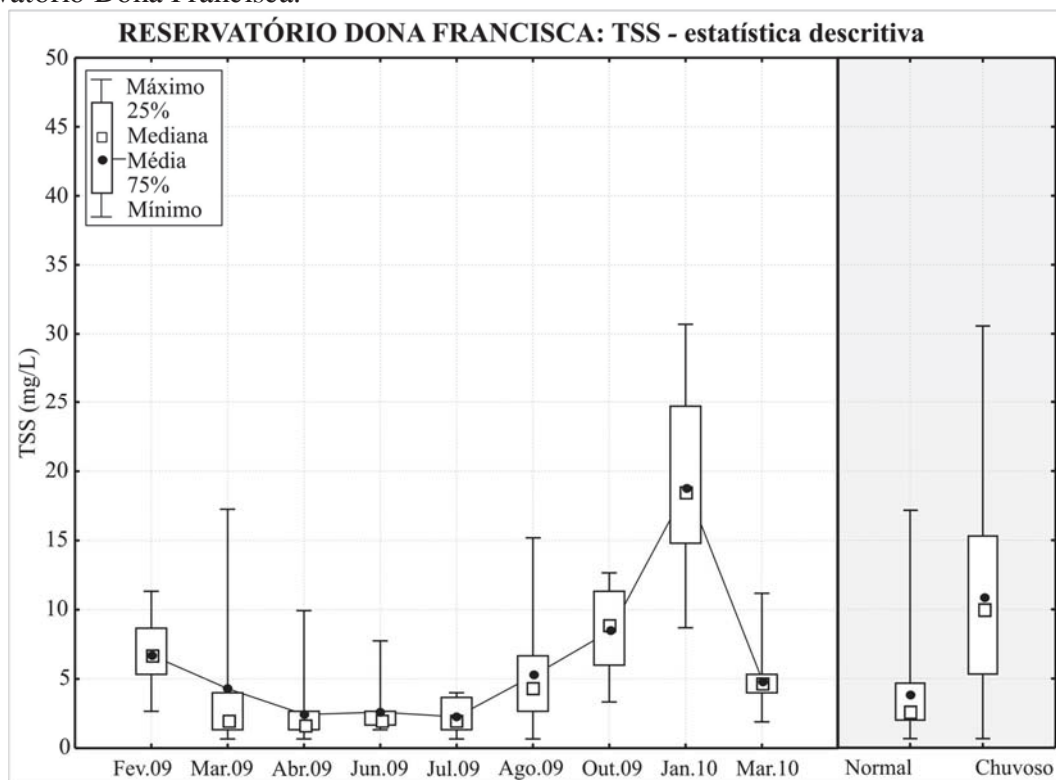
Figura 5.50 – Estatística descritiva mensal e períodos normal e chuvoso do TSS do reservatório Passo Real.



As maiores concentrações são encontradas em Passo Real, com valores máximos e muito superiores que do reservatório Dona Francisca. A série temporal destaca o aumento do TSS em função da precipitação pluviométrica registrada na BH. As menores concentrações de TSS foram encontradas em Abr.09 para ambos os reservatórios, quando foram registrados os menores índices pluviométricos (<50 mm). A maior concentração de TSS para o reservatório Passo Real ocorreu em Dez.09 (17,3 mg/L), quando ocorreram os maiores índices

pluviométricos em sua área de captação. No reservatório Dona Francisca as maiores concentrações de TSS foram encontradas em Jan.10 de 18,9 mg/L, em data posterior a enchente do rio Jacuí.

Figura 5.51 – Estatística descritiva mensal e períodos normal e chuvoso do TSS do reservatório Dona Francisca.



A análise de agrupamento do TSS nos reservatórios confirma da influência dos períodos relacionados ao regime de precipitação pluviométrica (Figuras 5.52 e 5.53). Para o reservatório Passo Real define os dois períodos, com a maior distância euclidiana em Ago.09 quando ocorre a introdução da alta carga de material. A distância do agrupamento do reservatório Dona Francisca é semelhante para os dois grupos formados (Tendência normal e chuvoso), e, o mês de Jan.10 é muito diferente dos grupos formados.

Figura 5.52 – Dendrograma para a análise de agrupamento do TSS do reservatório Passo Real

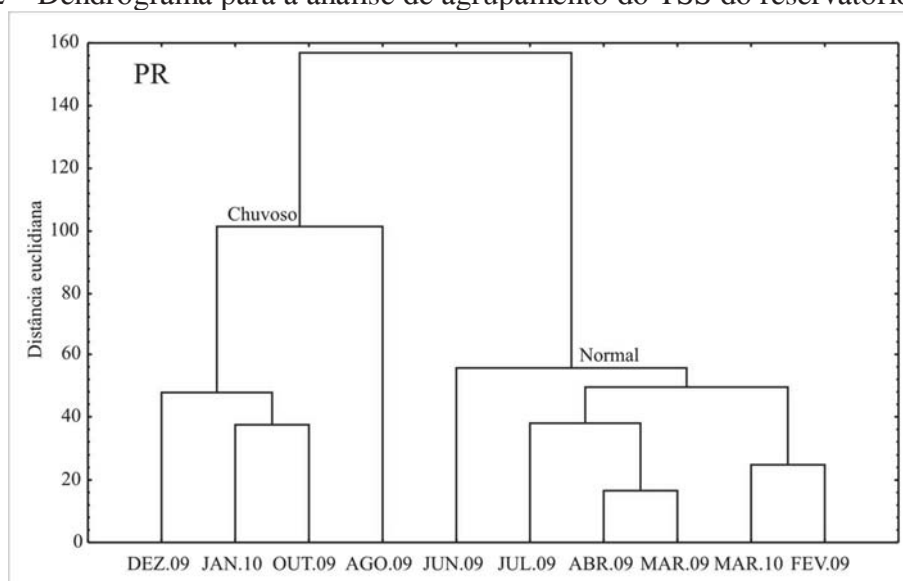
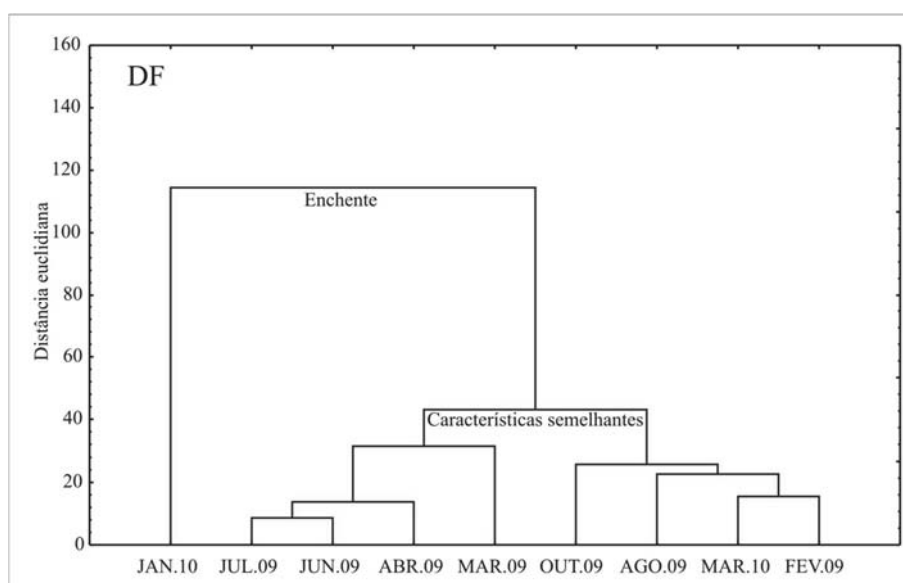


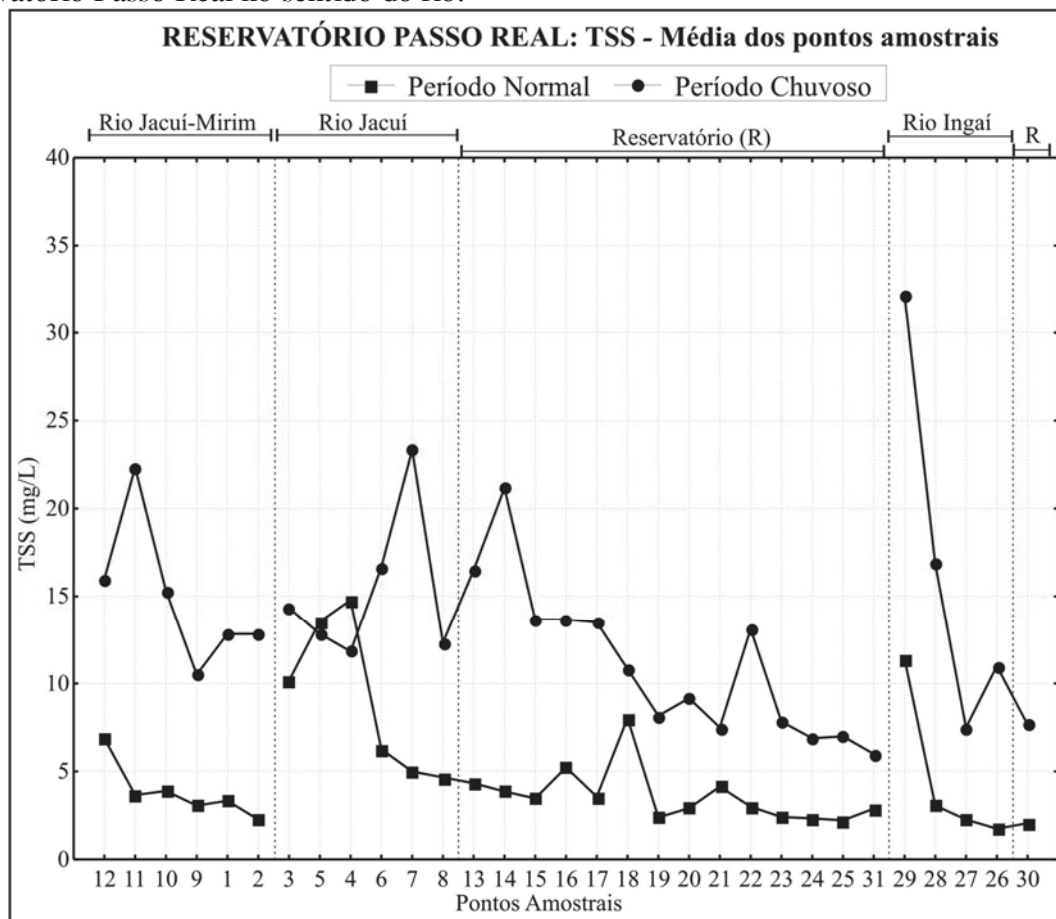
Figura 5.53 – Dendrograma para a análise de agrupamento do TSS do reservatório Dona Francisca



A média de TSS obtida para os pontos amostrais para os períodos normal e chuvoso mostrou um ritmo parecido nas duas situações, indicando as maiores concentrações nos tributários e a deposição em sentido barragem (Figura 5.54). A concentração média no rio Jacuí foi de 13 mg/L e no dique foi de 4 mg/L, ou seja, 9 mg/L podem estar sujeitos a deposição. As diferenças entre os períodos na entrada de TSS são maiores para o rio Jacuí-Mirim e rio Ingaí. O rio Jacuí na entrada do reservatório possui valores similares nos dois períodos. A explicação é a localização dos pontos amostrais do rio Jacuí na zona de rio nos

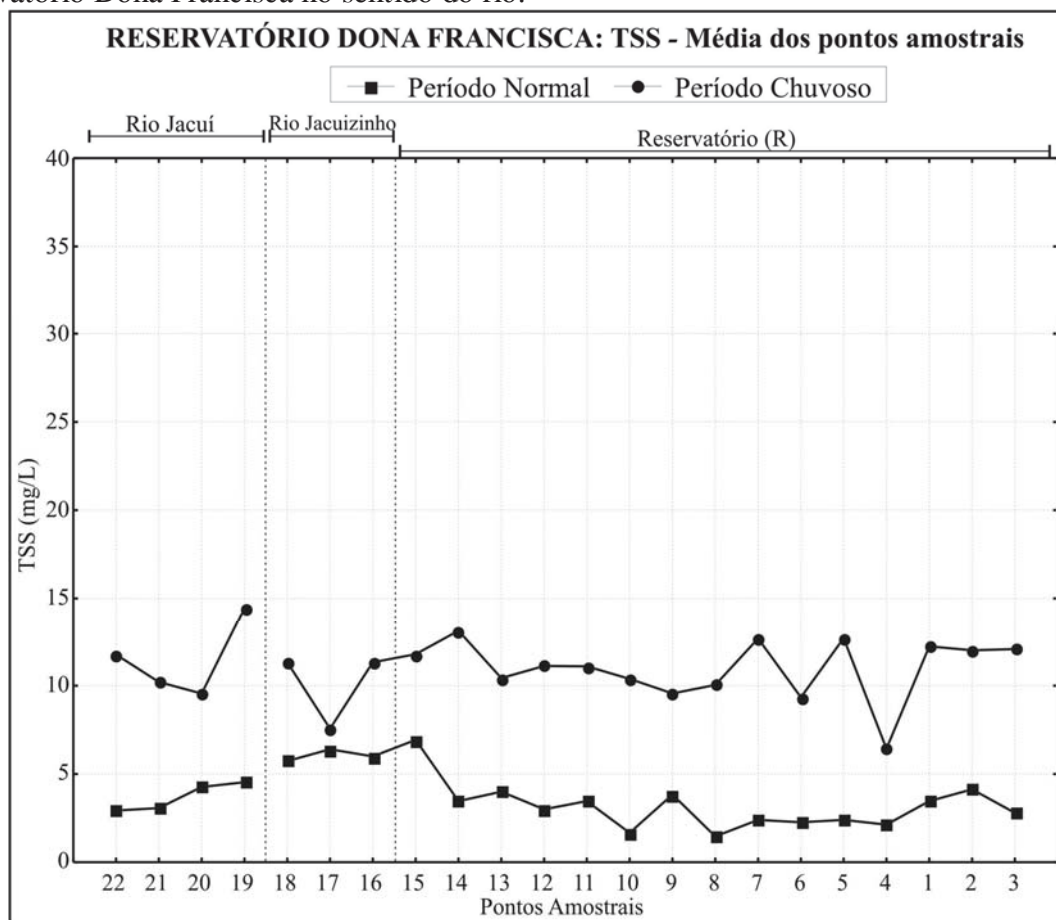
dois períodos; e, os rios Jacuí-Mirim e Ingaí, estes estão nessa situação apenas no período chuvoso.

Figura 5.54 - Média do TSS para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.



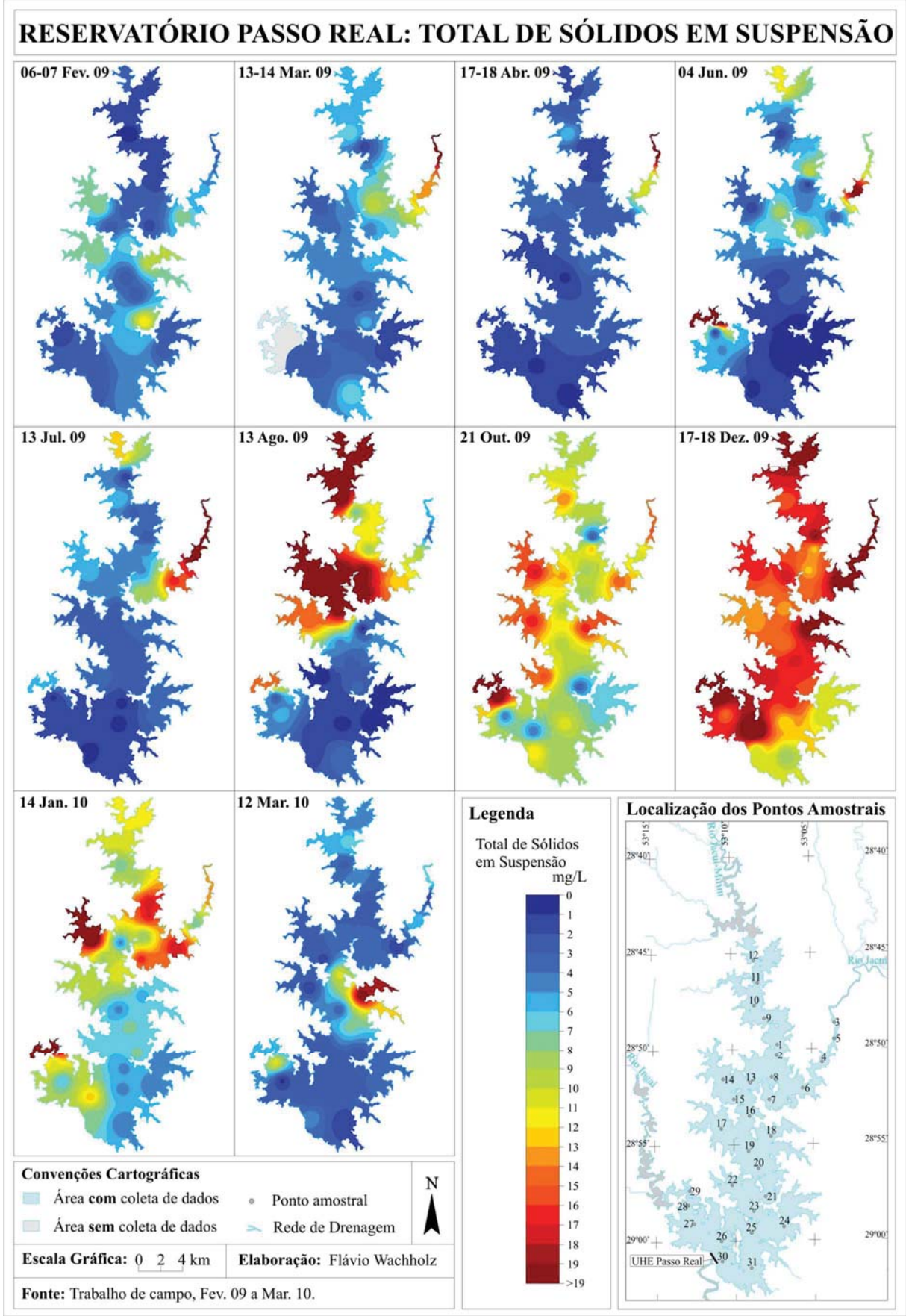
O reservatório Dona Francisca recebe águas com maiores concentrações de TSS do rio Jacuizinho no período normal e uma sensível redução no decorrer do reservatório (Figura 5.55). No período chuvoso as concentrações são parecidas para todos os pontos amostrais. A maior deposição de material ocorre no período normal quando o tempo de retenção das águas é maior.

Figura 5.55 – Média do TSS para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Dona Francisca no sentido do rio.



A espacialização demonstra pouca participação dos tributários do reservatório Passo Real nos meses do período normal (Figura 5.56). A maior carga de TSS é oriunda do rio Jacuí. No rio Ingaí é encontrada uma alta concentração de TSS em Jun.09 e no rio Jacuí-Mirim é encontrada uma alta concentração em Jun.09 e Jul. 09, decorrente da redução do nível de água (operação do reservatório). Nos meses chuvosos, iniciam as altas concentrações de TSS no reservatório em Ago.09 pela invasão de material em suspensão no reservatório em dias anteriores a coleta (altos índices pluviométricos). Esse material atinge todo reservatório em out.09, mas no contexto geral as concentrações diminuem, exceto em alguns compartimentos aquáticos associados às altas concentrações de clorofila *a*. Em Dez.09 as concentrações foram as maiores concentrações do período, com valores acima a 10 mg/L em quase todo reservatório.

Figura 5.56 – Espacialização do TSS do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10)



No reservatório Dona Francisca, a entrada de concentrações de TSS mais significativas ocorrem em Fev.09 e Mar.09 com as águas do rio Jacuizinho e depois com período chuvoso, com sensível aumento em Ago.09 e crescente em Out.09, com contribuição de maiores concentrações da série em cascata (Figura 5.57). A coleta de Jan.09 é uma condição de anomalia dado as altas precipitações na BH que resultou na enchente, quando são encontradas altas concentrações de TSS (média > 19 mg/L). Pode ser verificado compartimentos aquáticos nas reentrâncias (DF-1, DF-8, DF-12) no período chuvoso e no eixo principal do reservatório, que são consequência de pulso de material do Jacuizinho e/ou a regularização da vazão do reservatório Itaúba. A variabilidade espacial do TSS de Out.09 e Jan.10 indicam compartimentos aquáticos resultantes das diferentes vazões adotados pelo reservatório à montante.

A concentração vertical e temporal de TSS do reservatório Passo Real permitiu identificar a contribuição dos rios na concentração (Figura 5.58). Essa concentração é maior no período chuvoso e normalmente, as concentrações aumentam no sentido subsuperfície e três vezes o limite da zona eufótica. O dique possui as menores concentrações de TSS em relação os tributários considerando todas as datas. Essa diferença indica a sedimentação do material suspenso no sentido que as águas avançam sobre o reservatório. Em relação ao reservatório Dona Francisca, as maiores concentrações ocorrem notadamente em Jan.10 (Figura 5.59).

Figura 5.57 – Espacialização do TSS do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10)

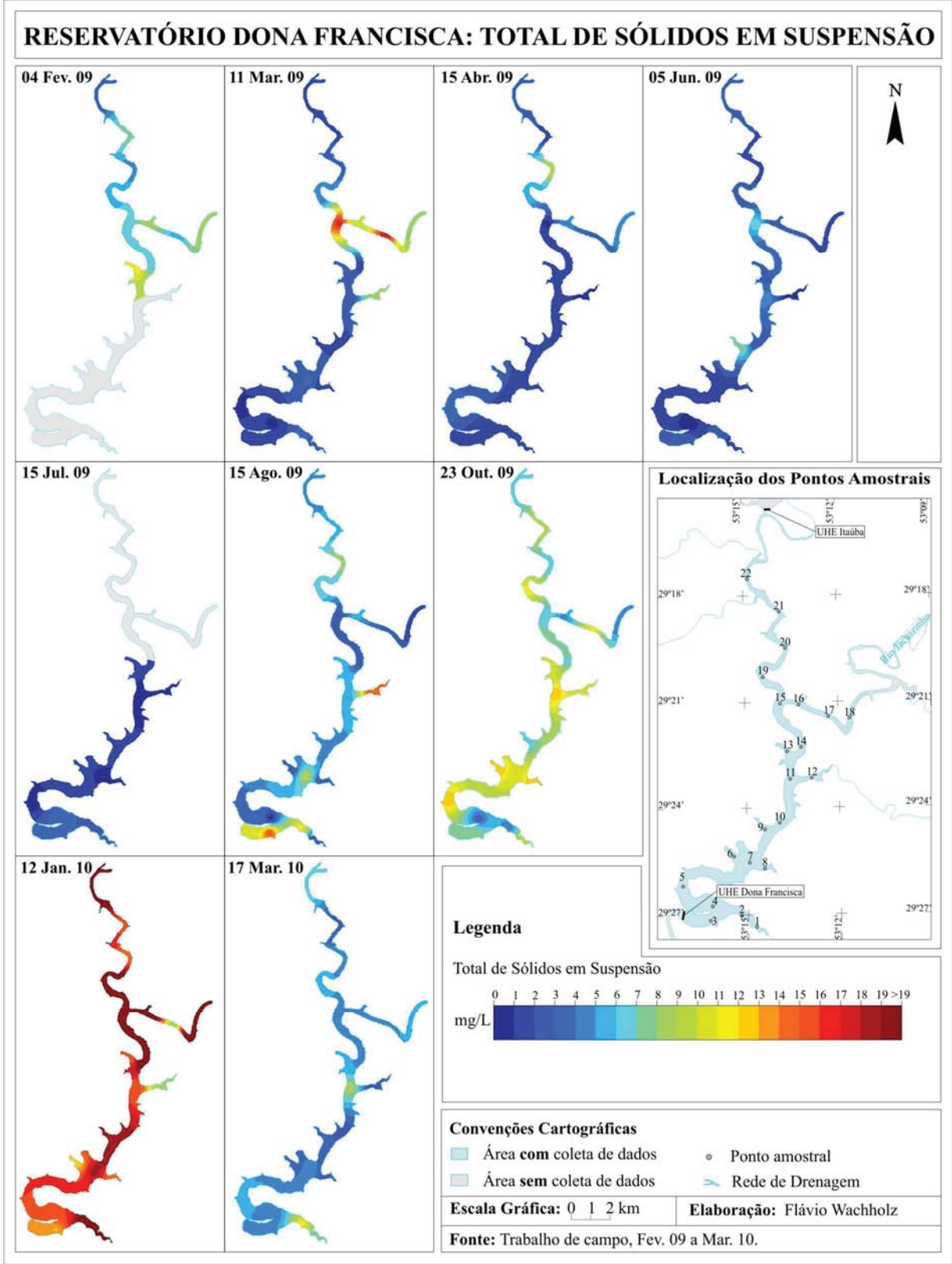


Figura 5.58 – Perfil vertical e temporal do TSS para os principais setores do reservatório Passo Real

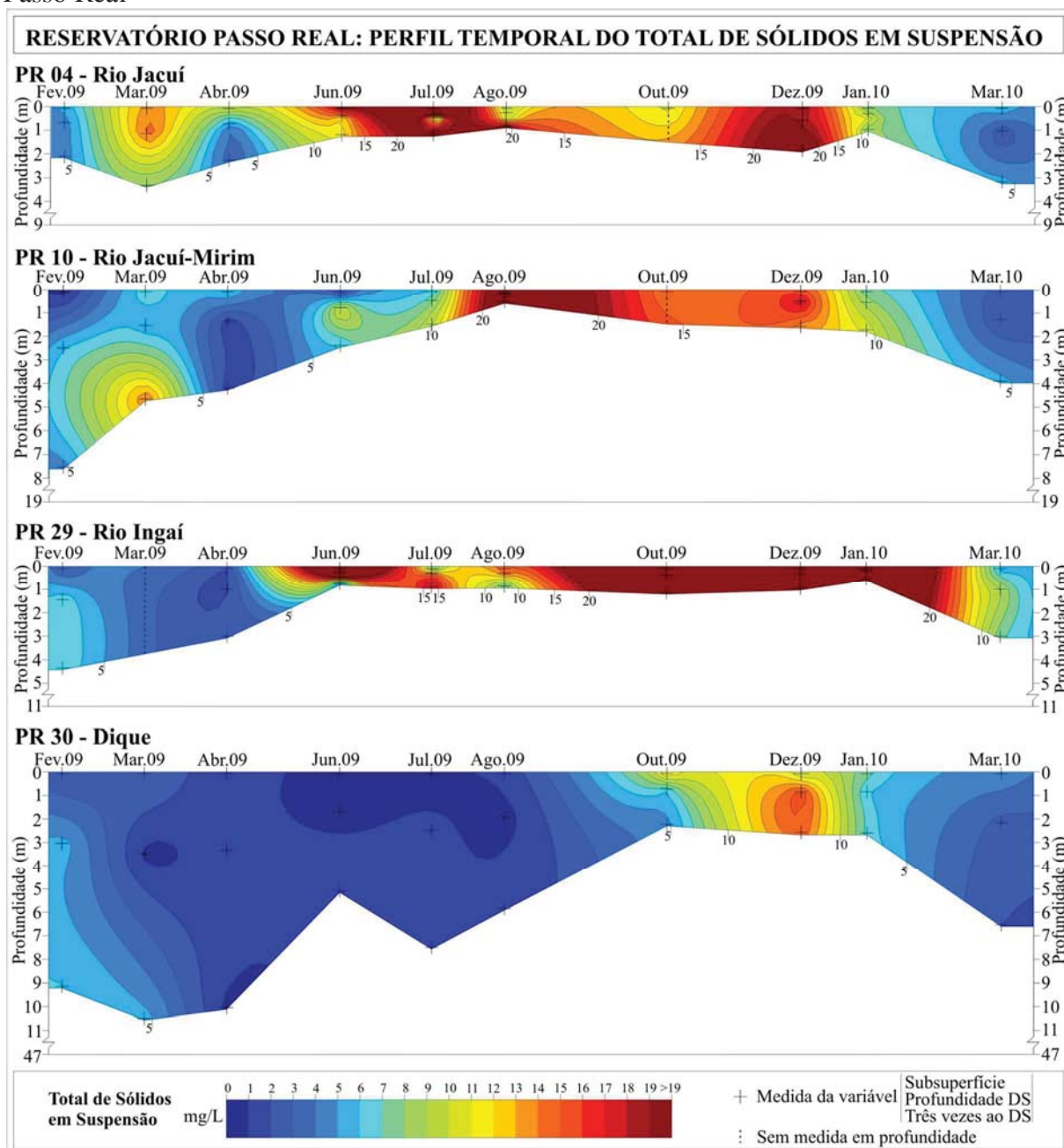
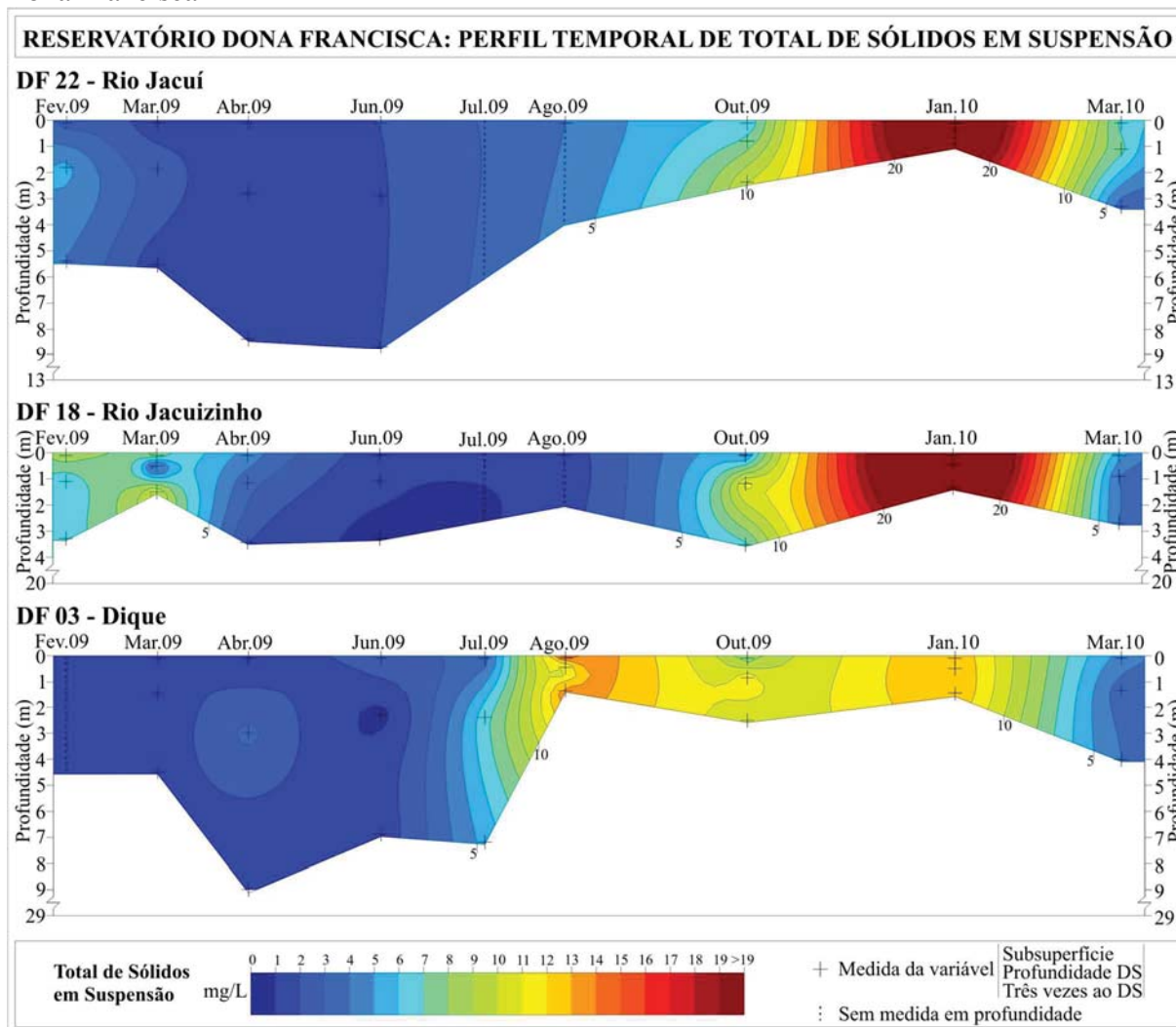


Figura 5.59 – Perfil vertical e temporal do TSS para os principais setores do reservatório Dona Francisca



5.2.5.5. Carbono Orgânico Dissolvido

A concentração média de carbono orgânico dissolvido do reservatório Passo Real foi de $2,2 \pm 1,2$ mg/L e Dona Francisca foi de $2,3 \pm 1,3$ mg/L. Considerando os períodos de precipitação pluviométrica, Passo Real apresentou $2,1 \pm 1,2$ mg/L no período normal e $2,3 \pm 1,1$ mg/L no período chuvoso (Figura 5.60); Dona Francisca apresentou $2,3 \pm 1,5$ mg/L no período normal e $2,1 \pm 0,8$ mg/L no período chuvoso (Figura 5.61). Essas concentrações são muito baixas, que caracterizam os reservatórios como oligotróficos ($COD < 3$ mg/L) (ESTEVES, 1998) e sem comprometimento a qualidade da água ($COD < 10$ mg/L) (LORCH, 2000).

Figura 5.60 – Estatística descritiva mensal e períodos normal/chuvoso do COD do reservatório Passo Real.

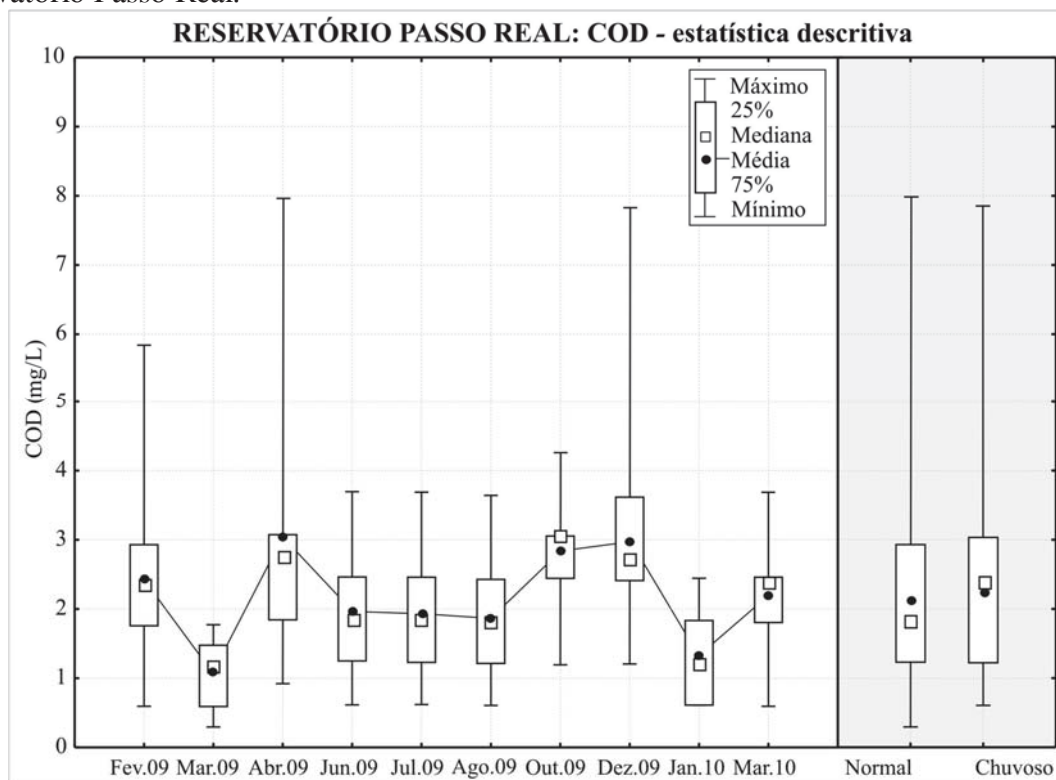
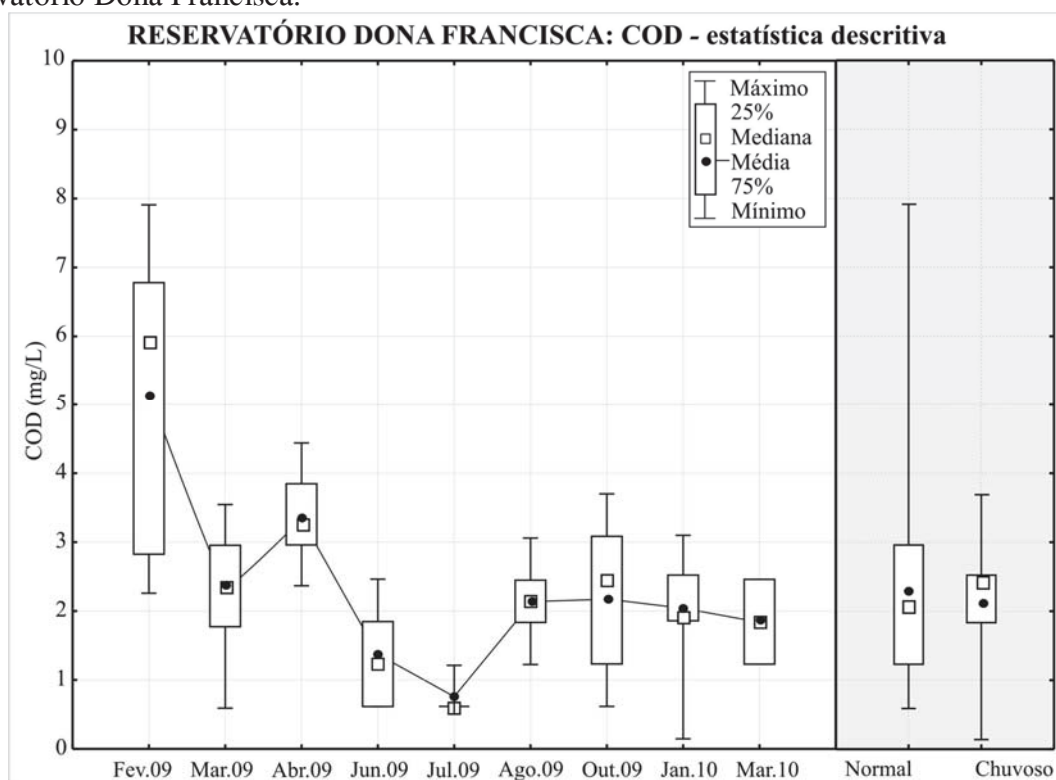
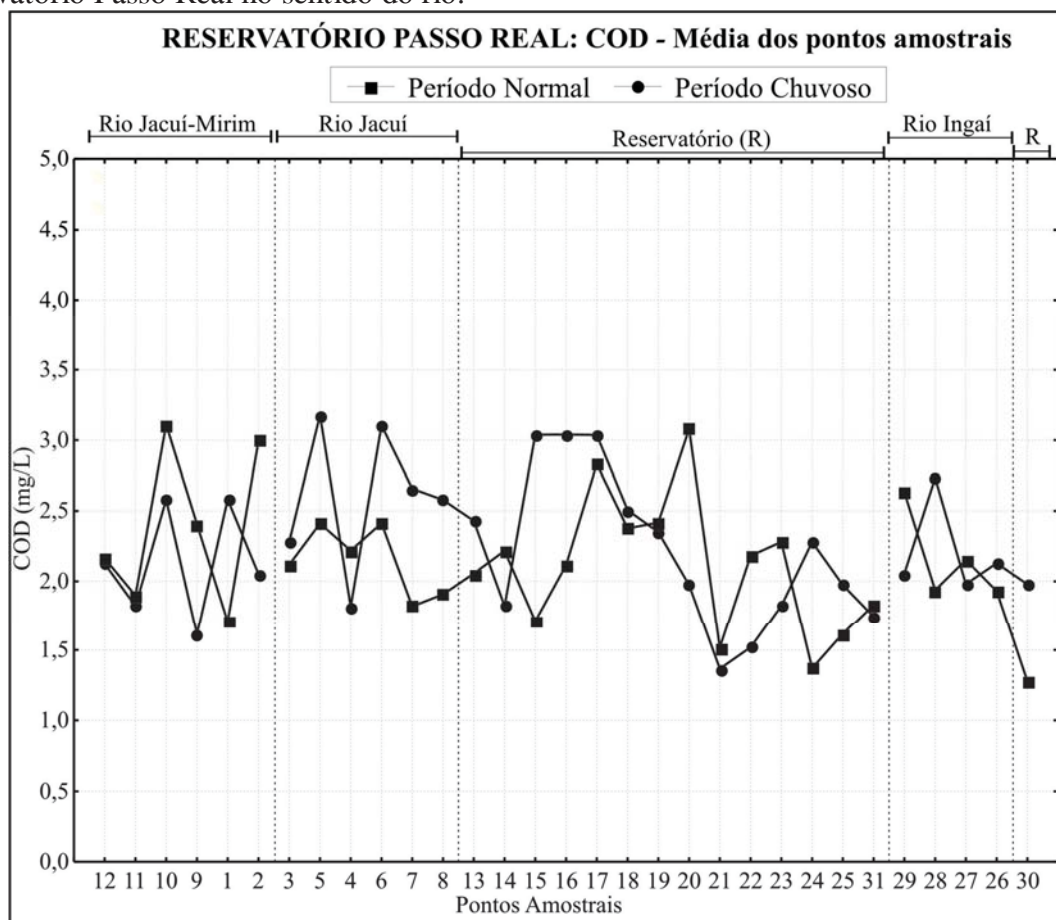


Figura 5.61 – Estatística descritiva mensal e períodos normal/chuvoso do COD do reservatório Dona Francisca.



As concentrações de COD permanecem baixas durante todos os meses analisados para ambos os reservatórios. No reservatório Passo Real, as maiores concentrações foram encontradas em Abr.09 e Dez.09. No reservatório Dona Francisca as maiores concentrações ocorreram em Fev.09 e Abr.09. Silva *et al.* (2007) encontrou maiores concentrações da COD em meses chuvosos em um estudo realizado na região Amazônica e atribui a lixiviação da matéria orgânica na BH. Em outro estudo realizado em ambiente subtropical foram encontrados maiores valores de COD, em área de captação coberta por cana-de-açúcar do que em relação a áreas florestais (SILVA, 2007). Nos reservatórios estudados (Figura 5.62 e 6.63) o aumento das concentrações de COD relacionados a meses chuvosos não ocorre, porém o reservatório Dona Francisca, com BH mais florestada, apresenta médias maiores. No entanto, nos meses de maiores concentrações de clorofila *a* do reservatório Passo Real, as algas podem estar contribuindo para disponibilização de matéria orgânica.

Figura 5.62– Média do COD para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Passo Real no sentido do rio.



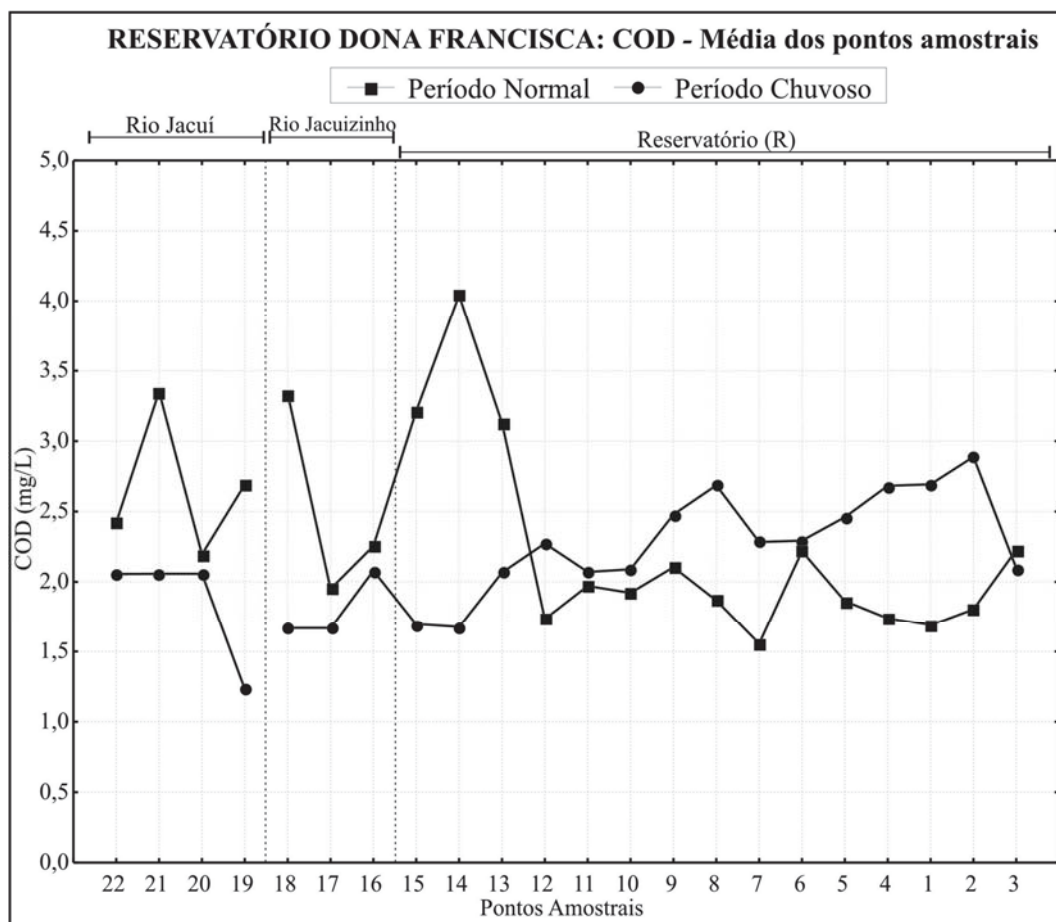


Figura 5.63 – Média do COD para os períodos normal e chuvoso para os pontos amostrais do reservatório Dona Francisca no sentido do rio.

A espacialização do COD destaca os meses de Fev.09 e Abr.09 para ambos os reservatórios (Figura 5.64 e 5.65), e, especificamente, o reservatório Passo Real em Out.09 e Dez.09, na formação de compartimentos aquáticos. Esses compartimentos estão associados à entrada de tributários associadas ao material orgânico alóctone e às reentrâncias ao material autóctone. O material autóctone é oriundo, principalmente, da excreção e da decomposição das algas (ESTEVES, 1998).

Figura 5.64 – Espacialização do COD do reservatório Passo Real (Fev.09 a Mar.10)

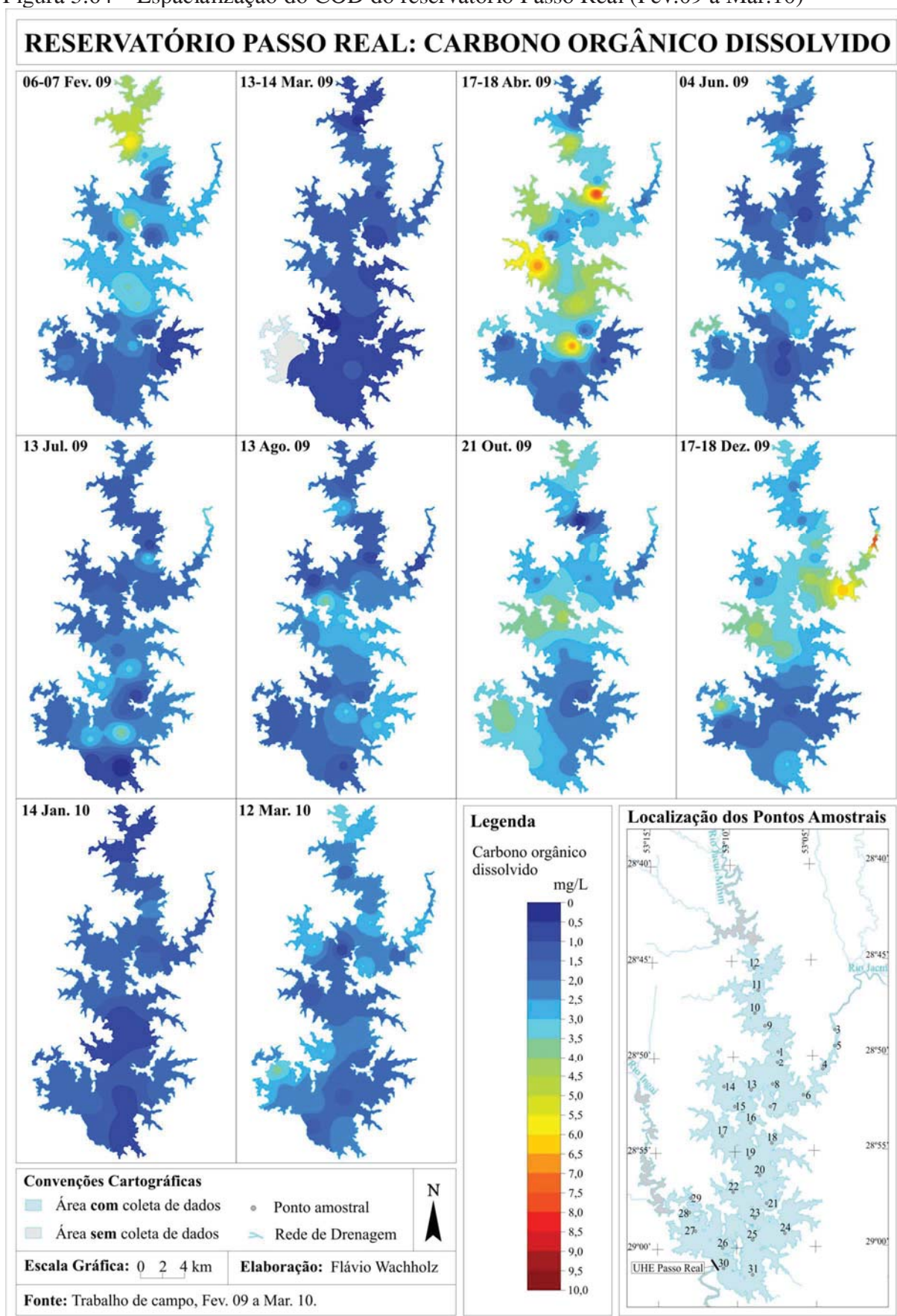
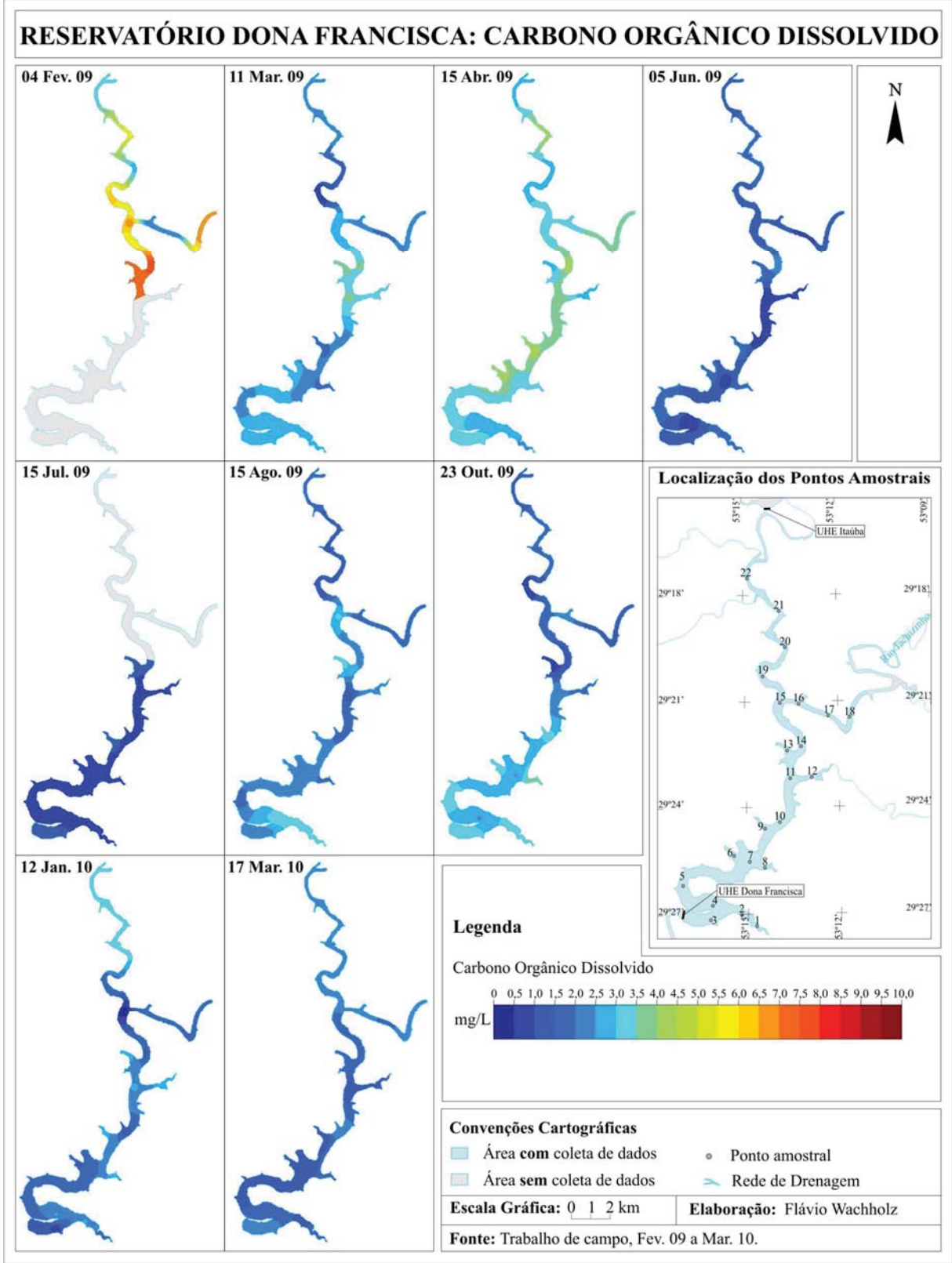


Figura 5.65 – Espacialização do COD do reservatório Dona Francisca (Fev.09 a Mar.10)



O perfil temporal do COD mostra em geral uma redução na concentração de acordo com o aumento da profundidade (Figura 5.66 e 5.67). A concentração tende ser maior nos tributários, principalmente no rio Jacuí-Mirim no reservatório Passo Real e no rio Jacuizinho no reservatório Dona Francisca.

Figura 5.66 – Perfil vertical e temporal do COD para os principais setores do reservatório Passo Real

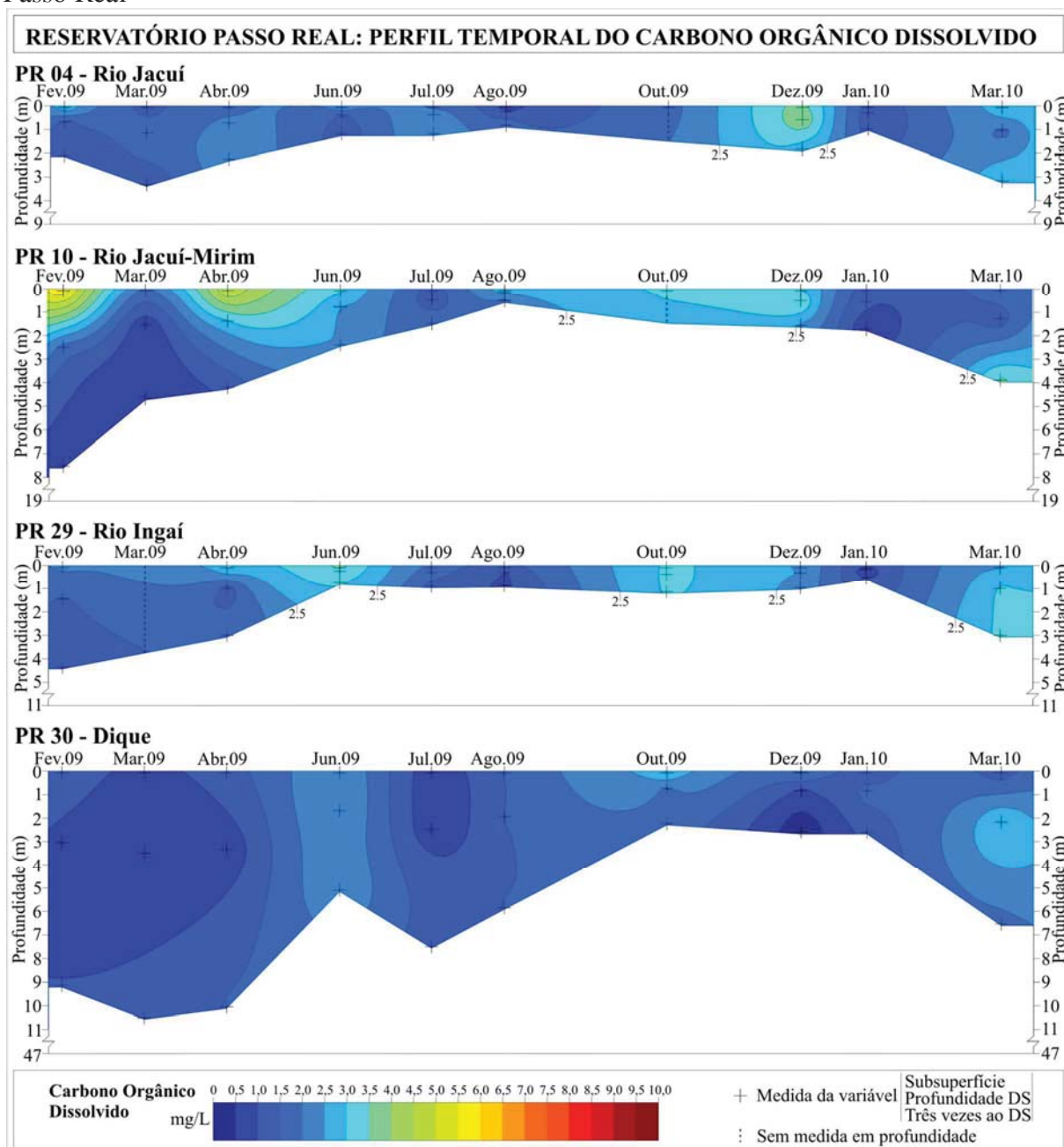
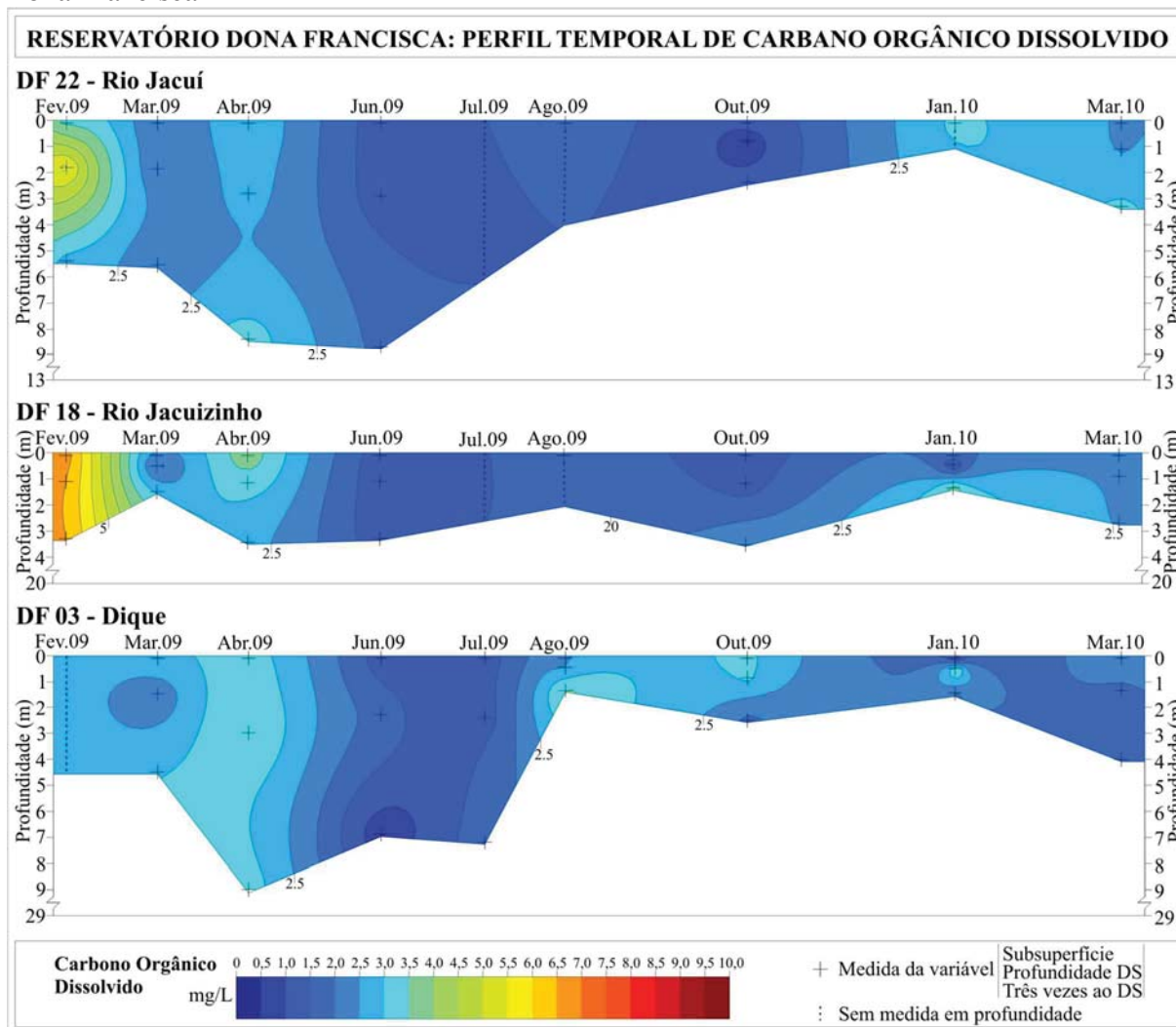


Figura 5.67 – Perfil vertical e temporal do COD para os principais setores do reservatório Dona Francisca



5.2.6. Relação entre as variáveis limnológicas dos reservatórios

As variáveis limnológicas indicaram a participação dos rios nos reservatórios, principalmente com material inorgânico. A transparência é reduzida para os rios (<1 m) e com maiores valores de TSS. Essa transparência aumenta ao longo do reservatório com a sedimentação dos sólidos em suspensão. No espaço amostral, o rio Jacuí foi a zona de menor transparência no reservatório Passo Real. O rio Ingaí também apresentou baixas transparências, mas a sua menor vazão em relação aos demais tributários desse reservatório e o contato com a grande massa d'água, pouco interferiram na transparência do reservatório.

O reservatório Dona Francisca recebe águas mais transparentes do rio Jacuí, resultante dos reservatórios em cascata, os quais retêm parte do material em suspensão. O rio Jacuizinho, de águas com menor transparência, pode em períodos de maiores vazões deslocar

estas águas à montante de sua confluência com o rio Jacuí (DF-19). O deslocamento das águas do rio Jacuizinho sobre o rio Jacuí é o resultado do aumento da vazão e da diferença de densidade da água (maiores temperaturas da água). A transparência da água aumenta novamente no DF-10, quando essas águas estão misturadas e parte do material suspenso está em processo de deposição.

O tempo de residência, o tamanho e as reentrâncias são características importantes dos reservatórios que explicam a diferença de compartimentos aquáticos encontrados. Esses fatores propiciam o desenvolvimento das zonas de rio, transição e lago no reservatório Passo Real. O reservatório Dona Francisca, principalmente devido ao baixo tempo de residência, não chega a apresentar a zona de lago, e, isso mantém boa parte do material suspenso e evita a multiplicação excessiva de algas.

O acesso dos ventos nos reservatórios é destacado como importante fator para a circulação das águas e a ressuspensão de sedimentos. A largura máxima do reservatório Passo Real (11 km na direção SE-NW, próximo à barragem) e Dona Francisca (4 km na direção E-W, próximo à barragem) determinam diferenças na circulação das águas (relação Fetch x comprimento da onda). O efeito do vento sobre o reservatório Passo Real é maior onde contribui no deslocamento de material dissolvido (nutrientes) e suspenso (inorgânico e algas) para determinados locais do reservatório. Esse fenômeno foi observado principalmente em out.09 e dez.09 quando os ventos sudeste foram dominantes sobre Passo Real. Próximos às margens, onde as profundidades são reduzidas, os ventos são responsáveis pela erosão das mesmas e ressuspensão do material depositado (Figura 5.68).

Figura 5.68 – Efeito do vento a montante do ponto 12 (Jacuí-Mirim) com a ressuspensão de material inorgânico (Mar.09) e deslocamento de cianofíceas (Dez.10)



As variáveis limnológicas transparência da água, TSS e a clorofila *a*, permitem identificar melhor a localização das zonas longitudinais e/ou compartimentos aquáticos do reservatório Passo Real. Essas zonas recebem influência direta da vazão e do regime de operação do reservatório. E com isso, variavelmente a concentração de material. Nos meses normais, os rios apresentam menores vazões e, com isso, pouco material disponibilizado ao encontro da grande massa d'água do reservatório. Nos meses chuvosos, as altas vazões dos rios conseguem atingir porções mais centrais do reservatório. Com isso, amplia-se a zona de transição do reservatório e propicia o desenvolvimento de algas, associado à alta quantidade de nutrientes recebidos dos tributários, ampliação da transparência e maiores temperaturas da massa d'água.

Os compartimentos aquáticos encontrados, conforme a área amostrada, no reservatório Passo Real podem ser assim descritos. O setor Jacuí, com a maior BH garante um grande aporte de material, que possui normalmente altas cargas de material em suspensão e baixas transparências. O setor Jacuí-Mirim corresponde uma zona de transição, na qual o aumento da transparência permite a penetração da luz e possibilita o desenvolvimento de algas. O setor central do reservatório, ou de transição, relacionado a vazão dos tributários apresentou a maior variação nos dados limnológicos, com destaque em mudanças no estado trófico (oligotrófico para mesotrófico). O setor Ingaí, normalmente é zona de transição, com problemas de hipereutrofização, resultante do encontro do rio (muitos nutrientes) com a grande massa d'água do reservatório. O setor lacustre apresentou o domínio das altas transparências e baixas concentrações de TSS, normalmente apresentou-se oligomesotrófico sob maior acesso do vento. Em meses normais de precipitação pluviométrica os setores de rio e de transição são menores, em detrimento da restrição da vazão, o setor lacustre ocupa a maior área. Em meses chuvosos a zona de transição ocupa maior área no reservatório, com redução expressiva do setor lacustre. A operação do reservatório com redução do nível d'água amplia a zona de rio sobre reservatórios. Por fim, pode ser dito que a compartimentação aquática encontrada em Passo Real é muito semelhante àquela apresentada por Kimmel *et al.* (1990).

Os compartimentos aquáticos encontrados no reservatório Dona Francisca são basicamente três: o setor Jacuí, com águas fortemente alteradas pela série em cascata de reservatórios, maiores transparências e baixas concentrações de TSS, oligotróficas e de menores temperaturas da água. O setor Jacuizinho, representa menores transparências, com

maiores temperaturas e eutrófico. O setor transição/dique que é resultante da mistura das águas oriundas do rio Jacuizinho e do rio Jacuí.

As correlações encontradas entre as variáveis limnológicas para os reservatórios Passo Real e Dona Francisca são apresentadas nas Tabelas 5.5 e 5.6 (em negrito os valores significativos, $\alpha \geq 0,01$).

Tabela 5.5 – Correlação entre as variáveis limnológicas para o reservatório Passo Real

Passo Real	Fev.09	Mar.09	Abr.09	Jun.09	Jul.09	Ago.09	Out.09	Dez.09	Jan.10	Mar.10
DS*Temp	0,74	-0,15	0,70	0,76	0,82	-0,23	-0,58	-0,43	0,52	-0,35
DS*TSS	-0,09	-0,70	-0,50	-0,57	-0,56	-0,52	-0,46	-0,47	-0,67	-0,07
DS*COD	-0,09	-0,50	-0,04	0,03	-0,05	-0,02	-0,11	-0,24	-0,25	-0,49
DS*Chl	-0,29	-0,33	-0,37	0,12	0,04	0,05	0,00	-0,19	-0,03	-0,33
Temp*TSS	0,08	-0,06	-0,74	-0,77	-0,76	0,70	0,24	0,22	-0,55	0,00
Temp*COD	-0,18	0,14	0,09	-0,19	-0,05	0,04	0,32	-0,15	-0,12	0,18
Temp*Chl	-0,06	0,59	-0,11	0,52	0,07	-0,21	0,40	0,60	0,39	0,08
TSS*COD	-0,07	0,30	0,02	0,35	0,16	0,02	0,20	0,10	0,28	0,06
TSS*Chl	0,01	0,24	0,07	-0,35	-0,29	-0,25	0,17	0,29	-0,23	0,06
COD*Chl	0,00	0,18	-0,03	-0,04	-0,13	0,04	0,25	-0,03	0,06	0,20

Em negrito os valores significativos ($\alpha=0,01$)

Tabela 5.6 – Correlação entre as variáveis limnológicas para o reservatório Dona Francisca

Dona Francisca	Fev.09	Mar.09	Abr.09	Jun.09	Jul.09	Ago.09	Out.09	Jan.10	Mar.10
DS*Temp	-0,80	-0,81	-0,83	0,76	-0,30	-0,09	0,70	0,57	-0,18
DS*TSS	-0,38	-0,79	0,00	0,05	-0,53	0,08	-0,07	-0,58	-0,47
DS*COD	-0,10	0,03	-0,11	0,31	0,11	-0,64	-0,05	-0,01	-0,28
DS*Chl	-0,16	-0,85	0,23	-0,30	-0,46	-0,49	0,62	0,23	-0,42
Temp*TSS	0,51	0,51	-0,13	-0,12	0,37	0,14	-0,05	-0,22	-0,09
Temp*COD	-0,03	0,26	0,37	0,22	-0,18	0,20	-0,28	-0,14	-0,09
Temp*Chl	0,35	0,83	-0,43	-0,37	0,23	0,34	0,52	0,78	-0,21
TSS*COD	0,47	-0,09	-0,22	0,20	0,28	0,00	0,11	-0,27	-0,23
TSS*Chl	0,56	0,53	0,23	-0,10	0,34	0,22	-0,04	0,04	0,33
COD*Chl	0,57	-0,02	0,10	0,11	-0,19	0,44	0,18	-0,02	-0,10

Em negrito os valores significativos ($\alpha=0,01$)

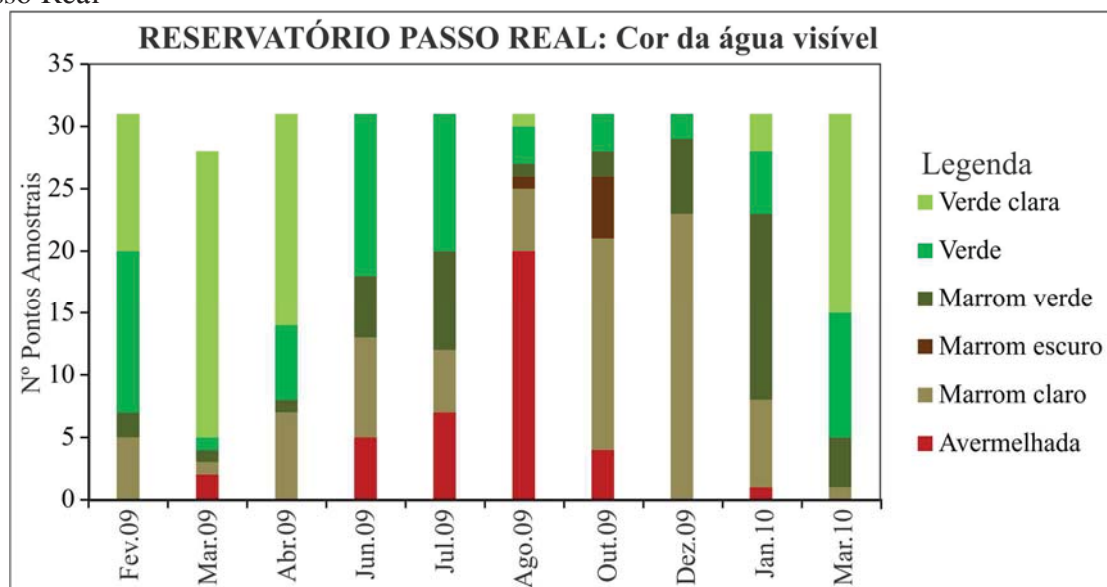
As correlações da transparência com temperatura da água são normalmente significativas, em função dos diferentes tempos de residência nos compartimentos aquáticos dos reservatórios (em geral, aumento da transparência e temperatura da água no sentido rio-reservatório). A medida da transparência do reservatório Passo Real é mais dependente da concentração de TSS, enquanto no reservatório Dona Francisca está mais relacionada com a

clorofila *a*. A concentração de clorofila *a* depende espacialmente da temperatura da água, principalmente nos meses de primavera e verão. Em poucos meses é encontrada uma correlação significativa entre TSS e clorofila. Isso demonstra a maior participação do material inorgânico no TSS que não é fator tão limitante ao desenvolvimento de algas nos reservatórios, quanto o baixo tempo de residência dos rios. Por fim, as algas não significaram aumento na disponibilização de COD ao ecossistema aquático nos reservatórios analisados.

5.2.6.1. Relação das variáveis com a cor da água

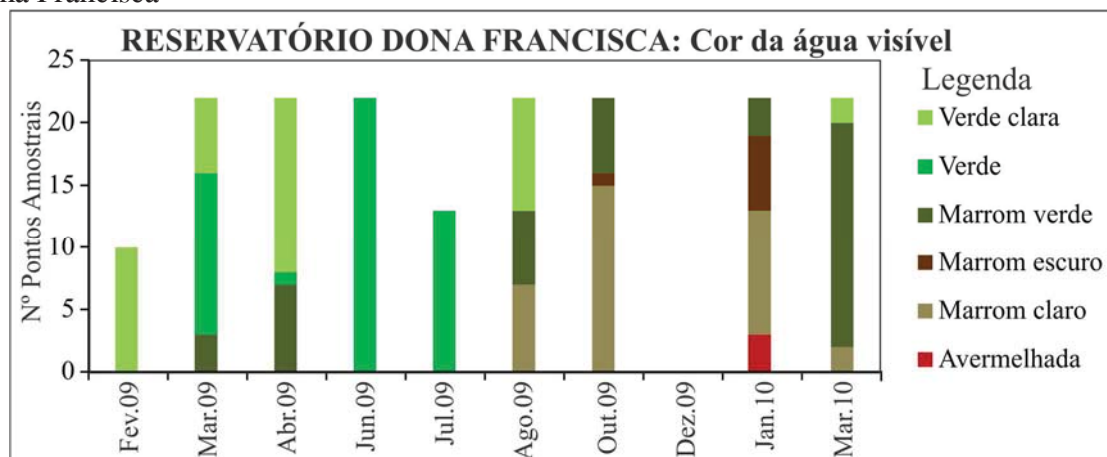
A cor da água visualizada em campo fornece algumas informações das constituintes presentes na massa da água. As cores: avermelhada, marrom claro, marrom escuro, marrom verde, verde e verde clara foram encontradas nos reservatórios. A ocorrência das cores nos reservatórios é apresentada nas Figuras 5.69 e 5.70 e são analisadas na sequência.

Figura 5.69 – Cores da água durante o período de coleta (Fev.09 a Mar.10) do reservatório Passo Real



A cor avermelhada da água está presente na entrada dos rios do reservatório Passo Real para o período chuvoso. No reservatório Dona Francisca essa cor ocorreu apenas para os pontos amostrais do rio Jacuí em Jan.10. Essa cor é proporcionada pela alta carga de material inorgânico em suspensão, oriunda das perdas por escoamento superficial de Latossolo Vermelho, o qual está presente em quase toda BH do reservatório Passo Real (STRECK *et al.*, 2008).

Figura 5.70 – Cores da água durante o período de coleta (Fev.09 a Mar.10) do reservatório Dona Francisca



A cor marrom claro aparece em águas oriundas dos tributários no período normal e na zona de transição de rio-reservatório durante o período chuvoso para o reservatório Passo Real. No reservatório Dona Francisca essa cor ocorre nos meses chuvosos em boa parte dos pontos amostrais.

A cor marrom escura foi a menos encontrada nos reservatórios. Em Passo Real foi encontrada em Ago.09 e Out.09 e no reservatório Dona Francisca foi encontrada em Out.09 e Jan.10. Essa cor foi verificada na zona de transição dos reservatórios. Embora da tonalidade escura, os pontos amostrais dessa cor não apresentaram a maior concentração de carbono orgânico dissolvido.

A água marrom verde apresenta uma sensível redução do material inorgânico em suspensão (aumento da transparência) e apresenta uma alta concentração de algas na água. Essa cor da água ocorreu no período chuvoso e em zonas transicionais dos reservatórios.

As águas verde e esverdeada ocorrem principalmente em meses normais de precipitação. As duas cores estão associadas à baixa carga de material inorgânico, mas, enquanto a cor verde está associada à alta concentração de clorofila *a*, a cor esverdeada está à sua baixa concentração. Todavia, em março de 2010, ambos os reservatórios apresentaram cor esverdeada para águas com alta concentração de clorofila *a*, fato que pode estar associado ao estado fisiológico e espécie das algas.

A cor visualizada em campo, mesmo sendo um critério subjetivo, pode ser considerada como uma variável preliminar sobre quais constituintes são dominantes na água naquele compartimento aquático. A cor da água tem a importância como indicador dos possíveis usos múltiplos da água. As cores marrom-verde e verde podem ser um alerta para coibir atividades

de recreação e dessedentação animal, pela possibilidade de conter cianotoxinas na água (densidade elevada de cianobactérias potencialmente tóxicas).

5.2.6.2. Variabilidade espaço-temporal

As diferenças espaciais e temporais das variáveis limnológicas foram identificadas nos reservatórios e aqui é apresentada a variância para destacar a sua dependência espaço-temporal (Tabelas 5.7 e 5.8).

Tabela 5.7 – Variância dos dados limnológicas para o reservatório Passo Real

Dona Francisca	Fev.09	Mar.09	Abr.09	Jun.09	Jul.09	Ago.09	Out.09	Dez.09	Jan.10	Mar.10	T	E.T.
Temp	1,44	0,47	0,75	4,55	0,34	0,84	3,06	2,81	0,69	0,78	24,66	23,82
TSS	8,75	21,08	16,32	67,78	55,64	195,98	57,69	32,18	43,06	18,96	16,47	71,25
Chl	3,02	11,79	4,57	2,32	2,80	53,84	7382,31	417,92	57,38	599,95	120,28	951,98
COD	1,34	0,24	3,05	0,64	0,65	0,72	0,42	1,87	0,28	0,45	0,45	1,34
DS	0,52	0,97	0,63	0,46	0,57	0,37	0,01	0,02	0,05	0,20	0,44	0,75

T = Escala temporal com base nas médias mensais. E.T. = Escala espaço-temporal de todos os dados limnológicos

Tabela 5.8 – Variância dos dados limnológicas para o reservatório Dona Francisca

Dona Francisca	Fev.09	Mar.09	Abr.09	Jun.09	Jul.09	Ago.09	Out.09	Jan.10	Mar.10	T	E.T.
Temp	4,84	0,93	0,23	0,09	0,00	1,44	6,69	1,40	2,33	18,39	17,14
TSS	6,46	23,82	4,57	3,32	1,78	16,77	9,59	38,73	4,59	18,78	39,36
Chl	90,28	19,59	3,57	2,93	5,03	6,73	18,66	47,80	26,20	5,80	24,52
COD	4,93	0,62	0,40	0,32	0,07	0,42	0,79	0,58	0,27	1,59	1,59
DS	0,06	0,19	0,25	0,15	0,08	0,13	0,01	0,00	0,04	0,52	0,59

T = Escala temporal com base nas médias mensais. E.T. = Escala espaço-temporal de todos os dados limnológicos

A temperatura da água apresenta as maiores variâncias em meses sob interferência das precipitações anteriores a mensuração e ventos intensos. Estudos da temperatura da água espaço-temporais descrevem a ação do vento sobre o reservatório, radiação solar, precipitação pluviométrica sobre o reservatório, das SHs e funcionamento do reservatório. Passo Real apresenta a maior variância espaço-temporal da temperatura do que Dona Francisca.

O TSS apresenta a maior variância espacial nos meses chuvosos relacionados aos pulsos de material da BH. A variância de Passo Real é maior do que para Dona Francisca, tanto pela maior entrada de material em suspensão pelos tributários do primeiro, quanto pela presença de vários compartimentos aquáticos que é determinante para a deposição do

material. A redução do nível de Passo Real, sucessivo a meses normais de precipitação pluviométrica, proporciona alta variância dessa variável no reservatório.

A clorofila *a* apresenta uma maior variância nos meses normais para o reservatório Dona Francisca do que em Passo Real. O contrário acontece no período chuvoso quando ocorre variância muito superior para o reservatório Passo Real. Novamente, nesse período, a variância espaço-temporal da clorofila *a* é muito superior para o reservatório Passo Real.

A transparência da água para os dois reservatórios apresenta maior variância nos meses normais e baixa variância nos meses chuvosos. A diferença é provocada pelo maior tempo de retenção dos reservatórios durante os meses normais. A variância espaço-temporal é maior para o reservatório Passo Real.

Longos períodos de residência da água no reservatório Passo Real condicionam às baixas concentrações de TSS e clorofila *a*. A entrada de nutrientes no período chuvoso implica em altas variâncias espaciais para essas duas variáveis. Tocante às variâncias espaciais que podem ser superiores às variâncias espaço-temporais, sendo notada essa característica com maior intensidade para o reservatório Passo Real.

Embora a maior variância espaço-temporal do reservatório Passo Real para quase todas as variáveis limnológicas, é necessário destacar a maior variância temporal observada para o reservatório Dona Francisca às variáveis transparência, TSS e COD. O curto tempo de residência pode ser responsável por ressaltar diferenças temporais sobre espaciais.

5.2.7. Influência das SHs nas variáveis limnológicas

Os dados históricos mostraram o aumento significativo da vazão do Alto Jacuí, após 1973, período em que ocorre a ampliação das áreas agrícolas e a mecanização destas, tendo como consequência a impermeabilização do solo. O sistema de plantio convencional acarretava a uma alta perda de solos, que, posteriormente veio a ser reduzido com o sistema de plantio direto. No entanto essa técnica aumentou a compactação do solo e resultou no aumento do escoamento superficial, carreando consigo os fertilizantes depositados no solo (GARCIA; RIGHES, 2008).

A precipitação pluviométrica apresentou uma melhor relação com as médias de TSS do reservatório Passo Real ($r^2=0,81$) do que Dona Francisca ($r^2=0,49$), com valores significativos (Figura 5.71 e 5.72). A inclinação da reta demonstrou maiores médias para o reservatório Passo Real. A precipitação também apresentou uma relação significativa e inversa com a transparência para ambos os reservatórios (Figura 5.71 e 5.72). Com isso, foi

possível identificar o reservatório o Passo Real com maior impacto das chuvas na sua BH e direta sobre este. A relação da precipitação pluviométrica com a concentração de TSS e transparência com os valores encontrados nos tributários foram significativos (Figura 5.73). A precipitação pluviométrica foi relacionada com as concentrações de clorofila *a* e carbono orgânico dissolvido, porém as correlações não foram significativas.

Figura 5.71 - Relação entre precipitação pluviométrica e a média do TSS/Transparência para o reservatório Passo Real

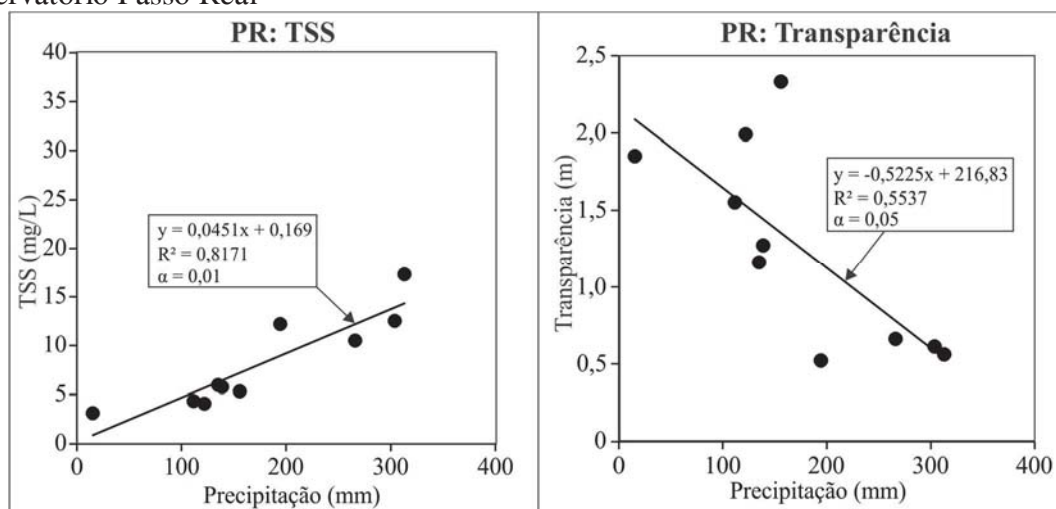
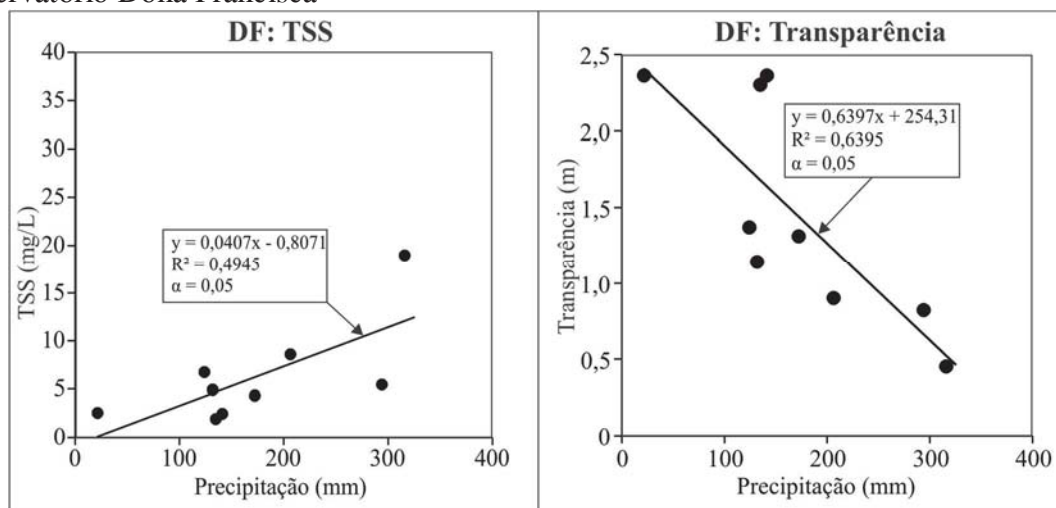


Figura 5.72 - Relação entre precipitação pluviométrica e a média do TSS/Transparência para o reservatório Dona Francisca



O TSS e a transparência dos reservatórios foram estimados a partir das equações lineares (variáveis limnológicas e precipitação pluviométrica), utilizando dados da normal climatológica estabelecido para Alto Jacuí (Tabela 5.9). Ocorre uma diferença de 25% entre os reservatórios, com maior concentração de TSS e menor transparência de Passo Real. As probabilidades de ocorrência (amostras do período analisado) de transparência no período

chuvoso foram mais altas e indicam baixas transparências para quase todos os pontos amostrais.

Figura 5.73 – Relação entre precipitação pluviométrica e TSS, precipitação pluviométrica e a média da transparência da água dos tributários

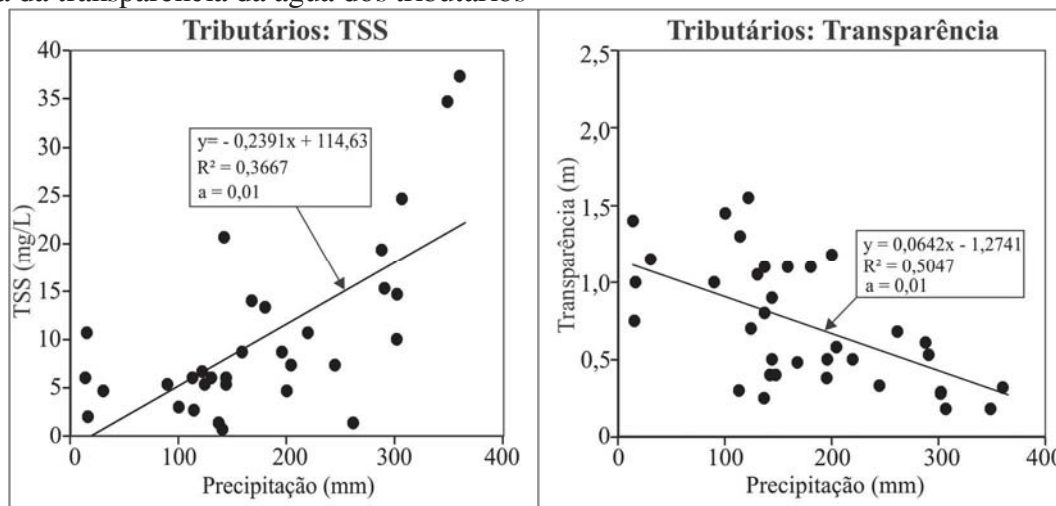


Tabela 5.9 – Valores de TSS e transparência estimados para os reservatórios segundo normais climatológicas de precipitação, períodos e a probabilidade de ocorrência

Variáveis	Passo Real			Dona Francisca		
	Seco	Normal	Chuvoso	Seco	Normal	Chuvoso
TSS (mg/L)	4,1	6,1	8,6	2,77	4,52	6,80
Prob. Período Seco (%)	64	23	13	59	26	15
Prob. Período chuvoso (%)	13	17	70	6	36	58
Transparência (m)	1,71	1,48	1,19	1,98	1,71	1,35
Prob. Período Seco (%)	47	21	32	44	25	31
Prob. Período chuvoso (%)	2	2	96	0	6	94

A maior concentração de TSS para os tributários do reservatório Passo Real destaca a maior participação de sua BH mais agrícola, do que para o tributário de Dona Francisca. A SH Jacuizinho, embora possua condições desfavoráveis, solos pouco profundos e relevo dissecado, mas a ocupação dominante, florestas e campos, conservam o solo contra a perda de material inorgânico.

De acordo com o uso e ocupação das terras da BH de Passo Real, e os dados disponíveis na literatura sobre coeficientes de exportação (CASTAGNINO, 1982), a emissão de fósforo tende ser alta. Com isso, a relação nitrogênio/fósforo passa a ser baixa, em que o nitrogênio é um fator limitante para o desenvolvimento da maioria das algas, com exceção das cianobactérias que possuem a capacidade de absorver nitrogênio da atmosfera. Assim, as florações de cianobactérias são ocorrentes nos períodos chuvosos e em meses da primavera e do verão (maior temperatura da água).

Os menores índices de saneamento básico da bacia Jacuizinho em relação ao Alto Jacuí e a maior presença de bovinos podem ser emissores de nutrientes ao reservatório Dona Francisca, que podem favorecer um maior desenvolvimento de algas. No caso específico, em Jan.10 a alta concentração de clorofila *a* encontrada no rio Jacuizinho posterior à ocorrência de enchente, não é oriunda diretamente de seu desenvolvimento autóctone, mas de extravasamento de reservatórios (açudes) na SH.

Considerando a precipitação pluviométrica (normal climatológica) e considerando o NDVI (dinâmica vegetativa do uso da terra) podem ser estimados por regressão múltipla os valores de transparência e a concentração de TSS nos tributários. A regressão múltipla das variáveis limnológicas dos tributários com NDVI e precipitação pluviométrica, mostrou relações significativas também para a transparência e TSS. O coeficiente de determinação para transparência aumentou 6% (36 – 42%) e TSS aumentou 2% (50 – 52%), com a inclusão do NDVI.

A relação entre as médias das variáveis limnológicas (TSS e DS), chuva e a inclusão do NDVI foi significativa para o reservatório Passo Real. O coeficiente de determinação para a transparência aumentou 17% (55 – 72%) e TSS aumentou 9% (81 – 90%), com a inclusão do NDVI (Figuras 5.74 e 5.75). O modelo gerado a partir da integração dessas variáveis permite estimar o TSS e a transparência, segundo os meses do ano (Tabela 5.10). As maiores concentrações de TSS e menores transparências seriam encontradas para o mês de outubro, que apresenta a tendência chuvosa e baixos valores de NDVI (entressafra, com maior área de solo exposto). Logo, meses como fevereiro, março e agosto que apresentam tendências normais a secas em relação à precipitação e altos índices de NDVI, segundo o modelo apresentarão menores concentrações de TSS e maiores transparências. Em trabalho realizado por Wachholz *et al.* (2011) no reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS foram encontradas relações entre precipitação pluviométrica, uso da terra e TSS, sendo maior em setembro e outubro.

Figura 5.74 – Relação do NDVI e precipitação pluviométrica com o TSS médio do reservatório Passo Real

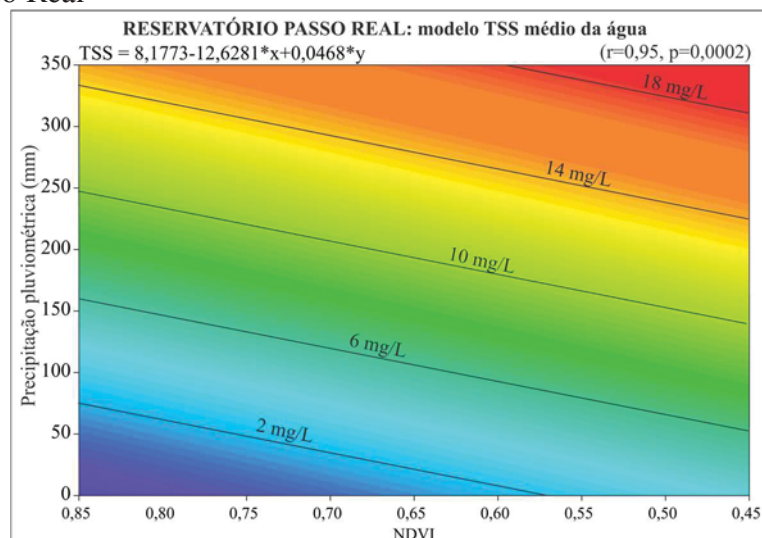


Figura 5.75 – Relação do NDVI e precipitação pluviométrica com a transparência média do reservatório Passo Real

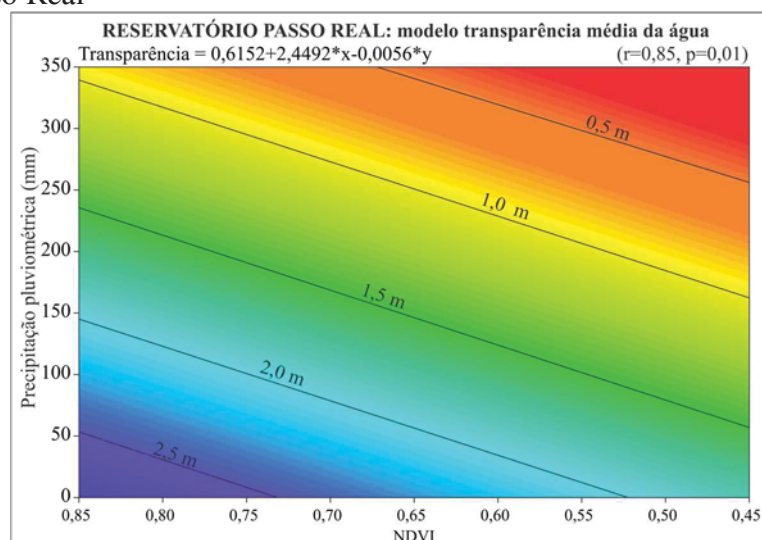


Tabela 5.10 – Estimativas dos modelos de TSS e transparência para o reservatório Passo Real

Variável	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
TSS* (mg/L)												
Seco	3,4	1,9	2,3	4,7	4,6	5,1	3,6	2,9	4,5	5,9	4,7	3,6
Normal	5,4	4,2	3,9	6,5	7,0	7,2	5,9	5,2	6,8	8,8	6,5	5,4
Chuvoso	8,3	6,0	6,2	10,4	10,2	9,8	8,1	8,2	9,5	11,5	9,8	8,5
DS*(m)												
Seco	1,9	2,1	2,0	1,5	1,5	1,5	1,8	1,9	1,7	1,4	1,5	1,8
Normal	1,6	1,8	1,8	1,3	1,2	1,3	1,5	1,6	1,4	1,1	1,3	1,6
Chuvoso	1,3	1,6	1,6	0,8	0,8	1,0	1,2	1,3	1,1	0,7	0,9	1,2

* O modelo utiliza a precipitação pluviométrica resultante da normal climatológica e o NDVI da BH atual.

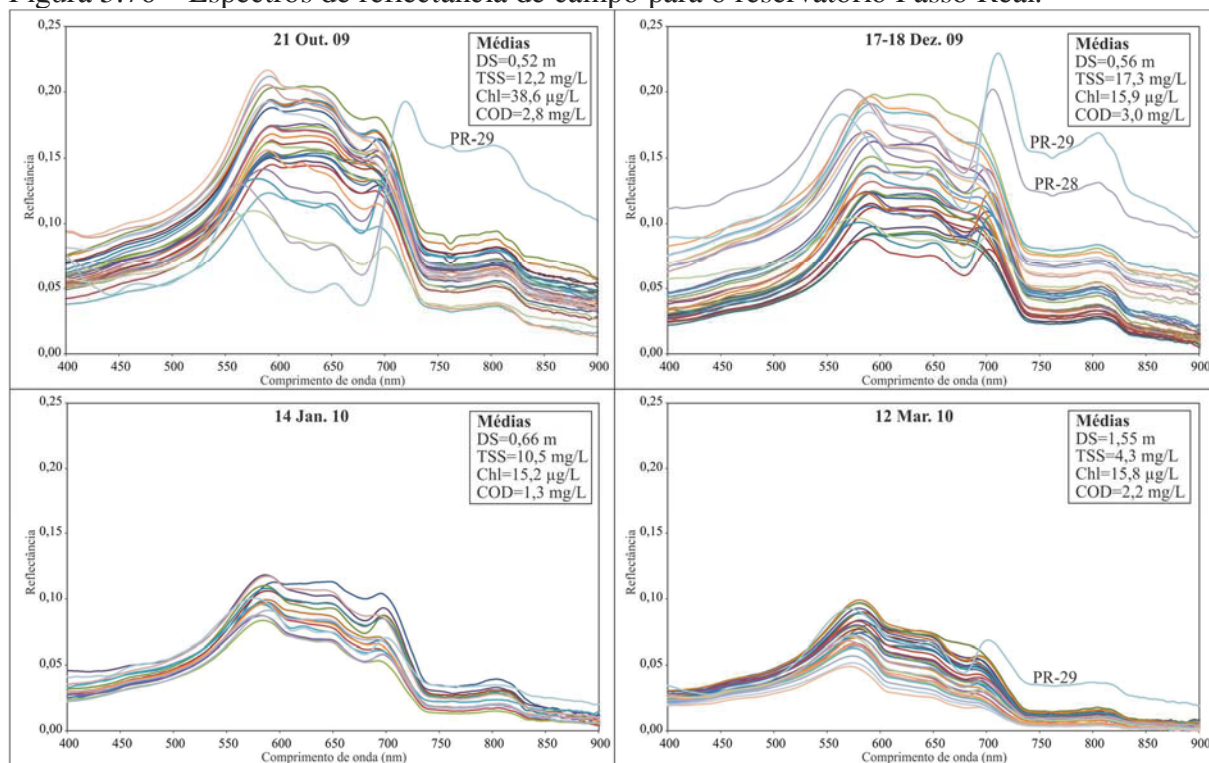
5.3. Uso potencial dos dados de sensoriamento remoto

A forma dos espectros da água fornece indicativos de quais componentes opticamente ativos estão dominando o espectro (BREUNIG *et al.*, 2007). São verificadas diferenças de albedo para cada coleta e reservatório no intervalo de 400 a 900 nm, conforme as Figuras 5.76 e 5.77. O filtro de média móvel foi aplicado nos espectros de reflectância do reservatório Passo Real com 7 pontos e Dona Francisca com 5 pontos. Os espectros de reflectância não apresentam efeito de fundo que possa retornar ao sensor, já que a zona eufótica (estimada pela transparência da água) não atingiu a profundidade máxima dos pontos amostrais (KIRK, 1994).

O reservatório Passo Real em out.09 e dez.09 apresentou espectros com altos valores de reflectância, relacionado com a alta concentração de TSS e clorofila *a*. As partículas inorgânicas são altamente espalhadoras, ocorrendo o aumento do albedo e uma reflectância mais constante em comprimentos de onda de 600 a 700 nm. A reflectância máxima é encontrada com o deslocamento do pico de reflectância de 565 nm (espalhamento causado pelos pigmentos) para 580 nm. A feição de absorção relacionada à clorofila *a* é encontrada em quase todos os espectros em 675 nm. A redução do material em suspensão em Jan.10 (TSS = 10 mg/L) diminuiu o albedo, e isso ocorre mais intensamente para Mar.10 (TSS = 4 mg/L). Em Dez.09, Jan.10 e Mar.10 a concentração média de clorofila foi a mesma (15 µg/L).

Outro padrão espectral é encontrado para os pontos amostrais com alta concentração de clorofila *a* (floração de algas). O PR 29 (rio Ingaí), por exemplo, em função da proliferação excessiva de cianobactérias apresentou um espectro semelhante a da vegetação, com altas reflectâncias no infravermelho próximo (Out.09 e Dez.09). Em out.09 ocorre uma redução da reflectância em relação aos demais espectros do intervalo de 400 a 675 nm e com o deslocamento do pico de reflectância no verde para ~550 nm. Em dez.09 a reflectância é maior na faixa do azul e semelhante na faixa do verde, com o deslocamento do pico de reflectância no verde e aumento do pico de espalhamento no vermelho (~705 nm). Essa diferença pode estar relacionada com o aumento da concentração de material inorgânico e a redução da clorofila *a* ocorrida em dez.09. O pico de reflectância no vermelho provocado pela fluorescência da clorofila *a* (685 nm), em florações de algas é deslocado para comprimentos de onda maiores, chegando para PR-29 (out.09) em 718 nm.

Figura 5.76 – Espectros de reflectância de campo para o reservatório Passo Real.



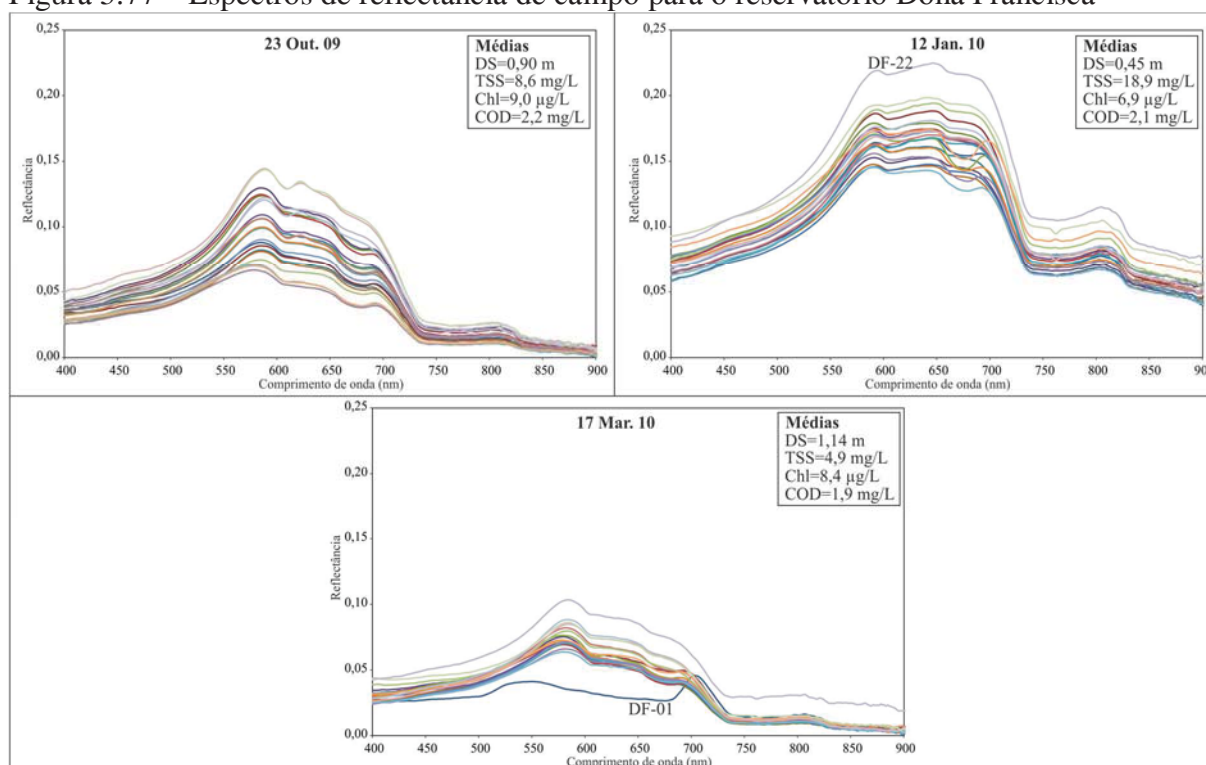
As diferenças entre os reservatórios verificadas nas variáveis limnológicas são observadas também na reflectância. Dona Francisca apresentou uma menor feição de absorção em 665 nm, resultante da menor concentração de clorofila *a* do que Passo Real. Em Jan.10 as altas concentrações de material em suspensão foram responsáveis pelo aumento do albedo e da reflectância mais constante do intervalo de 600 a 700 nm. As menores concentrações de TSS em Out.09 e, principalmente em Mar.10 representou a redução do albedo.

Em outras situações a diferença de albedo podem ser alteradas pelas condições de campo. O espectro DF-22 de Jan.10 apresentou aumento do albedo pela participação do vento (16 km/h) na rugosidade da água e o céu encontrava-se nublado. Já o espectro DF-01 de Mar.10 apresentou redução no albedo, em função do manuseio do equipamento e menor radiação solar disponível (10h46min), mas é visto o pico de reflectância em 700 nm resultante das maiores concentrações da clorofila *a*. Influência das condições de campo sobre espectros de reflectância foram detectadas por Pereira Filho *et al.* (2005).

Como já foi dito a principal feição de absorção da clorofila *a* foi encontrada em 775 nm em Passo Real e 665 nm em Dona Francisca. Em relação a esse pigmento é ainda encontrado a feição de absorção em 438 nm em espectros com altas concentrações (Passo

Real) e fluorescência em 690 nm (o pico é deslocado conforme o aumento da concentração). As cianobactérias podem ser responsáveis também pelas feições de absorção da ficobilina em 490 nm e ficocianina em 605 nm (WEAVER; WRIGLEY, 1994) encontrados principalmente em espectros do reservatório Passo Real. Nos espectros do reservatório Dona Francisca aparece uma leve feição em 480 nm que pode estar relacionado ao *B*-caroteno decorrente de outros tipos de plâncton.

Figura 5.77 – Espectros de reflectância de campo para o reservatório Dona Francisca



Os espectros de campo foram relacionados com as variáveis limnológicas. No entanto, os pontos amostrais identificados nas Figuras 5.76 e 5.77 foram retirados da análise estatística. As técnicas de remoção do contínuo e análise derivativa foram empregadas e identificadas os comprimentos de onda com maior correlação destes dados com as variáveis limnológicas, conforme os intervalos espectrais com correlação apresentados no Quadro 5.4. Os dados mensais de reflectância dos reservatórios proporcionaram correlação significativa a intervalos de comprimento de onda específicos com as variáveis transparência e clorofila *a*.

A transparência apresentou correlação significativa para os diferentes intervalos de comprimentos de onda quando as concentrações de material em suspensão foram menores (PR – Jan.09 e Mar.10; DF – Out.09 e Mar.10). As altas concentrações de TSS tendem a subestimar os valores de transparência (Esteves, 1998). Os meses de maiores concentrações

de clorofila *a* proporcionam correlações significativas com a reflectância, quando as feições de absorção são bem definidas. A remoção do contínuo apresentou melhores resultados com as das bandas de absorção proporcionadas pelo pigmento clorofila *a*. As técnicas aplicadas realçaram feições relacionadas aos constituintes opticamente ativos no espectro de reflectância.

Quadro 5.4 – Correlação significativa entre intervalos espectrais e variáveis limnológicas

Var.	Comprimentos de onda (nm)	Técnica	Passo Real ($r, \alpha \geq 0,01$)				Dona Francisca ($r, \alpha \geq 0,01$)		
			Out.09	Dez.09	Jan.09	Mar.10	Out.09	Jan.10	Mar.10
DS	450 – 560	RC	-0,50	0,76	0,88	0,78	0,65	0,72	0,07
	550 – 575	AD	0,35	0,10	-0,83	-0,77	-0,77	-0,69	-0,06
	600 – 700	RC	-0,10	0,16	-0,60	-0,89	-0,80	-0,36	-0,84
	700	VR	-0,19	0,31	-0,84	-0,93	-0,75	-0,69	-0,65
	720 – 730	AD	-0,07	0,35	0,91	0,92	0,76	0,76	0,62
Clorofila <i>a</i>	550 – 560	AD	-0,17	-0,26	0,29	0,13	-0,75	-0,62	0,43
	550 – 560	RC	0,64	0,48	0,05	0,09	0,74	0,76	-0,34
	640 – 650	AD	0,33	0,37	0,65	0,19	0,24	-0,47	-0,11
	660 – 670	RC	-0,94	-0,52	-0,32	0,09	-0,68	-0,82	0,06
	675	VR	-0,47	-0,38	0,06	0,07	-0,76	-0,47	0,25
	700 – 710	RC	0,58	0,62	0,65	0,25	0,13	0,77	-0,28

AD – Análise Derivativa, RC – Remoção do Contínuo, VR – Valor de Reflectância

Tendo em vista a diferença de albedo notável entre as medidas realizadas para os reservatórios, todos os espectros foram relacionados com os dados limnológicos. Os valores de reflectância relacionados com a transparência e TSS foram significativos de 400 a 900 nm (Figuras 5.78 e 5.79). A análise derivativa ressaltou a faixa de 710 a 740 nm para as duas variáveis supracitadas. A remoção do contínuo mostrou melhor correlação para a faixa de 600 a 800 nm com a transparência da água.

Os dados de reflectância apresentaram correlação significativa utilizando análise derivativa com a clorofila *a* para a faixa de 680 a 685 nm (Figura 5.80). Diferente das correlações significativas encontradas com os dados mensais, com a integração de todos os dados espectrais estabeleceu correlação significativa apenas ao intervalo de comprimento de onda mencionado. A remoção do contínuo e os valores de reflectância não apresentaram correlação significativa com a clorofila *a*. Por outro lado, a remoção do contínuo apresentou correlação significativa de 510 a 580 nm com carbono orgânico dissolvido, sendo essa região de absorção por esse constituinte (Figura 5.81).

Figura 5.78 – Correlograma do valor de reflectância, análise derivativa e remoção do contínuo nos diferentes comprimentos de onda com o total de sólidos em suspensão (linha em vermelho – limite dos valores estatisticamente significativos, $\alpha = 0,001$)

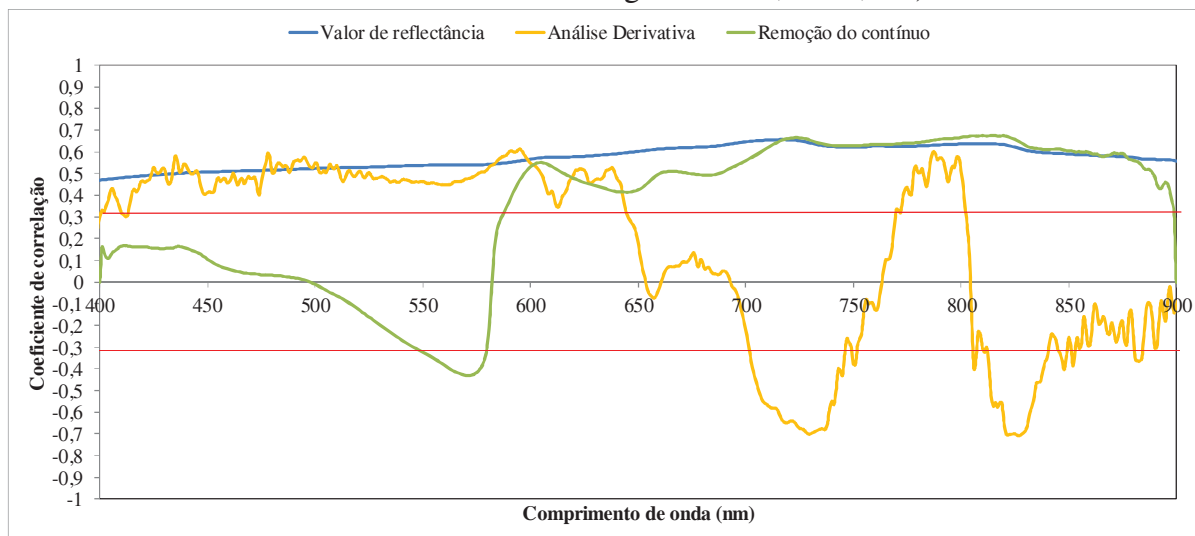


Figura 5.79 – Correlograma do valor de reflectância, análise derivativa e remoção do contínuo nos diferentes comprimentos de onda com transparência do Disco de Secchi (linha em vermelho – limite dos valores estatisticamente significativos, $\alpha = 0,001$)

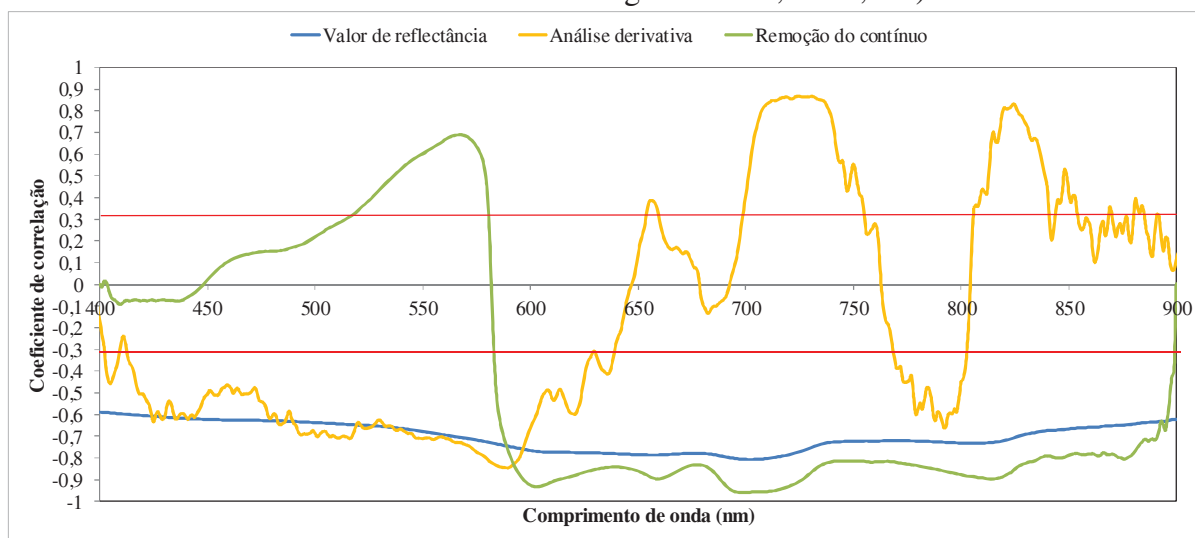


Figura 5.80 – Correlograma do valor de reflectância, análise derivativa e remoção do contínuo nos diferentes comprimentos de onda com clorofila *a* (linha em vermelho – limite dos valores estatisticamente significativos, $\alpha = 0,001$)

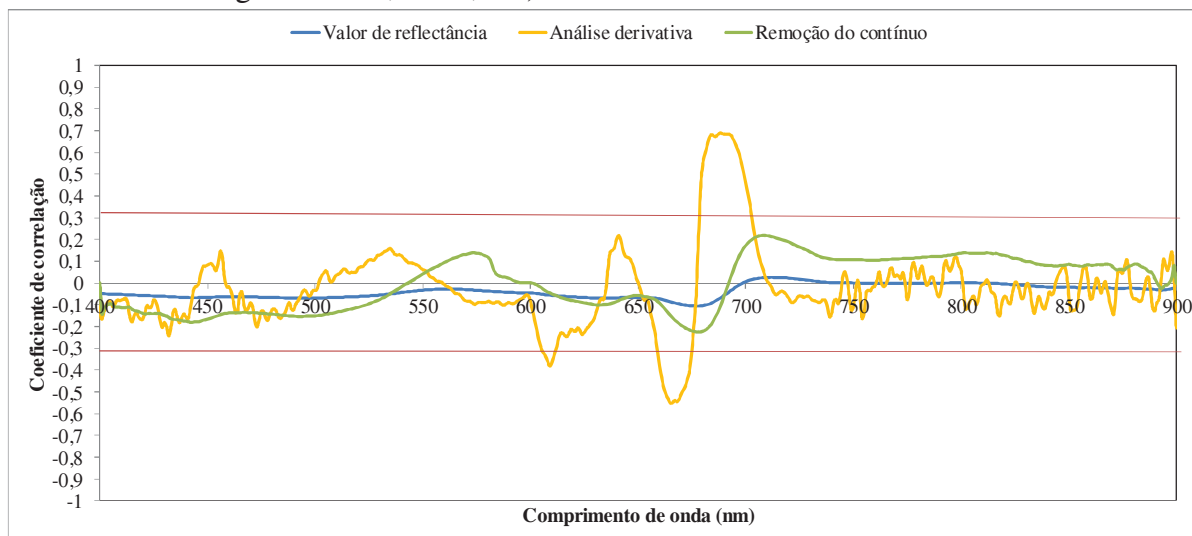
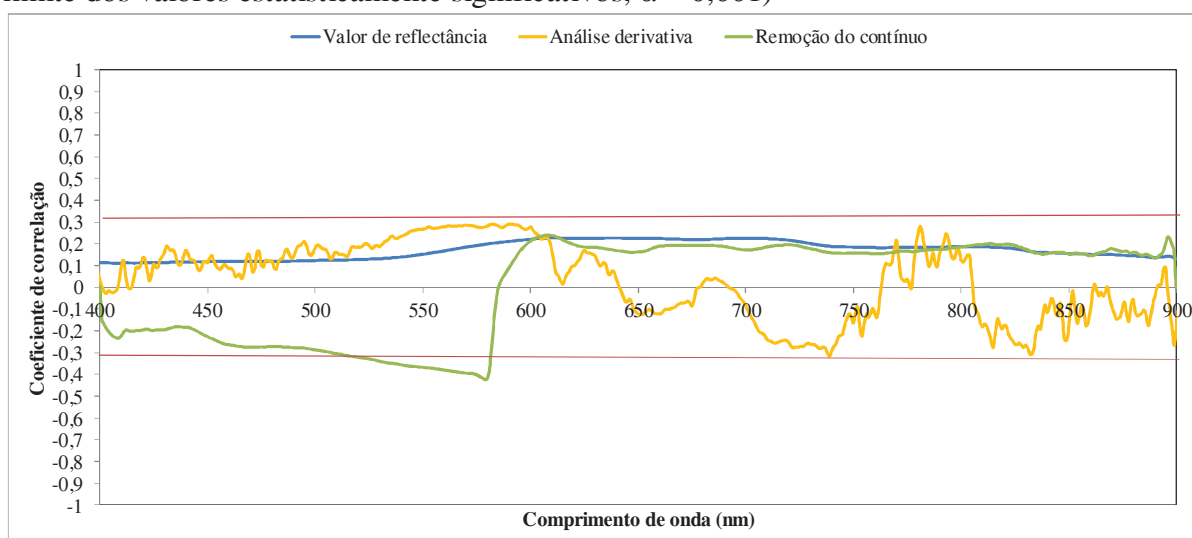


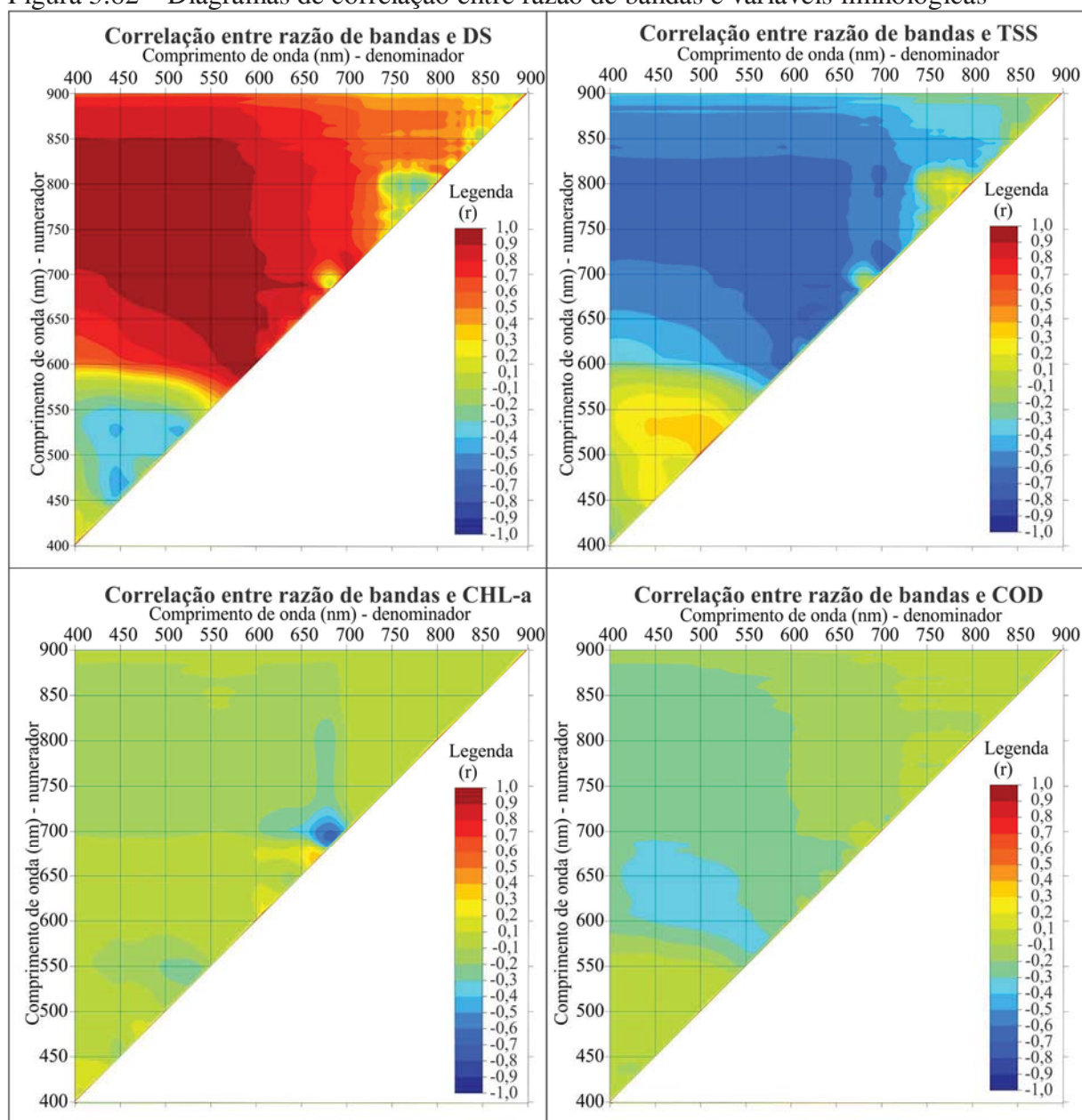
Figura 5.81 – Correlograma do valor de reflectância, análise derivativa e remoção do contínuo nos diferentes comprimentos de onda com carbono orgânico dissolvido (linha em vermelho – limite dos valores estatisticamente significativos, $\alpha = 0,001$)



A razão de bandas foi realizada para os dados de reflectância e correlacionadas com as variáveis limnológicas considerando todo conjunto de dados (Figura 5.82). As maiores correlações significativas foram observadas com a transparência da água, com quase todas as razões de banda possíveis dos intervalos 400-700nm/600-900nm. A correlação significativa mais forte foi com razão de bandas do vermelho com o verde com a transparência. As correlações para o TSS foram significativas no intervalo similar da transparência, porém menos intensa. Com a razão de bandas e clorofila *a* foi identificado correlação significativa entre a feição de absorção de 675 nm e pico de reflectância em 700 nm. Por fim, o carbono

orgânico dissolvido que apresentou correlação fraca com razão de bandas entre o vermelho e azul. Observa-se que na região de correlação significativa da clorofila *a*, atuação desse pigmento é dominante sobre o espectro de reflectância, já que as demais variáveis não apresentaram correlação para essa razão de bandas.

Figura 5.82 – Diagramas de correlação entre razão de bandas e variáveis limnológicas



Os comprimentos de onda com as maiores correlações significativas obtidos, decorrente das diferentes técnicas de análise de dados espectrais, foram utilizados para obter a modelos de estimativa das variáveis limnológicas. Os modelos empíricos de estimativa das

variáveis limnológicas são apresentados na Tabela 5.11 e os melhores ajustes estão representados graficamente na Figura 5.83.

Tabela 5.11 – Modelos empíricos de estimativa de variáveis limnológicas com diferentes técnicas de análise de dados espectrais

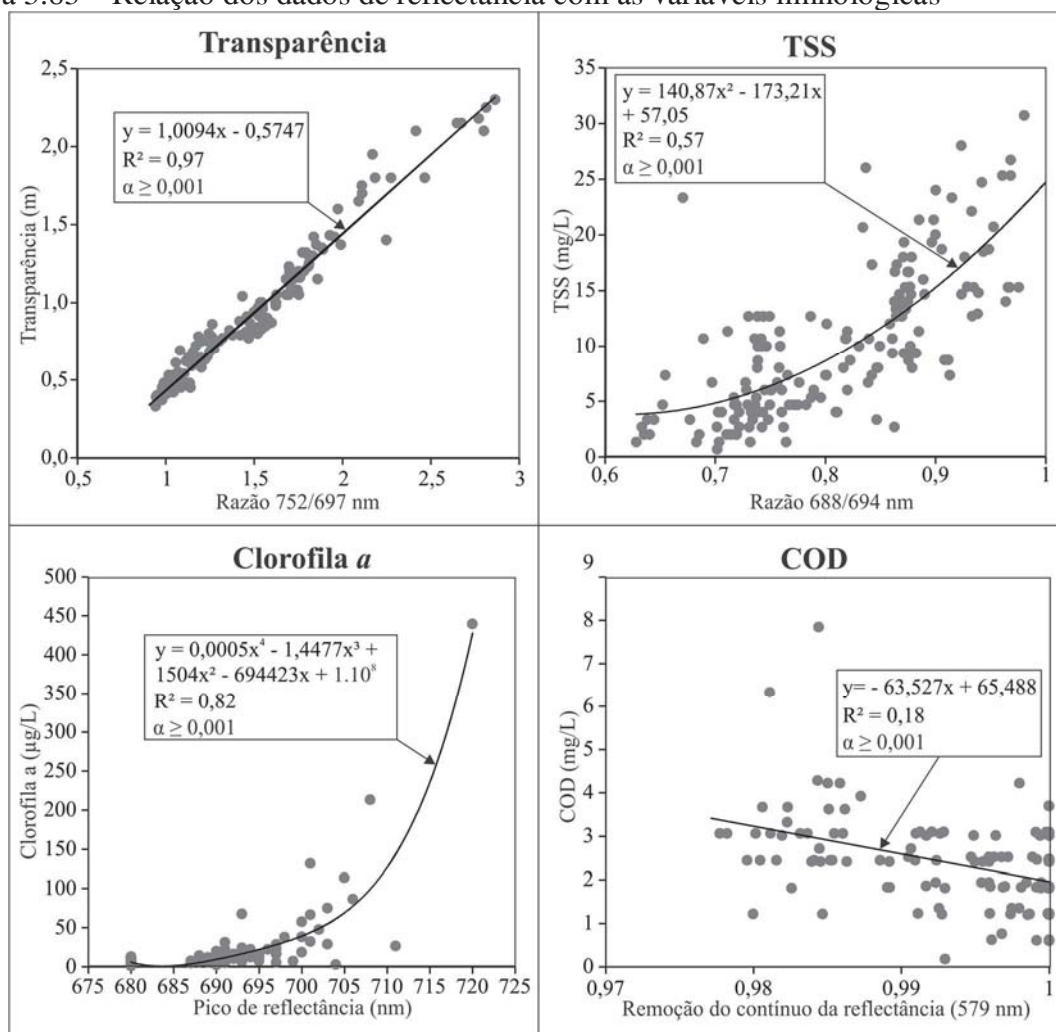
Variável	Técnica	CO (nm)	Equação de ajuste	R ²
Transparência	VR	712	$y = 0,1156x^{-0,725}$	0,87
	RB	752/697	$y = 1,0094x - 0,5747$	0,97
	AD	724	$y = 3.10^8x^3 + 2.10^6x^2 + 3447,6x + 3,0816$	0,90
	RC	698	$y = -3,9445x + 4,4608$	0,92
	PP	555 a 600	$y = 5.10^{16}e^{-0,066x}$	0,80
TSS	VR	716	$y = 79,962x^{0,7894}$	0,50
	RB	688/624	$y = 140,87x^2 - 173,21x + 57,054$	0,57
	AD	595	$y = 18,555e^{1624,6x}$	0,42
	RC	815	$y = 0,9705e^{3,3816x}$	0,50
	PP	555 a 600	$y = 3.10^{-20}e^{0,0802x}$	0,45
CHL	RB	688/694	$y = -133266x^4 + 530747x^3 - 790445x^2 + 521540x - 128566$	0,59
	AD	688	$y = 12070x + 9,5938$	0,47
	PP	675 a 725	$y = 0,0005x^4 - 1,4477x^3 + 1504x^2 - 694423x + 1.10^8$	0,82
COD	RB	636/491	$y = 0,8235x^2 - 1,9899x + 3,0997$	0,16
	RC	579	$y = -63,527x + 65,488$	0,18

VR – Valor de Reflectância, RB – Razão de banda, AD – Análise Derivativa, RC – Remoção do Contínuo, PP – Posição do Pico de Reflectância

A transparência e o TSS foram as variáveis que apresentaram relação com todas as técnicas de análise de dados espectrais utilizadas. Os modelos com melhor ajuste foram obtidos para a transparência da água em comprimentos de onda da faixa do vermelho e infravermelho, com destaque para a razão de bandas (752/697nm) com função linear. Foi encontrada relação da transparência com o deslocamento do pico de reflectância na faixa de 555 a 600nm. O deslocamento é proporcionado pelo total de sólidos em suspensão para maiores comprimentos de onda com o aumento da concentração. Para as duas variáveis o melhor ajuste foi por função exponencial. No caso do TSS, o melhor modelo foi obtido com a razão de bandas (688/624 nm), resultante da relação de concentração e reflectância na faixa do vermelho.

A clorofila *a* apresentou ajuste polinomial com a razão de bandas (688/694 nm), resultante da feição de absorção no primeiro e pico de reflectância no segundo comprimento de onda. No entanto, o melhor ajuste é verificado com o deslocamento do pico de reflectância na faixa de 675 a 725 nm. Nesse modelo foram incluídos os pontos amostrais com florações de algas. Diferente desse estudo, Londe *et al.* (2011) encontraram a melhor relação entre razão de bandas (895/698 nm) e clorofila *a* (linear, R²=0,85).

Figura 5.83 – Relação dos dados de reflectância com as variáveis limnológicas



O carbono orgânico dissolvido, dado as baixas concentrações, na qual foram apenas encontradas relações com razão de bandas e remoção do contínuo, são apresentados os modelos resultantes. Com o coeficiente de determinação baixo o uso do modelo apresenta sérias restrições de uso, mas possibilitam estabelecer uma tendência de absorção exercida na faixa do azul.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento dos elementos do geossistema e sistema socioeconômico do Alto Jacuí permitiram a identificação das fragilidades de cada área de captação, com possíveis perdas de materiais para a rede de drenagem. As SHs do reservatório Passo Real apresentam o relevo colinoso com Latossolo Vermelho, que tem favorecido a ocupação agrícola em mais de 64 % da área. A ampliação das áreas agrícolas e a mecanização, ocorrida a partir do ano 1970, apresentaram consequências, como o aumento do escoamento superficial na BH e aumento da vazão do rio Jacuí. No sistema de plantio convencional, o solo (horizonte A - camada rica em matéria orgânica e mineral) e os fertilizantes utilizados nas culturas anuais ficavam mais expostos aos processos erosivos. A implantação e a difusão do sistema de plantio direto na palha em quase de 90 % das áreas plantadas têm representado um ganho à proteção do solo à erosão, mas em detrimento o aumento do escoamento superficial. Em relação a pecuária, a maior densidade de bovinos nas SH Jacuí e Jacuí-Mirim podem acelerar os processos erosivos e serem responsáveis pela entrada de nutrientes no reservatório.

As características do geossistema revelaram fragilidades onde o reservatório Dona Francisca e no seu tributário rio Jacuizinho encontram-se inserido. A fragilidade é oriunda do relevo dissecado (Dc 53) e solos frágeis (Neossolos Litólicos). Por outro lado, a fragilidade natural restringiu a ocupação antrópica, fato que pode ser destacado com as áreas de florestas (Floresta Estacional Decidual) e campos (Savanas) de quase 60% para essa BH. A proteção da SH Jacuizinho pode ser conhecida pelas menores concentrações de TSS do que nos rios abastecedores do reservatório Passo Real, onde o uso do solo é mais agrícola. As áreas agrícolas estão susceptíveis a perda de material em função dos tipos de culturas anuais cultivadas, estágio de desenvolvimento vegetativo e o sistema de preparo do solo. Isso pode apontar para SH de Passo Real a maior perda de solos e determinar maiores coeficientes de exportação das encostas para os rios, e, causando, impactos no reservatório como a sedimentação e a proliferação de algas. Além disso, os meses chuvosos foram os mais problemáticos e mostra a insuficiência de técnicas conservacionistas nas áreas agrícolas, pois ocorreram altas concentrações de TSS.

A morfometria e o tempo de residência dos reservatórios foram informações importantes para o conhecimento dos mesmos. O reservatório Passo Real, com médio tempo de residência, apresentou bem definido as zonas de rio, de transição e de lago. Enquanto, o

reservatório Dona Francisca recebe o rio Jacuí definido por um sistema em cascata e como tributário o rio Jacuizinho, com tempo de residência baixo e localizado em um vale encaixado, possui a zona de rio e de transição. O impacto do maior tempo de residência sobre o reservatório Passo Real é a maior deposição do material suspenso (aumento da transparência), maiores temperaturas da água e tempo suficiente para a proliferação excessiva de algas. O excesso da quantidade de algas foi indicado pelas altas concentrações de clorofila *a* nas zonas de transição dos reservatórios. A área de entrada do rio Ingaí no reservatório, por exemplo, apresentou-se eutrofizado a hipereutrofizado (florações de cianobactérias) na primavera e no verão.

A série em cascata de reservatórios à montante do reservatório Dona Francisca interfere muito nas variáveis limnológicas. As águas recebidas do reservatório Itaúba (médio tempo de residência) pelo turbinamento, além de apresentar menor carga de sólidos em suspensão, são mais frias, em especial na primavera e verão quando o reservatório encontra-se estratificado termicamente. A partir disso, alterações limnológicas no reservatório são proporcionadas pelo rio Jacuizinho em pontos amostrais a jusante e a montante de sua confluência. Na primavera e verão são águas de maiores temperaturas, que se deslocam sobre as águas do rio Jacuí e se misturam de acordo com a vazão. Indicativos de maior tempo de residência no rio Jacuizinho (setor reservatório) em certos períodos do ano e introdução de esgoto pelas áreas urbanas (baixos índices de saneamento básico dos municípios) podem estar contribuindo para o desenvolvimento de algas nesse setor.

A regressão múltipla das variáveis transparência e total de sólidos em suspensão com precipitação pluviométrica e NDVI para o reservatório Passo Real permitiram verificar a interferência das SHs nas médias das variáveis limnológicas. Com base nas médias históricas de precipitação e condição de ocupação atual (NDVI), o mês de outubro é o mais suscetível às maiores concentrações de TSS e menores transparências do ano no reservatório Passo Real. Esse período coincide com a colheita do trigo e início do plantio da soja, quando fertilizantes são introduzidos no solo. Nutrientes disponíveis no reservatório e aumento da temperatura da água na primavera podem ser favoráveis a ocorrência das florações de algas.

Os dados de sensoriamento de campo estiveram relacionados com as variáveis limnológicas. As maiores reflectâncias foram encontradas nos meses com maior concentração de sólidos em suspensão, em especial no mês de janeiro de 2010 no reservatório Dona Francisca, resultante do espalhamento provocado pelas partículas inorgânicas em suspensão. A banda de absorção proporcionada pela clorofila *a* em ~675 nm foi identificada em quase

todos os espectros. Outros pigmentos também puderam ser visualizados nos espectros, principalmente para aqueles coletados em áreas eutrofizadas dos reservatórios.

A extração de informações com a aplicação de técnicas de análise dos dados espectrais melhorou a correlação com os dados limnológicos. Correlações significativas foram encontradas a determinados comprimentos de onda para todos os meses com as variáveis transparência, TSS e clorofila *a*. Reunindo todos os dados espectrais de campo, a transparência e TSS apresentaram a melhor correlação com os valores de reflectância. No entanto, a razão de bandas permitiu o modelo de melhor ajuste com transparência. A clorofila *a* apresentou o melhor ajuste com o deslocamento do pico de reflectância na faixa de 675 a 725 nm. Dadas às baixas concentrações de carbono orgânico dissolvido e pouca influência no albedo de reflectância, não percebeu bom ajuste aos modelos.

Portanto, a hipótese de que ocorram diferenças nas propriedades ópticas da água no contexto espaço-temporal dos reservatórios em função das características de suas bacias hidrográficas e os processos hidrodinâmicos do próprio reservatório é válida para os reservatórios estudados no Alto Jacuí. A pressão antrópica na BH é a principal responsável pelas diferenças encontradas nas variáveis limnológicas na entrada dos rios em reservatórios. A alta variação espaço-temporal nas variáveis limnológicas é um impacto verificado intensamente nesse trabalho devido às condições morfométricas, circulação das águas e operação do reservatório. Isso ressalta mais uma vez de que reservatórios são sistemas altamente complexos. E, o dado de sensoriamento remoto é uma ferramenta que pode ser útil para o monitoramento das propriedades ópticas da água dos reservatórios.

5.1. Recomendações

As principais recomendações que surgem com esse trabalho são as seguintes:

a) Criar meios para a redução do escoamento superficial na BH: uma possibilidade é a utilização do vertical *mulching* nas lavouras de plantio direto (GARCIA; RIGHES, 2008). Na região de Passo Fundo com Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd3), em experimento sob manejo de semeadura direta, a técnica controlou totalmente o escoamento superficial frente a uma chuva de 70 mm/h (aumentou a infiltração). A vantagem seria também a perda de nutrientes para os reservatórios que foram responsáveis pela ocorrência da eutrofização no reservatório Passo Real e o desenvolvimento excessivo de cianobactérias.

b) Preferência por UHEs mais eficientes: ficou comprovado a partir desse estudo realizado que reservatórios com longo tempo de residência proporcionam a deposição do material tornando as águas transparentes e, ainda, com maior possibilidade de ocorrência de florações de algas. Recomenda-se a construção de reservatórios em vales encaixados, como de Dona Francisca, que produzam mais energia e tenham menor impacto na qualidade da água das represas.

c) Continuidade dos estudos: determinação de coeficientes de exportação de nutrientes dos diferentes usos da BH é uma possibilidade da realização de modelos para o gerenciamento de BH e diminuir a quantidade de emissões difusas e pontuais. Também seria interessante um modelo limnológico para os reservatórios construídos no rio Jacuí, a considerar a série em cascata dos reservatórios, com integração de um maior número de variáveis limnológicas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E. H; et al. Tecnologia espacial para o monitoramento da temperatura e fluxos de calor na superfície da água do reservatório hidrelétrico de Itumbiara (GO). In: ALCÂNTARA, E. H; et al. **Novas tecnologias para o monitoramento e estudo de reservatórios hidrelétricos e grandes lagos**. Rio de Janeiro: Parêntese, 2011. p.15-80.

AMADO, T. J. C.; PROCHNOW, D.; ELTZ, F. L. F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: El Nino e La Nina no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 819-827, 2002.

AMARAL, N. **Noções de conservação do solo**. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1984.

ANA. Agência Nacional das Águas. **Hidroweb**: Sistemas de informações hidrológicas. Estação Dona Francisca. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso: 15 nov. 2010.

ARRAUT, E. M. *et al.* Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do Lago Grande de Curuai (Pará), na época da seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2447-2456.

ASD. Analytical Spectral Devices Inc. **FieldSpec**. Boulder, CO, 2007.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

BABBIT, H. E.; DOLAND, J. J.; CLEASBY, J. L. **Abastecimento de água**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície do Curuai/ Rio Amazonas**. 2005. 254 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

BERTALANFFY, L. V. O significado da teoria geral dos sistemas. In: **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973. p. 52-81.

BERTONI, J.; LOMBARDI, N. F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BERTRAND, G; BERTRAND, C. **Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades**. Maringá: Massoni, 2007.

BIANCHINI JR, I. **Estudos dos processos de humificação de *Nymphoides indica* (L.) O. Kunze**. 1985. 285 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1985.

BICUDO, C. E. M.; BICUDO, D. C. **Amostragem em Limnologia**. São Paulo: Rima, 2004.

BLOOM, A. L. **Superfície da Terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

BRAGA, B.; et al. **Introdução a engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 3. Ed. São Paulo: CETESB, 1986.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Edgard Blücher, CETESB, 1977.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. Recife: convênio MA/DPP – SA/ DRNR, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Resolução CONAMA nº 357/05**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2011.

BREUNIG, F. M.; *et al.* Análise das propriedades ópticas da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva - Itaara/RS, usando dados espectrais de campo e imagens orbitais multiespectrais. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 2, n. 2, p. 88 - 102, 2007.

BROCK, T.D. Lower pH limit for the existence of blue-green algae: evolutionary and ecological implications. **Science**, Washington, v. 197, p. 480-483, 1973.

BRUM, A. J. **Modernização da Agricultura: trigo e soja**. Ijuí: Vozes, 1987.

CABRAL, A. P.; et al. Efeitos da concentração e da granulometria na assinatura espectral do material inorgânico em suspensão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p. 496-504.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 35, n.4, p. 813-819, 2005.

CARDOSO, S. J. **Influência da morfometria de lagos na diversidade fitoplanctônica**. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 22, p. 361-380, 1977.

CASTAGNINO, W. A. **Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos tropicales**. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences (CEPIS). Washington, 1982.

CEEE. Companhia Estadual de Energia Elétrica. **Geração de Energia**. Disponível em: <<http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=12457>>. Acesso: 10 nov. 2010.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo: CETESB, 1987.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Bücher, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999.

CLETO FILHO, S. E. N. **Estrutura, composição, distribuição espacial e variação temporal da comunidade zoobentônica do Lago Monte Alegre/SP**. 2005. 108 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

COAJU. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí. **Plano de gerenciamento da bacia hidrográfica do Alto Jacuí**. Relatório T2 2009. Passo Fundo, 2009.

CORREIA, F.W. S. et al. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 59, n. 3, p. 39 – 43, 2007.

CORTE, T. D.; SANTIN, J. R. Planejamento urbano e direito das águas: o plano diretor do município de Passo Fundo - RS e a gestão dos recursos hídricos. **Revista do Direito**, Santa Cruz do Sul, n. 32, p. 37 - 39, 2009.

COSTA, E. **Estudo da variabilidade pluviométrica diária, mensal e anual da bacia hidrográfica do Alto Jacuí/RS: uma análise a partir de anos padrões**. 2010. 41 f. Relatório Técnico (Estágio Profissional Supervisionado – Graduação Geografia/Bacharelado), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

COSTA, F. S. *et al.* Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

CRUZ, O. A geografia física, o geossistema, a paisagem e os estudos dos processos geomórficos. **Boletim de geografia Teorética**, Rio Claro, v. 15, n. 29-30, p.53-62, 1985.

CRUZ, P. T. **100 Barragens Brasileiras**: casos históricos, materiais de construção, projeto. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-374.

D'AGOSTINI, L. R. **Erosão**: o problema mais que o processo. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999. 131 p.

DABIN, B. Étude d'une méthode de fractionnement des matières humiques du sol. **Science du Sol**, Versailles, v.1, p.47-63, 1971.

DEKKER, A. G. **Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing**. 1993, 211 p. Doctor Thesis (Hyperspectral remote sensing of water quality), Vrije Universiteit, 1993.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Cadastro Mineiro do Departamento Nacional de Produção Mineral**. Ministério de Minas e Energia, 2005.

DOMINGUES, A. L. **Relação das condições térmicas com as florações de cianobactérias no reservatório Passo Real**. 2011. 34 f. Trabalho final (Graduação em Engenharia Ambiental), Centro Universitário Franciscano, Santa Maria, 2011.

EMBRAPA. **Cultivo do trigo**. Passo Fundo: EMBRAPA, 2009. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Trigo/CultivodeTrigo/index.htm>> Acesso em: 15 fev. 2009.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FARIA, A. P. Os processos erosivos e as suas variações nas escalas temporal e espacial: revisão e análise. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 58, n.1/4, p. 37-54, 1996.

FEE. Fundação de Economia e Estatística. **Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE)**. 2006. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br/sitefee/pt/content/estatisticas/pg_idese.php>. Acesso em: 10 jul. 2009.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS. **BIBLIOTECA DIGITAL**: Arquivos digitais para uso em SIG - base cartográfica digital do RS 1:250.000. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp>. Acesso em: 20 out. 2008.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS. **Sistema de Automonitoramento do Serviço de Diagnóstico e Avaliação da Poluição de Origem Industrial da FEPAM**. Porto Alegre: FEPAM, 2005. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/central/formularios/planilhas.asp>>. Acesso em: 08 de ago. 2009.

FERNANDES, V.; et al. Ecologia de cianobactérias: fatores promotores e consequências das florações. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v.13, n. 2, p. 247-258, 2009.

FERREIRA, A. G.; GONCALVES, A. C.; DIAS, S. S. Avaliação da Sustentabilidade dos Sistemas Florestais em Função da Erosão. **Silva Lusitana**, Oeiras, v.16, s/n, p.55-67, 2008.

FLORENZANO, T.G. Cartografia. In: _____. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. (Org.). São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.105-128.

FORD, D. E. Reservoir Transport Processes. In: **Reservoir Limnology: Ecological Perspectives**. In: THORTON, K.W; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. New York: John Wiley and sons, 1990. p.15-41.

GARCIA, S. M.; RIGHES, A. A. Vertical Mulching e manejo da água em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.833-842, abr. 2008.

GIARDINO, C. *et al.* Detecting chlorophyll, Secchi disk depth and surface temperature in a sub-alpine lake using Landsat imagery. **The Science of the Total Environment**, v. 268, n. 1-3, p.19-29, 2001.

GIRALDEZ-RUIZ, N.; BONILLA, I.; FERNANDEZ-PIÑAS, F. Role of external calcium in homeostasis of intracellular pH in the cyanobacterium *Anabaena sp.* strain PCC7120 exposed to low pH. **New Phytologist**, v. 141, n. 2, p. 225-230, 1999.

GOMI, T.; et al. Dynamic runoff connectivity of overland flow on steep forested hillslopes: Scale effects and runoff transfer, **Water Resources Research**, Washington, n. 44, 2008.

GONÇALVES, C.S. **Qualidade de águas superficiais na Microbacia Hidrográfica do Arroio Lino – Nova Boêmia - Agudo – RS**. 2003. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GOODIN, D. G., HAN, L., FRASER, R. N., RUNDQUIST, C., STEBBINS, W. A. SCHALLES, J. F. Analysis of Suspended Solids in Water using Remotely Sensed High Resolution Derivative Spectra. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 59, n. 4, p. 505-510, apr. 1993.

GUEDES, R. L. **Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a Região Central da América do Sul**. 1985. 89 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

GUNKEL, G.; et al. The environmental and operational impacts of Curuá-Una, a reservoir in the Amazon region of Pará, Brazil. **Lake & Reservoirs: research and management**, v. 8, n. 3-4, p. 201-220, 2003.

HAN, L. Estimating chlorophyll-a concentration using first-derivative spectra in coastal water. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 23, p. 5235-5244, 2005.

HELLWEGER, F. L. *et al.* Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.61, p.437-448, 2004.

HENRY, R. **Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais**. Botucatu: Fundibio: Fapesp, 1999.

HILL, R. L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Journal Soil Science Society of America**, v. 54, n. 1, p. 161-166, 1990.

HOUSE, G. J.; PARMELEE, R. W. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. **Soil and Tillage Research**, v. 5, n. 4, p. 351-360, aug. 1985.

HUTCHINSON, G.E.; LÖFFLER, H. The thermal classification of lakes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, V.42, n.2, p. 84-86, 1956.

IBGE. **Censo agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso: 11 dez. 2009.

IBGE. **Estimativas da População 2008**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 15 ago. 2009

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 2. Ed. IBGE: Rio de Janeiro, 2006. (Manuais técnicos em Geociências, nº 7)

IBGE. **Folha SH-22 Porto Alegre e parte das folhas SH-21 Uruguaiana e SI-22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, 1986. 796 p. (Levantamento dos Recursos Naturais, 33).

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução segunda edição. EPIPHÂNEO, J. N. (Coord). São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KIMMEL, B. L.; LIND, O.T. PAULSON, J.L. Reservoir Primary Production. In: **Reservoir Limnology**: Ecological Perspectives. In: THORTON, K.W; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. New York: John Wiley and sons, 1990. p.133-193

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

KOFFLER, N. F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao mapeamento de solos. **Geografia**, Rio Claro, v. 18, n. 2, p. 1-51, 1993.

KURODA, E. K. *et al.* **Determinação de clorofila pelo método espectrofotométrico visando o monitoramento da eficiência do tratamento de águas para abastecimento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...**, Campo Grande: ABES, 2005.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

LEITE, P. F.; KLEIN, R.M. Vegetação. In: IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul**. V.2. Rio de Janeiro: IBGE, 1990, p.113-150.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.

LEPSCH, I. F., et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: SBCC, 1991.

LIMA, R. G. **Práticas alternativas e convencionais na cultura de fumo estufa: estudo de casos**. 2000. 388f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional), Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2000.

LONDE, L. R. *et al.* Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005. p. 389 - 396.

LONDE, L. de R.; NOVO, E. M. L.; CALIJURI, M. C. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto ao estudo do fitoplâncton de águas interiores. In: ALCÂNTARA, E. H; et al. **Novas tecnologias para o monitoramento e estudo de reservatórios hidrelétricos e grandes lagos**. Rio de Janeiro: Parêntese, 2011. p.219-253.

LORCH, H. J. Eintrag und Umsatz gelöster Kohlenstoffverbindungen. In: GUDERIAN, R.; GUNKEL, G. Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxikologie: Band 3B: **Aquatische Systeme: Biogene Belastungsfaktoren - Organische Stoffeinträge - Verhalten von Xenobiotika** (German Edition). Berlin: Springer, 2000.

MACKINNEY, G. Absorption of light by chlorophyll solutions. **The Journal Biological Chemistry**, v. 140, p. 315-322, 1941.

MAFRA, N. M. C. M. Considerações a respeito da erosão dos solos. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 43, n.2, p. 301-312, 1981.

MANTOVANI, J. E.; NOVO, E. M. L M. Comportamento espectral da matéria orgânica dissolvida. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 917-923.

MAPA. **Portaria Nº 381, de 10 de dezembro de 2009**. 2009.

MARSTON, F.; YOUNG, W.; DAVIS, R. **Nutrient data Book**. Catchment Management Support System. Second Edition. CRISO Division Water Resources, 1995.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na Bacia do Córrego Lafon - Araçatuba - SP**. 1993. 171 f. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MILTON, E. J. Principles of Field Spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 12, p.1807-1827, 1987.

MINELLA, J. P. G. *et al.* Identificação e implicações para a conservação do solo das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, 2007.

MOBLEY, C. D. **Light and water: radiative transfer in natural waters**. San Diego: Academic Press, 2004.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: Abes, 1997.

NASA. **Current State of the Tropical Pacific**. El Niño Indices. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/enso.current.html>>. Acesso: 12 jan. 2010.

NÓBREGA, I. W. **Análise espectral de sistemas aquáticos da Amazônia para a identificação de componentes opticamente ativos**. São José dos Campos: INPE, 2002.

NOVO, E. M. L. M. Ambientes fluviais. In: Florenzano, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. (Org.). São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.219-246.

NOVO, E. M. L. M. Comportamento Espectral da Água. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. (Org.). **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. Brasília: ed. UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p.203-224.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

NOVO, E. M. L. M.; *et al.* Seasonal changes in chlorophyll distributions in Amazon floodplain lakes derived from MODIS images. **Limnology**, v. 7, n. 3, p. 153-161, 2006.

OECD. **Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control**. Paris: Organisation for Economic and Cooperative Development, 1992.

OLIVEIRA A. S. **Interação entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. 1986. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

PAERL, H.W. Nutrient and other environmental controls of harmful cyanobacterial florações along the freshwater-marine continuum. In: HUDNELL, H. K. (ed.). **Cyanobacterial Harmful Algal Florações: state of Science and Research Needs**. Advances in Experimental Medicine and Biology, 2008. p. 217-213.

PAULA, G. M. de. **O fenômeno El Niño Oscilação Sul e a erosividade das chuvas em Santa Maria – RS**. 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

PEREIRA FILHO, W.; BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M. Influência das condições de tempo em espectros de reflectância da água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais...**, Goiânia: INPE, 2005. p. 415-422.

PEREIRA FILHO, W.; GALVÃO, L. S. Relações entre reflectância espectral e concentração de sedimentos em suspensão no reservatório Passo Real, região Sul do Brasil. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 8., 1997, Mérida, **Anais...**, Mérida: Selper, 1997.

PEREIRA FILHO, W.; WACHHOLZ, F.; TRENTIN, G.; STRASSBURGUER, L. Relações entre total de sólidos dissolvidos, condutividade elétrica e temperatura no reservatório de Dona Francisca - RS. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, v. 10, p. 1344-1350, 2003.

PEREZ FILHO, A. Sistemas naturais e geografia. In: SILVA, J. B. da; et al. **Panorama da geografia Brasileira I**. São Paulo: Anablume, 2006. p. 333-336.

PEREZ FILHO, A; QUARESMA, C. C.; RODRIGUES, T. R. I. Ação antrópica como agente transformador da organização espacial em bacias hidrográficas. In: Coloquio Internacional de Geocrítica, 11., 2008, Barcelona. **Anais...** Barcelona: Universidad de Barcelona, 2008.

PERIN, E.; CERETTA, C. A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois Latossolos do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, p. 665-674, 2003.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. A Utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. In: SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A F. M (Eds). **Conceito de bacias hidrográficas, teoria e aplicação**. Ilhéus: Editora da UESC, 2002.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Selbach, 1956.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 1-35.

RENNÓ, C.D.; et al. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p. 3469-3481, 2008.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Instituto de Pesquisas Agronômicas. Seção de Ecologia Agrícola. Porto Alegre, 1989. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/agromet/>>. Acesso: 18 nov. 2009.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Estadual Nº 44.186, de 19 de dezembro de 2005**. Disponível em: < <http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/legislacao/id4710.htm>>. Acesso: 09 nov. 2011.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, n.14, p. 69-77, 2001.

RODRIGUES, L. M. **Alterações espaciais e temporais de características limnológicas resultantes da transformação rio-reservatório da usina hidrelétrica Dona Francisca, RS, Brasil**. 2002. 100f. Dissertação (Mestrado em Ecologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Org.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 291-336.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 7. Ed. São Paulo: Contexto, 2003.

RUDORFF, C. M.; et al. Avaliação de algoritmos bio-ópticos em massas d'água amazônicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 431-438.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrorradiômetro de campo visando a compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos.**, 2005. 138 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

SALAS, H.J.; MARTINO, P. **Metodologias simplificadas para la evaluation de eutrofication en lagos calidos tropicales**. CEPIS, 1990.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: Teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SARTORI, M. da G. B. **Clima e Percepção**. 2000. 227 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo, 2000. V.1

SAUSEN; T. M. et al. Uso de geotecnologias para análise e avaliação dos prejuízos causados pelas inundações no Rio Grande do Sul – Setembro de 2009 a Janeiro de 2010. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 6050 – 6057.

SEMA/UFSM. **Inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: SEMA/UFSM: 2001. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/index.php>>. Acesso: 06 fev. 2010.

SEQUINATTO, L. et al. Produção de sedimentos em pequena bacia hidrográfica rural cultivada com fumo em Agudo - RS.. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 7., 2006, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2006.

SCHAFER, A. E. **Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1985.

SCHNECK, F.; et al. Environmental variability drives phytoplankton assemblage persistence in a subtropical reservoir. **Austral Ecology**, v.36, n. 7, p. 839-848, 2011.

SHERIDAN, J. M.; LOWRANCE, R.; BOSCH; D. D. Management effects on runoff and sediment transport in riparian forest buffers. **Transactions of the ASABE** (American Society of Agricultural and Biological Engineers), St. Joseph, v. 42, n.1, p. 55-64, 1999.

SILVA, D. M. L. da; et al. Can land use changes alter carbon, nitrogen and major ion transport in subtropical Brazilian streams? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n.4, p. 317-324, 2007.

SILVA, M. A. C. da; CENTURION, J. F.; MELLIS, E. V. Anthropic changes in the chemical properties of Haplustox. **Científica**, Jaboticabal, v.32, n.2, p.152-157, 2004.

SILVA, M. das G. M. da; FIGUEIREDO, R. de O.; ROSA, M. B. S. da; COSTA, F. F. Variação espaço-temporal de carbono orgânico dissolvido em três pequenas bacias de drenagem na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8. 2007, Caxambu. **Anais...**Caxambu, 2007. p. 1- 3.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo: Lunar, 1977.

SOUZA, R. B. de, et. al.. Efeito da concentração de dois tipos de sedimento em suspensão sobre a colorimetria e reflectância da água. In: LATIN AMERICAN SIMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 1., 1991, Cuzco. **Anais...** Cuzco, 1991.

STEVAUX, J. C., MARTINS, D. P.; MEUER, M. Changes in a large regulated tropical river: The Parana River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil, **Geomorphology**, V. 113, n. 3-4, p. 230-238, 2009.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J.G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas. Série Diretrizes para o gerenciamento de lagos**. V. 9. São Carlos: International Lake Environmental Commitee, 2000.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER, 2008.

THIENEMANN, A. **Die Binnengewässer Mitteleuropas**. Die Binnengewässer,1. Stuttgart: Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, 1925. 225 p.

THOMAZ, S. M., BINI, L. M.; ALBERTI, S.M. Limnologia do reservatório de Segredo: padrões de variação espacial e temporal. In: AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C. **Reservatório de Segredo: bases ecológicas para o manejo**. EDUEM, Maringá, 1997.

THORNTON, K.W. Sedimentary Processes. In: **Reservoir Limnology: Ecological Perspectives**. . In: THORTON, K.W; KIMMEL, B.L.; PAYNE, F.E. New York: John Wiley and sons, 1990. p. 43-69.

TODESCHINI, M. L. **Dinâmica espacial e temporal das características físicas e químicas do rio Cubatão e distribuição espacial da bacia hidrográfica – litoral do Paraná**. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

TUCCI, C. E. M.. Drenagem urbana. **Ciência Cultura**, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

TUNDISI, J. G. (ed.). **Limnologia e manejo de represas**. V.1. Tomo 1. EESC-USP/ACIESP, 1988. p.1-90.

TUNDISI, J. G. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios – estudos de caso e perspectivas. In: NOGUEIRA, M. G.; HENRY, R.; JORCIN, A. (Org.). **Ecologia de reservatórios: Impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata**. São Carlos: RIMA, 2006.

TUNDISI, J. G. Reservatórios como Sistemas Complexos. In: HENRY, R. (Ed.) **Ecologia de Reservatórios: Estrutura, Função e Aspectos Sociais**. Botucatu, FUNDIBIO, 1999. p. 19-38.

TUNDISI, J. G.; et al. Limnologia de águas interiores: Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3.ed. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 195-225.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VALERIANO, M. de M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.

VOLLENWEIDER, R. A.; J. KERESKES. The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. **Progress Water Technology**, v. 12, p. 5-38, 1980.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1). 3. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005.

WACHHOLZ, F. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W; PEREZ FILHO, A. Compartimentação aquática espectral dos reservatórios em cascata no alto Jacuí – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 4929-4935.

WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W; SARTOR, S. C. de B. Influência do uso da terra e precipitação pluviométrica na formação de compartimentos aquáticos no reservatório Rodolfo Costa e Silva – RS, Brasil. **Geografia**, Rio Claro, v.36, n.3, p. 551-570, 2011.

WEAVER, E. C.; WRIGLEY, R. **Factors affecting the identification of phytoplankton groups by means of remote sensing**. NASA Technical Memorandum 108799. 1994

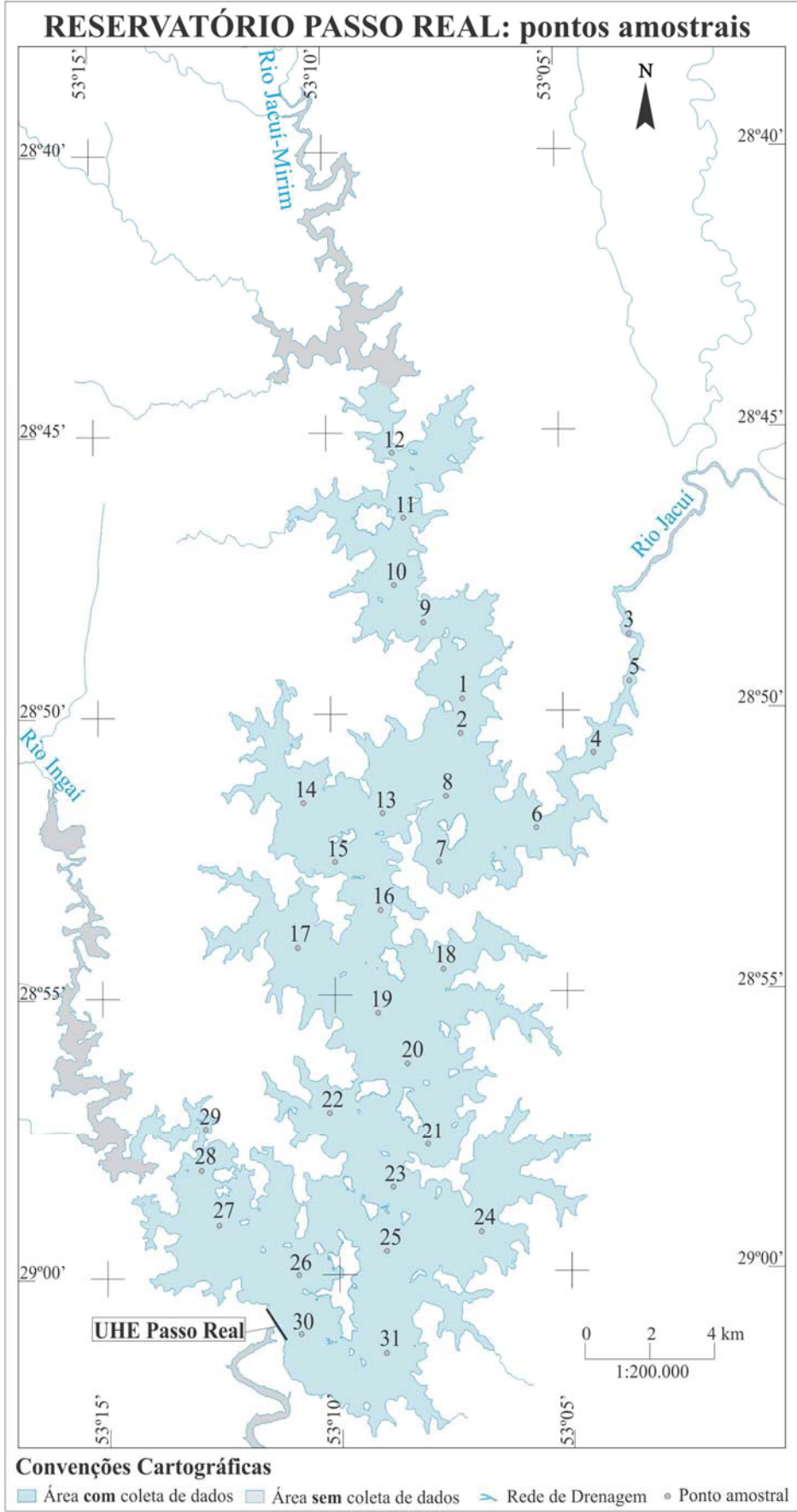
WETZEL, R. G. **Limnology: Lake and River Ecosystems**. Third ed. San Diego: Academic Press, 2001.

WOODRUFF, D.L.; et al. Remote estimation of water clarity in optically complex estuarine waters. **Remote sensing of environment**, v.68, p. 41-52, 1999.

APÊNDICE A – Coordenadas geográficas dos pontos de coleta nos reservatórios Passo Real e Dona Francisca

Reservatório Passo Real			Reservatório Dona Francisca		
Ponto	Longitude	Latitude	Ponto	Longitude	Latitude
1	o 53° 07' 08.2"	s 28° 49' 48.1"	1	o 53° 14' 45.6"	s 29° 27' 20.0"
2	o 53° 07' 12.3"	s 28° 50' 24.0"	2	o 53° 15' 13.5"	s 29° 26' 58.9"
3	o 53° 03' 32.8"	s 28° 48' 39.3"	3	o 53° 16' 13.6"	s 29° 27' 7.4"
4	o 53° 04' 23.2"	s 28° 50' 49.8"	4	o 53° 16' 9.8"	s 29° 26' 44.0"
5	o 53° 03' 33.3"	s 28° 49' 31.4"	5	o 53° 17' 5.5"	s 29° 26' 10.6"
6	o 53° 05' 38.1"	s 28° 52' 07.5"	6	o 53° 15' 24.5"	s 29° 25' 22.1"
7	o 53° 07' 40.7"	s 28° 52' 41.9"	7	o 53° 14' 56.7"	s 29° 25' 32.7"
8	o 53° 07' 31.2"	s 28° 51' 31.4"	8	o 53° 14' 30.6"	s 29° 25' 42.3"
9	o 53° 07' 55.8"	s 28° 48' 23.4"	9	o 53° 14' 28.5"	s 29° 24' 34.2"
10	o 53° 08' 44.4"	s 28° 47' 43.1"	10	o 53° 13' 55.2"	s 29° 24' 23.5"
11	o 53° 08' 23.8"	s 28° 46' 35.6"	11	o 53° 13' 35.4"	s 29° 23' 11.4"
12	o 53° 08' 33.9"	s 28° 45' 24.7"	12	o 53° 12' 51.5"	s 29° 23' 9.8"
13	o 53° 08' 57.0"	s 28° 51' 49.0"	13	o 53° 13' 39.3"	s 29° 22' 23.6"
14	o 53° 10' 34.3"	s 28° 51' 36.8"	14	o 53° 13' 14.9"	s 29° 22' 17.3"
15	o 53° 09' 56.3"	s 28° 52' 38.0"	15	o 53° 13' 52.1"	s 29° 21' 2.9"
16	o 53° 08' 59.5"	s 28° 53' 34.8"	16	o 53° 13' 16.7"	s 29° 21' 3.3"
17	o 53° 10' 47.6"	s 28° 54' 07.2"	17	o 53° 12' 18.7"	s 29° 21' 26.2"
18	o 53° 07' 39.7"	s 28° 54' 34.8"	18	o 53° 11' 37.4"	s 29° 21' 27.0"
19	o 53° 09' 04.7"	s 28° 55' 20.9"	19	o 53° 14' 24.9"	s 29° 20' 17.5"
20	o 53° 08' 29.6"	s 28° 56' 16.1"	20	o 53° 13' 41.3"	s 29° 19' 28.0"
21	o 53° 08' 04.0"	s 28° 57' 41.9"	21	o 53° 13' 51.7"	s 29° 18' 31.1"
22	o 53° 10' 09.3"	s 28° 57' 4.19"	22	o 53° 14' 51.0"	s 29° 17' 35.1"
23	o 53° 08' 49.2"	s 28° 58' 30.5"			
24	o 53° 06' 57.7"	s 28° 59' 15.2"			
25	o 53° 09' 00.8"	s 28° 59' 35.7"			
26	o 53° 10' 53.5"	s 28° 59' 58.1"			
27	o 53° 12' 34.9"	s 28° 59' 03.5"			
28	o 53° 12' 55.9"	s 28° 58' 08.4"			
29	o 53° 12' 48.7"	s 28° 57' 26.0"			
30	o 53° 10' 49.9"	s 29° 01' 01.0"			
31	o 53° 09' 03.1"	s 29° 01' 22.0"			

APÊNDICE B – Mapa na Escala 1:200.000 do reservatório Passo Real com a localização dos pontos amostrais



APÊNDICE C – Mapa na Escala 1:200.000 do reservatório Dona Francisca com a localização dos pontos amostrais

