



*UNESP*

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE/SP  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA


Franciele Gonçalves

**INTERAÇÕES ENTRE O AMBIENTE FÍSICO, USO E COBERTURA  
DA TERRA E AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS NO  
CANAL FLUVIAL: A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO  
ANASTÁCIO, OESTE PAULISTA (DEZ. 2009 – DEZ. 2010).**

Presidente Prudente  
2011

**FRANCIELE GONÇALVES**

**INTERAÇÕES ENTRE O AMBIENTE FÍSICO, A COBERTURA DA  
TERRA E AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS NO CANAL  
FLUVIAL: A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANASTÁCIO,  
OESTE PAULISTA (DEZ. 2009 – DEZ. 2010).**



Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Campus de Presidente Prudente, para obtenção do título de Mestre em Geografia, sob a orientação do Professor Doutor Paulo Cesar Rocha.

Presidente Prudente

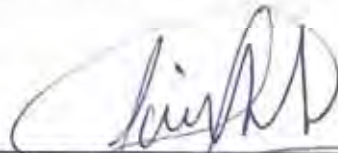
2011

Gonçalves, Franciele.  
G626 Interações entre o ambiente físico, uso e cobertura da terra e as características físicas e químicas no canal fluvial: a bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista (Dez. 2009 – Dez. 2010). / Franciele Gonçalves. - Presidente Prudente: [s.n], 2011.  
145 f.

Orientador: Paulo Cesar Rocha.  
Dissertação (mestrado em geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Inclui bibliografia

1. Processamento digital de imagens. 2. Uso e cobertura da terra. 3. Variáveis limnológicas. I. Rocha, Paulo Cesar. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Interações entre o ambiente físico, uso e cobertura da terra e as características físicas e químicas no canal fluvial.

**BANCA EXAMINADORA**



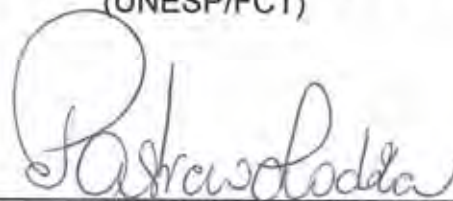
---

PROF. DR. PAULO CESAR ROCHA  
ORIENTADOR

*Encarnita Salas Martin*

---

PROFA. DRA. ENCARNITA SALAS MARTIN  
(UNESP/FCT)



---

PROF. DR. PATRICIA HELENA MIRANDOLA  
(UFMS)

*Franciele Gonçalves*

---

FRANCIELE GONÇALVES

Presidente Prudente (SP), 29 de agosto de 2011.

RESULTADO: APROVADO



*Dedico este trabalho a Deus e a minha família, pois neles encontro minha paz, esperança e segurança. Eles são minha rocha, proteção e abrigo. Devo tudo o que sou e o que ainda serei á eles.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre se fazer presente em minha vida, me protegendo e me iluminando nos momentos mais difíceis.

À FAPESP, órgão financiador, por ter reconhecido a importância desta pesquisa de mestrado – processo nº2009/04865-0.

Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Rocha, pela orientação efetiva, confiança e aprendizado.

Aos professores da pós-graduação e da FCT que contribuíram para minha formação. Em especial aos professores Renata Ribeiro de Araújo e Nilton Nobuhiro Imai pelas contribuições e sugestões na banca de qualificação.

À Prof. Dr. Patrícia Helena Mirandola, que mesmo a distância contribuiu direta e indiretamente com essa pesquisa. Obrigada por apoiar e acreditar sempre em mim.

A minha mãe, que sempre acalmou meu coração e me deu colo quando precisei. Obrigada pelo apoio e incentivo, és uma super mãe e mulher.

Ao meu pai, pelos sábios conselhos e por indicar os melhores caminhos a seguir. És um grande homem, obrigada por sempre torcer e confiar em mim.

A minha linda e querida irmã, que trilha ao meu lado o caminho em busca do conhecimento e que sempre esteve comigo em qualquer circunstância. Inteligente, batalhadora e dedicada. Obrigada pelo apoio e orientação científica neste trabalho. Amiga, irmã, cúmplice. És muito importante pra mim.

A minha família em geral, avós, tios, primos, sogros e cunhada que sempre mandaram energias positivas.

Ao Renato Zagato Júnior, por ter tido calma e paciência. Por me ouvir e me acolher nos momentos difíceis. Por me mostrar o lado mais colorido das coisas e me fazer sorrir. Pelo amor e carinho dedicados a mim.

Aos amigos Mônica de Lima Gonzaga, Ana Gabriela Bueno Melo de Carvalho, Maria Rosângela Bedun e Hermilano Felipe Deco, mesmo que distantes geograficamente mantiveram-se sempre presentes em meu coração.

Em especial a minha amiga Caroline Almeida, pelo amor e sintonia que nos une independente do tempo e distância, basta pensar e estaremos ligadas uma a outra. Pelas

palavras de apoio e incentivo, pela paz e luz que traz a minha vida. Meu eterno agradecimento.

Ao Cesar Cardoso Ferreira, pelas contribuições acadêmicas, troca de experiências e aprendizado. Pelos bate-papos geográficos e pela contribuição desde o processo de elaboração do projeto de pesquisa.

As amigas e companheiras Cíntia Pereira dos Santos e Renata Pereira Prates, pelas conversas, risadas e lágrimas que derramamos juntas. Obrigada por tornarem o trabalho menos solitário e os dias mais alegres em Presidente Prudente.

Aos amigos e parceiros de campo Tainá Medeiros Suizu, Mauro Henrique Soares, Cesar Cardoso Ferreira, Alex Paulo de Araújo, Bruno Correa, Leonardo Avanço, Renata Pereira Prates e Ana Carolina Gonçalves. A pesquisa não existiria sem vocês, obrigada pelo apoio, dedicação e esforço.

À Beatriz Aparecida da Conceição, pessoa de muito estima, uma amiga e mãe para mim.

A todos que direta e indiretamente auxiliaram a realização deste trabalho e apoiaram-me em diversos momentos, a todos que trouxeram importantes lições a minha vida, aos familiares, colegas, professores, acadêmicos e funcionários da UNESP, todos fizeram parte desta conquista.

Muito Obrigada!

## RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar como o uso e cobertura da terra pode interferir nas variáveis químicas e físicas da água do rio Santo Anastácio – Oeste Paulista, a partir da utilização integrada de Sistema de Informação Geográfica, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Análises Físico/Química da água. Para o estudo da cobertura da terra, o procedimento metodológico foi baseado em processamento digital de imagens orbitais, realizado em um ambiente de sistemas para aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados, ou seja, em um SIG. Nesse foram realizadas as seguintes etapas: preparação da melhor composição e aprimoramento de cor, registro, segmentação, classificação supervisionada, elaboração, validação e quantificação de mapas temáticos. As variáveis físicas e químicas da água foram obtidas diretamente no campo, foram analisados: pH, condutividade, oxigênio dissolvido, temperatura, turbidez e sólidos em suspensão. Vale ressaltar que a pesquisa visou à caracterização limnológica do rio e não o levantamento de índices de qualidade da água. A metodologia adotada mostrou-se eficiente, visto que a pesquisa indicou a interferência de determinados usos e coberturas da terra, em especial a pastagem e cana-de-açúcar, causando alterações em algumas variáveis químicas e físicas da água no rio Santo Anastácio.

**Palavras-chave:** processamento digital de imagens, uso e cobertura da terra, variáveis limnológicas.



## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate how the use and land cover can interfere in the chemical and physical variables of the Santo Anastácio river - West Paulista, from the integrated use of geographic information system, GIS, remote sensing analysis and physical / chemical of water. For the study of land cover, the methodological procedure was based on digital processing of satellite images, held in a systems environment for the acquisition, storage, manipulation, analysis and presentation of georeferenced data, ie, in a GIS. That were performed the following steps: preparing the best composition and color enhancement, registration, segmentation, supervised classification, development, validation and quantification of thematic maps. The physical and chemical variables of water were obtained directly at the field, were analyzed: pH, conductivity, dissolved oxygen, temperature, turbidity and suspended solids. It is noteworthy that the research aimed to characterize the limnological river and not raising rates water quality. The methodology proved to be efficient, since the survey indicated the interference of certain uses and land cover, especially grass and cane sugar, caused changes in some chemical and physical variables in Santo Anastácio River's water.

**Keywords:** digital image processing, use and land cover, limnological variables.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACP – Análise de Componentes Principais  
BHRSA – Bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio  
CADD - Computer-Aided Drafting and Design  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CBERS - China-Brazil Earth Resource Satellite  
CBH-PP – Comitê de Bacia hidrográfica do Pontal do Paranapanema  
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente  
CPTI – Cooperativa de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais  
ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus  
GIS - Geographic Information Systems  
GPS - Sistema de Posicionamento Global  
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IQA - Índice de Qualidade da Água  
LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite  
MNT - Modelo Numérico de Terreno  
NASA - National Aeronautics and Space Administration  
NC - Nível de cinza  
PCA – Análise de Componentes Principais  
PI - Plano de Informação  
SGBDs - Sistema de Gerência de Banco de Dados  
SIG - Sistema de Informação Geográfica  
SPRING - Sistema de Processamento de Informação Georreferenciada  
SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission  
TM - Thematic Mapper  
UTM - Universal Transversa Mercator

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio .....	20
Figura 2 : Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. ....	31
Figura 3: Aquisição das imagens de satélite no site do INPE .....	51
Figura 4: Módulo de elaboração do contraste no SPRING® .....	52
Figura 5: Módulo de registro da imagem no SPRING® .....	53
Figura 6: Módulo de edição topológica – delimitação da bacia no SPRING®.....	54
Figura 7: Módulo de segmentação no SPRING®. ....	55
Figura 8: Módulo de classificação no SPRING®.: .....	56
Figura 9: Fluxograma do método de avaliação de uso e ocupação da terra. (IBGE):.....	57
Figura 10: Cores e classes do uso e cobertura da terra.....	57
Figura 11: Módulo de validação no SPRING®.....	58
Figura 12: Fotos do trabalho de campo e equipamentos utilizados.....	60
Figura 13: Aparelho de aferir oxigênio dissolvido - oxímetro .....	61
Figura 14: Condutivímetro .....	61
Figura 15: Aparelho pHmetro: .....	62
Figura 16: Aparelho de aferir turbidez - turbidímetro.....	63
Figura 17: Estufa e bomba a vácuo .....	64
Figura 18: Geologia da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio.....	70
Figura 19: Climograma de Presidente Prudente/SP (1969-2007). ....	72
Figura 20: Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio .....	74
Figura 21: Hipsometria da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.....	76
Figura 22: Classes altimétricas da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.....	77
Figura 23: Declividade da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio .....	79
Figura 24: Porcentagens das classes de declive da BHSA .....	80
Figura 25: Pedologia da bacia hidrográfica do Rio Santo Anastácio .....	84
Figura 26: Padrões de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1974) .....	85
Figura 27: Rede de drenagem dendrítico da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio. ....	85
Figura 28: Quantificação dos usos da terra na área de estudo.....	88
Figura 29: Mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio .....	90
Figura 30: Perfil longitudinal do rio Santo Anastácio e respectiva curva de equilíbrio (SUIZU,2011).....	93
Figura 31: Localização das seções.....	96
Figura 32: Fotos da seção de amostragem 1 .....	97
Figura 33: Fotos da Rodovia Assis Chateaubriand e Seção 2. ....	98
Figura 34: Fotos da seção 3, represa da CICA e ladrão depois da represa.....	99

Figura 35: Fotos da seção de amostragem 4.....	99
Figura 36: Fotos da seção 5 de amostragem.....	100
Figura 37: Fotos da seção 6 de amostragem.....	101
Figura 38: Fotos da seção 7 .....	101
Figura 39: Fotos da seção de amostragem 8.....	102
Figura 40: Fotos da seção 9 de amostragem.....	103
Figura 41: Fotos da seção de amostragem 10.....	104
Figura 42: Máxima,mínima e média das variáveis largura, profundidade, velocidade e vazão do canal.....	105
Figura 43: Temperatura da água - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima. ....	108
Figura 44: Potencial hidrogeniônico - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima..	110
Figura 45: Condutividade elétrica - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima.....	111
Figura 46: Sólido suspenso - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima. ....	113
Figura 47: Turbidez - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima. ....	114
Figura 48: Oxigênio dissolvido - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima. ....	116
Figura 49: Dendograma com os dados amostrados na pesquisa.. ....	119
Figura 50: Gráfico da análise sazonal das componentes principais.. ....	122
Figura 51: Análise espacial de componentes principais.....	123
Figura 52: Regionalização da bacia a partir da ACP.....	125

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Área de estudo.....	18
1.2 Justificativa.....	21
1.3 Objetivo Geral.....	22
1.3.1 Objetivos específicos.....	22

### CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1 Sistemas ambientais.....	24
2.2 Bacia hidrográfica como unidade de estudo.....	27
2.3 Características e suporte das geotecnologias.....	28
2.3.1 Sistema de Informação Geográfica.....	30
2.3.2 Sensoriamento remoto.....	32
2.3.2.1 Classificação de imagens multiespectrais.....	33
2.4 Sistema de classificação e mapeamento de uso e cobertura da terra.....	34
2.5 Validação da classificação.....	34
2.6 Bacia hidrográfica: rede de drenagem e canal fluvial.....	36
2.7 Limnologia: uma visão ecológica dos rios.....	37
2.7.1. Variáveis limnológicas indicadores do estado físico e químico da água.....	39
2.7.1.1 Oxigênio dissolvido.....	40
2.7.1.2 Condutividade elétrica.....	41
2.7.1.3 Potencial hidrogeniônico - pH.....	42
2.7.1.4 Turbidez.....	43
2.7.1.5 Sólidos suspensos.....	43
2.7.1.6 Temperatura.....	43
2.8 Análise estatística multivariada.....	44
2.8.1 Análise de agrupamentos (CLUSTER).....	44
2.8.2 Análise de componentes principais.....	45

### CAPÍTULO III

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	48
3.1 Materiais e métodos referentes aos levantamentos do meio físico da bacia hidrográfica.....	48
3.1.1 Levantamento de dados secundários.....	48
3.1.2 Trabalho de gabinete.....	49

3.1.3 Constituição da base cartográfica digital.....	49
3.1.4 Levantamento hipsométrico da bacia .....	49
3.1.5 Carta clinográfica .....	50
3.1.6 Processamento digital das imagens .....	51
3.1.6.1 Aquisição de dados orbitais .....	51
3.1.6.2 Elaboração da melhor composição colorida e realce.....	52
3.1.6.3 Registro das imagens .....	52
3.1.6.4 Processo de representações topológicas .....	53
3.1.6.5 Processo de segmentação das imagens .....	54
3.1.6.6 Classificação das imagens orbitais .....	55
3.1.6.7 Elaboração dos mapas temáticos .....	56
3.1.6.8 Validação do mapeamento .....	58
3.2 Materiais e procedimentos metodológicos dos levantamentos limnológicos.....	59
3.2.1 Detalhamento da área de estudo: as seções de amostragem.....	59
3.2.2 Trabalhos de campo.....	59
3.2.3 Levantamento e análise do oxigênio dissolvido .....	60
3.2.4 Levantamento e análise da condutividade elétrica .....	61
3.2.5 Levantamento e análise do potencial hidrogeniônico - pH .....	62
3.2.6 Levantamento e análise da turbidez.....	62
3.2.7 Levantamento e análise dos sólidos suspensos .....	63
3.2.8 Levantamento da velocidade da água .....	64
3.2.9 Análise estatística das variáveis limnológicas.....	64
3.2.9.1 Análise de agrupamento (Cluster) .....	65
3.2.9.2 Análise de componentes principais (ACP).....	65

## **CAPÍTULO IV**

4 RESULTADOS .....	68
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	68
4.1.1 Características físicas da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio .....	68
4.1.1.1 Geologia .....	68
4.1.1.2 Clima .....	71
4.1.1.3 Geomorfologia.....	72
4.1.1.4 Hipsometria da bacia .....	75
4.1.1.5 Clinografia da bacia.....	77
4.1.1.6 Pedologia .....	80
4.1.1.7 Rede de drenagem .....	85
4.1.2. Mapeamento e análise espacial do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica .....	86
4.1.2.1 Índice Kappa e a validação do mapeamento .....	91
4.2 Características do canal fluvial e das seções amostradas .....	92
4.2.1 Perfil longitudinal do rio .....	92
4.2.2 Morfologia e morfometria do canal.....	94
4.2.3 Caracterização das seções amostradas.....	95

4.2.3.1 Seção de amostragem 1 .....	97
4.2.3.2 Seção de amostragem 2 .....	97
4.2.3.3 Seção de amostragem 3 .....	98
4.2.3.4 Seção de amostragem 4 .....	99
4.2.3.5 Seção de amostragem 5 .....	100
4.2.3.6 Seção de amostragem 6 .....	100
4.2.3.7 Seção de amostragem 7 .....	101
4.2.3.8 Seção de amostragem 8 .....	102
4.2.3.9 Seção de amostragem 9 .....	102
4.2.3.10 Seção de amostragem 10 .....	103
4.3 Canal fluvial: largura, profundidade, velocidade e vazão .....	104
4.4 Análise espaço-temporal das variáveis limnológicas no canal fluvial .....	107
4.4.1 Temperatura do ar e da água .....	107
4.4.2 Potencial hidrogeniônico - pH.....	109
4.4.3 Condutividade elétrica.....	110
4.4.4 Sólidos suspensos .....	112
4.4.5 Turbidez.....	113
4.4.6 Oxigênio dissolvido.....	115
4.5.4.5 Análise espaço-temporal das variáveis limnológicas e suas relações com as características do meio físico e uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica.....	118
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	128
BIBLIOGRAFIA .....	131
ANEXOS.....	138

**C  
A  
P  
Í  
T  
U  
L  
O  
  
I**



## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural cada vez mais escasso e limitado, devendo ser, portanto, um objeto de preocupação, já que constitui fonte essencial da vida. Problemas de qualidade e quantidade tornam-se cada vez maiores e mais complexos, daí a relevância de se estudar os recursos hídricos.

Uma das principais formas de se entender os processos hidrológicos no espaço é avaliando-os dentro dos limites da bacia hidrográfica. Justifica-se a escolha da bacia hidrográfica como unidade de estudo, por esta manter uma relação estreita entre os componentes do ambiente e a atividade antrópica. Fica então evidenciada, a necessidade de analisar as alterações ocorridas nas bacias hidrográficas, em especial as alterações nos recursos hídricos. Uma maneira de se identificar tais processos é a avaliação de variáveis indicadores do estado da água, uma vez que a existência e qualidade da água dependem de como os outros componentes do ambiente são manejados.

Em uma bacia hidrográfica, a qualidade da água depende das condições naturais, pois esta sofre interferência do carreamento natural de partículas do solo após eventos de chuva e dissolução de íons de rocha, além da interferência antrópica, que afeta a qualidade das águas através do lançamento de efluentes domésticos, industriais e insumos agrícolas (VON SPERLING, 1996).

Deste modo, é de suma importância pensar no uso equilibrado da terra, pois na bacia a integração e modificação são sentidas por todos os proprietários ou ocupantes desta, podendo causar reflexos negativos tanto ambientais quanto econômico-sociais.

A tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica vem se impondo como uma ferramenta de rotina para a visualização e análise da informação espacial, sendo usada extensivamente em aplicações como a cartografia de uso da terra, análise e planejamento de transportes, análise geodemográfica, cartografia de redes de infra-estruturas e em múltiplas aplicações de gestão de recursos naturais.

De acordo com Mendonça (1997), a identificação da ocupação e uso da terra constitui-se em um importante elemento ligado à temática ambiental, pois quanto mais atualizado os dados e levantamentos sobre uma determinada localidade auxiliará, a identificação e localização de agentes responsáveis pelas condições ambientais da área.

É importante frisar que a bacia hidrográfica deve ser estudada através de uma metodologia sistêmica e holística, baseada na interdisciplinaridade, que permita a

investigação de suas particularidades, identificando as alterações ambientais resultantes das ações sócio-espaciais.

Preocupou-se na pesquisa em manter um rigor sistemático na execução das atividades de campo e laboratoriais, a fim de se obter resultados limnológicos precisos e representativos, foram levantadas as variáveis químicas e físicas da água: pH, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura e material em suspensão, além de dados como largura e profundidade do canal fluvial, velocidade do fluxo e temperatura do ar. Com as análises limnológicas juntamente com a caracterização física e de uso da terra da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio objetivou-se atender a proposta da pesquisa.

### **1.1 Área de estudo**

Caracterizando a bacia hidrográfica em uma perspectiva sistêmica, a bacia do rio Santo Anastácio é parte componente do sub-sistema denominado bacia do rio Paraná que deságua em um sistema maior, a bacia hidrográfica da Prata.

Localizada na porção oeste do Estado de São Paulo, a bacia do rio Santo Anastácio situa-se geograficamente entre as coordenadas 21° 48' 49'' a 22° 16' 59'' de latitude S e 51° 22' 05'' a 52° 11' 15'' de longitude W Gr E (Figura 1). Este importante afluente do rio Paraná possui 1.965 km<sup>2</sup> de área de drenagem, com curso principal de aproximadamente 155 km em extensão, desaguando no município de Presidente Epitácio à margem esquerda do rio Paraná.

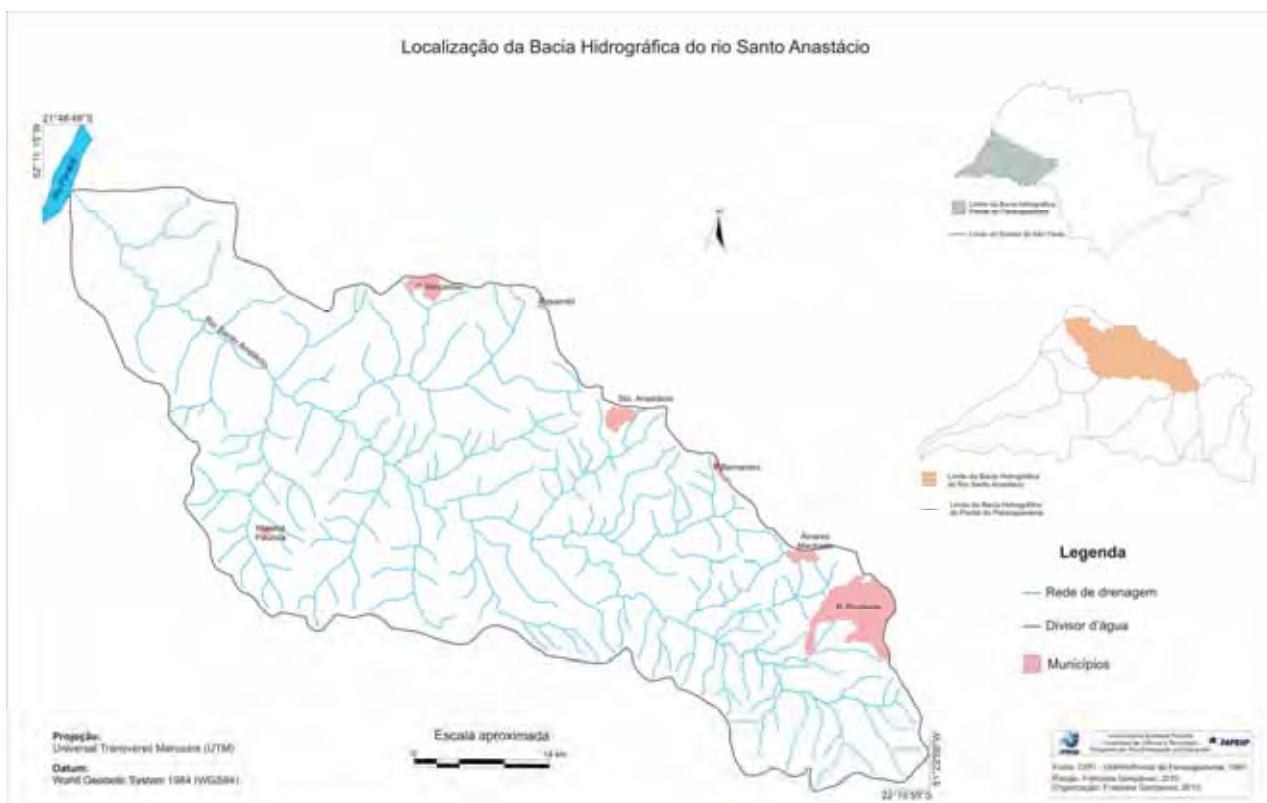
De acordo com a divisão hidrográfica do estado de São Paulo (Lei nº 9.034/94), a bacia alvo está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22), a qual possui um Plano de bacia hidrográfica, que prevê ações de intervenção voltadas a assegurar boa qualidade e quantidade de água à população; recuperar e conservar a qualidade das águas do rio Santo Anastácio; incentivar e apoiar financeiramente programas de educação ambiental direcionados para a conservação dos Recursos Hídricos.

A bacia do rio Santo Anastácio percorre 12 municípios paulistas que estão sob o domínio da UGRHI 22 – Pontal do Paranapanema: Regente Feijó, Anhumas, Presidente Prudente, Álvares Machado, Pirapozinho, Presidente Bernardes, Santo Anastácio, Piquerobi, Presidente Venceslau, Marabá Paulista, Caiuá e Presidente Epitácio – o que por si só demonstra sua importância para a região, dos quais 7 tem sua sede administrativa na bacia.

Em alguns canais, principalmente em seu alto curso há captação de água para abastecimento urbano. Essas áreas foram intensamente ocupadas de forma desordenada e não planejada, o que torna as cabeceiras suscetíveis a intensos processos de degradação e conseqüentemente um risco para áreas de nascente da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.

Devido sua localização e extensão territorial a bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio possui uma rede rodoviária com grande fluxo de veículos, destacam-se as rodovias Raposo Tavares, Júlio Budiski, Assis Chateaubriand e a BR 158, são rodovias pavimentadas, que interligam os municípios da região e são utilizadas para o acesso aos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná.

A bacia possui um grande número de estradas municipais, intermunicipais e rurais não pavimentadas, a não manutenção das mesmas podem causar o aceleração de processos erosivos e conseqüentemente o assoreamento do canal fluvial. A prefeitura de Presidente Prudente e a CODASP (Companhia de desenvolvimento agrícola do Estado de São Paulo), estão realizando obras com o intuito de melhorar estradas rurais vicinais, esse convênio refere-se ao Programa Melhor Caminho e ajudará na recuperação de estradas no alto da bacia do rio Santo Anastácio.



**Figura 1:** Localização da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio.

## 1.2 Justificativa

Salienta-se aqui a preocupação em identificar e avaliar as alterações ambientais na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, enfatizando o meio físico, as condições de uso e cobertura da terra e as características físicas e químicas da água do rio.

É importante ressaltar que alterações nas características físicas e químicas da água estão relacionadas à geologia, tipos de solos, declividades, bem como ao tipo de uso e cobertura da terra de uma região. Estes fatores são responsáveis por regular a quantidade de sedimentos e as concentrações químicas que serão disponibilizadas na forma de solutos e/ou carreadas aos cursos d'água.

Portanto, são as formas de usos e cobertura da terra os principais fatores que contribuem para a degradação dos recursos hídricos, através da disponibilização de resíduos orgânicos e compostos químicos tóxicos derivados de atividades antrópicas, assim como o excesso de material sedimentar.

O uso conjugado do sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica (SIG) é um elemento essencial para determinar a repartição geográfica do uso e da cobertura da terra em toda extensão da bacia, a partir do qual se estabelecerão zonas de influência sobre cada ponto de medição da qualidade ambiental da água. Deste modo, a sobreposição de informações possibilitará a identificação dos tipos de uso da terra e suas influências sob a alteração das variáveis químicas e físicas da água diretamente relacionados.

### **1.3 Objetivo Geral**

A partir do uso integrado de SIG, sensoriamento remoto, geoprocessamento e análises físicas e químicas da água, o objetivo desta dissertação é avaliar como o uso da terra pode interferir nas variáveis químicas e físicas da água na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, demonstrando assim a situação ambiental nas vertentes da bacia e o estado ambiental da água em seu canal principal.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos que subsidiam o objetivo geral supracitado basearam-se em:

- Caracterizar a geologia, geomorfologia e pedologia da bacia;
- Processar as imagens orbitais, a fim de se obter uma melhor qualidade da mesma para realizar o mapeamento de uso e cobertura da terra;
- Correlacionar às características limnológicas do rio Santo Anastácio com as características físicas e os tipos de uso e cobertura da terra na bacia;
- Levantar o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, qualificando e quantificando seus usos atuais;
- Avaliar o estado da água, a partir de levantamentos limnológicos no rio Santo Anastácio,
- Identificar quais os tipos de uso da terra mais influencia na degradação dos cursos d'água e quais os tipos de alterações ambientais mais presentes na bacia;

**C  
A  
P  
Í  
T  
U  
L  
O  
  
I**

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este estudo aborda dois eixos temáticos principais: A bacia hidrográfica como unidade de estudo, enfatizando os tipos de uso e cobertura da terra, para tanto utilizando-se da aplicação de técnicas em processamento digital de imagens como instrumento para esta análise; e o estudo das variações ambientais da água do seu rio principal, a partir de tomadas de dados diretas no campo e análises em laboratório. Os dois eixos melhor se integram na ótica dos sistemas ambientais, pois trata-se de uma análise tanto qualitativa quanto quantitativa de dados que representam a inter-relação e interdependência entre componentes do sistema bacia hidrográfica.

Com a finalidade de fundamentar cientificamente a pesquisa, serão discutidos a seguir conceitos e teorias sobre abordagem sistêmica, geoprocessamento, bacia hidrográfica como unidade de estudo e de limnologia fluvial, obtendo-se assim suporte teórico e conceitual para o desenvolvimento da pesquisa.

### **2.1 Sistemas ambientais**

A Teoria Geral dos Sistemas foi elaborada em 1937, por Ludwig Von Bertalanffy, para preencher uma lacuna na pesquisa e na teoria da Biologia, seus primeiros enunciados são de 1925, mas foi amplamente discutida somente na década de 50, quando o autor publicou um artigo intitulado “Um Esboço da Teoria Geral dos Sistemas”, o qual se referia à necessidade de explicar fenômenos através de uma interação de unidades elementares que poderiam ser investigadas independentemente.

Segundo Bertalanffy (1977, apud Christofolletti, 1999) “O pensamento sistêmico surge, na biologia, a partir da consideração dos organismos vivos como totalidades integradas. A idéia de que a natureza funciona como um sistema, já era considerada pelos biólogos no início do século XX, mas foram as concepções de Bertalanffy (op cit) de um sistema aberto e de uma Teoria Geral de Sistemas que estabeleceram o pensamento sistêmico no âmbito da ciência”.

Na teoria geral dos sistemas a ênfase é dada à inter-relação e interdependência entre os componentes que formam um sistema que é interpretado como uma totalidade integrada, sendo impossível estudar seus elementos isoladamente. Dentro de um sistema há interação



simultânea e interdependente entre os componentes, dessa forma, qualquer mudança em uma das partes afetará todo o conjunto (BERTALANFFY, 1977).

É importante enfatizar que, a Teoria Geral dos Sistemas considera a organização como um todo e não somente em setores individualizados, ela compartimenta um sistema para posteriormente integrá-lo de forma holística. O importante nesta abordagem é a identificação dos vários componentes que de alguma forma, influenciam como um todo no ambiente.

Entende-se “*sistema*” como um conjunto de partes distintas em inter-relação umas com as outras, formando um todo organizado que possui uma finalidade, um objetivo constante. Um sistema é uma totalidade integrada, o que implica que a compreensão da sua natureza e de seu funcionamento não pode ser alcançada pela simples análise das partes que o compõem.

A Teoria Geral dos Sistemas é hierárquica e analisa o ambiente a partir do Sistema, Subsistemas e Partes Componentes integrados entre si, permitindo que ao final da pesquisa se compreenda suas causas e efeitos (BERTALANFFY, 1977).

Toda organização hierárquica apresenta uma configuração interna que define limites entre a ação do sistema e o ambiente, decorre ainda o grau de abertura do sistema em relação ao ambiente. Quanto menor o grau de abertura das organizações mais aproximam-se do modelo de sistema fechado, já as organizações de maior grau de abertura tendem para o modelo de sistema aberto (BERTALANFFY, 1977).

Os sistemas abertos apresentam relações de intercâmbio com o ambiente, através de entradas e saídas. Esses sistemas trocam matéria e energia regularmente com o meio ambiente, e são adaptativos, isto é, se reajustam constantemente às condições do meio. Bertalanffy, (1977, p. 193) define um sistema aberto “como um sistema em troca de matéria com seu ambiente, apresentando importação e exportação, construção e demolição dos materiais que o compõem”.

Assim a abordagem sistêmica tem uma visão holística, fortalecida pela ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG), mostra-se como o importante instrumento para levantamentos e elaboração de diagnósticos ambientais.

Para Christofletti (2002), a abordagem sistêmica, serve de instrumento conceitual para geógrafo, que lhe facilita tratar de conjuntos complexos. A aplicação da Teoria Geral dos

Sistemas serviu para focalizar melhor as pesquisas e delinear com maior exatidão os estudos geográficos.

Considerando o âmbito da Geografia em particular, a abordagem sistêmica favoreceu e dinamizou o desenvolvimento da denominada “Nova Geografia”, essa abordagem serviu para melhorar o foco pesquisas e para delinear com maior exatidão o seu setor de estudo. Neste sentido Mirandola-Avelino (2006), elucida que a Nova Geografia provocou mudanças na forma de pensar e fazer pesquisa, a geografia desenvolveu-se procurando incentivar um enquadramento no contexto científico global. Estabeleceram-se metas básicas como: maior rigor na aplicação da metodologia científica, desenvolvimento das teorias, uso de técnicas estatísticas e matemáticas, abordagem sistêmica e o uso de modelos.

No decorrer da construção do pensamento geográfico, e em meados do século XX a Teoria Geral dos Sistemas ganha espaço. Neste contexto, conceitos como o de paisagem, geossistema e ecossistema foram defendidos por vários autores, entre eles: BERTRAND (1971), TRICART (1977), SOTCHAVA (1977), CHRISTOFOLETTI (1999) e MONTEIRO (2000).

O conceito de análise integrada de elementos da paisagem, possui uma visão sistêmica na geografia, e integra o homem e o ambiente. A discussão de paisagem e a sistematização do conceito de geossistema consideram a dimensão natural e social dos sistemas paisagísticos e possibilita avaliar como acontece a interação sociedade-ambiente nos diferentes espaços.

O conceito de geossistema surgiu na escola russa, da teorização sobre o meio natural, suas estruturas e seus mecanismos. O termo geossistema foi utilizado em 1963 por Sotchava (1977) para descrever a esfera físico-geográfica, que apresentava características de um sistema. Segundo o autor, os geossistemas são constituídos de componentes naturais intercondicionados e inter-relacionados em sua distribuição e se desenvolvem no tempo, como parte do todo. Sotchava (1977) esclarece nesse sentido que, embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais que influenciam sua estrutura são levados em consideração durante o estudo.

Tendo assim uma visão da totalidade, Troppmair (2004) elucida que “devido à grande complexidade de inter-relações entre homem e natureza, entre fenômenos e elementos em

seus diversos níveis, tais estruturas organizacionais devem ser compreendidas dentro de uma concepção holística ou sistêmica”.

A geografia vista como uma ciência de síntese busca entender a complexidade e dinâmica das relações entre o homem e o meio ambiente. A abordagem sistêmica oferece o arcabouço teórico-metodológico para a integração e otimização de seus estudos.

## **2.2 Bacia hidrográfica como unidade de estudo**

A escolha desta delimitação espacial está em consonância com a Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política de Recursos Hídricos, na qual se adota a bacia hidrográfica como unidade de estudo da interação entre a rede de drenagem e as populações locais, o que envolve o uso desses recursos e os impactos das atividades humanas para os usos múltiplos atuais e futuros da água.

Christofoletti (1980) caracteriza a bacia hidrográfica como uma área limitada por divisores de água, dentro da qual são drenados os recursos hídricos, através de um curso de água, como um rio e seus afluentes. A área física, assim delimitada, constitui-se em importante unidade de planejamento.

Uma bacia hidrográfica é um meio natural espacialmente definido, no qual seus elementos mantêm relações dinâmicas entre os componentes físicos, biológicos e socioeconômicos. Pela sua distribuição espacial, apresentam, na maioria dos casos diferentes paisagens que, em geral, representam diferentes estágios de sua evolução no sistema, subsistema e partes componentes (NASCIMENTO E CARVALHO, 2003).

Para Espindola et al. (2000) a bacia hidrográfica corresponde a um sistema biofísico e sócio econômico, integrado e interdependente, contemplando atividades agrícolas, industriais, comunicações, serviços, facilidades recreacionais, formações vegetais, nascentes, córregos, lagoas e represas, enfim todos os habitats e unidades da paisagem. É considerada uma unidade funcional, onde os processos e interações são caracterizados, quantificados e modelados. Neste contexto é possível avaliar a complexidade dos problemas ambientais.

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo permite o planejamento dos recursos hídricos, pois nesta pode-se levantar dados como de clima, relevo, geologia, hidrologia, uso e cobertura da terra e a qualidade da água, possibilitando assim a

caracterização, classificação, os diagnósticos, prognósticos e o zoneamento ambiental do sistema (MORAES, 2001. p.5)

Nessa perspectiva, essa unidade de estudo tem sido tomada como recorte espacial para pesquisas ambientais e têm se demonstrado eficientes na geração de informações, além de difundir práticas de manejo de solo e conservar os recursos naturais. Contribui para o desenvolvimento regional, principalmente nas situações atuais de grande pressão sobre o meio ambiente, em decorrência do crescimento populacional. Assim, as alterações quantificadas das propriedades físicas e químicas da água das drenagens refletem os diferentes usos do solo da bacia (SILVA et al. 2003).

Segundo Guerra & Cunha (2003), as mudanças ocorridas no interior das bacias de drenagem podem ter causas naturais, entretanto, nos últimos anos, o homem tem participado como um agente acelerador nos processos modificadores e de desequilíbrios da paisagem.

Assim é de suma importância se pensar no uso equilibrado da terra, pois na bacia a integração e modificação são sentidas por todos os proprietários ou ocupantes desta, podendo causar reflexos negativos tanto ambientais, sociais, como econômicos.

### **2.3 Características e suporte das geotecnologias**

As geotecnologias são conjuntos de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica. As geotecnologias são compostas por soluções em hardware, software e peopleware que juntas tornam-se ferramentas para tomada de decisão. São todas as tecnologias relacionadas à geoinformação. Esse conceito abrange a aquisição, processamento, análise de dados ou informações espacialmente referenciadas (ROSA, 2003).

O uso das geotecnologias é crescente no âmbito da análise geográfica e suas atribuições, resultados e produtos tem sido de fundamental importância para a pesquisa científica e trabalhos técnicos na área de assessoria e consultoria ambiental. Nesse sentido as geotecnologias subsidiam a manipulação de dados físicos e o levantamento de uso e cobertura da terra nas vertentes das bacias hidrográficas.

Para construir uma base de dados, buscando gerar informações, o geoprocessamento caracteriza-se em um conjunto de técnicas para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica. A palavra refere-se à capacidade

de processar informações sobre a superfície terrestre através de ferramentas computacionais (ROSA, 2003).

Rosa e Brito (1996) ainda definem o geoprocessamento como um conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, além de enfatizar que o geoprocessamento pode ser aplicado em trabalhos como cartografia digital e sistemas de informações geográficas.

Nesta perspectiva, Câmara *et al* (1996) define geoprocessamento como um conjunto de tecnologias que utiliza representações computacionais do espaço geográfico para modelar e analisar fenômenos espaço-temporais.

Câmara, 2001 elucida que com o desenvolvimento da tecnologia espacial, principalmente no período da Guerra Fria, surge o geoprocessamento, o qual vem nos atender em seguida como ferramenta para análise geográfica e ainda salienta sobre o início da introdução do geoprocessamento no Brasil:

A introdução do Geoprocessamento no Brasil inicia-se a partir do esforço de divulgação e formação de pessoal feito pelo prof. Jorge Xavier da Silva (UFRJ), no início dos anos 80. A vinda ao Brasil, em 1982, do Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro SIG (o Canadian Geographical Information System), incentivou o aparecimento de vários grupos interessados em desenvolver tecnologia, dentre eles UFRJ, INPE e CpQD/TELEBRAS. (CÂMARA, 2001, p. 3).

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, o que impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do geoprocessamento (CÂMARA, 2001).

De acordo com Assad & Sano (1993) o principal objetivo do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais (software e hardware) para que diferentes analistas estimem evoluções espaciais e temporais de um fenômeno geográfico, além das inter-relações entre eles.

Essa ferramenta é de grande importância quando se trabalha com dados espaciais, pois permite a extração de dados das imagens sobre a bacia e a sua organização em um banco de

dados georreferenciado, o que facilita a modelagem hidrológica e, por conseguinte, os estudos na área dos recursos hídricos.

### 2.3.1 Sistema de Informação Geográfica

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) surgiram na década de 60, no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de manipular, pois não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente caros, e a mão de obra tinha que ser altamente especializada. Além disto, a capacidade de armazenamento e a velocidade de processamento eram muito baixas. De acordo com Câmara (2001), ao longo dos anos 70 foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de hardware, tornando viável o desenvolvimento de sistemas comerciais. Foi então que a expressão Geographic Information System foi criada. A década de 80 representa o momento quando a tecnologia de sistemas de informação geográfica inicia um período de acelerado crescimento que dura até os dias de hoje.

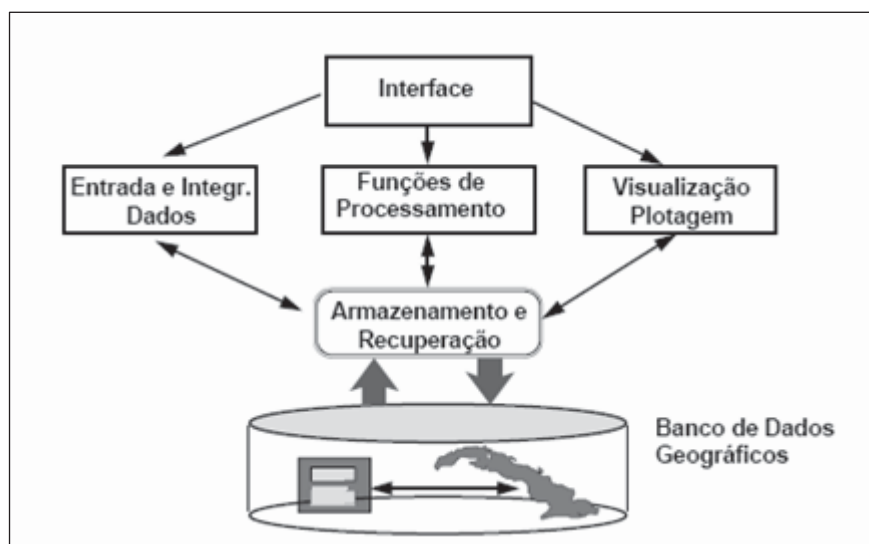
Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) vêm se impondo como uma importante ferramenta para a visualização e análise de informações espaciais, sendo usada principalmente em aplicações como cartografia do uso da terra e em múltiplas aplicações de gestão de recursos naturais (CÂMARA, *et al*, 1996).

Existem várias definições para SIG, no entanto a idéia básica consiste em tecnologias para aquisição, armazenamento, gerenciamento, análise e exibição de dados espaciais. A utilização de SIGs facilita a integração de dados coletados de diferentes fontes.

Sistemas de Informação Geográfica “SIGs” são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la [Aro89, Bul94]. SIGs comportam diferentes tipos de dados e aplicações, em várias áreas do conhecimento. (CÂMARA, *et al*, 1996. p.21)

O objetivo geral de um SIG é servir de instrumento para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando: integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos de uma região; permitir a entrada de dados de diversas formas; relacionar dados de diferentes fontes; gerar relatórios e gráficos, entre outros (ROSA e BRITO, 1996).

Segundo Câmara, *et al* (1996), a estrutura dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possui os seguintes componentes: Interface com o usuário; Entrada e integração dos dados; armazenamento e recuperação de dados (sistemizados sob forma de um banco de dados geográficos), a figura 2 indica a relação entre os principais componentes de um SIG.



**Figura 2 :** Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.

**Fonte:** CÂMARA, *et al* , 1996.

Segundo Rosa (2003) um bom Sistema de Informações Geográficas precisa ser composto por programas de alto nível, capazes de atender às necessidades de cada projeto, mantendo um desempenho favorável, e integrar dados procedentes de diversas fontes. Ainda, para o autor a aplicação desta tecnologia possibilita a geração de um banco de dados, que promove ajustes e cruzamentos de um grande número e variedades de informações, permitindo diagnosticar, avaliar e zonestar áreas de forma mais rápida e eficiente.

Mirandola-Avelino (2006) considera que o grande potencial dos Sistemas de Informações Geográficas está na habilidade de integrar muitas informações sobre o ambiente e prover ferramentas para explorar estes dados, além de permitir a sobreposição de mapas e informações pertinentes à pesquisa geográfica.

Atualmente os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), estão presentes nos estudos realizados em universidades aumentando os usuários deste segmento. Queiroz (2002) elucida que a “popularização” dos SIG’s em academias está consolidada.

A evolução dos SIGs está atrelada à progressão dos recursos da informática. O aumento da capacidade de armazenamento e processamento, a diminuição dos custos de hardware e software e, particularmente, a melhoria da interface com o usuário foram

responsáveis diretos pela incorporação da tecnologia nos segmentos de pesquisa e ensino (QUEIROZ, 2002, p.115).

Segundo Christofletti (1999, p.29) “Na atualidade, os SIGs incorporam muitos princípios relacionados com o manejo de banco de dados relacionais, algoritmos gráficos, zoneamento e análise de redes simplificadas”.

Além disso, os SIGs possibilitam de forma rápida, a geração de mapas temáticos e relatórios. As atualizações gráficas e cadastrais são feitas diretamente no SIG através do banco de dados.

Nessa perspectiva, a tecnologia dos Sistemas Geográficos de Informação vem sendo uma importante ferramenta para a visualização e a análise da informação espacial, sendo usada extensivamente em aplicações como a cartografia de uso da terra, análise e planejamento, análise geodemográfica (localização de serviços), cartografia de redes de infraestruturas (gás, água e energia elétrica) e em múltiplas aplicações de gestão de recursos naturais.

### **2.3.2 Sensoriamento remoto**

Sensoriamento remoto é um termo utilizado na área das ciências aplicadas que se refere à obtenção de imagens à distância, sobre a superfície terrestre. Estas imagens são adquiridas através de sistemas de sensores remotos. Por sua vez estes sensores ou câmaras são colocados a bordo de aeronaves ou de satélites de sensoriamento remoto - também chamados de satélites observação da Terra.

Antes do aparecimento dos satélites de sensoriamento remoto, o uso de fotografias aéreas era muito comum e até hoje estas fotografias são insubstituíveis para muitas aplicações. Entretanto, nota-se que com o avanço tecnológico as imagens dos sensores de satélites de sensoriamento remoto estão se aproximando da qualidade das fotografias aéreas. Atualmente existe um grande número de satélites em órbita ao redor da Terra. Eles obtêm imagens com características distintas que dependem tanto do satélite quanto do sensor.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta importante para o geoprocessamento, “a forma de obter informações de um alvo, sem que haja contato físico com o mesmo”, deste modo considera-se produto de sensoriamento remoto desde fotografias aéreas ou terrestres até as imagens orbitais de satélites espaciais (ROSA, 2003).



Florenzano (2002, p.9) afirma que, “O termo Sensoriamento refere-se à obtenção de dados, e Remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita a distância, ou seja, sem contato físico entre o sensor e a superfície terrestre”

As principais aplicações do sensoriamento remoto na geografia estão na elaboração de mapas de uso e cobertura da terra, no planejamento urbano e ambiental, no estudo das alterações temporo-espaciais, etc.

Sendo o sensoriamento remoto uma importante ferramenta no que diz respeito ao monitoramento e quantificação de áreas, esta vem dar uma importante contribuição aos instrumentos de gestão dos recursos hídricos.

### **2.3.2.1 Classificação de imagens multiespectrais**

Uma imagem multiespectral consiste em imagens de um mesmo objeto, tomadas com diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas, ou seja, diferentes bandas no caso das imagens de satélite, adquiridas por sensores orbitais.

Para extrair informações dessas imagens o intérprete considera, na interpretação visual, características como, forma, cor e textura. Na interpretação digital, as maiorias das técnicas de classificação apresentam algoritmos de classificação baseando-se somente na informação espectral, ou seja, na intensidade de cinza.

Na classificação supervisionada, seleciona-se as amostras de treinamento que são representativas das classes a serem mapeadas. Por meio de parâmetros normalmente estatísticos, as amostras são utilizadas como padrão de comparação aos demais pixels da imagem (JENSEN, 1996; LILLESAND *et al.*2004).

Atualmente a classificação digital de imagens de sensoriamento remoto mais promissora e utilizada, é representada pelos classificadores por regiões (ARONOFF, 2005). Neste tipo de classificação, as classes temáticas são trabalhadas com relações entre objetos ou regiões. As regiões são formadas por grupos de pixels com tamanhos e formas variadas, os quais apresentam atributos espectrais e espaciais semelhantes. De certo modo, a classificação por regiões incorpora em sua estrutura elementos empregados na foto-interpretação (CERON; DINIZ, 1966).

## **2.4 Sistema de classificação e mapeamento de uso e cobertura da terra**

Classificar é agrupar objetos, elementos e eventos em conjuntos levando-se em conta suas propriedades, e adotando um método ou sistema de avaliação. As abstrações de uma classificação do real são arquitetadas para atender a certos propósitos e às necessidades do usuário. (IBGE, 2006).

Segundo o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2006), para que os dados oriundos de sensores remotos possam ser utilizados com eficiência, ao se conceber um sistema de classificação é preciso observar alguns critérios, conforme os preconizados por Anderson e outros (1979):

- precisão mínima de 85% para interpretar e identificar as categorias de cobertura e uso da terra, tendo os dados de sensores remotos como primeira fonte de dados;
- repetição da precisão da interpretação para todas as categorias ;
- repetição de resultados de um sensor para outro e entre intérpretes ;
- possibilidade de aplicação a extensas áreas;
- utilização de dados de sensores remotos capturados em diferentes épocas do ano;
- uso da vegetação e de outros tipos de cobertura da terra como substitutos da atividade;
- identificação de subcategorias em escalas maiores, a partir de levantamentos de campo ou de sensores de maior resolução;
- possibilidade de agregação de categorias;
- possibilidade de comparação com dados de uso da terra obtidos posteriormente; e
- possibilidade de identificação de usos múltiplos da terra.

## **2.5 Validação da classificação**

Após a classificação da imagem com as respectivas classes e ter ido a campo, é necessário verificar a veracidade do mapa. Toda representação cartográfica é sempre uma aproximação da realidade. Para que se possa melhor conhecer o espaço geográfico, as generalizações são necessárias, mas a quantificação de erro é essencial para que se possam validar os resultados e, assim, perceber quanto o produto (mapa) se aproxima da realidade (SILVA, 2003).

O mapa temático resultante da classificação deverá ser comprovado com a verdade de campo, sendo o resultado desta comparação demonstrado através de uma matriz de confusão e

do Índice Kappa – IK (FONSECA et al., 2001). Esses dados são usados para verificar a acurácia da classificação, bem como detectar distinção entre classes e aperfeiçoar o processo de refinamento da classificação.

O uso de critérios para avaliar e comparar a exatidão de mapeamentos temáticos é descrito por Congalton (1991). Segundo o autor, uma matriz de erro pode ser usada como o ponto de partida para a aplicação de uma série de técnicas estatísticas descritivas e analíticas. Através da estatística descritiva obtém-se o índice de exatidão global, em que se divide o total de pixels classificados corretamente (diagonal da matriz) pelo número total de pixels da matriz. A exatidão das categorias estudadas é feita de forma similar. Como técnica analítica, o índice kappa é bastante utilizado para inferir a exatidão.

Para Camara, *et al.* 1996, o Índice Kappa é um coeficiente de concordância que informa o acerto da variação intra e interobservador, sendo utilizado quando dois observadores classificam separadamente uma amostra de objetos empregando a mesma escala de classes. Normalmente um dos observadores são a referência real ou verdade, no caso da pesquisa realizaram-se dois mapeamentos, um baseado nas características da imagem e outro a partir de amostras coletadas em campo. O valor do coeficiente de Kappa possui a tabela de concordância a seguir:

**Tabela 1:** Índice de Kappa

Índice Kappa Concordância	
< 0	Sem concordância
0.00 a 0.19	Pobre
0.20 a 0.39	Fraca
0.40 a 0.59	Moderada
0.60 a 0.79	Forte
0.80 a 1.00	Excelente

## **2.6 Bacia hidrográfica: rede de drenagem e canal fluvial**

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida por Chistofolletti (1974) como a “área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial”. A quantidade de água que atinge os canais fluviais depende do tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e de seu regime, e as perdas devido à evapotranspiração e infiltração.

O padrão de drenagem refere-se ao arranjo espacial dos canais fluviais, que podem ser influenciados pela disposição das camadas rochosas, resistência litológica, evolução geomorfológica e declividade do terreno. Existem diferentes arranjos de drenagem que permitem uma classificação com base em sua geometria. Os principais padrões são: dendrítico, paralelo, retangular, radial, treliça e anelar (TEIXEIRA et al, 2000)

Outra característica importante a se tratar é a forma superficial da bacia hidrográfica, devido o escoamento superficial, ou seja, o tempo de concentração a partir do início da precipitação. A forma da bacia influencia no tempo em que a água da chuva ocorrida nas vertentes levará para chegar ao canal fluvial (VILLELA E MATTOS, 1975).

A fim de se entender o arranjo espacial que o leito do rio apresenta ao longo do canal classifica-se os tipos de canais fluviais em retilíneo, meandrante, anastomosado, ramificado, reticulado e irregular. O termo meandro é utilizado para designar o tipo de canal fluvial em que os rios descrevem curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Além do padrão do canal é importante ter em mente que a sinuosidade dos canais é influenciada, principalmente pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais (ALVES E CASTRO, 2003)

O perfil longitudinal de um rio é levantado a partir de uma linha que une pontos do seu leito, desde a nascente até a foz, e permite visualizar o declive do leito do rio ao longo do seu percurso. Além de entender melhor a dinâmica fluvial, pois mostra a sua declividade, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento do curso d'água. Para muitos rios, a curva representativa desta relação tem a forma parabólica e o perfil típico é côncavo para o céu, com declividades maiores em direção a montante e com valores cada vez mais suaves em direção de jusante (CHISTOFOLETTI, 1981).

## 2.7 Limnologia: uma visão ecológica dos rios

Pode-se definir limnologia, como o estudo ecológico de todas as massas d'água continentais, independente de suas origens, dimensões e concentrações salinas. Desta forma, fazem parte de seu objeto de estudo lagos, lagoas, açudes, lagoas, represas, rios, riachos, áreas alagadas, águas subterrâneas, ambientes aquáticos temporários, nascentes, entre outros. Vale ressaltar, que apesar da Limnologia possuir seu próprio corpo teórico, sendo uma ciência basicamente ecológica, esta é resultante da integração de várias outras ciências, como a Botânica, a Zoologia, a Química, a Física, a Geologia, Matemática e a Meteorologia (ESTEVEZ, 1998).

Como mencionado anteriormente, a limnologia aborda o estudo dos rios e suas águas correntes, as quais transportam a descarga de água superficial (sistemas abertos). Os rios são classificados como ambientes lóticos. Além do transporte permanente de substâncias em solução, existe também o deslocamento de material, de montante a jusante, especialmente sob a forma de erosão.

Para os limnólogos, os rios podem ser considerados sistemas abertos com estrutura tridimensional (longitudinal, lateral e vertical), caracterizados pelos processos hidrológicos e geomorfológicos altamente dinâmicos, frente às mudanças climáticas e temporais.

Os estudos em ecossistemas lóticos objetivam entender os processos que regem o movimento e as transformações de energia e materiais dentro dos diferentes sistemas. As teorias ecológicas visam construir uma estrutura sintética para descrever o ambiente lótico da nascente à foz, além de ajustar as variações entre áreas com diferentes características.

De acordo com Rocha (2007), mais recentemente, os conceitos físicos e biológicos da organização dos canais fluviais têm sido tratados com uma aproximação holística, que interpreta sistemas lóticos como uma combinação interdependente entre as feições do modelado aquático e terrestre.

Rocha (2007), ainda elucida a existência das principais teorias ecológicas referentes à dinâmica de ambientes lóticos, entre elas o *Conceito Contínuo Fluvial* (VANNOTE et al., 1980); o *Conceito da Descontinuidade Fluvial* (WARD & STANFORD, 1983); o *Conceito dos Pulso de Inundação* (JUNK et al, 1989); o *Conceito das Quatro Dimensões em Ecossistemas Lóticos* (WARD, 1989); o *Conceito Corredores Hiporréicos* (STANFORD & WARD 1993).

O conceito da continuidade fluvial propõe que o entendimento da dinâmica do sistema fluvial requer consideração do gradiente dos fatores físicos formado pelo trabalho de drenagem. Assim sendo, a estrutura física juntamente ao ciclo hidrológico formam um arcabouço para respostas biológicas e resultam em padrões consistentes de estrutura e função de comunidades, carga de matéria orgânica, transporte, utilização e estocagem ao longo do curso de um rio (Vannote et al., 1980).

Portanto, o conceito de Contínuo Fluvial considera o rio como um sistema que possui um gradiente contínuo de condições ambientais. De acordo com esta teoria, os sistemas lóticos, possuem um gradiente de variáveis ecológicas da nascente à foz, sendo que ao longo do rio ocorrem mudanças na largura, no volume de água, na profundidade, na temperatura, na quantidade e no tipo de material suspenso transportado. Desta forma, o rio é dividido em três regiões geomorfológicas distintas (tamanho dos sistemas lóticos): cabeceira; médio curso e baixo curso.

A crescente demanda pela utilização dos recursos hídricos faz com que a limnologia esteja diretamente envolvida com o uso racional e a conservação destes recursos. Assim, as pesquisas sobre os ecossistemas aquáticos possibilitam o conhecimento da estrutura e o funcionamento desses ecossistemas, viabilizando o seu manejo e a maximização da sua produtividade (ESTEVES, 1998).

Esteves (1998), ainda relata que as pesquisas de ecossistemas aquáticos continentais podem ser realizadas por três etapas: análise, síntese e etapa holística. A etapa de análise é a investigação sistemática das variáveis ambientais para o conhecimento de sua estrutura, inclui-se observações de campo, coleta de dados (pH, condutividade elétrica, radiação solar, precipitação, ventos e etc.), que leva a uma descrição do sistema. A etapa de síntese considera as trocas de energia e matéria entre diferentes compartimentos e seus componentes. Por fim, na etapa holística o ambiente terrestre adjacente também é considerado, sendo que o ecossistema aquático é considerado parte integrante da paisagem. Neste sentido é que se realizou a pesquisa aqui apresentada.

É importante ressaltar que a limnologia, foi muito importante na pesquisa visto que esta ciência aborda o ambiente aquático de maneira ecossistêmica e as variáveis físicas e químicas da água de forma ecológica. No que diz respeito ao levantamento das variáveis limnológicas da água, o trabalho objetiva caracterizar a água do rio Santo Anastácio quanto à

sua qualidade ecológica e ambiental, e não a classificar de acordo com o IQA (Índice de Qualidade da Água) e os padrões de abastecimento público.

### **2.7.1 Variáveis limnológicas indicadores do estado físico e químico da água**

Novo e Braga (1995), elucidam que as características que descrevem as propriedades de um determinado ecossistema aquático são conhecidas por variáveis limnológicas. Estas são propriedades que variam no tempo e no espaço em um dado sistema aquático ou em sistemas deferentes.

Para caracterizar a qualidade da água, são utilizados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e representam poluição quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso. Nesta mesma perspectiva Brigante, et al (p.23, 2002) destaca que:

As condições da água de um rio normalmente são afetadas pela forma de uso e ocupação do solo pelo homem, como também pela quantidade de resíduos que são lançados em suas águas. Portanto, conhecer as características da água é conhecer o grau de perturbação que esse rio possa estar sofrendo.

As características físicas do ambiente, os processos naturais e as formas de uso e cobertura da terra são os principais fatores que contribuem para a alteração física e química da água, através da disponibilização de resíduos orgânicos e compostos químicos de atividades antrópicas.

A qualidade da água é um termo que não se restringe à determinação da pureza da mesma, mas às suas características desejáveis para os seus diversos usos. Tanto as características físicas, químicas como as biológicas da água podem ser alteradas.

Ao analisar as características físicas, químicas e biológicas dos recursos hídricos, verifica-se uma relação destas com os usos da bacia hidrográfica, o que faz com que o compartimento água seja representativo das diversas atividades humanas desenvolvidas na bacia. Dentro deste contexto, é possível verificar diferenças significativas no eixo longitudinal do rio (da nascente a foz), as quais são decorrentes da urbanização, industrialização, mineração e atividades agropastoris, que, direta ou indiretamente, promovem

alterações na estrutura e funcionamento dos sistemas hídricos, com conseqüências finais para o próprio homem. (MORAES, 2001. p. 5)

Von Sperling, (2005, p.15) elucida que, a qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e antrópicas. “De maneira geral, pode-se dizer que a qualidade da água é função das condições naturais e do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica”. O autor ainda relata que os fatores responsáveis pela qualidade da água são de ordem natural (escoamento superficial, infiltração e impurezas do solo, que mesmo a bacia estando preservada ocorrerá a influencia no curso hídrico), e antrópica, ou seja, de interferência dos seres humanos (que pode ser concentrada, com a geração de despejos domésticos e industriais, ou de forma dispersa, como por exemplo, com a aplicação de defensivos agrícolas no solo).

Foram levantados na pesquisa variáveis químicas (pH e oxigênio dissolvido) e físicos (temperatura, condutividade elétrica, sólidos suspensos e turbidez) da água.

#### **2.7.1.1 Oxigênio dissolvido**

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio é um dos mais importantes na dinâmica e caracterização dos ecossistemas aquáticos. A atmosfera e a fotossíntese são as principais fontes de oxigênio na água. A perda desse gás relaciona-se com o consumo pela decomposição de matéria orgânica, perdas para a atmosfera, entre outros (ESTEVES, 1998).

O oxigênio dissolvido é geralmente medido em miligramas por litro (mg/l) da água analisada. Provém, em geral, da dissolução do oxigênio atmosférico, naturalmente ou artificialmente, e também, da produção liberada por alguns microorganismos vivos na água como as algas e bactérias (ESTEVES, 1998).

O oxigênio dissolvido é vital para os seres aquáticos aeróbicos (dependentes de oxigênio). O nível de disponibilidade de oxigênio dissolvido na água depende do balanço entre a quantidade consumida por bactérias para oxidar a matéria orgânica e a quantidade produzida no próprio corpo d'água através de organismos fotossintéticos, processos de aeração natural e/ou artificial (SILVA e HERMES, 2004).

Se o nível de Oxigênio dissolvido permanece negativo por tempo prolongado, o corpo d'água pode tornar-se anaeróbico, ou seja, com ausência de oxigênio, causando a geração de



maus odores, o crescimento de outros tipos de bactérias e morte de diversos seres aquáticos aeróbicos, inclusive peixes (VON SPERLING, 2005).

Portanto, o oxigênio dissolvido é uma das principais variáveis de caracterização dos efeitos da poluição das águas. A solubilidade deste parâmetro é em função da altitude e da temperatura do corpo de água. Em geral, ao nível do mar e à temperatura de 20°C, a concentração de saturação é de 9,2 mg/l (SILVA e HERMES, 2004).

Vale salientar que, valores de oxigênio dissolvido inferiores ao valor de saturação podem indicar a presença de matéria orgânica e valores superiores à existência de crescimento anormal de algas, uma vez que, como já foram citadas, elas liberam oxigênio durante o processo de fotossíntese (VON SPERLING, 2005).

### **2.7.1.2 Condutividade elétrica**

Condutividade elétrica refere-se à capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água (SILVA e HERMES, 2004).

A condutividade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, mobilidade dos íons, valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon.

Acerca do parâmetro condutividade, Esteves (1998, p. 254), escreve:

A condutividade elétrica de uma solução é a capacidade desta em conduzir a corrente elétrica. Considerando-se que a capacidade de uma solução em conduzir a corrente elétrica é função da concentração dos íons presentes, é de se esperar que em soluções de maior concentração iônica, maior será a condutividade elétrica. Por outro lado, em águas muito puras ocorre fenômeno inverso: maior será a resistência e menor a condutividade.

O transporte de eletricidade em soluções é feito por corpos eletricamente carregados denominados íons. Quanto maior o número de íons em solução, mais fácil será a condução da eletricidade através do líquido. A condutividade elétrica deste dependerá diretamente da concentração dos eletrólitos, representados na água natural quase exclusivamente pelas substâncias nutritivas. Deste modo, os valores de condutividade elétrica nos remetem a

informações sobre a concentração total dessas substâncias. Os valores de condutividade elétrica são ótimos indicadores da existência de matéria orgânica, minerais e nutrientes na água (MORAES, 2001).

A temperatura e o pH também modificam o valor da condutividade elétrica, sendo que a atividade iônica aumenta cerca de 2% para cada grau centígrado. Deste modo, adotou-se como padrão a temperatura de 25°C para a leitura de condutividade elétrica, ou o uso de um fator de correção. Para valores de pH extremos, menores do que 5 e maiores do que 9, poucos íons interferem na condutividade, entre eles, H<sup>+</sup> e OH<sup>-</sup> (NOVO e BRAGA, 1995).

### **2.7.1.3 Potencial hidrogeniônico - pH**

O pH representa o equilíbrio entre íons H<sup>+</sup> e íons OH<sup>-</sup>, os valores deste parâmetro varia de 0 a 14, onde o pH inferior a 7, indica uma água ácida, o pH igual a 7 água neutra e maior do que 7, refere-se a uma água alcalina (SILVA e HERMES, 2004).

Segundo Von Sperling (1996), o pH tem como forma constituinte responsável os sólidos e gases dissolvidos; suas origens naturais são: a dissolução das rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, e as origens antropogênicas são despejos domésticos e despejos industriais.

O pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos, o pH baixo torna a água corrosiva, já as águas com pH elevado tendem a formar incrustações nas tubulações. A vida aquática depende do pH, sendo recomendável a faixa de 6 a 9 (MORAES, 2001).

As águas naturais em geral têm pH compreendido entre 4,0 e 9,0 e, na maioria das vezes, são ligeiramente alcalinas, devido à presença de carbonatos e bicarbonatos. Valores elevados podem estar associados à proliferação de algas, valores muito distantes da normalidade podem ser atribuídos à presença de despejos industriais (VON SPERLING, 2005).

De acordo com Moraes (2001, p.18) “Os estudos relacionados a valores de pH são de suma importância, pois regulam numerosos processos fisiológicos, químicos e bioquímicos tanto em animais como em vegetais”.

#### **2.7.1.4 Turbidez**

A turbidez corresponde à redução da transparência da água, ocasionada pelo material em suspensão, que reflete a luz, dificultando a sua passagem pela solução. A quantificação de luz refletida pelas partículas suspensas dá uma ordem de grandeza de sólidos em suspensão na amostra (SILVA e HERMES, 2004).

Segundo Von Sperling (1996), a turbidez consiste no nível de interferência que a luz sofre ao passar através da água, conferindo um aspecto turvo à mesma, que pode estar associado à origem natural (partículas de rocha, argila e silte, algas e outros microorganismos), ou à origem antrópicas (microorganismos, erosão, despejos domésticos e industriais).

A presença de matéria em suspensão na água, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e outras partículas, influenciam na turbidez da água.

#### **2.7.1.5 Sólidos suspensos**

Sólido suspenso é o material particulado não dissolvido, suspenso no corpo de água, composto por substâncias orgânicas e inorgânicas. Estas partículas influenciam na diminuição na transparência da água, impedindo a penetração da luz, provocando alterações dos parâmetros de turbidez e alterando a cor também (SILVA e HERMES, 2004).

Esse material particulado não dissolvido na água pode ter origem natural ou antrópica, sua presença e quantidade influenciam diretamente na turbidez, ou seja, na transparência da água, influenciando assim a quantidade de energia solar que esse corpo hídrico recebe, alterando características da flora e fauna aquática.

#### **2.7.1.6 Temperatura**

A temperatura mede a intensidade de calor, é um parâmetro importante, pois, influi em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática (ESTEVES, 1998).

Esse parâmetro pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

Segundo Von Sperling, 2005 a temperatura é um importante parâmetro a ser analisado, visto que elevações consideráveis da temperatura da água aumentam a taxa de reações físicas, químicas e biológicas, além de diminuir a solubilidade e aumentarem a transferência dos gases, o que pode causar mau cheiro.

## **2.8 Análise estatística multivariada**

A estatística é uma ciência multidisciplinar e está inserida em várias áreas do conhecimento, por isso faz-se necessário a sua aplicação, o seu entendimento e sua interpretação como ferramenta de pesquisa em geociências e em meio ambiente devido à sua natureza holística.

Vicini (2005), afirma que os métodos estatísticos, para analisar variáveis, estão dispostos em dois grupos: um trata da estatística, que olha as variáveis de maneira isolada, denominada estatística univariada, e outro que analisa as variáveis de forma conjunta, ou seja, a estatística multivariada, e é nesta última que esta pesquisa se apóia.

A estatística multivariada se divide em dois grupos: um consiste em técnicas exploratórias de sistematização (ou simplificação) da estrutura de variabilidade de dados, e um segundo, consistindo em técnicas de interferência estatística. Os métodos de análise de componentes principais, análise de agrupamentos e análise fatorial são técnicas de estatística exploratórias. (MINGOTI, 2007)

Mingoti (2007), afirma que de um modo geral os métodos de estatística multivariada são utilizados com o propósito de facilitar a interpretação dos dados.

### **2.8.1 Análise de agrupamentos (CLUSTER)**

A análise de agrupamentos constitui em uma metodologia numérica multivariada, com o objetivo de propor uma estrutura classificatória, ou de reconhecimento da existência de grupos, objetivando, mais especificamente, dividir o conjunto de observações em um número de grupos homogêneos, segundo algum critério de homogeneidade. Mingoti (2007, p. 155) caracteriza a análise de agrupamentos:

A análise de agrupamentos, também conhecida como análise de conglomerados, classificação ou cluster, tem como objetivo dividir elementos da amostra, ou população, em grupos de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com respeito às

variáveis (características) que neles foram medidas, e os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a estas mesmas características.

A aplicação da análise de agrupamentos engloba uma variedade de técnicas e algoritmos, sendo que o objetivo é encontrar e separar objetos em grupos similares. Essa análise é um método simples, baseada nos cálculos de distância.

Como o objetivo da análise de agrupamento é reunir objetos semelhantes, torna-se necessária uma medida para avaliar o quanto os objetos são semelhantes ou diferentes. Geralmente, avalia-se a semelhança em termos de distância entre pares de objetos, os objetos que possuem a menor distância entre si são mais semelhantes, do que os objetos com distâncias maiores. Essa medida de semelhança é fornecida pela distância euclidiana, que na literatura aponta como a medida de distância mais utilizada para a análise de agrupamentos (VICINI, 2005).

A análise de agrupamento pode ser representada pelo dendrograma ou fenograma, também chamado de gráfico em árvore, ele representa uma síntese gráfica da análise de agrupamento, sintetizando a informação, esse gráfico é de grande utilidade para a classificação, comparação e discussão de agrupamentos (VICINI, 2005).

### **2.8.2 Análise de componentes principais**

Em geral, a análise de componentes principais tem como objetivo a redução da dimensão original e obtenção de combinações interpretáveis das variáveis. Frequentemente essa análise revela relações que não se suspeitava previamente, permitindo outras interpretações.

De acordo com Mingoti (2007), a técnica de Análise de Componentes Principais é popularmente chamada de PCA tem como principal objetivo explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, composto de variáveis aleatórias. Em geral espera-se obter a “redução do número de variáveis a serem avaliadas e interpretadas”, ou seja, a informação existente nas variáveis originais é substituída pela informação contida nos componentes principais não correlacionadas.

Com a análise de componentes principais pretende-se descrever os dados existentes em um quadro de indivíduos e variáveis numéricas. Essa análise é considerada um método

fatorial, pois a redução do número de variáveis não se faz por uma simples seleção de variáveis, mas pela construção de novas variáveis sintéticas, obtidas pela combinação linear das variáveis iniciais, por meio dos fatores. (VICINI, 2005)

A análise de componentes principais é uma técnica matemática da análise multivariada, que possibilita investigações com um grande número de dados, além de auxiliar na identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. Além disso, transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto: os componentes principais de dimensões equivalentes.

Essa análise aborda aspectos como a geração, seleção e interpretação das componentes investigadas, além de determinar as variáveis de maior influência na formação de cada componente, que serão utilizadas, tais como de controle de qualidade, estudos ambientais, estudos populacionais entre outros. (VICINI, 2005)

Rocha (2003) baseada em (e.g. Bini, 1997; Thomaz *et al.*, 1997; Camargo *et al.*, 1995) ressalta que dentre as técnicas de ordenação, a análise de componentes principais é, possivelmente, o método mais utilizado em estudos que avaliam as características físicas e químicas dos ecossistemas aquáticos continentais, pela forte estrutura de correlação entre as variáveis limnológicas.

**C  
A  
P  
Í  
T  
U  
L  
O**

**III**

### **3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Nesta etapa foram elaborados dois conjuntos de procedimentos, o primeiro refere-se ao levantamento de dados do meio físico da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio e o segundo aborda o levantamento das características limnológicas do rio.

#### **3.1 Materiais e métodos referentes aos levantamentos do meio físico da bacia hidrográfica**

Para atingir os objetivos da pesquisa foram utilizados no mapeamento de uso e cobertura da terra imagens do Satélite Landsat 5 (Land Remote Sensing Satellite), além de imagem de radar SRTM (Shuttle Radar Topography).

Utilizou-se também um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) Garmin modelo eTrex<sup>®</sup>H, para georreferenciar e demarcar os pontos de coleta da água na imagem, câmera digital para registros fotográficos, software SPRING<sup>®</sup> 5.1.3 (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Utilizou-se como base para o levantamento do meio físico (geologia, geomorfologia e pedologias) os mapeamentos pré-existentes do Relatório Zero da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Pontal do Paranapanema. Além das cartas topográficas do IBGE, que auxiliaram na digitalização e vetorização da delimitação da bacia, das curvas de nível e da rede de drenagem.

##### **3.1.1 Levantamento de dados secundários**

O levantamento de uso da terra foi realizado, em um primeiro momento, por meio de consulta à bibliografia existente sobre as formas de ocupação da região, com leituras de obras gerais e de referência.

Posteriormente foi feita uma consulta às Cartas Topográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) escala 1:50.000 do ano de 1975, para extração dos layers de drenagem e delimitação dos limites operacionais da bacia.

E o levantamento de dados secundários aos órgãos públicos de planejamento do estado de São Paulo, como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística); CETESB; IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), entre outros.



### **3.1.2 Trabalho de gabinete**

Desta etapa constaram os trabalhos realizados em gabinete, sendo considerados aqueles voltados para o manuseio cartográfico, para a geração do arcabouço sistêmico, para o uso da tecnologia do Geoprocessamento, com vistas à caracterização do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio. A caracterização física da área foi realizada através de dados do Relatório Zero (1999) e levantamentos do IPT (1981).

### **3.1.3 Constituição da base cartográfica digital**

Nesta etapa selecionou-se as cartas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000 (Folhas: Pirapozinho, Presidente Prudente, Presidente Bernardes, Santo Anastácio, Marabá Paulista, Presidente Venceslau e Presidente Epitácio), que serviram de base para a delimitação da área de estudo, traçado da rede de drenagem, vias de acesso e toponímias, servindo de suporte cartográfico para a elaboração dos mapeamentos temáticos.

Esta fase do trabalho se reveste da fonte básica para o prosseguimento da pesquisa, que consiste na delimitação dos limites operacionais que servirão de suporte para a delimitação dos subsistemas e respectivas partes componentes da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.

### **3.1.4 Levantamento hipsométrico da bacia**

Em uma carta hipsométrica objetiva-se representar cada faixa altimétrica com uma cor previamente definida. Para a elaboração da hipsometria da bacia do rio Santo Anastácio as informações sobre a altimetria da superfície foram derivadas de um modelo digital de elevação construído a partir de dados de altitude obtidos pela missão de levantamento topográfico por radar sub-orbital realizada pela NASA por meio do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Esses dados de resolução de aproximadamente 90m foram refinados pelo método de krigagem, esse procedimento elaborado pelo projeto de Produtividade em Pesquisa “Modelagem de dados topográficos SRTM” desenvolvida no INPE, e fez com que a resolução desse dado altimétrico passasse para a resolução de aproximadamente 30 m.

As imagens foram processadas no software SPRING® e estabeleceu-se 5 classes hipsométricas, sistematizadas em um mapa temático da bacia.

### 3.1.5 Carta clinográfica

Foram utilizados dados da missão SRTM para a elaboração da carta clinográfica da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio. Com os dados SRTM no software SPRING® criou-se um modelo de dados MNT (Modelo Numérico de Terreno) em seguida gerou-se uma grade triangular, grade retangular e posteriormente extraiu-se a declividade da área.

Para tanto, baseando-se em pressupostos teóricos para elaboração da carta fez-se uso do trabalho realizado por De Biasi (1992). Nesse o autor elucida que a definição das classes de declividades poderá ter caráter particular, ou seja, o autor escolhe as classes de acordo com a necessidade da pesquisa e limitações da área de estudo. Porém, é recomendável utilizar classes estabelecidas por lei para os diferentes usos e ocupação territorial. Sendo assim, utilizou-se para a confecção da carta clinográfica da bacia as classes que propunha os seguintes limites em porcentagem (HERZ, R. e DE BIASI, M. 1989 apud DE BIASI, 1992):

Classe	Características
< 5%	Limite urbano – industrial, utilizados internacionalmente, bem com em trabalhos de planejamento urbano efetuados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e da EMPLASA – Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo S. A.
5 – 12%	Este limite possui algumas variações quanto ao máximo a ser estabelecido (12%), pois alguns adotam as cifras de 10% e /ou 13%. A diferença é muito pequena, pois esta faixa define o limite máximo do emprego da mecanização na agricultura. (CHIARINI e DONZELLI, 1973).
12 – 30%	O limite de 30% é definido por legislação federal – Lei 6766/79 – também chamada de Lei Lehmann, que vai definir o limite máximo para urbanização sem restrições, a partir do qual toda e qualquer forma de parcelamento far-se-á através de exigências específicas.
30 – 47%	O Código Florestal, fixa o limite de 25° (47%), como limite de corte raso, a partir do qual a exploração só será permitida se sustentada por cobertura de florestas. Lei N.º 4771/65 de 15/09/65.
> 47%	O artigo 10 do Código Florestal prevê que na faixa situada entre 25° (47%) a 45° (100%), não é permitida a derrubada de florestas, ...só sendo tolerada a extração de toras, quando em regime de utilização racional, que vise rendimentos permanentes.”

**Quadro 1:** Características das classes hipsométricas.

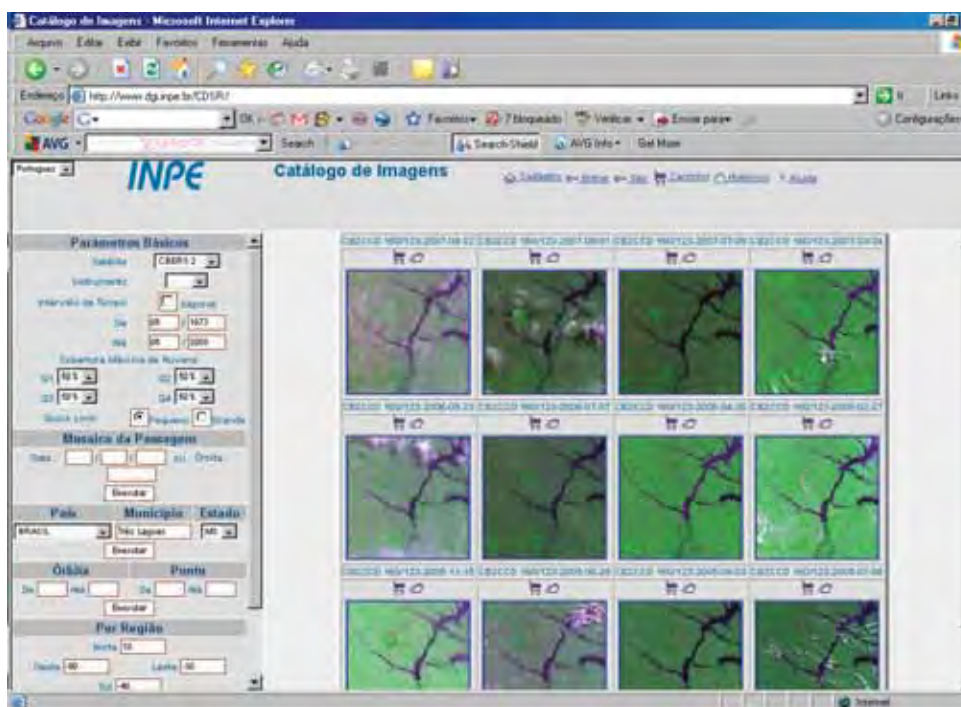
**Fonte:** DE BIASI, 1992.

### 3.1.6 Processamento Digital de Imagens

Os procedimentos operacionais para os processamentos dos dados orbitais, cadastrais e temáticos foram realizados em um ambiente de sistemas destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados, ou seja, SIG, no qual foram executadas as seguintes etapas: elaboração da melhor composição colorida e realce a fim de facilitar a identificação dos alvos mapeados; segmentação; classificação supervisionada; elaboração dos mapas temáticos e quantificação das classes de uso e cobertura da terra.

#### 3.1.6.1 Aquisição de dados orbitais

Para a realização do trabalho, inicialmente adquiriu-se no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) imagens do Satélite CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) órbita/ponto 159/125, 160/124 e 160/125, todas do dia 06 de abril de 2008 para prévio mapeamento e determinação das seções de coleta de dados. No mapeamento de uso e cobertura da terra foram utilizadas imagens do Satélite Landsat 5 (Land Remote Sensing Satellite) órbita/ponto 222/75 e 223/75, ambas do dia 03 de julho de 2010, além de imagem de radar SRTM (Shuttle Radar Topography) do ano de 2000. (Figura 3).

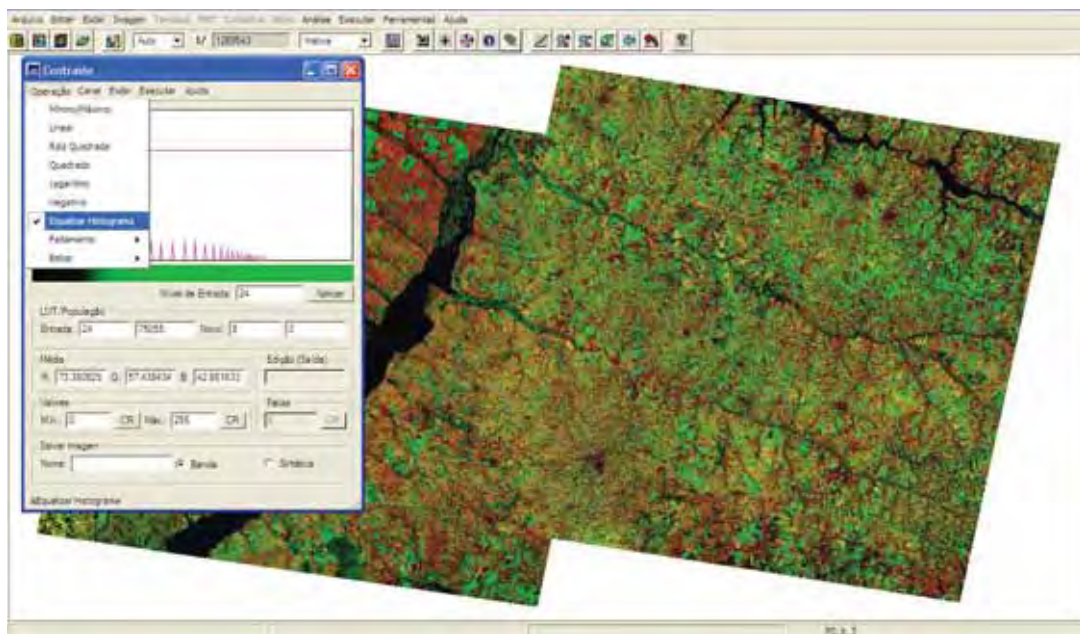


**Figura 3:** Aquisição das imagens de satélite no site do INPE  
**Fonte:** INPE, 2011. **Org:** Franciele Gonçalves.

### 3.1.6.2 Elaboração da melhor composição colorida e realce

Para a elaboração da melhor composição colorida foi aplicado um Realce Equalizar Histograma, verificando os valores máximo e mínimo reais de Níveis de Cinza (NC) da imagem, observando valores significativos (que abrangem o corpo principal da imagem) para estes limites. A operação de equalizar o histograma é uma maneira de manipular o histograma em cada um dos 3 canais de falsa cor RGB, o que reduz automaticamente o contraste em áreas muito claras ou muito escuras, em uma imagem. Consiste em uma transformação não-linear que considera a distribuição acumulativa da imagem original, para gerar uma imagem resultante, cujo histograma será aproximadamente uniforme

Além disso, executou-se um realce linear com perda proposital de informação do corpo da imagem, em prol de um melhor contraste. Tal procedimento foi realizado para cada uma das 3 bandas da imagem orbital Landsat 5 com a finalidade de facilitar a identificação dos alvos mapeados. (Figura 4)



**Figura 4:** Módulo de elaboração do contraste no SPRING®.  
**Fonte:** INPE, 2011. **Org:** Franciele Gonçalves.

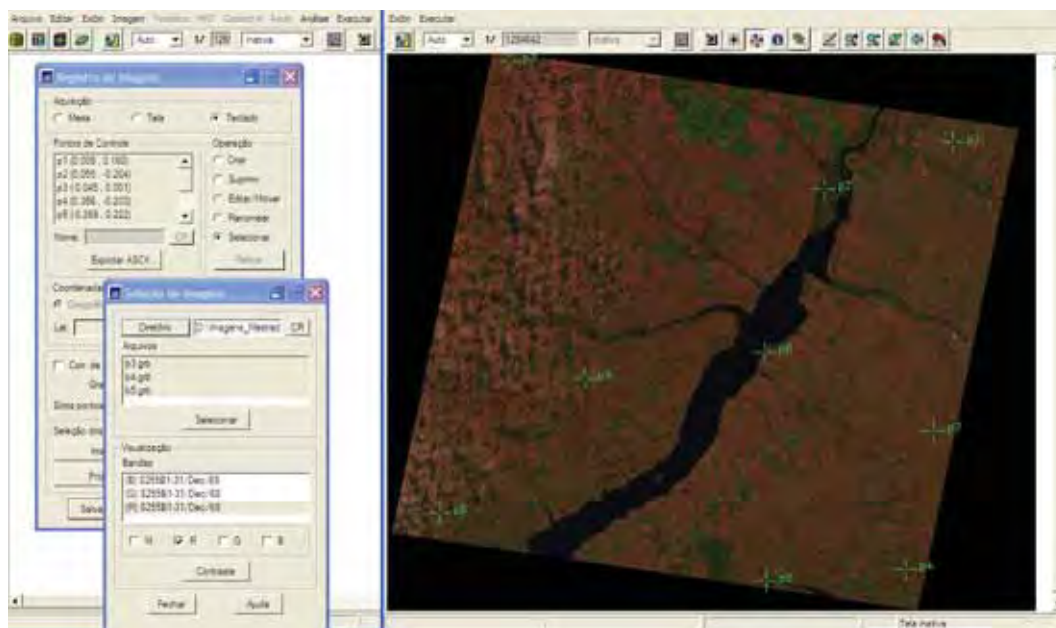
### 3.1.6.3 Registro das Imagens

As imagens orbitais não estavam georreferenciadas a um Sistema de Projeção Cartográfica universalmente conhecido. O módulo para georreferenciamento, também conhecido como Registro de Imagens, disponível nos softwares de Processamento de Imagens Orbitais, tais como o SPRING® possibilitam a efetuação desta função. Ao passar por este

processamento a imagem pode ser integrada a outros tipos de informações (mapas vetoriais ou matriciais) em Sistemas de Informações Geográficas, por exemplo.

O registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência. No SPRING® este sistema de referência é o sistema de coordenadas planas de uma determinada projeção cartográfica. Como qualquer projeção cartográfica guarda um vínculo bem definido com um sistema de coordenadas geográficas, pode-se dizer então que o registro estabelece uma relação entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas.

Esta é uma operação necessária para se fazer a integração de uma imagem à base de dados existente num SIG. Ao georreferenciar cada uma das imagens, cada um dos seus pontos (ou pixels), passa a estar atrelados a um par de coordenadas, de um sistema universalmente conhecido (Figura 5).



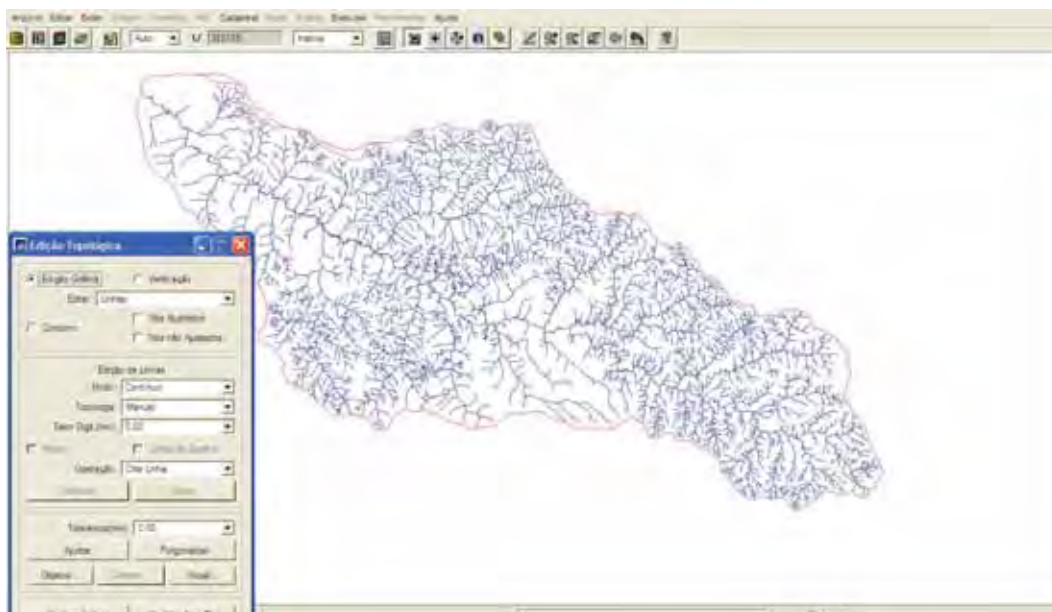
**Figura 5:** Módulo de registro da imagem no SPRING®.

**Fonte:** INPE, 2011. **Org:** Franciele Gonçalves.

#### 3.1.6.4 Processo de representações topológicas

A representação topológica temática ou cadastral, no formato vetorial, é realizada com o intuito de criar layers, como cursos de água, estradas, delimitações da área de estudo, entre outros. Caso as linhas definam polígonos, é necessário executar a poligonalização e o ajuste automático do polígono, para que as extremidades estejam conectadas. Tais polígonos auxiliaram na delimitação da área de estudo e na identificação da rede de drenagem (Figura6).





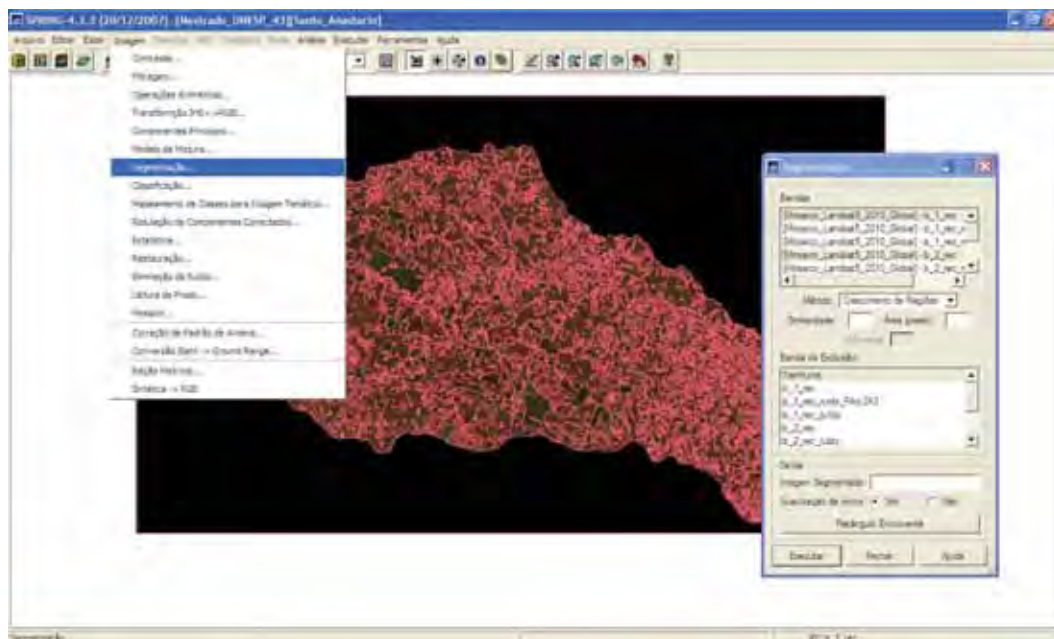
**Figura 6:** Módulo de edição topológica – delimitação da bacia no SPRING®.  
**Fonte:** INPE, 2011, **Org:** Franciele Gonçalves.

### 3.1.6.5 Processo de segmentação de imagens

Nesta etapa, o software divide a imagem de satélite em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação dos objetivos. Neste caso região é o conjunto de “pixels” considerados homogêneos na imagem.

Realizou-se a segmentação por meio do processo de crescimento de regiões, a qual consiste em uma técnica de agrupamento de dados, onde somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas. Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada "pixel" como uma região distinta. Calcula-se um critério de similaridade para cada par de região adjacente espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões.

Na segmentação utilizou-se a similaridade 12 (valor limite de semelhança entre os pixels de cada região) e área 15 (tamanho mínimo de área, em pixels, que representará uma região segmentada). A medida de similaridade é baseada na distância Euclidiana entre os valores médios dos níveis de cinza de cada região, assim duas regiões são consideradas distintas se a distância entre suas médias for superior ao limite de similaridade escolhido. (Figura 7).



**Figura 7:** Módulo de segmentação no SPRING®.

**Fonte:** INPE, 2011. **Org:** Franciele Gonçalves.

### 3.1.6.6 Classificação das imagens orbitais

A classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos, objetiva-se com esse procedimento a realização do mapeamento de determinada área.

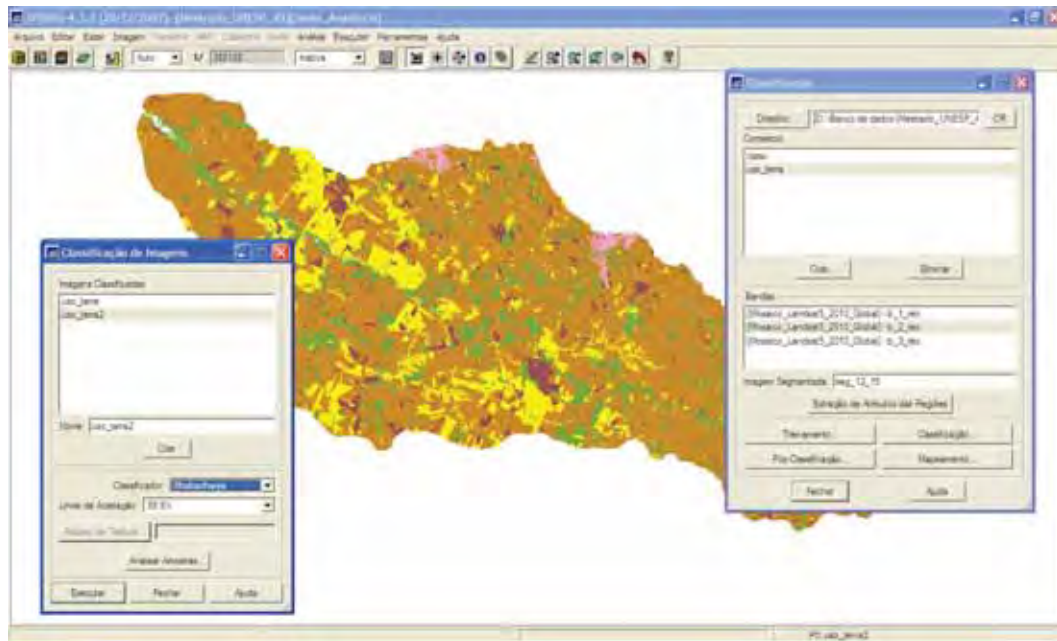
Empregou-se a técnica de classificação de regiões, estes classificadores simulam o comportamento de um foto-intérprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais da mesma. Em um processo de classificação multiespectral o treinamento, ou seja, o reconhecimento da assinatura espectral das classes é o primeiro passo a ser realizado.

O treinamento é dito supervisionado, quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse. Para isso, deve-se identificar na imagem uma área representativa de cada classe. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza do tema em questão.

Após a segmentação e treinamento, utilizou-se o classificador Bhattacharya com liminar de aceitação de 99,9% de aceitação para o mapeamento do uso da terra (Figura 8).

O Bhattacharyya trabalha com a distância denominada distância de Bhattacharyya, que é utilizada para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades dessas classes (INPE, 2004; MATHER, 2004).

Após esse primeiro mapeamento foi realizada uma saída de campo para (re) classificar a imagem a fim de sanar possíveis confusões da análise visual.

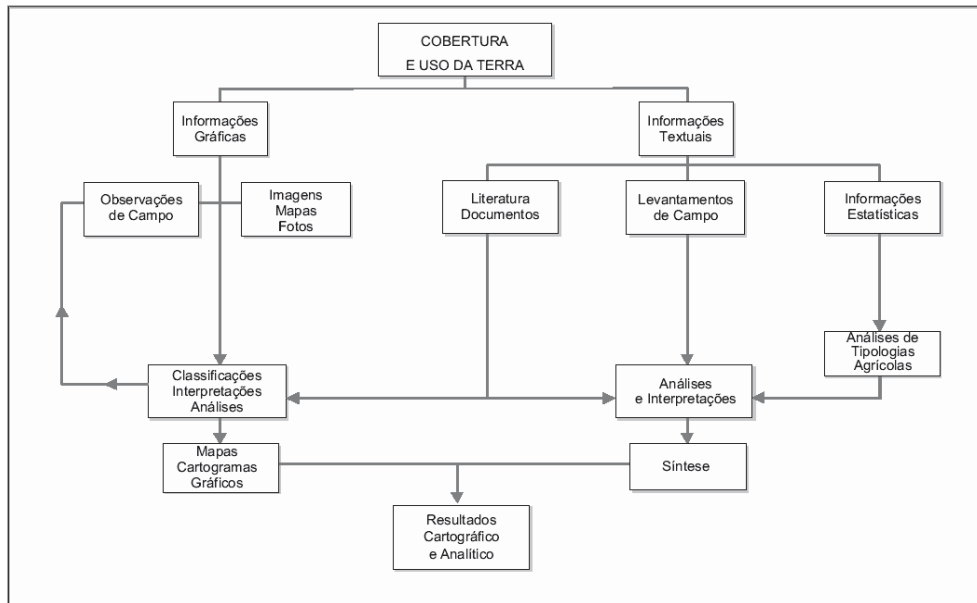


**Figura 8:** Módulo de classificação no SPRING®.  
**Fonte:** INPE, 2011. **Org:** Franciele Gonçalves.

### 3.1.6.7 Elaboração dos mapas temáticos

A confecção do mapa temático mostrou principalmente o uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio. No que diz respeito ao levantamento para mapeamento de uso e cobertura da terra, utilizou-se o método proposto pelo IBGE no Manual do Uso da Terra. A figura 9 apresenta o desenho esquemático dos fluxos existentes no processo de levantamento e classificação da Cobertura e do Uso da Terra no IBGE.





**Figura 9:** Fluxograma do método de avaliação de uso e cobertura da terra. (IBGE)

Além disso, no Manual do Uso da Terra, a legenda proposta foi tomada no presente trabalho. A construção de uma nomenclatura do uso e cobertura da terra precisa estar adequada para mapear a diversidade do território considerado e deve ser compatível com a escala, o tamanho da menor área a ser mapeada, a fonte básica de dados e com as necessidades dos virtuais usuários. O mapa apresentou cores e legenda como sugere a figura

10.

Nível I	Nível II	
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1	Área Urbanizada
	1.2	Área de Mineração
2. Área Antrópicas Agrícolas	2.1	Cultura Temporária
	2.2	Cultura Permanente
	2.3	Pastagem
	2.4	Silvicultura
3. Áreas de Vegetação Natural	3.1	Florestal
	3.2	Campestre
4. Água	4.1	Corpos d'água continentais
	4.2	Corpos d'água costeiros

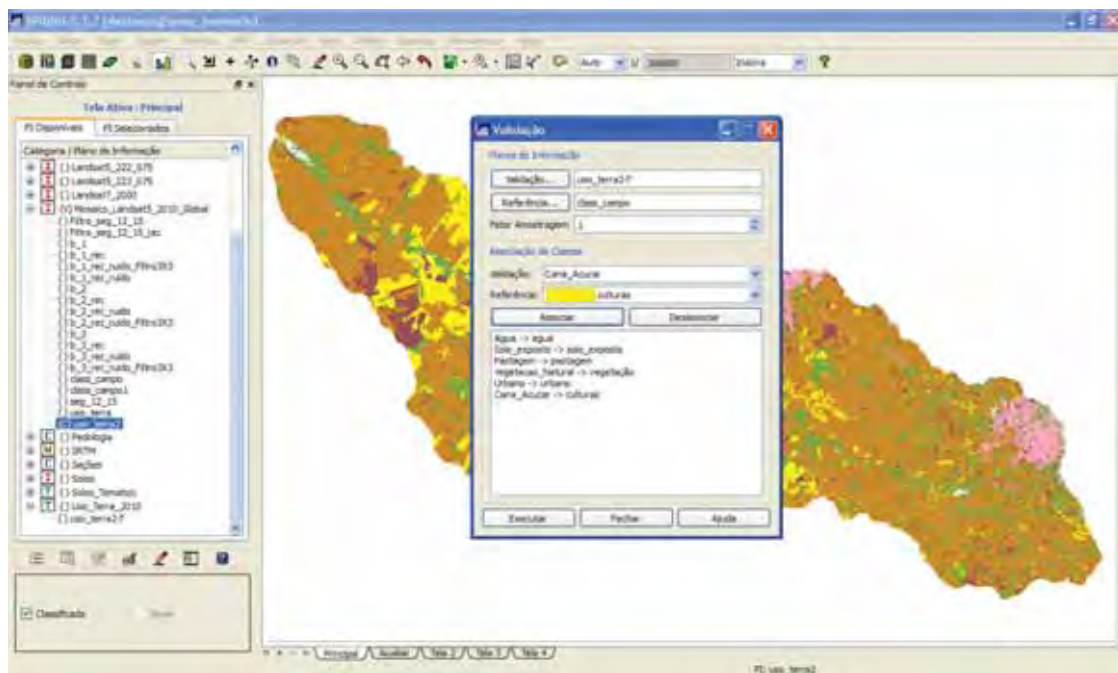
**Figura 10:** Cores e classes do uso e cobertura da terra  
**Fonte:** IBGE, 2006.

### 3.1.6.8 Validação do mapeamento

O processo de validação determina o grau de confiabilidade do resultado de acordo com os dados de referência, ou seja, supondo que os dados de referência representam a verdade, o processo de validação verifica sobre o resultado de uma determinada operação, o quão perto da referência o mesmo se encontra.

Para isso foram realizadas duas classificações de uma mesma imagem, uma baseada nas características espectrais da imagem orbital, atendo-se as chaves de interpretação, como forma, cor e textura dos alvos espectrais. E outra classificação baseou-se a partir de coleta de informações in loco com o apoio de GPS, a partir de dados da verdade terrestre classificou-se a imagem baseando-se nesses pontos amostrais coletados em campo.

Realizou-se a validação no software SPRING®, o qual possui um aplicativo específico para a realização desta operação. Nesse seleciona-se as duas imagens classificadas, e associam-se as classes semelhantes (Figura 11).



**Figura 11:** Módulo de validação no SPRING®.  
**Fonte:** INPE, 2011. **Org:** Franciele Gonçalves.

Após a execução da validação, gera-se um relatório dos dados com a matriz de confusão entre as classes analisadas. A partir dessa matriz levantou-se o índice Kappa.

### **3.2 Materiais e procedimentos metodológicos dos levantamentos limnológicos**

Nesta etapa metodológica os procedimentos relacionam-se ao levantamento de dados limnológicos do canal fluvial do rio Santo Anastácio.

#### **3.2.1 Detalhamento da área de estudo: as seções de amostragem**

As seções de análise e amostragens no campo foram definidas conforme sua espacialização no curso principal, levando em consideração uma distância aproximada entre elas e compreendendo o alto, médio e baixo curso do rio. Além de ponderar a influência do uso da terra na drenagem em cada ponto de coleta, promovendo assim um melhor entendimento espacial das alterações nas variáveis limnológicas.

Foram realizadas sete saídas de campo com dentro do período de 12 meses/1ano e os dados brutos podem ser encontrados nas tabelas em anexos.

Nas pesquisas *in loco* levantou-se a batimetria do canal em cada seção, buscando conhecer o perfil e a profundidade da seção de análise. Assim na caracterização das seções de amostragem, além das características do entorno, obtivemos informações da largura média do canal e da média de profundidade do ponto mais profundo em cada seção investigada.

#### **3.2.2 Trabalhos de campo**

Foram realizadas sete saídas de campo sistematizadas bimestralmente no período de um ano para coleta de dados, essas ocorreram nos dias 15 de dezembro de 2009, 24 de fevereiro de 2010, 17 de abril de 2010, 19 de junho de 2010, 14 de agosto de 2010, 16 de outubro de 2010 e 10 de dezembro de 2010.

Nas campanhas de campo levantou-se a batimetria do canal em cada seção com o auxílio de corda e trena, conhecendo assim o perfil e profundidade da seção de análise, optou-se em padronizar as coletas de água e sedimento no ponto mais profundo de cada seção. Após o levantamento e determinação do ponto mais profundo em cada seção, coletou-se a água e em campo com auxílio de aparelhos levantou-se os dados de temperatura da água, condutividade elétrica, pH, oxigênio dissolvido e turbidez, dados que depois de analisados estatisticamente indicaram tendências e variâncias das variáveis limnológicas em cada seção do rio Santo Anastácio (Figura 12).

No campo também foram realizados registros fotográficos, a fim de identificar e comprovar informações relevantes à pesquisa, além de adquirir pontos longitudinais e latitudinais com o apoio do receptor GPS, a fim de auxiliar no registro das imagens e validação da classificação.



**Figura 12:** Fotos do trabalho de campo e equipamentos utilizados.

**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo 16/10/2010.

### **3.2.3. Levantamento e análise do oxigênio dissolvido**

O método empregado para a determinação de oxigênio dissolvido foi o eletrométrico (com uso de eletrodos com membrana), a partir de um oxímetro digital Lutron, modelo DO-5510, obtiveram-se valores a cerca do oxigênio dissolvido em cada um das seções de amostragem. A água foi coletada no leito do rio e imediatamente aferiu-se o valor de oxigênio dissolvido com o oxímetro. Para obterem-se dados com maior exatidão, antes de introduzir o eletrodo do equipamento nos pontos de análise efetuou-se o calibramento do mesmo (Figura 13).



**Figura 13:** Aparelho de aferir oxigênio dissolvido - oxímetro.  
**Fonte:** GONÇALVES, F.

### 3.2.4 Levantamento e análise da condutividade elétrica

Para a determinação da condutividade elétrica da água foi utilizado em campo um instrumento denominado condutivímetro, que compreende em uma ponte de Wheatstone e uma cela de condutividade, para medir a resistência da amostra. Para a coleta de dados referentes à condutividade elétrica foi utilizado um Condutivímetro TECNOPON, modelo mCA 150p, série 4417/508 (Figura 14).



**Figura 14:** Condutivímetro  
**Fonte:** GONÇALVES, F.

### 3.2.5 Levantamento e análise do potencial hidrogeniônico - pH

Os valores de pH foram coletados *in loco* em pontos pré-determinados, o equipamento utilizado na realização desta medida foi um pHmetro HANNA HI 8424. Antes da coleta de dados em cada um dos pontos, o pHmetro foi calibrado com solução base de pH neutro 7, após a confirmação de calibração o eletrodo do equipamento foi limpo com água destilada para que assim não houvesse alterações nos resultados (Figura 15).



**Figura 15:** Aparelho pHmetro  
**Fonte:** GONÇALVES, F.

### 3.2.6 Levantamento e análise da turbidez

As amostras para análise de turbidez foram coletadas em frascos de vidro e inseridas no turbidímetro no momento da coleta da água, o método utilizado para avaliação de turbidez é baseado na comparação da intensidade de luz espalhada pela amostra em condições definidas, com a intensidade da luz espalhada por uma suspensão considerada padrão. Quanto maior a intensidade da luz espalhada maior será turbidez da amostra analisada.

O aparelho utilizado foi o turbidímetro, o qual é constituído de um nefelômetro, sendo a turbidez expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (figura 16). O nefelômetro consta de uma fonte de luz, para iluminar a amostra e um detector fotoelétrico com um dispositivo para indicar a intensidade da luz espalhada em ângulo reto ao caminho da luz incidente.



**Figura 16:** Aparelho de aferir turbidez – turbidimetro  
**Fonte:** GONÇALVES, F.

### 3.2.7 Levantamento e análise dos sólidos suspensos

O material em suspensão foi determinado a partir amostras de água coletadas em campo, de acordo com o método gravimétrico descrito em TEIXEIRA et al. (1965) e TUNDISI (1969), com modificações baseadas em Wetzel e Likens (2001) e consiste na filtração de amostras de água.

Primeiramente pesaram-se as membranas filtrantes em uma balança de precisão, em seguida foram filtrados 200 ml de cada amostra na bomba a vácuo. Filtradas as amostras e réplicas, as membranas permaneceram 1 hora na estufa, a uma temperatura de 105°C para que houvesse a secagem das mesmas. Por fim, pesaram-se as membranas depois da filtração e secagem, subtraindo o peso inicial pelo peso final dos filtros de fibra de vidro, obtendo-se então a quantidade de sedimento suspenso na água (figura 17).





**Figura 17:** Estufa e bomba à vácuo  
**Fonte:** GONÇALVES, F.

### 3.2.8 Levantamento da velocidade da água

A velocidade da água de um rio está fortemente relacionada com o relevo e declividade do terreno em que este se encontra. A forma do canal também influencia bastante na velocidade do fluxo, quanto mais retilínea a drenagem maior a velocidade água.

Os valores de velocidade do fluxo de água foram medidos *in loco* com auxílio de trena, cronômetro e bolas de isopor. Os dados foram utilizados para cálculo de vazão, além de serem relacionados às variáveis químicas e físicas da água, como por exemplo, o oxigênio dissolvido (OD), nesta variável quanto maior a velocidade e mais turbulento o fluxo d'água, maior a aeração e conseqüentemente maiores os índices de OD.

### 3.2.9 Análise estatística das variáveis limnológicas

Para entender melhor a distribuição dos dados sazonalmente e espacialmente, e ainda a relação entre as variáveis analisadas, aplicou-se nos dados coletados duas análises de estatística multivariada, sendo uma de Agrupamento (Análise de Cluster) e outra de Componentes Principais (ACP).

Inicialmente organizaram-se os dados coletados na pesquisa, 8 variáveis com unidades de medidas distintas foram levantadas. A fim de entender a dinâmica limnológica do curso principal do rio Santo Anastácio logaritimizou-se os valores e posteriormente somou-se os



mesmos a 1, para diminuir a heterogeneidade dos dados e homogeneizar as diferentes variáveis. No software Excel utilizou-se a ferramenta de fórmulas para aplicar o (Log.<sup>1º</sup>do valor da variável + 1).

Após o tratamento inicial dos dados no Excel conforme explicado no parágrafo anterior inseriu-se os dados no software Statistica 5.5.

### **3.2.9.1 Análise de agrupamento (Cluster)**

Para realizar a análise de agrupamento inicialmente selecionaram-se os dados e variáveis utilizadas. As análises foram realizadas no software Statistica 5.5, e se optou pela utilização da medida de distância euclidiana para realizar a análise. Vicini (2005), elucida que as medidas de distância são importantes, pois consideram que, se dois indivíduos são similares, eles estão próximos um do outro, ou seja, eles são comuns ao conjunto de variáveis e vice-versa. A medida de distância utilizada foi a Distância Euclidiana, que para Vicini, 2005 p.21 é sem dúvida, a medida de distância mais utilizada para a análise de agrupamentos.

Posteriormente foi construído um gráfico, denominado dendograma vertical, o que facilitou o entendimento e interpretação dos resultados da análise de agrupamento. A leitura deste gráfico ajuda a compreender em que período e em quais seções as variáveis se assemelham a ponto de se agruparem.

Por fim, realizou-se um procedimento a partir do qual se obteve a medida de distância de relação entre os agrupamentos (Clusters) e as variáveis analisadas, o que proporcionou a identificação das seções e variáveis que mais se correlacionam, e por isso ficaram mais próximas no agrupamento.

### **3.2.9.2 Análise de componentes principais (ACP)**

Para realizar essa análise utilizou-se o software Statistica, depois de inserir os dados, acessou-se módulo de Análise Fatorial, selecionou-se os dados coletados bimestralmente no período de dezembro de 2009 a dezembro de 2010 e variáveis limnológicas estudadas (pH, condutividade elétrica, velocidade da água, oxigênio dissolvido, temperatura do ar, temperatura da água, turbidez e material em suspensão) para a extração fatorial a partir do método de componentes principais.

A análise de componentes principais apresenta um resumo dos resultados (número de variáveis, método, matriz de correlação, número de fatores extraídos e autovalores), além de algumas opções para visualização dos resultados de interesse. A análise realizada em *Eigenvalues* (autovalores) apresenta os valores do autovalor, da variância explicada, do autovalor acumulado e da variância acumulada, que são correspondentes a cada modo extraído pela análise. Para que os valores sejam válidos e tornar possível a utilização dos dados, é necessário que os valores acumulados sejam maiores que 50% no fator 1 ou 2.

Executou-se a verificação da análise de correlação. Nesta etapa são destacados os valores maiores que 0,5 para todas as variáveis analisadas no fator 1 e 2.

Com os resultados dos escores fatoriais, elaboramos posteriormente o gráfico de Análise de Componentes Principais. Selecionando os valores de Fator1 e Fator 2 em *Factor Scores* cola-os na tabela inicial deixando o Fator 1 em uma única coluna e Fator 2 separando-os por seções ( de 1 a 10 no caso da pesquisa). Em seguida inicia-se a elaboração do gráfico de componentes principais, optou-se por elaborar um gráfico do tipo Múltiplo e sem linhas.

Com intuito de entender e explicar a forma como as variáveis se relacionam temporal e sazonalmente, teve-se como produto dois gráficos de análise de componentes principais.

Devido o grande número de elementos amostrais, a fim de tornar possível a análise espacial, foi necessária realizar o agrupamento entre as seções. Levaram-se em consideração algumas semelhanças entre as seções, além de considerar a proximidade entre elas. A partir da análise de componentes principais, regionalizaram-se na bacia 3 áreas. Sendo assim foram agrupadas as seções 1 e 2 localizadas no alto curso do Santo Anastácio (região1). As seções 3, 4,5 e 6 referentes à parte do alto e predominantemente o médio curso do rio (região 2) e as seções 8, 9, e 10, pertencentes ao baixo curso (região 3).

Após a determinação dessas regiões com base nas variáveis limnológicas do canal principal, as mesmas foram digitalizadas nos mapas de geologia, geomorfologia, pedologia e de uso e cobertura da terra. Sendo então possível realizar uma análise das relações entre as características limnológicas do canal fluvial com as características físicas e de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.

**C  
A  
P  
Í  
T  
U  
L  
O  
  
I  
V**

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Inicialmente realizou-se a caracterização quanto à geologia, geomorfologia, pedologia e uso e cobertura da terra, ou seja, do meio físico da bacia hidrográfica. Posteriormente tratou-se de dados referentes à rede de drenagem, canal fluvial e as características limnológicas do rio.

#### 4.1.1 Características físicas da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio

Como contextualizado anteriormente, a área de estudo localiza-se na porção oeste do Estado de São Paulo, e situa-se geograficamente entre as coordenadas 21° 48' 49'' a 22° 16' 59'' de latitude S e 51° 22' 05'' a 52° 11' 15'' de longitude W. A bacia deságua a margem esquerda do Rio Paraná, e sofre influências com a construção de usinas hidrelétricas, como a de Porto Primavera, a qual elevou o nível do Paraná e ocasionou mudanças no canal fluvial do rio estudado.

Para entender a dinâmica da bacia hidrográfica, suas homogeneidades e heterogeneidades, realizou-se o levantamento e caracterização do meio físico da bacia em estudo, além de identificar e caracterizar cada seção onde foram amostradas as variáveis limnológicas.

##### 4.1.1.1 Geologia

A bacia do rio Santo Anastácio está situada sobre a província geomorfológica denominada de Planalto Ocidental Paulista, onde ocorre o Grupo Bauru (formação do Cretáceo Superior), grupo que compreende as Formações Adamantina Santo Anastácio e Caiuá. Estas formações geológicas estão representadas na figura 18, em escala 1:250.000, uma compilação dos mapas geológicos apresentados pelo IPT, 1987 (CBH-PP, 1999).

A *Formação Adamantina* é composta pelas seguintes classes: **Ka1**: ocorre predominantemente na bacia hidrográfica estudada, caracteriza-se por possuir arenitos finos a muito finos, siltos arenosos, arenitos argilosos, subordinadamente arenitos com granulação média quartzosos, localmente arcoseanos; **Ka4**: Arenitos finos a muito finos, quartzosos, com frequentes intercalações de argilitos e siltos, formando bancos espessos. Localmente, arenitos com pelotas de argila. Presença moderada de cimentação carbonática, são encontrados principalmente nas bordas da Bacia. **Ka5**: Arenitos finos a muito finos,

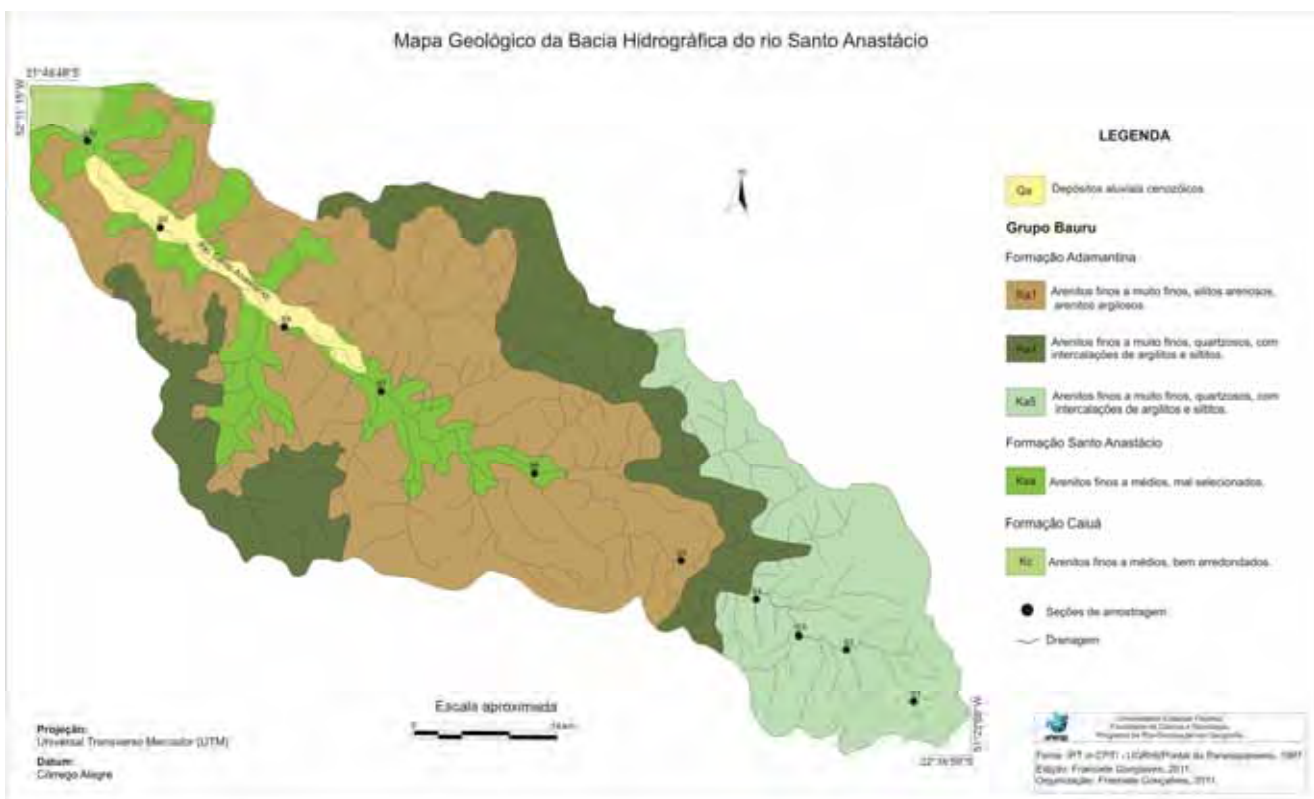
quartzosos, com frequentes intercalações de argilitos e siltitos, formando bancos espessos. Localmente, arenitos com pelotas de argila. Presença moderada de cimentação carbonática e, mais raramente de nódulos (CBH-PP,1999).

A Formação Adamantina abrange a maior parte da área da bacia, principalmente nas cotas mais altas e atingindo a foz dos afluentes do rio Santo Anastácio localizados a leste, nordeste e sudeste. Esta formação é constituída de depósitos fluviais com predominância de arenitos finos e muito finos, podendo apresentar cimentação e nódulos carbonáticos, com lentes de siltitos arenosos e argilosos, ocorrendo em bancos maciços. Como estruturas sedimentares, apresentam estratificação plano-paralela e cruzada de pequeno a médio porte (SÃO PAULO-IPT, 1981 apud CARVALHO, 1997).

Ainda para Carvalho, 1997 existem também na bacia, sedimentos alúvio-colúviais inconsolidados provenientes de deposições recentes e do Pleistoceno em locais próximos aos cursos d'água e, ocupando extensas áreas às margens do rio Santo Anastácio, principalmente no seu curso inferior, constituídos quase que exclusivamente de material areno-argiloso. Esses sedimentos constituem o material de origem de solos aluviais e hidromórficos (gleissolos).

A **Formação Santo Anastácio** compreende arenitos finos a médios, mal selecionados, subordinadamente arcoseanos geralmente maciços, localmente com cimento e nódulos carbonáticos, identificados com a sigla Ksa no mapa geológico da bacia do rio Santo Anastácio. No domínio da bacia do rio Santo Anastácio, esta formação estende-se principalmente por áreas de fundo de vale e na parte inferior de vertentes do curso principal e de alguns outros afluentes da bacia do rio Santo Anastácio, como o Ribeirão Vai e Vem, o Córrego do Cerrado, o Córrego Santa Maria, o Córrego da Serrinha, o Córrego Santa Cruzinha, o Ribeirão da Areia Dourada e o Córrego Jaguatirica (CARVALHO, 1997). Deste modo pode-se afirmar que a formação Santo Anastácio pode ser encontrada próximo ao leito fluvial do rio em seu médio curso até sua foz.

A **Formação Caiuá** possui arenitos finos a médios, bem arredondados, cores nos tons roxos. Localmente com cimento e nódulos carbonáticos. Carvalho, 1997 enfatiza que a formação Caiuá é constituída de arenitos finos e médio, bem selecionados, com coloração arroxeada típica e estratificação cruzadas de grande a médio porte, com concorrência local de cimento e nódulos carbonáticos. Como unidade de mapeamento geológico, restringe-se às zonas localizadas ao longo do rio Paraná e de trechos de seus afluentes. Na área de estudo, a ocorrência desta formação limita-se ao seu baixo curso, próximo a foz do rio Santo Anastácio.



**Figura 18:** Geologia da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio

#### 4.1.1.2 Clima

O Oeste Paulista apresenta um clima de transição do subtropical para o tropical devido à sobreposição de três principais correntes de circulação atmosférica regional que são a Massa Polar Continental, a Massa Polar Atlântica e a Massa Tropical continental.

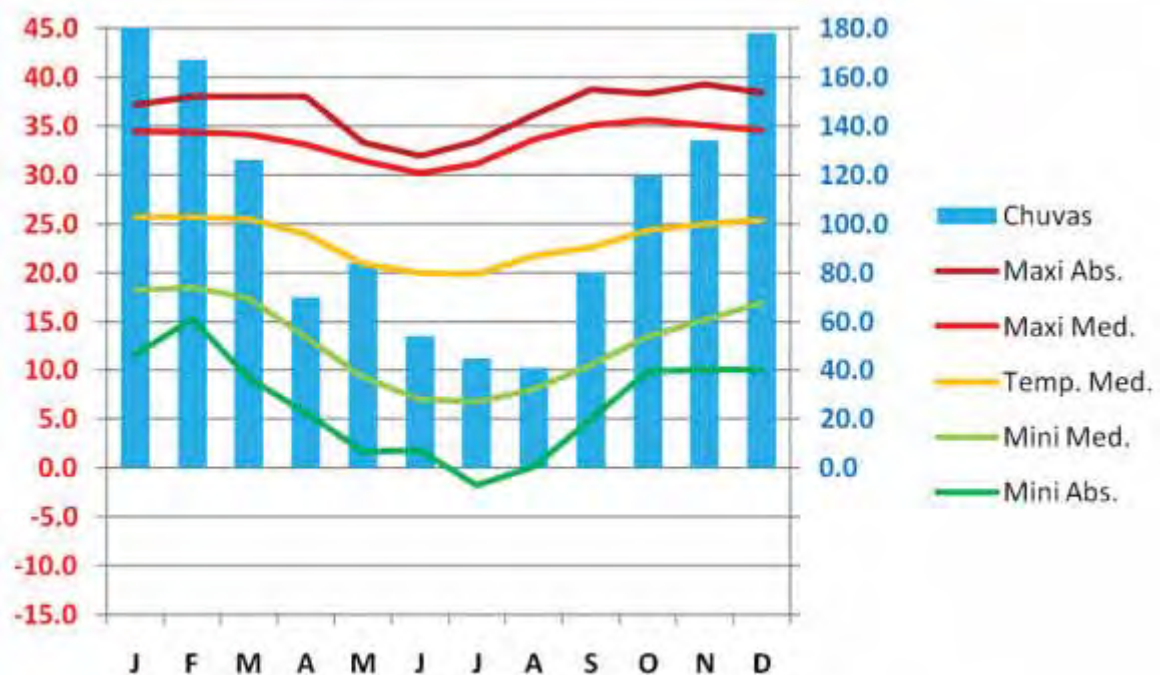
Nas palavras de Carvalho (1997, p. 16),

O clima predominante na bacia do rio Santo Anastácio, segundo a classificação de Koeppen é Aw, tropical com estação chuvosa no verão e seca no inverno, onde a temperatura do mês mais quente é superior a 22° C e a do mês mais frio é superior a 18° C. Apenas para a região de Pirapozinho, a sudoeste da Bacia, o clima é Cfa, mesotérmico úmido sem estiagem em que a temperatura do mês mais frio é inferior a 18° C e a do mês mais quente superior a 22° C e a precipitação do mês mais seco é maior que 30 mm e menor que 60 mm.

De acordo com Sant'anna Neto (1996), a pluviosidade média da região gira em torno de 1.200 a 1.500 mm anuais.

Segundo Amorim, et al 2009, de modo geral, os sistemas tropicais prevalecem na região a maior parte do ano. No período de primavera e verão, as temperaturas diárias oscilam entre os 20°C e 32°C, com máximas absolutas próximas aos 40°C, nesta época do ano concentra-se cerca de 75% da precipitação anual de 1.300mm.

No outono/inverno as temperaturas diminuem suavemente, mas permanecem elevadas, à exceção dos episódios das invasões do anticiclone polar, quando as temperaturas mínimas oscilam entre 15°C e 20°C, com valores absolutos que podem chegar a 0°C (-1,8°C em julho de 1975), segundo os dados registrados na Estação Meteorológica de Presidente Prudente, localizada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista. Para ilustrar as características climáticas da região, apresenta-se na figura 19 um climograma de Presidente Prudente, cuja série histórica possui um intervalo de 38 anos, de 1969 a 2007.



**Figura 19:** Climograma de Presidente Prudente/SP (1969-2007).

**Fonte:** AMORIM, M. C.C.T; DUBREUIL, V.; QUENOL, H; SANT’ANA NETO, J.L. (2009)

Os dados de precipitação são importantes visto que, com as chuvas ocorre a “lavagem” do solo e carreamento de partículas sólidas, materiais orgânicos e inorgânicos presentes no solo. Essa água tende a chegar aos fundos de vale e conseqüentemente nos rios, alterando assim as características químicas e físicas da água.

Neste sentido Silva (2006), afirma que a precipitação pluviométrica é maior no verão – de outubro a abril, sendo os meses mais chuvosos de dezembro a fevereiro, de maior erosividade, predispondo mais o ambiente à erosão, principalmente em outubro, novembro e dezembro, quando o solo está na fase de preparo para o cultivo. Outro fato relevante, é que ao ocorrer à precipitação há um acréscimo no volume de água no rio, aumentando assim o seu poder de dissolução e autodepuração.

#### 4.1.1.3 Geomorfologia

A geomorfologia da bacia do Santo Anastácio, bem como toda a região do oeste do Estado de São Paulo, é caracterizada pelo predomínio de colinas suavemente onduladas entremeadas por esparsos morrotes residuais rebaixados pela erosão, assim como extensos chapadões areníticos rebaixados pela erosão (CARVALHO, 1997, p. 12). Ainda com relação



à sua morfologia, “A maior parte da bacia apresenta uma feição constituída por colinas médias, onde predominam interflúvios com área superior a 4 km<sup>2</sup>, topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos e convexos” (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, apud MARTIN, 2000, p. 79).

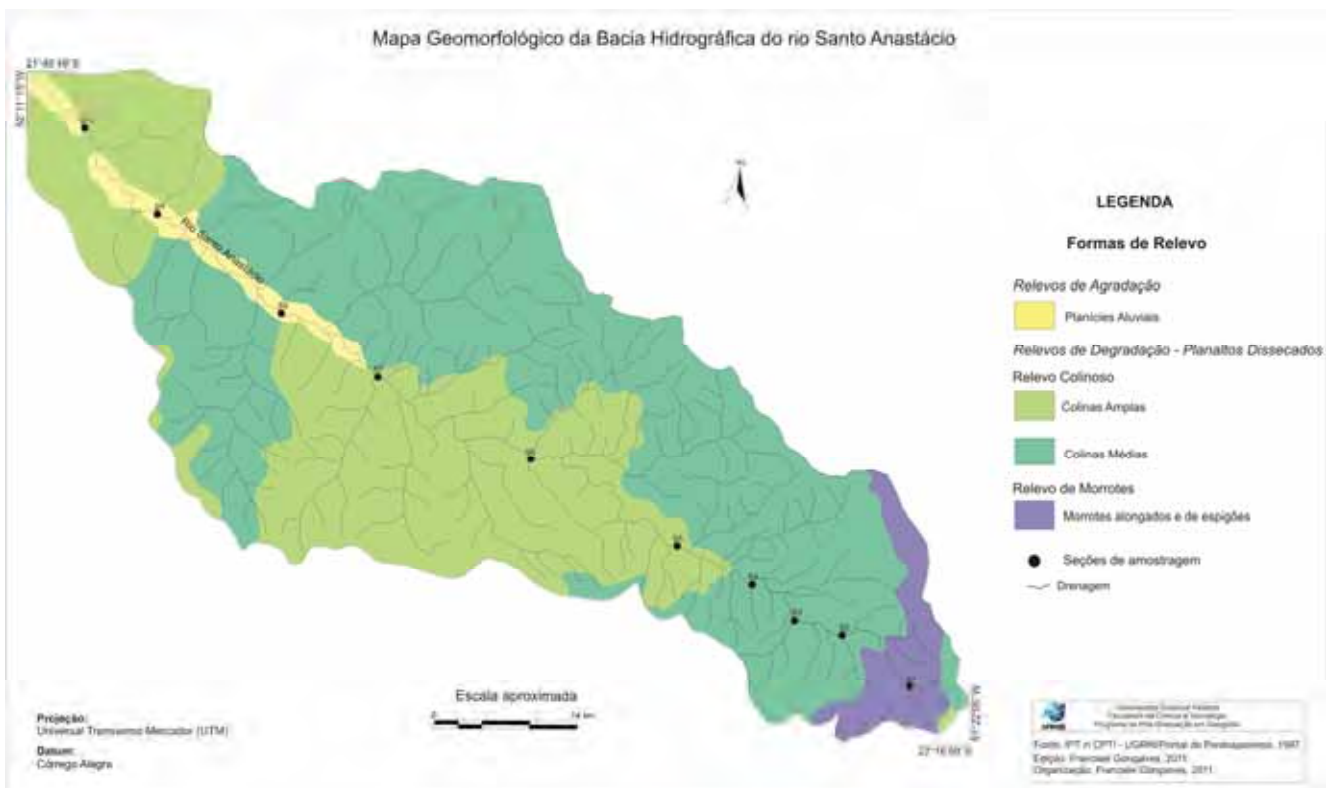
O mapa geomorfológico apresentado em escala 1:250.000, é compilado do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo - Escala 1:1.000.000 pelo IPT, 1981 (CBH-PP,1999). Verifica-se, através deste mapa, que a bacia está integralmente inserida na Província Geomorfológica denominada Planalto Ocidental (Figura 20).

Formas de Relevos de Degradação, em Planaltos Dissecados Continentais: *Planícies Aluviais* com terrenos baixos e mais ou menos planos, são observados junto às margens do rio Santo Anastácio, essas áreas são periodicamente sujeitas a inundações (CBH-PP,1999).

O relevo Colinoso compreende por Colinas Amplas e Médias: As *Colinas Amplas* onde predominam interflúvios com áreas superiores de 1 a 4 km<sup>2</sup>, topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes. Ocorrem em áreas próximas à foz e predominantemente a margem esquerda do rio Santo Anastácio em seu médio curso (CBH-PP,1999).

As *Colinas Médias* caracterizam-se pela predominância de interflúvios com áreas superiores de 1 a 4 km<sup>2</sup>, topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos . Drenagem de média a baixa densidade, padrão subtreangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes. É a formação mais predominante na Bacia, ocupando uma grande área de sua extensão (CBH-PP,1999).

A bacia possui também relevo de morrotes, composto principalmente por *Morrotes Alongados e de Espigões*, onde predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados. Na bacia essa unidade geomorfológica pode ser encontrada próxima as áreas de nascente, no manancial do rio Santo Anastácio (CBH-PP,1999).



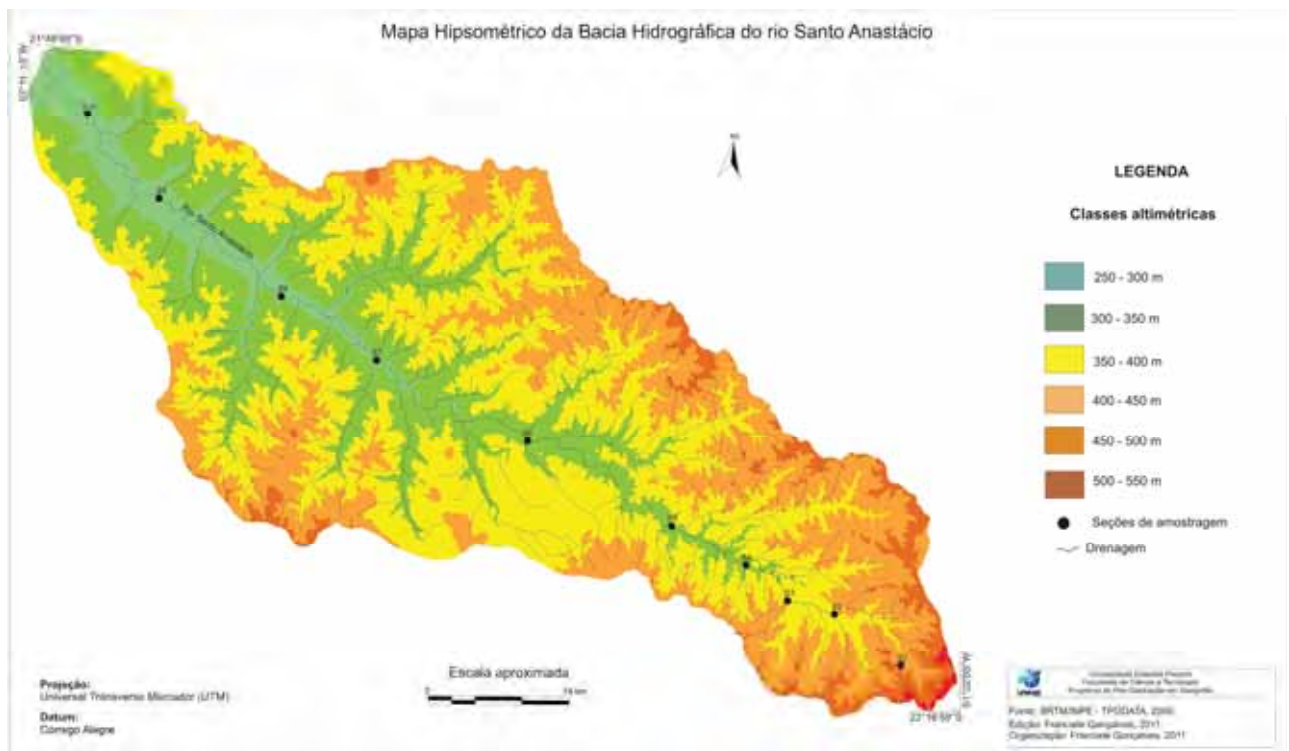
**Figura 20:** Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio.

#### **4.1.1.4 Hipsometria da Bacia**

Hipsometria é uma técnica de representação da elevação de um terreno através de cores. O conhecimento da altimetria de uma região nos auxilia no entendimento e caracterização do meio físico da bacia. Através dela, obtêm-se características do relevo e localiza-se em quais áreas são encontradas as maiores e menores altitudes na bacia.

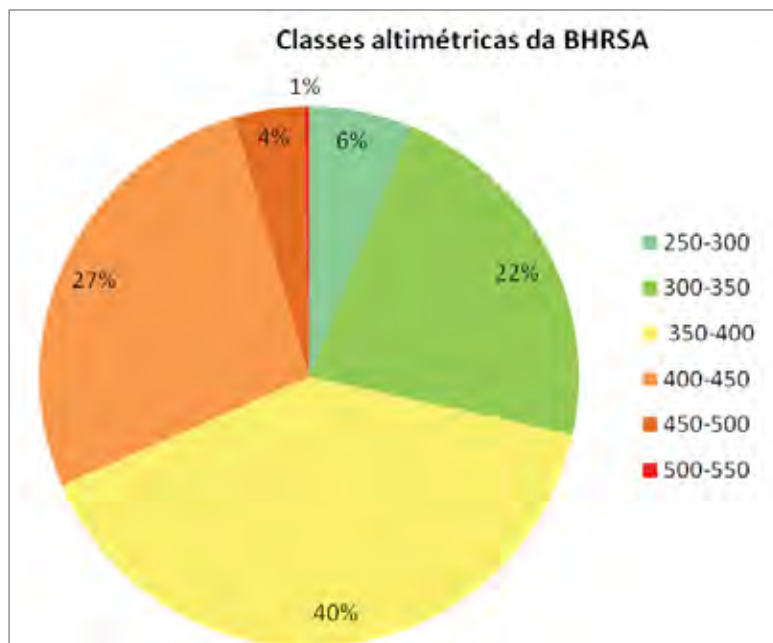
A identificação e análise hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio (Figura 21) possibilitaram a observação e constatação da variação altimétrica terreno, fator importante na análise de processos relativos à geomorfologia e dinâmica de uso e cobertura da terra. Segundo Villela e Mattos, 1975 esse levantamento é importante no sentido de colaborar no entendimento do escoamento superficial da bacia.

A carta hipsométrica da bacia apresenta cotas altimétricas que variam de 250m a 500m, com suas maiores cotas dispostas no alto curso, na região das nascentes. As classes altimétricas diminuem no sentido das bordas da bacia para o canal fluvial, e ainda da nascente a foz. Na margem direita, em seu médio curso é possível identificar uma área plana, ou seja, com pouca variação altimétrica, nesta região apresentam-se altimetrias de 350 a 400 metros.



**Figura 21:** Hipsometria da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio.

Como se observa na carta hipsométrica e no gráfico da figura 22 a classe altimétrica de 350 a 400 metros é predominante na bacia, ocupando 40% da área total, em seguida a classe 450 a 500 m com 27% da área total da bacia. A classe 300 a 350 metros ocupa 22% da área da bacia e em menores proporções com 6% de áreas com altimetrias entre 250 a 300 metros. Os valores altimétricos mais elevados são poucos representativos, com 4% na classe de 450 a 500 metros e apenas 1 na classe de 500 a 550 metros de altitude.



**Figura 22:** Classes altimétricas da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.  
**Fonte:** Mapa hipsométrico.

#### 4.1.1.5 Clinografia da bacia

A carta clinográfica ou de declividade, tem o objetivo de levantar e quantificar a inclinação ou declive do relevo. Essa informação tem sido muito utilizada nas últimas décadas em trabalhos relacionados às ciências da terra, planejamento regional, urbano e agrário, juntamente com outras representações gráficas (DE BIASI, 1992).

Ao analisar e interpretar a carta clinográfica da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio (Figura 23) observa-se que a mesma possui em seu alto e médio curso, declives mais acentuados.

O alto curso da bacia caracteriza-se pela predominância de declives entre 5 a 12% os quais são intercalados por terrenos com declives de 12% a 30%, vinculados a patamares

intermediários que dão acesso ao curso principal, tais declividades mais acentuadas implicam em um maior poder erosivo destas drenagens.

Já na média bacia do Santo Anastácio notaram-se diferenças entre a margem direita e esquerda. Na margem direita encontra-se declives entre 5 a 12 %, porém na margem esquerda predominam declives menores que 5%, ressaltando que os baixos declives do fundo de vale nesta margem indicam uma dinâmica fluvial deposicional mais intensa.

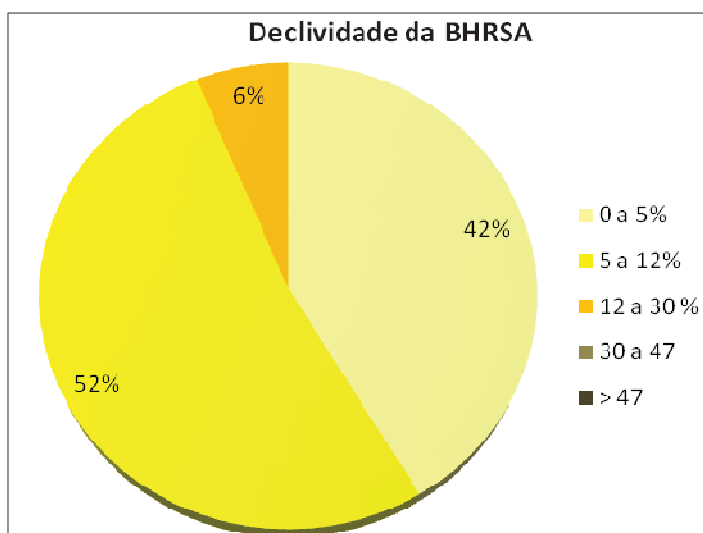
Assim, pode-se considerar que em geral a bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio não apresenta, em sua totalidade, altos índices de declividade, ficando definidos os setores mais declivosos e os mais planos.



**Figura 23:** Declividade da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio

Observa-se que a área estudada apresenta relevo predominantemente suave ondulado com aproximadamente 52 % da área total da bacia, onde é possível a exploração agropecuária mediante utilização de práticas conservacionistas, havendo a necessidade de cuidados com relação ao uso e manejo.

Nesse sentido tornou-se possível quantificar as classes de declive (Figura 24), sendo assim predomina na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio com 52% da área da bacia a classe de declividade entre 5 a 12%, em seguida com 42% da área total a classe de 0 a 5%, em menores ocorrências, com 6% da área da bacia tem-se a classe de 12 a 30% de declive e ainda em valor pouco significativo, a ponto de não ser representado no gráfico tem-se 0,10% da área com declives de 30 a 47%.



**Figura 24:** Porcentagens das classes de declive da BHRSA.  
**Fonte:** Mapa clinográfico.

Em consonância com a definição das classes de declive proposta por De Biasi, 94% da área da bacia encontra-se na faixa de declive que permite o emprego de agricultura mecanizada, ou seja, até 12% de declividade.

#### 4.1.1.6 Pedologia

Para a caracterização pedológica deste trabalho foram utilizados dados do Relatório Zero do Pontal do Paranapanema, unidade de gerenciamento na qual a bacia hidrográfica Santo Anastácio está totalmente inserida. O relatório zero do Pontal do Paranapanema apoiou-se sobre os dados do Projeto Peixe-Paranapanema elaborado pelo IPT, 1987 (CBH-PP, 1999), a partir de cartas bases em escala 1:250.000, resultantes de levantamentos realizados pela



Divisão de Pedologia do Projeto Radambrasil foi elaborado o mapeamento pedológico da bacia (Figura 25).

Os solos identificados na bacia estudada, segundo o mapa pedológico utilizado foram Latossolo Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Amarelo, o qual será denominado de Argissolo no texto, conforme a atual nomenclatura dos solos, EMPRAPA, 1999. Os solos existentes na bacia possuem variações em suas texturas e fertilidade.

Em pesquisa bibliográfica procurou-se classificar, segundo a EMBRAPA, os tipos de solos existentes na bacia considerando suas principais características e limitações ao uso agrícola.

Os Latossolos são compreendidos como solos de boa drenagem, minerais, profundos, bastante intemperizados, caracterizados por apresentar um horizonte B latossólico sob vários tipos de horizontes. Apresentam boa drenagem interna, condicionada por elevada porosidade e homogeneidade de características ao longo do perfil e, em razão disto, elevada permeabilidade. Este fato os coloca, quando em condições naturais, como solos de razoável resistência à erosão de superfície (laminar e sulcos). Trata-se de solos muito intemperizados, com baixíssima capacidade de troca de cátions e, portanto, baixa capacidade de retenção de nutrientes (CPTI, 1999).

São passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento. Normalmente, está situado em relevo plano a suave-ondulado, o que facilita a mecanização. São profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos e friáveis é de fácil preparo. Apesar do alto potencial para agropecuária, parte de sua área deve ser mantida com reserva para proteção da biodiversidade desses ambientes (EMBRAPA, 2010).

As principais limitações ao uso agrícola dos latossolos são em geral, a baixa fertilidade, contudo, com aplicações adequadas de corretivos e fertilizantes, aliadas à época propícia de plantio, obtêm-se boas produções.

Os latossolos de textura média, com teores elevados de areia, assemelham-se às Areias Quartzosas, sendo muito suscetíveis à erosão, requerendo tratos conservacionistas e manejo cuidadoso. A grande percolação de água no perfil desses solos pode provocar lixiviação de nutrientes. Essa é uma das razões por que os sistemas irrigados devem ser dimensionados, levando-se em conta a textura do solo. Dessa forma, evitam-se problemas de perdas de solo e, conseqüentemente, de nutrientes (EMBRAPA, 2010).

Os Argissolos, são solos bem a moderadamente drenados, variando de rasos a profundos e textura variando de arenosa/média a argilosa/muito argilosa. A relação textural é também muito variável, ocorrendo solos com mudança textural abrupta entre os horizontes A e B, até solos com pequena variação do teor de argila ao longo do perfil (CPTI, 1999).

Nesses solos, constata-se grande diversidade nas propriedades de interesse para a fertilidade e uso agrícola. Os solos distróficos e álicos, além da limitação da fertilidade, podem ainda apresentar problemas com a eficiência da adubação e da calagem se estiverem localizados em relevos de ondulados a forte-ondulados. Nessas situações, é imprescindível a utilização intensiva de práticas de conservação do solo para evitar perdas de fertilizantes e de corretivos por erosão. Nos solos eutróficos como é o caso da área de estudo, não existe limitação quanto à fertilidade. Entretanto, a retirada constante de nutrientes pelas plantas cultivadas, e a erosão nas áreas mais declivosas podem reduzir a disponibilidade de nutrientes (EMBRAPA, 2010).

Segundo Sudo, 1980 os solos predominantes na bacia do Santo Anastácio apresentam-se arenosos, com predominância de frações finas a muito finas e apresentam teor de argila inferior a 30%.

Os perfis apresentam horizontes praticamente homogêneo, de estrutura granular, maciça, sendo difícil notar qualquer descontinuidade, além de serem relativamente profundos, até métricos, friáveis e acentuadamente drenados na maior parte do perfil, pelo menos nos horizontes mais superficiais (STEIN, 1999, p. 98).

O Latossolo Vermelho Escuro – segundo Carvalho (1997, p.12), “[...] ocorrem em colinas convexas de relevo suavemente ondulado, com declividade de 3 a 8% e vertentes, normalmente, longas (250 a 500m) a muito longas (superiores a 500m). Esta unidade pedológica é composta por solos minerais não hidromórficos, de coloração vermelho-escuro e apresentam textura do substrato arenito, variando de argilosa a média argilosa.

O Argissolo Vermelho Amarelo – apresentam-se semelhantes aos solos Podzólico Vermelho Escuro. São solos bem a moderadamente drenados, variando de rasos a profundos e textura variando de arenosa/média a argilosa muito argilosa. Distribuem-se em relevos de encostas declivosas, de colinas médias e morrotes alongados (EMBRAPA, 2010).

Em bibliografia pertinente e em análise realizada a partir de mapeamentos temáticos podemos assegurar que os Argissolos ocorrem predominantemente em áreas de relevo

ondulado, ou seja, com maiores porcentagens de declive. Já os Latossolos ocorrem em geral em relevos planos ou suavemente ondulados, não excedendo os 8% de declividade.

Observando os mapeamentos de solos e declividade, podemos afirmar que os Latossolos ocorrem em geral em relevos planos ou suavemente ondulados, não excedendo os 12% de declividade. No entanto, os Argissolos ocorrem predominantemente em áreas de relevo ondulado, ou seja, com maiores porcentagens de declive, no caso da bacia principalmente entre 12 e 30% de declividade.

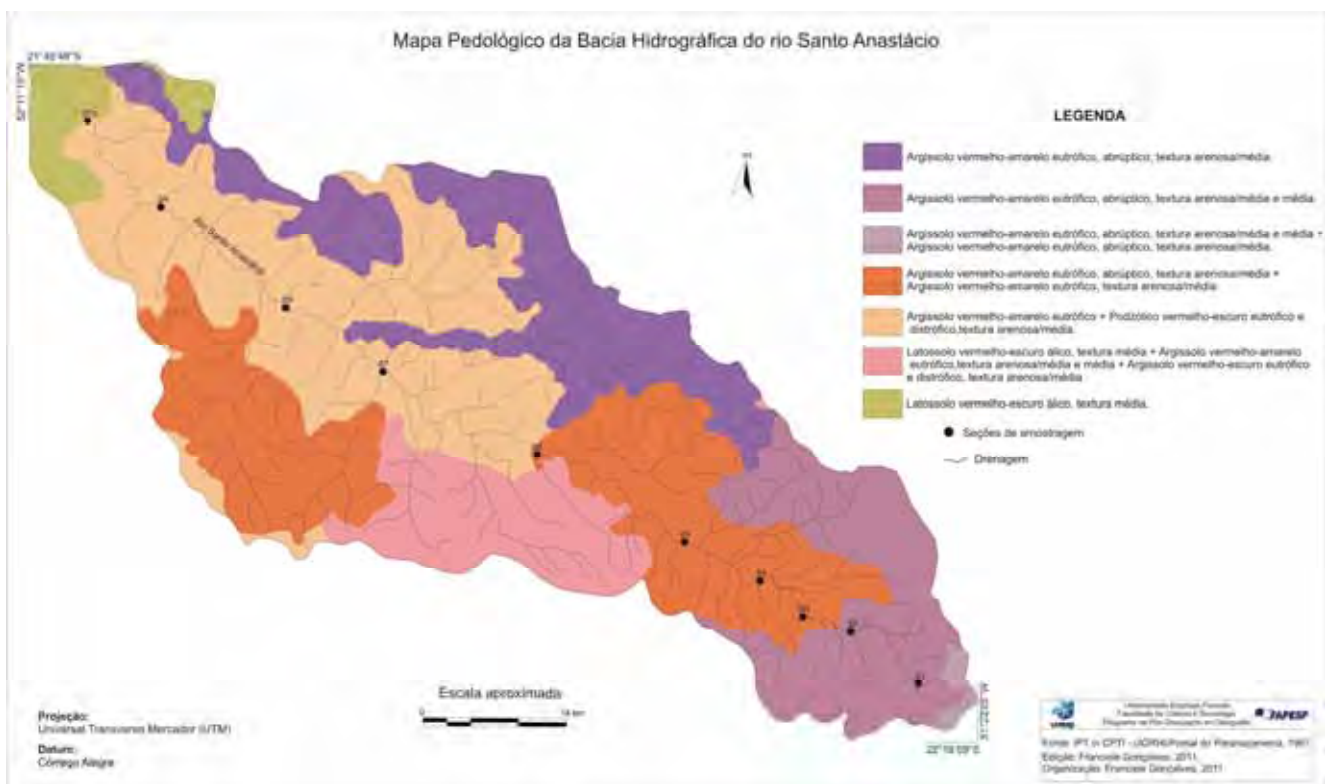


Figura 25: Pedologia da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio

#### 4.1.1.7 Rede de drenagem

O escoamento fluvial da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio apresenta características exorréicas, por possuir uma drenagem hierarquizada, nascente em regiões interioranas dirigindo-se ao mar.

A classificação da drenagem de uma bacia hidrográfica é realizada a partir das características geológicas e geomorfológicas da região onde esta inserida. Existem diferentes arranjos de drenagem que permitem uma classificação com base em sua geometria. Os principais padrões de drenagem são: padrão dendrítico, paralelo, retangular, radial, treliça e anelar (Figura 26).



**Figura 26:** Padrões de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1974).

Assim, o padrão de drenagem da bacia abordada nesta pesquisa é classificado conforme Christofolletti (1980) como padrão dendrítico, cujo padrão é tipicamente desenvolvido sobre estruturas sedimentares horizontais. O autor compara este padrão de drenagem a uma árvore, pois ao distribuir-se para todos os lados este tipo de ramificação remete a disposição dos galhos desta planta (Figura 27).



**Figura 27:** Rede de drenagem dendrítico da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio.

O conjunto da área drenada é denominado Hierarquia fluvial. Para Horton apud Christofoletti (1980), os critérios para ordenação dos cursos de água são: os canais de 1ª ordem – não possuem tributários; os de 2ª ordem - recebem apenas tributários de 1ª ordem e os de 3ª ordem - podem receber um ou mais tributários de 2ª ordem, seguindo-se assim uma seqüência hierárquica de rios. Neste contexto, o rio Santo Anastácio é considerado um canal de quinta ordem, por receber afluência de outros córregos de primeira, segunda, terceira e quarta ordem.

Os padrões de drenagem são indicativos da permeabilidade relativa do terreno, dos controles exercidos pelas estruturas e pelos tipos de rocha, sobre a infiltração e os movimentos das águas subterrâneas. Na área de estudo predomina áreas com rochas e solos mais permeáveis, e mais vulneráveis a usos inadequados da terra.

#### **4.1.2. Mapeamento e análise espacial do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica**

As formas usos e cobertura da terra são os principais fatores que contribuem para a alteração física e química nos recursos hídricos, através da disponibilização de resíduos orgânicos e compostos químicos de atividades antrópicas.

A identificação da cobertura e uso da terra constitui-se em um elemento importante em estudos ligados à temática ambiental, pois o uso da terra atualizado sobre uma determinada localidade auxiliará, dentre outros, identificar e localizar os agentes responsáveis pelas condições ambientais da área.

A descrição do uso e cobertura da terra pode promover indicações do seu mau uso, orientando assim, o planejamento ambiental da bacia hidrográfica, de modo a agenciar e/ou nortear o “uso adequado da terra”.

O produto desta etapa baseia-se na análise do mapa de uso e cobertura da terra, gerado a partir do software SPRING®, por meio de dados quantitativos e de observações visuais do comportamento das imagens orbitais.

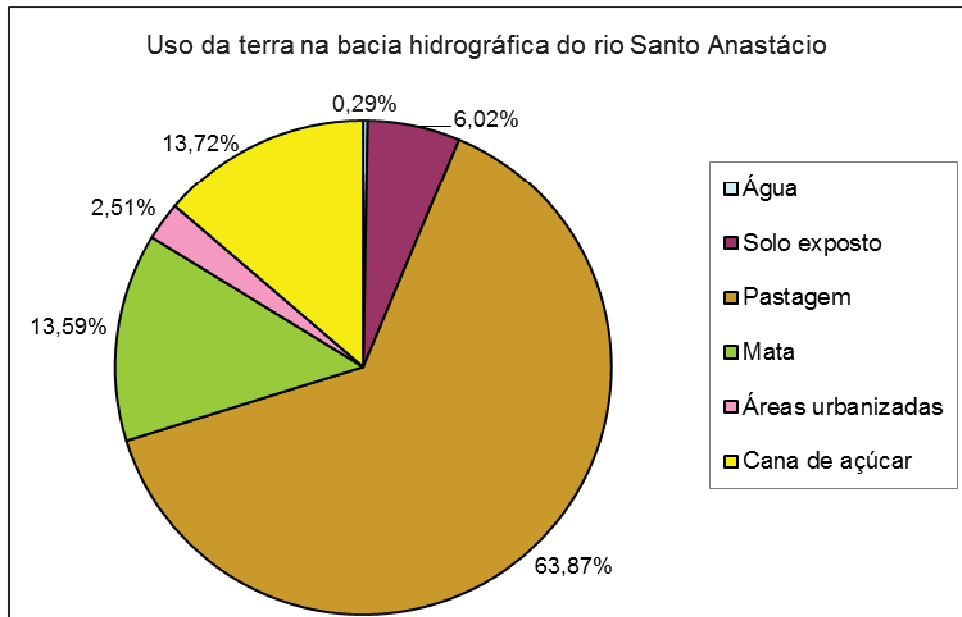
Adotou-se metodologia proposta pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para o processamento digital das imagens, como já fora especificado no capítulo anterior. A partir de análise visual em gabinete e saídas em campo, determinaram-se as classes de uso e cobertura da terra existente na bacia, sendo elas: cana-de-açúcar e culturas, áreas urbanizadas, mata, água, pastagem e solo exposto.

No que diz respeito ao levantamento para mapeamento de uso e cobertura da terra, baseou-se o método proposto pelo IBGE no manual do uso da Terra. O manual apresenta o desenho esquemático dos fluxos existentes no processo de levantamento e classificação da cobertura e do uso da terra no IBGE, como pode ser visto anteriormente na descrição da metodologia utilizada.

Para o mapeamento de uso e cobertura da terra foram utilizadas imagens do Satélite Landsat 5 (Land Remote Sensing Satellite) órbita/ponto 222/75 e 223/75, ambas do dia 03 de julho de 2010. Para a realização desse mapeamento é imprescindível levar em consideração a resolução espacial das imagens, ou seja, o tamanho do menor objeto que é possível ser representado. Neste caso a imagem utilizada possui resolução espacial de 30 metros.

Na classe temática *mata*, consideraram-se áreas florestais, áreas de reserva legal, matas ciliares e florestas plantadas. Foram classificados todos os corpos d'água, como represas, açudes e o próprio rio Santo Anastácio na classe temática *água*. Os solos sem cobertura vegetal foram classificados como *solo exposto*. As classes *culturas e cana-de-açúcar* referem-se às áreas de plantio. Na classe *áreas urbanizadas*, mapeou-se as cidades ou malhas urbanas encontradas na bacia. Obteve-se também no mapeamento a classe *pastagem*, caracterizada pela presença de gramíneas destinadas a nutrição animal, no caso da bacia por bovinos.

Como se observa na figura 28 a classe temática pastagem é predominante na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, ocupando aproximadamente 63,8% da área total da bacia. Contudo nota-se em um contexto regional, uma ampla abertura e implantação de culturas, como a cana-de-açúcar, que ocupa cerca de 13,72% de área estudada, inserindo-se principalmente no médio curso da bacia do rio Santo Anastácio, onde encontra-se instalada a usina de álcool e açúcar DECASA.



**Figura 28:** Quantificação dos usos da terra na área de estudo

**Fonte:** Mapa de uso e cobertura da terra da BHRSA.

Em campo observaram-se alterações ambientais como processos erosivos e assoreamentos ocasionados pela produção intensiva da cana-de-açúcar sem manejo adequado do solo. Em campo notou-se elevada carga sedimentar carregada para os rios e os inúmeros afluentes assoreados, além das alterações em algumas variáveis físicas e químicas da água como condutividade elétrica, turbidez e sólido suspenso.

A classe solo exposto ocorre em aproximadamente 6,02% no total da área da bacia e representa principalmente áreas que estão em estágio de preparo para o plantio da cana-de-açúcar, assim como, em menor quantidade esta classe é expressa por pastagens degradadas, onde a gramínea está altamente espaçada e muito seca, predominando a característica de solo exposto na área.

Já a classe vegetação natural representa 13,59% da área estudada e a água 0,29%. As baixas porcentagens de vegetação na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio é um dado preocupante, visto que, as florestas são unidades importantes que equilibram o ambiente e evitam a degradação do mesmo.

Justificam-se os baixos valores da classe água principalmente pela largura do canal, muitas vezes não registrada/aparente na imagem utilizada, no entanto pode-se visualizar tal classe principalmente onde ocorrem represamentos no canal. Alguns açudes foram construídos no decorrer da drenagem principal para servir de auxílio à agropecuária, facilitando o acesso à água ao gado. A classe água aparece em maior quantidade na foz rio



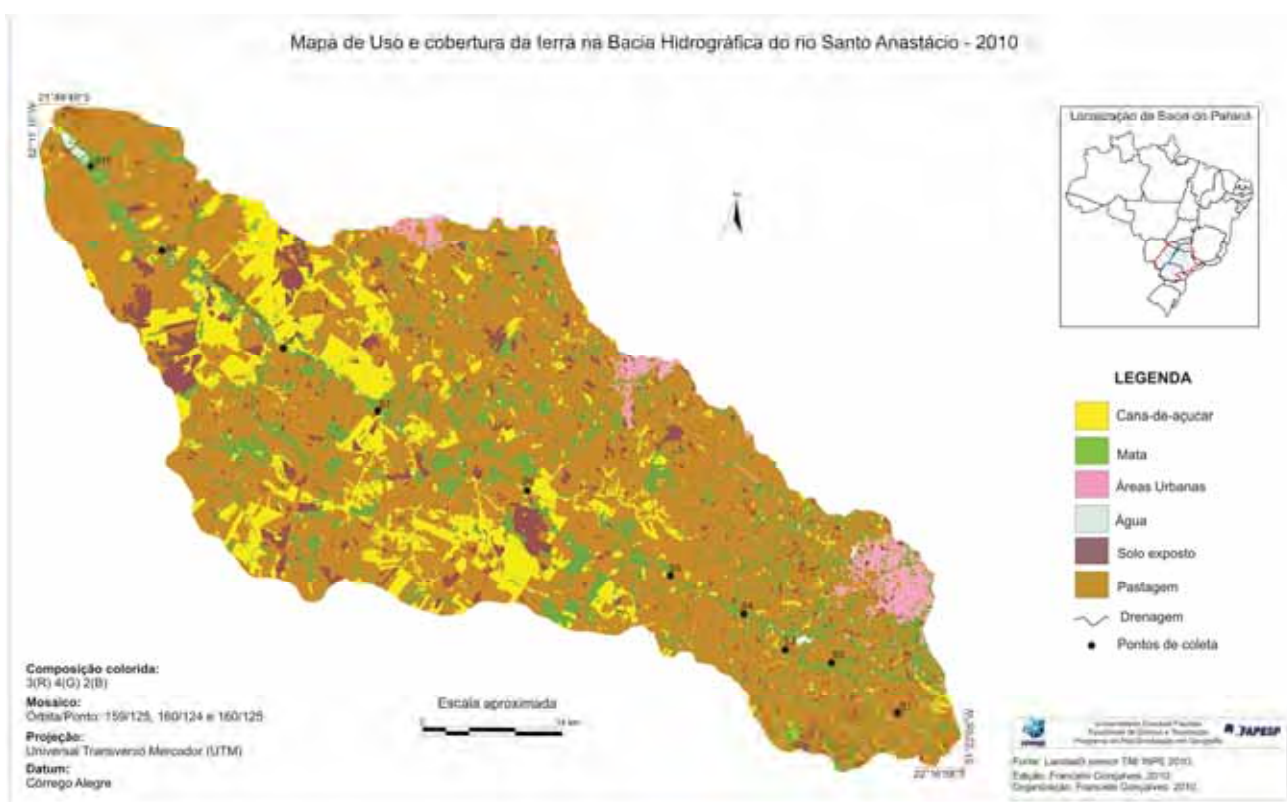
Santo Anastácio, devido à influência da construção do reservatório da Usina Hidrelétrica Porto Primavera, a qual elevou o nível da água.

A classe temática áreas urbanizadas aparece em 2,51% da área e é representada principalmente pelos municípios de Presidente Prudente, Santo Anastácio e Presidente Venceslau.

Após avaliação sistemática e quantificação do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, notou-se que no alto curso da bacia predomina o uso de pastagem, alguns tipos de culturas, como café e cana-de-açúcar, vegetação natural principalmente próximo aos afluentes, algumas reservas e florestas plantadas, além da grande extensão de uso urbano caracterizando o núcleo urbano de Presidente Prudente.

Já no médio curso da bacia observa-se extensas áreas de cultivo e plantio de cana-de-açúcar, além de solo exposto, e alguns remanescentes de vegetação natural, encontra-se também áreas urbanas, como o município de Santo Anastácio.

No baixo curso da bacia é comum encontrarmos áreas de pastagem mais secas, muito similar na interpretação visual com solo exposto e áreas de vegetação natural. Além da classe água notada principalmente devido ao represamento do rio Paraná em Porto Primavera. Observa-se também uso urbano, caracterizando a cidade de Presidente Venceslau (Figura 29).



**Figura 29:** Mapeamento do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio

#### 4.1.2.1 Índice Kappa e a validação do mapeamento

O mapa temático resultante da classificação foi comparado à verdade de campo, sendo o resultado desta comparação demonstrado através da matriz de confusão e do Índice de Kappa – IK .

Com os dados do campo, um total de 293 pontos registrados, executou-se o treinamento e classificação da imagem, cruzando-os no SPRING®. Foram criadas duas matrizes, e a partir delas, criou-se uma tabela de validação que serviu para calcular o erro total, como também o Índice Kappa. A tabulação consiste na representação das coincidências ou não entre os valores dos mapas (Tabela 2).

**Tabela 2:** Matriz de erros- Índice Kappa.

Matriz de erros							
	Urbano	Solo exp.	Pastagem	Culturas	Mata	Água	Total
Urbano	53	4	2	0	0	0	59
Solo exp.	2	49	5	2	0	0	58
Pastagem	1	2	40	4	3	0	50
Culturas	0	1	4	68	4	0	77
Mata	0	1	2	5	36	0	44
Água	0	0	0	0	0	5	5
Total	56	57	53	79	43	5	293

**Fonte:** Banco de dados SPRING®

O erro total do mapeamento foi obtido a partir da seguinte equação:

$$E = 1 - (251/293)$$

$$E = 0,15$$

Onde: 1 é uma constante; 251 é a somatória dos valores das correspondências, ou seja, a diagonal; e 293 é o total dos pixels.

O resultado final (0,15) correspondente aos erros e pode ser considerado muito bom, uma vez que um erro expressivo corresponde a um valor próximo ou igual a 1. Silva (2003) corrobora com o resultado ao afirmar que “para garantir a qualidade dos dados de um SIG, é

indispensável que sejam realizados testes para garantir a acurácia dos dados, uma vez que é praticamente impossível um SIG trabalhar com dados exatos”.

Após o cálculo de erros, calculou-se o Índice Kappa, com os valores da matriz. O índice é calculado pela seguinte expressão:

$$I_k = (D - Q) / (T - Q)$$

Onde:

**D** corresponde ao total de pixels com correspondência entre os trabalhos de campo e aqueles interpretados, total de **251**;

**T** corresponde ao total de pixels examinados **293**;

**Q** é o resultado da expressão que envolve a multiplicação dos valores totais (horizontal e vertical) de cada uma das classes, dividido pelo total dos pontos coletados. Assim, **Q = 58,90**.

$$I_k = (251 - 58,90) / (293 - 58,90)$$

$$I_k = 0,82$$

O resultado do IK mostrou-se satisfatório, uma vez que, de acordo com os valores de referência recomendado pela “escala de importância”, proposta por Landis e Koch (1977) apud Silva (2003) para avaliar o Índice Kappa, valores entre 0,81 a 1,00 são considerados excelentes.

## **4.2 Características do canal fluvial e das seções amostradas**

### **4.2.1 Perfil longitudinal do rio**

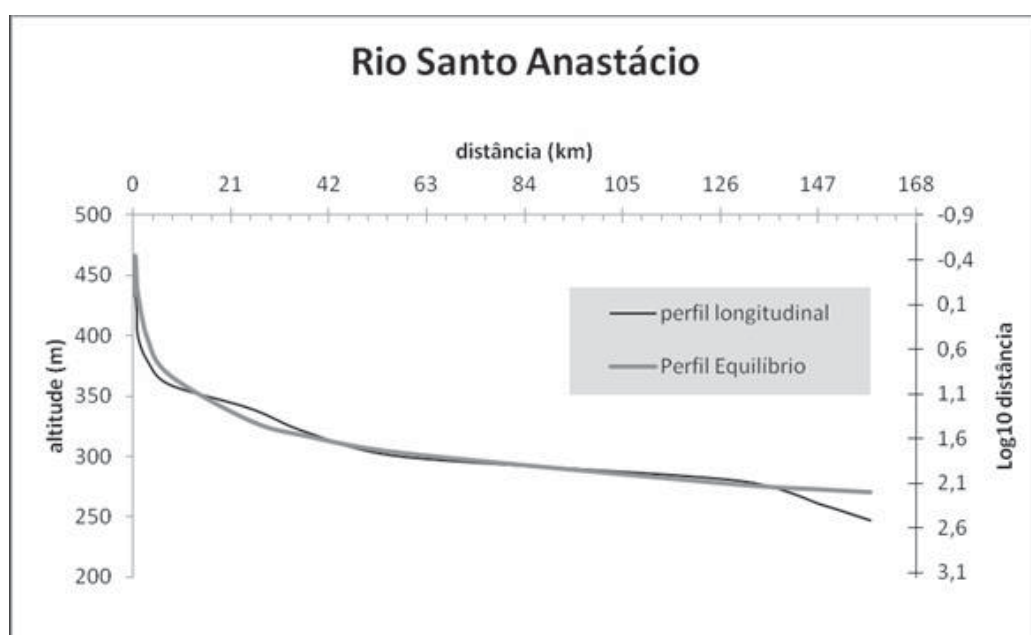
Os perfis longitudinais de drenagem são elaborados sob a forma de gráficos de coordenadas cartesianas e incluem uma linha de melhor ajuste (best fit line) simulando a situação ideal de um rio equilibrado. Acredita-se que o limiar adotado para a definição dos trechos anômalos (afastamentos iguais ou superiores a 10 m da linha de melhor ajuste) representa um valor seguro para a detecção e a delimitação das anomalias morfométricas mais

significativas, revelando prováveis deformações de carácter neotectônico (GUEDES, et al., 2006).

Chistofolletti (1981) afirma que o perfil longitudinal de um rio mostra a sua declividade, ou gradiente, sendo a representação visual da relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso d'água. Em muitos rios, a curva representativa desta relação tem forma parabólica delineando uma concavidade voltada para o céu, na qual os gradientes diminuem em direção à jusante. A declividade do canal, em qualquer ponto de análise, simplesmente tangencia o perfil do referido local.

Para Chistofolletti, 1981 as variações no perfil longitudinal do rio e a curva de equilíbrio, diz respeito aos níveis de base local. Considerando a posição chave assumida pelo conceito de nível de base no contexto da teoria davisiana, esta noção tornou-se importante nos estudos de geomorfologia fluvial desenvolvidos sob a perspectiva analítica cíclica. Considerado como ponto controlador da carga erosiva acumulada toda e qualquer mudança na posição do nível de base, ocasiona uma retomada de erosão através do entulhamento do canal, que gradualmente se desenvolve ao longo dos cursos d'água; em direção a montante, resultando em perfis fluviais multicíclicos.

A elaboração do perfil longitudinal do rio Santo Anastácio teve como base os dados topográficos das folhas em escala 1: 50.000 editadas pelo IBGE (folhas Pirapozinho, Presidente Prudente, Presidente Bernardes, Santo Anastácio, Marabá Paulista, Presidente Venceslau e Presidente Epitácio) e a equidistância entre as curvas de nível é de 20 m (Figura 30).



**Figura 30:** Perfil longitudinal do rio Santo Anastácio e respectiva curva de equilíbrio (SUIZU,2011)

Considerando as afirmações feitas por Guedes *et al.* (2006) acerca de possíveis deformações neotectônicas detectadas no curso principal, o rio Santo Anastácio possui dois trechos que podem ser destacados: o primeiro, entre as cotas 355-320 m, constitui uma zona em ascensão pelos critérios adotados pelo autor; o segundo, já no trecho final, próximo à foz do rio Paraná, mostra-se subsidente.

É válido ressaltar que na calha aluvial no baixo curso do rio Santo Anastácio, na área de gradiente mais inclinado, há um trecho de alta sinuosidade, indicando que o aprofundamento do talvegue levou à formação de expressivos depósitos de terraços aluviais, mapeados por Stein 1999 apud Guedes *et al.*, 2006.

Ao analisar o perfil do rio Santo Anastácio, se faz necessário considerar a alteração e influência no nível d'água nesta região decorrente da construção do lago da Usina de Porto Primavera, visto que a cota média da barragem é de 257 m.

Contudo, de modo geral, o perfil longitudinal do rio Santo Anastácio apresentou-se razoavelmente ajustado, havendo apenas duas mudanças bruscas, uma em seu baixo curso e outra próxima à zona de cabeceiras de drenagem.

#### **4.2.2 Morfologia e morfometria do canal**

Diferentes padrões de canal fazem parte de um contínuo, determinado pelas condições de energia em relação à construção local da forma do canal. Do ponto de vista do perfil longitudinal do rio, tanto as áreas erosivas e deposicionais quanto padrões de canal podem ser explicados tomando-se como base os princípios e leis que reagem à dinâmica fluvial ao longo perfil longitudinal dos rios e a busca do equilíbrio. Deste modo, são comuns áreas erosivas no trecho superior, caracterizam-se por cabeceiras de drenagem e possuem alta declividade, com um canal único e encaixado, pequena ou até inexistente planície de inundação. Já as áreas de transporte e áreas deposicionais são encontradas nos trechos médios e inferiores do rio, caracterizam-se por um trecho meandrante, com um canal único, mas migrante e possui uma extensa planície de inundação. (WARD & STANFORD, 1995)

Com relação à morfologia dos rios meandrantos, esses exibem um canal único, com altos índices de sinuosidade, transportando predominantemente carga em suspensão e mista. O padrão erosivo nas margens côncavas e deposicional nas margens convexas (MIALL, 1977).

A presença de declividades setorizadas influi na diferenciação da sinuosidade do rio Santo Anastácio. Há trechos encaixados à montante, mais declivosos pelo fato do canal estar

encaixado na rocha, o que condiciona o canal a uma baixa sinuosidade. Ao longo de seu canal nota-se diferentes índices de sinuosidade, no entanto pode-se observar predominantemente o caráter de rio meandrante (SUIUZU, 2011).

#### **4.2.3 Caracterização das seções amostradas**

As seções de análise e amostragens no campo foram realizadas no canal principal do rio Santo Anastácio e estão espacializadas na figura 31.



Figura 31: Localização das seções.



#### 4.2.3.1 Seção de amostragem 1

Indicada na figura 31 p.96, como S1 esta seção de amostragem pertence à região de nascentes do rio Santo Anastácio, localizada entre as coordenadas 22°13'53'' de latitude Sul e 51°22'40'' de longitude Oeste. Nela observa-se a predominância de vegetação rasteira e de pequeno porte próximo ao canal. Em sua jusante, o ponto amostrado revela grandes áreas destinadas à pecuária.

Como se pode observar nas fotos da figura 32, o canal fluvial nesta seção estreito e raso, com largura média de 3,40 metros no período amostrado. Sua profundidade e largura relacionam-se diretamente com as estações climáticas atuantes no período de amostragem, sendo assim, é possível notar épocas de cheias em períodos chuvosos (no verão) e diminuição dessas variáveis nos períodos de estiagem (no inverno). A maior profundidade do canal nesta seção foi de 40 cm, dado obtido no mês de outubro, período em que ocorreram chuvas concentradas na região, em dias que antecederam a coleta de dados. A média de profundidade do ponto mais fundo no canal da seção 1 foi igual a 18 cm.



**Figura 32:** Fotos da seção de amostragem 1  
**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

#### 4.2.3.2 Seção de amostragem 2

A seção 2 de amostragem encontra-se indicada como S2 na figura 31 p.96, e é divisa político-administrativa dos municípios de Presidente Prudente e Pirapózinho, localiza-se na coordenada 22°12'16'' latitude Sul e 51°26'03'' longitude Oeste.

Esta seção está inserida na área de nascentes do rio Santo Anastácio, e é seccionada pela Rodovia Assis Chateaubriand (Figura 33), a qual possui intenso fluxo de veículos de passeio e caminhões, o que torna esse corpo hídrico mais vulnerável a contaminação por

produtos químicos decorrentes de acidentes de trânsito com veículos que transportam cargas contaminantes. Nas proximidades da seção é possível notar o uso da terra para fim agropecuário.

A seção é estreita e pouco profunda, foi possível notar um afloramento de rocha no canal, o que acelera o fluxo da água e permite um acréscimo de energia ao rio. A largura do canal é em média 10,30 m. A profundidade média predominante no período amostrado foi de 70 cm, no entanto, obteve-se a profundidade de 6,80 m no mês de outubro, período em que ocorreram episódios de chuvas intensas (inclusive em dias que antecederam a coleta), este evento alterou as características da seção, resultando em uma mudança significativa na média final de profundidade do canal fluvial neste ponto.



**Figura 33:** Fotos da Rodovia Assis Chateaubriand e Seção 2.

**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

#### 4.2.3.3 Seção de amostragem 3

Indicada na figura 31 como S3, esta seção identifica-se como uma represa denominada popularmente como “Represa da CICA”, onde era anteriormente utilizada por essa indústria Companhia Industrial de Conservas Alimentícias (Figura 34). Por aproximadamente 30 anos a represa é utilizada pela SABESP com finalidade de abastecimento público do Município de Presidente Prudente.

A seção 3 situa-se na coordenada 22°10'38'' de latitude Sul e 51°28'55'' longitude Oeste. Seu entorno atualmente está isolado, no entanto por muito tempo seu uso foi destinado à pecuária. É possível notar alguns processos erosivos próximos a essa seção, além da ausência de vegetação ciliar.



**Figura 34:** Fotos da seção 3, reservatório de abastecimento de água de Presidente Prudente.  
**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

#### 4.2.3.4 Seção de amostragem 4

A seção 4 de amostragem pertence ao município de Álvares Machado, à qual se teve acesso pela Estrada Municipal Coronel Goulart, esta é identificada como S4 na figura 31, e localiza-se geograficamente na coordenada 22°10'00'' latitude Sul e 51°32'16'' longitude Oeste. É possível notar a presença de sedimentos na margem do canal e a tímida existência de mata ciliar neste trecho do rio (Figura 35).

Nesta seção é possível observar um considerável alargamento do canal fluvial, que passa a possuir em média a largura de 10,30 metros e uma coluna de água no ponto mais profundo da seção de 1,11 metros em média.



**Figura 35:** Fotos da seção de amostragem 4.  
**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

#### 4.2.3.5 Seção de amostragem 5

A seção de amostragem 5 encontra-se entre os municípios e Álvares Machado e Santo Anastácio, com acesso ao trecho estudado pela Estrada Municipal Nova Pátria. Esta seção é pertencente ao médio curso do rio estudado, e localiza-se na coordenada 22°07'75'' latitude Sul e 51°36'43'' longitude Oeste, identificada na figura 31 como S5.

Neste trecho o canal fluvial possui em média a largura de 19,85 metros e uma coluna de água média de 7,73 metros no ponto mais profundo da seção amostrada. Observa-se a presença de vegetação arbórea mais adensada em sua margem direita e vegetação rasteira a margem esquerda (Figura 36). Nesta seção o canal fluvial possui característica erosiva em sua margem direita e deposicional a margem esquerda, formando um grande banco de sedimento já ocupado por vegetação rasteira.



**Figura 36:** Fotos da seção 5 de amostragem.  
**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

#### 4.2.3.6 Seção de amostragem 6

Localizada na região político-administrativa de Santo Anastácio, têm-se acesso à seção de amostragem 6 pela Rodovia SPV 029, este trecho amostrado pode ser identificado na figura 31 como S6 e encontra-se na coordenada 20°05'08'' latitude Sul e 51°43'77'' longitude Oeste.

Neste trecho o canal fluvial torna-se ainda mais largo e pouco profundo, nas amostragens de junho, agosto e dezembro de 2010 registrou-se o aparecimento de barras de sedimentos acumulados no canal do rio (Figura 37).

Nas campanhas realizadas obteve-se a média de 34,55 metros de largura e uma coluna de água de 1 metro em média na parte mais profunda da seção.





**Figura 37:** Fotos da seção 6 de amostragem.  
**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

Esta seção está inserida no médio curso do rio, possui velocidades de fluxo menores e um grande acúmulo de sedimento ao longo deste trecho. É importante observar ainda a inexistência de vegetação ciliar, o que facilita a chegada de sedimentos no canal fluvial (Figura 37). Seu entorno é predominantemente ocupado pelo cultivo da cana-de-açúcar.

#### 4.2.3.7 Seção de amostragem 7

O trecho de amostragem 7 pode ser identificado na figura 31 como S7, localizado sob as coordenadas 22°01'37'' latitude Sul e 51°53'30'' longitude Oeste, situa-se no município de Presidente Venceslau, o qual teve-se acesso pela Rodovia Euclides de Oliveira Figueiredo.

Nesta seção durante o período de amostragem a média da largura do canal foi de 21,9 metros e sua coluna de água permaneceu em média com 1,85 metros de altura no ponto mais profundo do canal.



**Figura 38:** Fotos da seção 7 **Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

Como se observa na figura 38 não há presença de vegetação ciliar nas proximidades deste trecho, além da existência de uma draga que extrai areia da margem esquerda do rio, aumentando o impacto negativo sobre o ambiente aquático. O uso da terra do entorno desta seção caracteriza-se pelo cultivo de cana-de-açúcar. Na campanha de agosto foram registrados depósitos sedimentares elevados (barras) no canal fluvial.

#### 4.2.3.8 Seção de amostragem 8

Inserido na região político-administrativo de Presidente Venceslau, com acesso a área de amostragem 8 pela rodovia SPV-020. Esta seção pode ser visualizada na figura 31 como S8, cujas coordenadas geográficas de localização são: 21°58'96''latitude Sul e 51°58'13''longitude Oeste.

Esse trecho pertence ao baixo curso do rio Santo Anastácio, e durante o período amostrado registrou-se uma largura média do canal de 36,9 metros e uma coluna de água em média de 2,55 metros de altura no ponto mais profundo desta seção. Apesar de haver vegetação ciliar neste trecho do rio, há um grande aporte de sedimento que chega nesta seção, como pode ser notado na figura 39, Nos meses de junho e agosto registrou-se a presença de barras de sedimento no canal fluvial.



**Figura 39:** Fotos da seção de amostragem 8.  
**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

#### 4.2.3.9 Seção de amostragem 9

A seção 9 de amostragem pode ser identificada como S9 na figura 31, esta se localiza nas coordenadas 21°55'57'' de latitude Sul e 52°05'22'' de longitude Oeste, e situa-se nos limites do município de Caiuá.

No período amostrado este trecho teve em média a largura de 38 metros e uma coluna de água de 2,36 metros de altura no ponto mais profundo da seção. Como pode-se observar na figura 40 há vegetação ciliar neste trecho do rio, no entanto é possível notar também um grande volume de sedimento inconsolidado próximo as suas margens, essencialmente á direita.



**Figura 40:** Fotos da seção 9 de amostragem.

**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

#### **4.2.3.10 Seção de amostragem 10**

Localizada nos limites do município de Presidente Epitácio, nas coordenadas 21°50'19'' de latitude Sul e 52°09'29'' de latitude Oeste, a seção de amostragem 10 encontra-se muito próxima da foz do rio Santo Anastácio, que deságua na margem esquerda do rio Paraná. Este trecho do rio sofre influência direta do lago da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, nota-se o alagamento que ocorreu nesta área devido o aumento das cotas no rio Paraná.

Nesta seção de amostragem o fluxo do canal fluvial é muito lento. No período de coleta de dados registrou-se a largura média de 100, 1 metros neste trecho e uma coluna de água de 10,74 metros no ponto mais profundo desta seção, bem maior dos que as seções anteriores (Figura 41).



**Figura 41:** Fotos da seção de amostragem 10.

**Fonte:** GONÇALVES, F. Pesquisa de Campo.

### 4.3 Canal fluvial: largura, profundidade, velocidade e vazão

Apresentam-se na tabela 3 as principais características quanto à largura, profundidade, velocidade e vazão ao longo do rio Santo Anastácio.

**Tabela 3:** Médias de largura, profundidade, velocidade e vazão ao longo do período amostrado.

Seções	Largura med. (m)	Profundidade med. (m)	Velocidade (m/s)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
S1	3,40	0,18	0,638	0,2818333
S2	10,30	0,70	0,831	17,244
S3	-	-	-	-
S4	10,30	1,11	0,332	17,033
S5	19,85	7,73	0,726	44,781
S6	34,55	1,00	0,804	59,584
S7	21,9	1,85	0,788	74,8979
S8	36,9	2,55	0,688	126,9784
S9	25,0	2,36	0,163	41,4313
S10	100,1	10,74	0	0

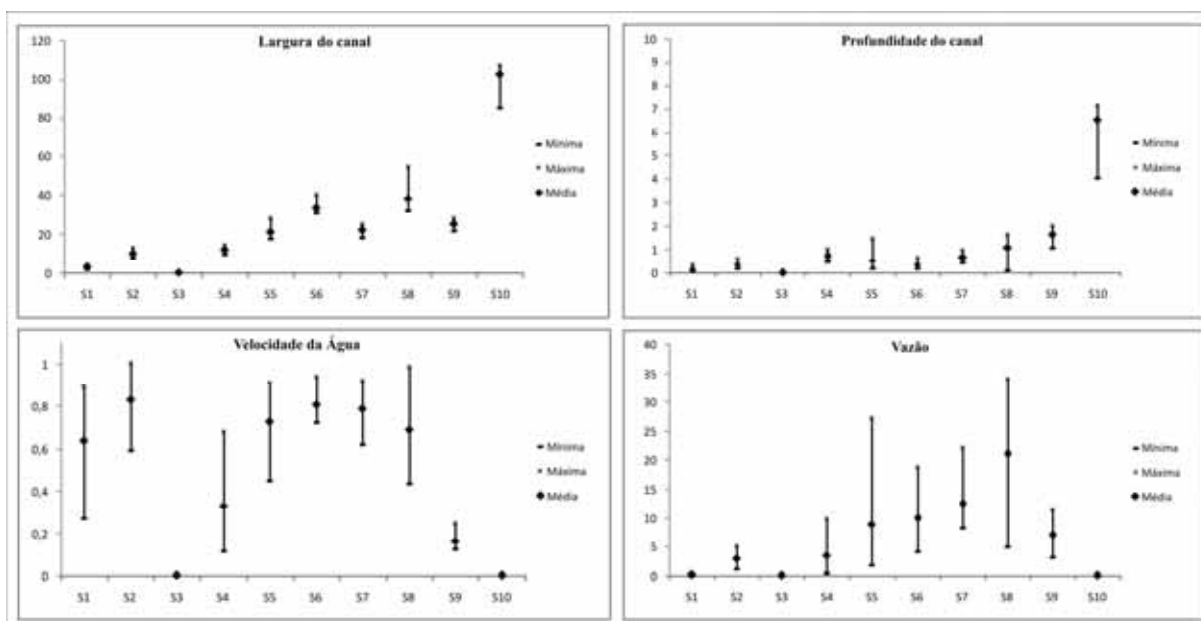
**Fonte:** Pesquisa de Campo.

**Organização:** GONÇALVES, F.

Como esperado, devido à perda de gradiente e energia o rio tende a tornar-se mais largo sentido à sua foz. Observa-se na tabela 3 que o rio possui largura estreita em sua nascente, esses valores aumentam até a seção 6, onde ocorre um estreitamento na seção 7 e posteriormente um alargamento, a geologia local contribui para isso visto do rio encontra-se nas seções 8 e 9 sobre depósitos aluviais. Nota-se que o canal aumenta consideravelmente na



ultima seção devido o represamento do rio Paraná com a construção da usina hidrelétrica de Porto Primavera (Figura 42).



**Figura 42:** Máxima, mínima e média das variáveis largura, profundidade, velocidade e vazão do canal. **Fonte:** Pesquisa de Campo. **Org:** GONÇALVES, F.

Assim como a largura, a profundidade manteve-se com valores médios mais elevados no sentido da foz do rio, como pode ser visto na figura acima, as seções 5, 8, 9 e 10 são as mais profundas desse canal fluvial.

Quanto aos valores de velocidade da água, as seções 3 e 10 possuem água represada e por isso sua velocidade é nula. Nota-se também que os valores mais elevados estão próximos às nascentes, visto que o relevo nesta área é um pouco mais acidentado e colinoso. Do médio curso até a foz a tendência da velocidade é diminuir, justifica-se este fato por nesta área existirem colinas mais amplas, com relevo mais aplainado, além de que são nessas seções onde o rio Santo Anastácio encontra-se mais assoreado.

As seções 4 e 9 são caracterizadas pela presença de grandes barras de acúmulo de sedimento e pela sinuosidade do canal, o que diminui a velocidade do fluxo da água. Os valores médios registrados no período de amostragem ficaram entre 0,688 m/seg na seção 8 e 0,831 m/seg na seção 2, além das velocidades nulas das seções 3 e 10 (Figura 42).

A vazão calculada é o volume de água que passa por determinada seção por uma unidade de tempo, ou seja, vazão é a rapidez com a qual a água flui no rio. Os valores de vazão dependem diretamente da velocidade de fluxo e da área do canal na seção amostrada. No

canal do rio Santo Anastácio obteve-se as maiores vazões nas seções 2, 6 e 7 como pode ser notado na tabela 3. Com exceção das seções 3 e 10 que não obteve valores de vazão e as seções 4 e 9 que apresentaram valores menores, as demais valores mantiveram-se entre 0,638 e 0,831 m/s<sup>2</sup>.

#### **4.4 Análise espaço-temporal das variáveis limnológicas no canal fluvial**

Apresenta-se aqui a característica limnológica do canal principal do rio Santo Anastácio, ou seja, as variáveis químicas e físicas da água levantadas na pesquisa são elas: temperatura da água, pH, condutividade elétrica, turbidez, sólido suspenso e oxigênio dissolvido.

##### **4.4.1 Temperatura do ar e da água**

Para Von Sperling (1996), a temperatura mede a intensidade de calor, sua origem natural é a transferência de calor por radiação, condução e convecção. A temperatura influi no retardamento ou aceleração de atividades biológicas, crescimento e reprodução de peixes e plantas, além de influenciar na absorção de oxigênio.

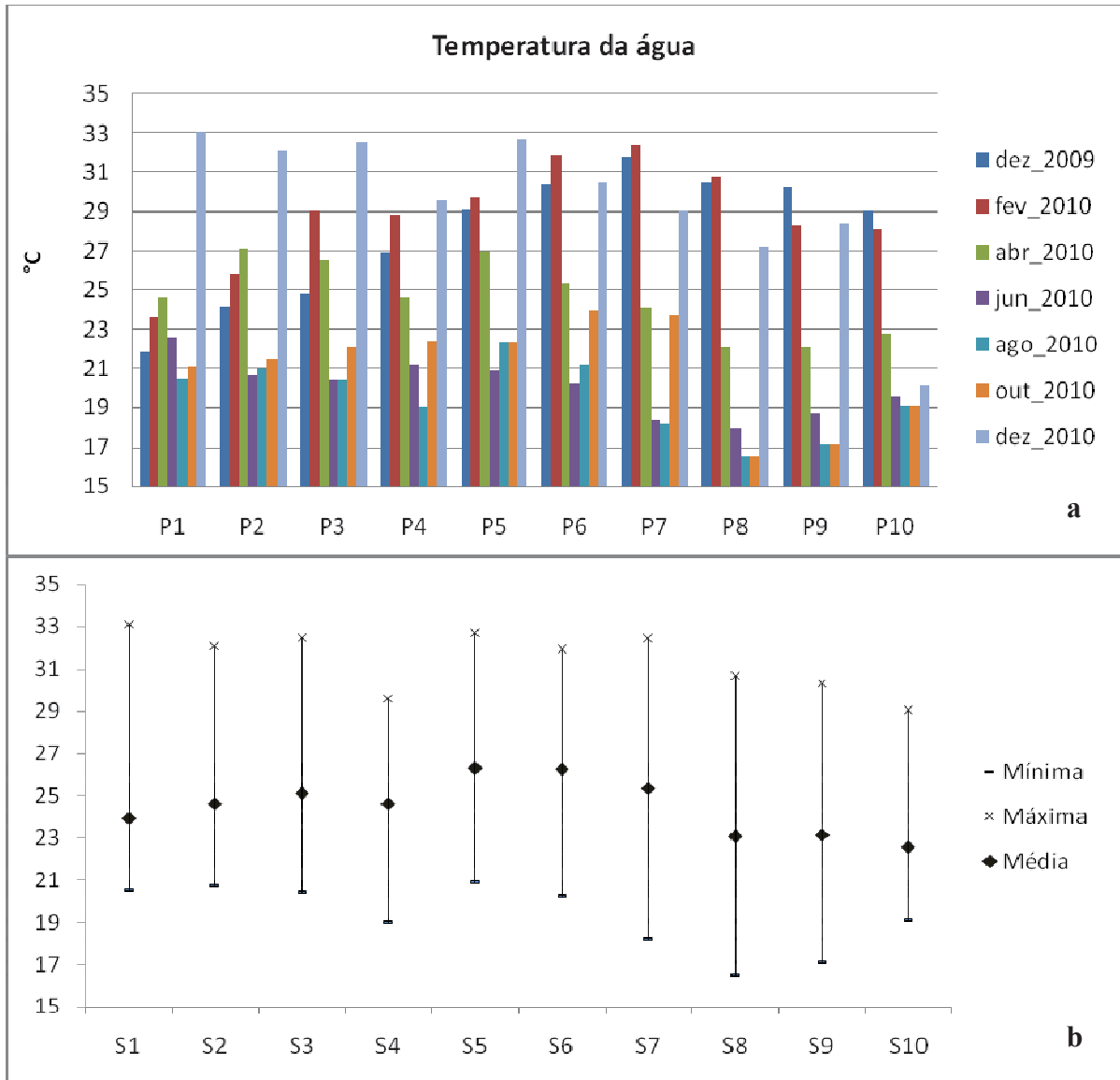
A temperatura tem um efeito direto sobre a taxa das reações químicas, e funções enzimáticas dos organismos, portanto as atividades biológicas dos organismos aquáticos sofrem constantes alterações decorridas das freqüentes modificações comportamentais do meio, como quando há elevação da temperatura, que no caso os obriga a consumir mais oxigênio, reduzindo sua concentração na água, pelo próprio processo físico. (ESTEVES, 1998).

Quanto aos dados de temperaturas da água aferidos em campo, tendo em vista que as coletas ocorreram nas estações de inverno e verão, pode-se verificar na Figura 43 (a), sua manutenção em níveis medianos considerando essa sazonalidade estacional.

A temperatura varia em diferentes corpos de água em função de flutuações sazonais, sendo influenciada pela latitude, altitude, época do ano, hora do dia, e profundidade. Essas variações acontecem de forma gradual, uma vez que, a água pode absorver ou mesmo perder calor sem alterações significativas. Os valores de temperatura da água geralmente variam de acordo com a temperatura do ar, por isso são mais elevadas na estação de verão, como nos meses de dezembro, fevereiro e abril considerando os períodos amostrados.

A temperatura da água mostrou-se espacialmente homogênea, havendo apenas pequenas variações entre as seções, onde observou-se um ligeiro aumento de temperatura no médio curso, visto que a coleta de dados nessas seções ocorria nos horários de maior intensidade solar, ou seja, entre as 11 e 15 horas .

Nas campanhas realizadas as menores temperaturas ocorreram nos meses de junho, agosto e outubro e a maior temperatura foi registrada no mês de dezembro de 2010 com 33,1°C. As médias entre as seções amostradas ficaram entre 22,54°C e 26,28°C (Figura 43 b).



**Figura 43:** Temperatura da água - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima.  
**Fonte:** Pesquisa de campo. **Org:** GONÇALVES, F.

A temperatura é um fator determinante no direcionamento das reações que afetam os processos químicos, físicos e biológicos. Sua variação pode afetar a quantidade de oxigênio dissolvido na água (oxigênio dissolvido é menor em temperaturas maiores), pH, e os processos metabólicos dos organismos aquáticos (ESTEVES, 1998).

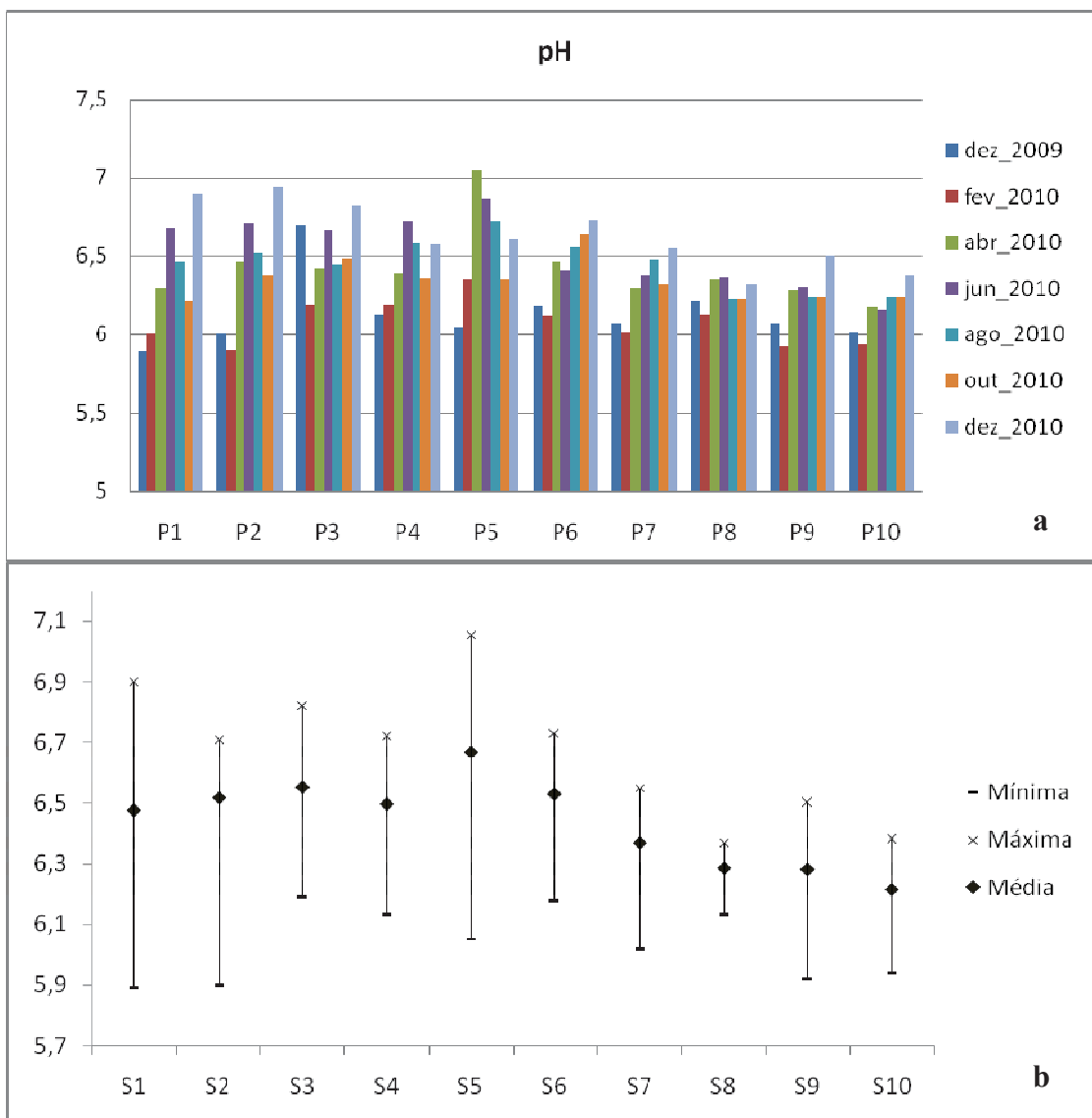
#### 4.4.2 Potencial hidrogeniônico - pH

O pH representa a concentração de íons e hidrogênio  $H^+$  indicando o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Os valores de pH podem variar entre 0 e 14, nos corpos aquáticos variam entre 3 e 9 (ESTEVEZ, 1998). Além disso, a resolução CONAMA 357/05 dispõe em seu capítulo III das condições e padrões de qualidade das águas, seção 1 das Águas Doces de classe 1, que os valores de pH devem estar entre 6 a 9.

Segundo Von Sperling (1996) os valores de pH afastados da neutralidade podem comprometer a vida aquática. Nesta perspectiva, as amostras coletadas no rio Santo Anastácio demonstram valores de pH aproximam-se da neutralidade, sinalizando um aspecto positivo deste indicador com relação à qualidade ambiental da água.

Nas amostras de água coletadas no rio Santo Anastácio as concentrações de íons de hidrogênio apresentam-se de forma bastante homogênea espacial e sazonalmente, os valores variaram entre 5,9 e 7,05, como se vê na figura 44(a).

O gráfico da figura 44(b) é capaz de mostrar a sutileza da variação de pH nas seções durante o período amostrado, a partir dele podemos observar, que os valores máximos foram obtidos nas seções 1, 3 e 5. Podemos notar também que a seção 5 e 6 obtiveram as médias mais elevadas desta variável limnológica, entre 6,5 e 6,7. Os valores de pH são considerados normais quando comparados com dos ambientes lóticos associados ao rio Paraná (ROCHA, 2002).



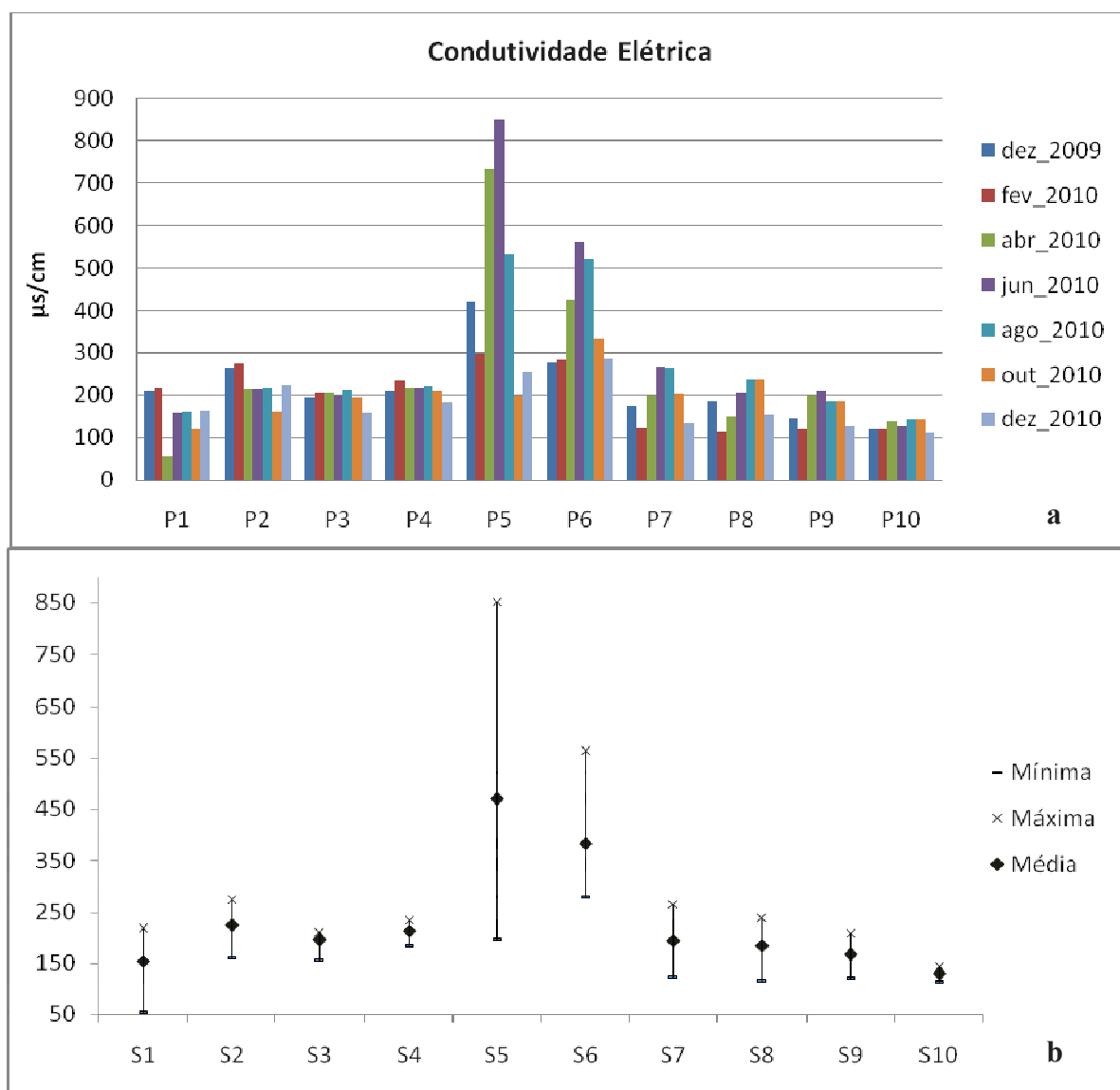
**Figura 44:** Potencial hidrogeniônico - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima.  
**Fonte:** Pesquisa de campo. **Org:** GONÇALVES, F.

#### 4.4.3 Condutividade elétrica

Os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são: o cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos. O parâmetro condutividade elétrica contribui para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia hidrográfica, principalmente os ocasionados por lançamentos de resíduos que contenham esses elementos químicos, influenciam também neste parâmetro. Além de partículas de solo que são carregadas para o curso d'água, considerando que estas partículas possuem vários minerais que contribuem para o aumento da condutividade elétrica no canal. (MORAES, 2001).

Na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio os valores de condutividade elétrica variaram de 55,5  $\mu\text{s}/\text{cm}$  em abril na seção 1 a 852  $\mu\text{s}/\text{cm}$  na seção 5 em junho, como se pode ver no gráfico da Figura 45 (a).

No período amostrado, nota-se certa homogeneização nos valores de condutividade elétrica, com exceção das seções 5 e 6, onde os valores são consideravelmente mais elevados se comparados com as outras seções.



**Figura 45:** Condutividade elétrica- (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima.

**Fonte:** Pesquisa de Campo. **Org:** GONÇALVES, F.

Nota-se ainda no gráfico da figura 45 (b) que essa variável limnológica possui baixos valores na região de nascente, que os mesmos começam a se elevar a partir do médio curso, ou seja, nas seções 5, 6 e 7. Na seção 5 obtiveram-se os valores mais elevados na mínima,

média e máxima, seguida da seção 6. No decorrer do canal fluvial no sentido à foz os valores dessa variável voltam a se homogeneizar e ficam próximos da média de 200  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

Nas seções 5 e 6 pode-se observar a predominância da Formação Adamantina que se caracteriza por possuir arenitos, siltos arenosos, arenitos argilosos essas propriedades podem de certa forma interferir nos valores de condutividade elétrica da água. Porém os valores de condutividade encontrados nestas seções são muito superiores as demais, indicando a possível presença de fontes de efluentes.

Os resultados apresentados acima corroboram com Esteves, 1998 o qual afirma que condutividade elétrica tende a aumentar com a elevação da temperatura e com a maior concentração de íons dissolvidos. O autor ainda explica que, os íons mais diretamente responsáveis pelos valores de condutividade elétrica são os denominados macronutrientes como: cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato, cloreto, etc. A condutividade elétrica apresentou valores mais elevados nas seções 5,6 e 7, se comparadas aos valores amostrados longo do rio Santo Anastácio.

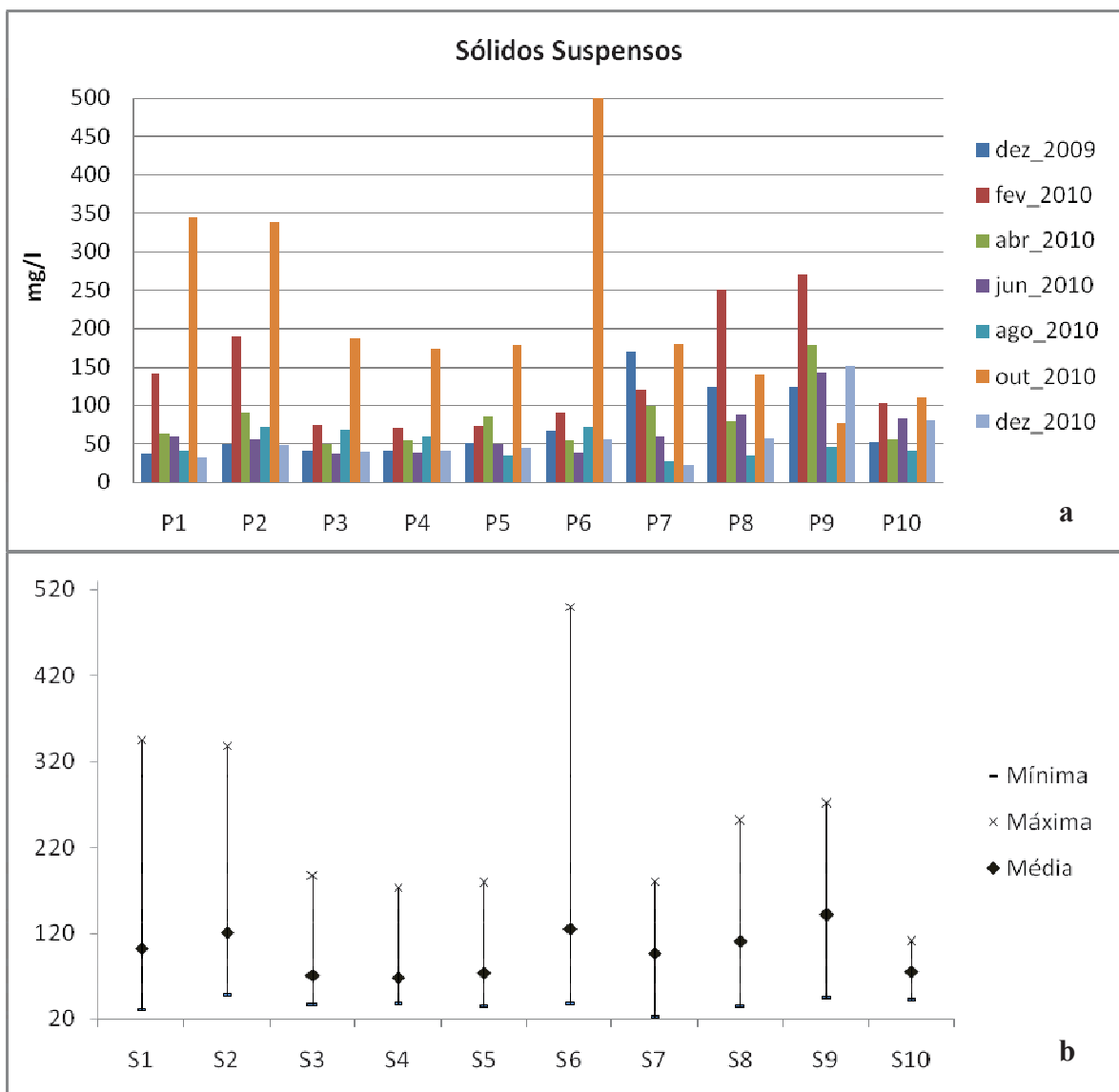
#### **4.4.4 Sólidos suspensos**

Este parâmetro obteve valor mínimo de 23 mg/l na seção 7 em dezembro de 2010 e o valor máximo de 499,75 mg/l na seção 6 no mês de outubro (Figura 46 a). A média desta variável foi de 98 mg/l ao longo do canal fluvial no período amostrado, nota-se que as maiores médias foram registradas a partir da seção de amostragem 6.

Os valores referentes aos sólidos suspensos apresentaram, de modo geral, uma tendência de elevação em seus níveis no sentido nascente-foz do rio Santo Anastácio como se observa na figura 46(b). Quando analisados sazonalmente nota-se as elevações nos registros de sólido suspenso nos meses de fevereiro e outubro.

Nas seções 8, 9 e 10, há o predomínio de um relevo mais tênue e plainado, com colinas e planícies aluviais. Geologicamente é composto pelas formações Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá. No que se refere aos tipos de solos, esta região possui Argissolos Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro. Essa região do baixo curso resulta no acúmulo e resposta do rio desde suas nascentes. Neste sentido, observou-se principalmente a alteração dos valores de sólido suspenso, estas variáveis limnológicas se alteraram espacialmente, e aumentam no sentido à foz do rio Santo Anastácio.





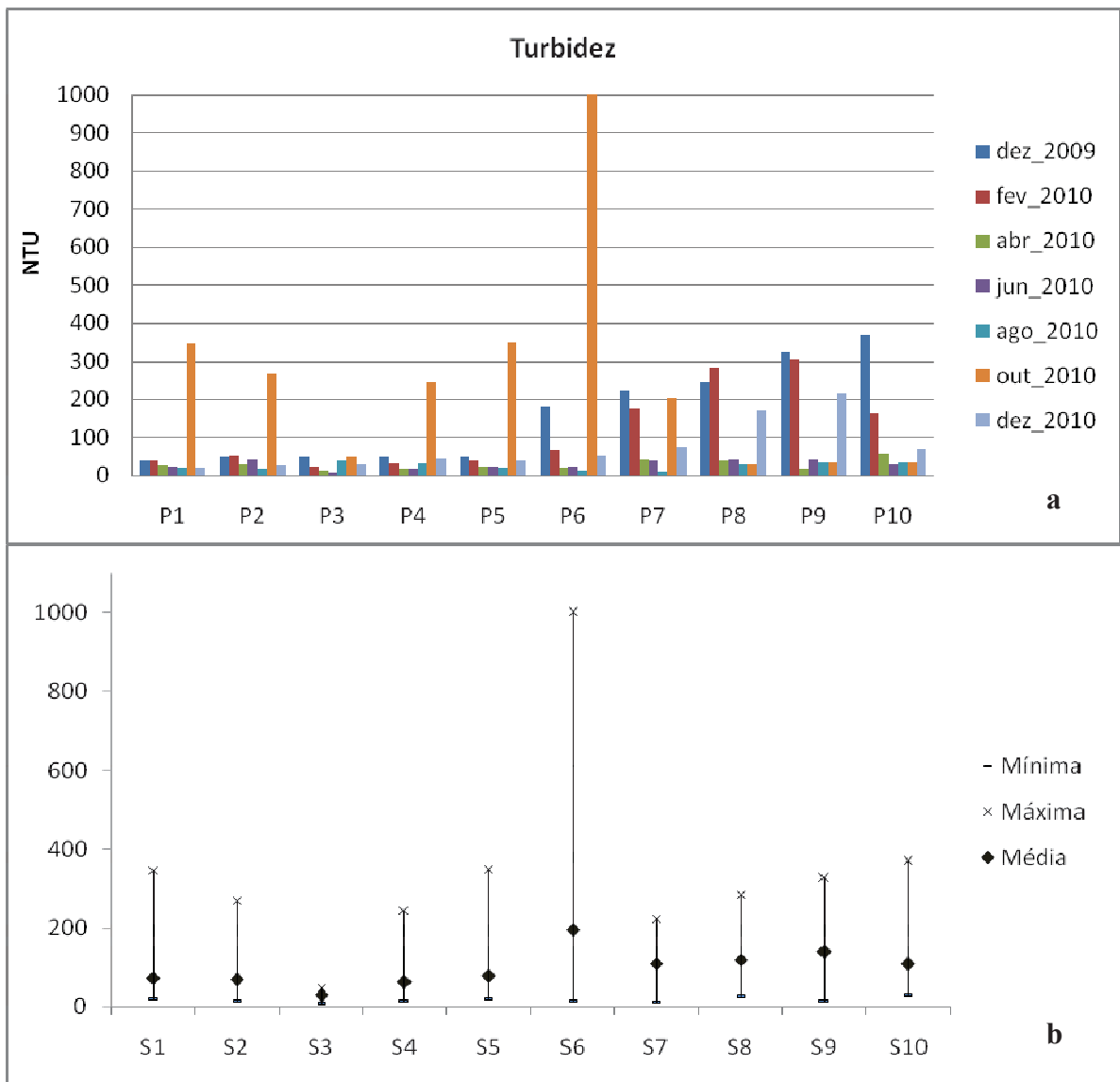
**Figura 46:** Sólido suspenso - **(a)** valores absolutos. **(b)** média, máxima e mínima.  
**Fonte:** Pesquisa de Campo. **Org:** GONÇALVES, F.

#### 4.4.5 Turbidez

A origem de materiais que interferem nos índices de turbidez da água são principalmente partículas de solo, provenientes das vertentes, que são ocupadas de forma irregular, sem técnicas conservacionistas ocasionando a exposição do solo e conseqüentemente provocando no ambiente processos de erosão e assoreamento. (SILVA e HERMES, 2004)

As características físicas, como relevo e tipo de solos, além de usos como pastagens e culturas extensivas, também contribuem no processo de lixiviação de sedimentos para as águas superficiais, quando são densamente ocupadas por animais, interferindo não só na turbidez assim como em todas as outras variáveis.

Os valores de turbidez do rio Santo Anastácio variaram de 7,63 NTU na seção 3 em junho de 2010 a 1000 NTU na seção 6 em outubro de 2010. Observou-se nesta variável uma tendência a maiores valores do médio ao baixo curso, além de um registro no campo de outubro de 2010, onde na seção 6 obteve-se um discrepante valor da variável turbidez 1000NTU (Figura 47 a).



**Figura 47:** Turbidez - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima.  
**Fonte:** Pesquisa de Campo. **Org:** GONÇALVES, F.

As médias de turbidez permaneceram entre 62,60 e 194,43 NTU, valores elevados se considerarmos que a resolução CONAMA 357/05, sugere valores de até 40 NTU em águas doces classe 1.

O valor mínimo foi registrado na seção 3 de amostragem em junho de 2010, com 7,63 NTU e o máximo em outubro de 2010 na seção 6 com 1000NTU. Vale ressaltar que a média de turbidez na seção 6 é de 194,43 NTU e que o elevado valor registrado em outubro está associado a intensas precipitações e possivelmente pelo carreamento de partículas de solos sem cobertura vegetais, provavelmente expostos para o plantio de cana-de-açúcar.

É importante observar na análise dos dados que, os valores de turbidez alteram-se espacialmente e aumentam quando se aproximavam da foz do rio Santo Anastácio, como se observa no gráfico da figura 47 b. Há o predomínio de um relevo mais tênue e plainado, com colinas e planícies aluviais nesta região. No que se refere aos tipos de solos, esta região possui Argissolos Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro, solos mais erodíveis. O baixo curso de um rio resulta no acúmulo e resposta desde suas nascentes. Neste sentido, observou-se principalmente a alteração dos valores de turbidez, as quais se alteraram espacialmente, e aumentam no sentido a foz do rio Santo Anastácio.

Von Sperling, 1996 corrobora com a análise realizada e enfatiza que a turbidez dos corpos d'água é particularmente elevada em regiões com solos erodíveis, onde a precipitação pluviométrica pode carrear partículas de argila, silte, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo. Grande parte das águas dos rios brasileiros é naturalmente turva em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem e devido à ocorrência de fortes chuvas.

A turbidez é uma importante variável a ser analisada, pois além de reduzir a penetração da luz solar na água, prejudica a fotossíntese das algas e plantas aquáticas submersas.

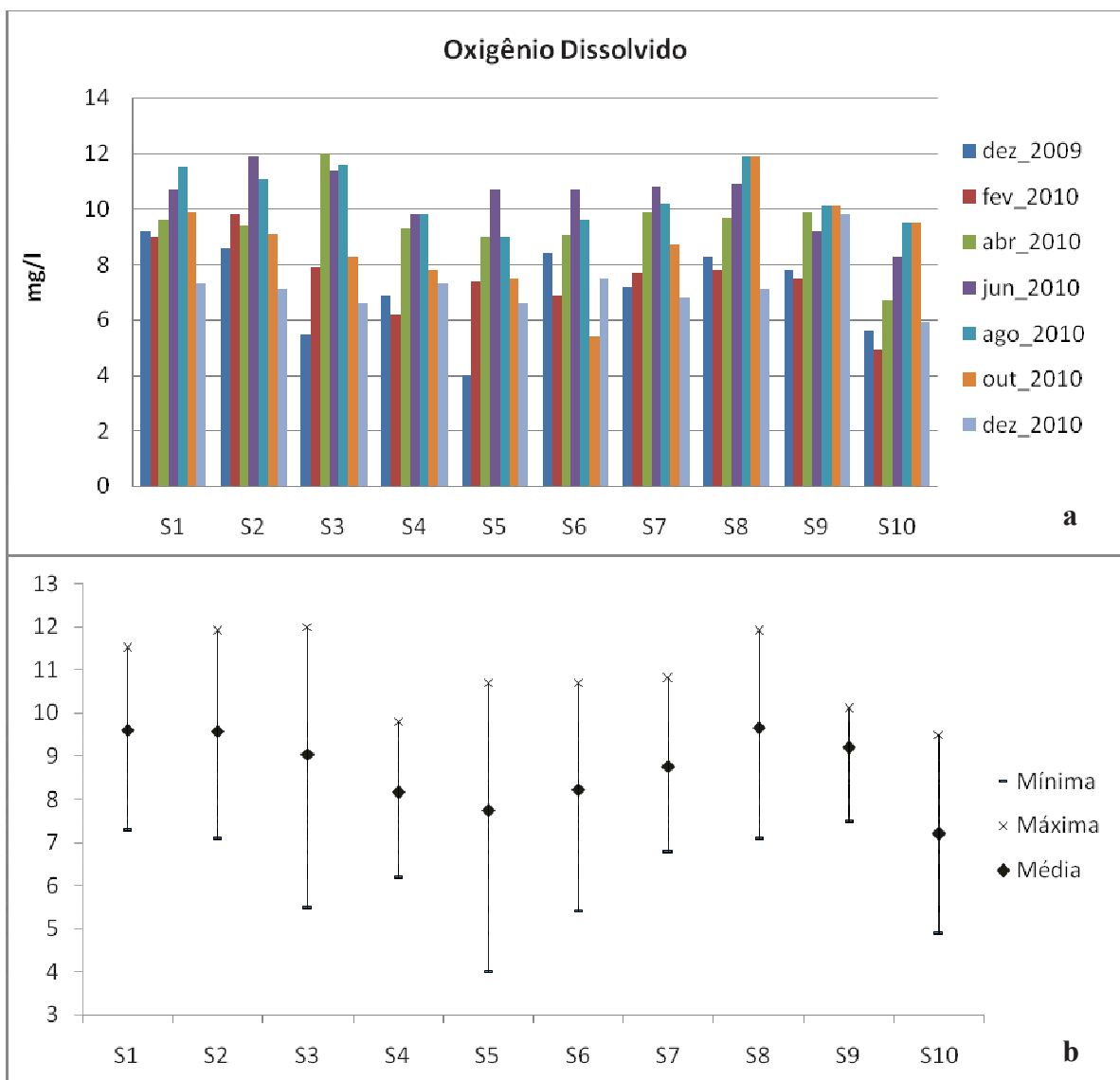
#### **4.4.6 Oxigênio dissolvido**

O nível de oxigênio dissolvido em águas naturais é com frequência uma indicação direta de qualidade, uma vez que as plantas aquáticas produzem oxigênio, enquanto microorganismos geralmente o consomem. A solubilidade de oxigênio aumenta a baixa temperatura. O oxigênio dissolvido (OD) é essencial para a subsistência de peixes e outras vidas aquáticas e auxilia na decomposição natural da matéria orgânica.

Vale a pena ressaltar que os dados foram coletados em sete campanhas, dezembro de 2009, fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro de 2010, sendo assim torna-se importante observar as variações dos dados considerando as características espaciais entre as seções de 1 a 10 e as alterações espaço-temporal nos meses acima descritos.

Os valores relativos à quantidade de oxigênio dissolvido no rio Santo Anastácio nos períodos amostrados encontraram-se entre 4,0 e 12,0 mg/l o que demonstra uma amplitude considerável nos dados que podem ser visualizados no figura 48 (a).

As médias desta variável ficaram entre 7,2 mg/l a 9,65 mg/l entre as seções amostradas, o que denota um bom estado da qualidade ambiental da água, visto que, a resolução CONAMA 357/05 dispõe em seu capítulo III das condições e padrões de qualidade das águas, seção 1 das Águas Doces de classe 1, que os valores de OD devem ser maiores que 6 mg/l.



**Figura 48:** Oxigênio dissolvido - (a) valores absolutos. (b) média, máxima e mínima.  
**Fonte:** Pesquisa de Campo. **Org:** GONÇALVES, F.

Associam-se os menores valores de oxigênio dissolvido no ponto 10 devido à velocidade nula nesta seção, limitando assim o poder de aeração da água, além de conter

muitos materiais orgânicos em decomposição. Ressalta-se que nesta seção o rio Santo Anastácio sofre interferência do barramento no rio Paraná, da Usina Hidrelétrica Sergio Mota (Porto Primavera) da CESP (Companhia Energética de São Paulo).

No geral, analisando os dados de forma sazonal, pode-se verificar que o oxigênio dissolvido aumentou em todos os pontos nos meses de abril, junho e agosto, o que era esperado considerando esta variável tendente a ser mais elevada em temperaturas mais baixas, ou seja, nos meses de inverno. Nos meses de inverno, as temperaturas mais baixas colaboraram para maiores concentrações de oxigênio dissolvido, pois a temperatura influencia as reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água.

#### **4.5 Análise espaço-temporal das variáveis limnológicas e suas relações com as características do meio físico e uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica**

Objetiva-se neste item relacionar as variáveis limnológicas, as características do meio físico e o uso da terra da área estudada. Para isso, além de levantamentos bibliográficos que já sugerem correlação entre essas formas de análise, foram realizados testes estatísticos multivariados para comprovar suas possíveis interligações.

A Análise de Agrupamento reúne objetos (indivíduos ou elementos) em grupos onde exista homogeneidade e aponta concomitantemente a heterogeneidade entre esses grupos, possibilitando assim uma proposta classificatória. Na figura 49, é possível visualizar o dendograma das variáveis analisadas e observar os agrupamentos nela existente.

Na interpretação do dendograma na página 119, podemos observar que os agrupamentos ocorrem na maioria das vezes devido à proximidade espacial e características similares entre as seções. Em geral, pode-se observar uma região de maior agrupamento, composto por seções que compõem um arranjo espacial, com poucas influências sazonais.

A primeira região de agrupamento compõe um arranjo espacial das seções, pois o mesmo possui somente dados amostrais das seções 5 e 6, situação que demonstra certa similaridade dos dados dessas seções. Outro fato importante a se considerar é a ausência de dados amostrais referentes à estação de verão na região 1 do gráfico da figura 49, estão presentes ai os meses de abril, junho, agosto e outubro.

Essas seções assemelham-se principalmente quanto a duas variáveis limnológicas, pH e condutividade elétrica, como já apresentado anteriormente. Os valores de pH registrados nas seção 5 e 6 obtiveram as médias mais elevadas em relação aos outros pontos; a média desta variável limnológica nestas seções ficou entre 6,5 e 6,7. A condutividade elétrica ao longo do rio mostrou-se homogênea, com exceção das seções 5 e 6, onde os valores são consideravelmente mais elevados se comparados com as outras seções.

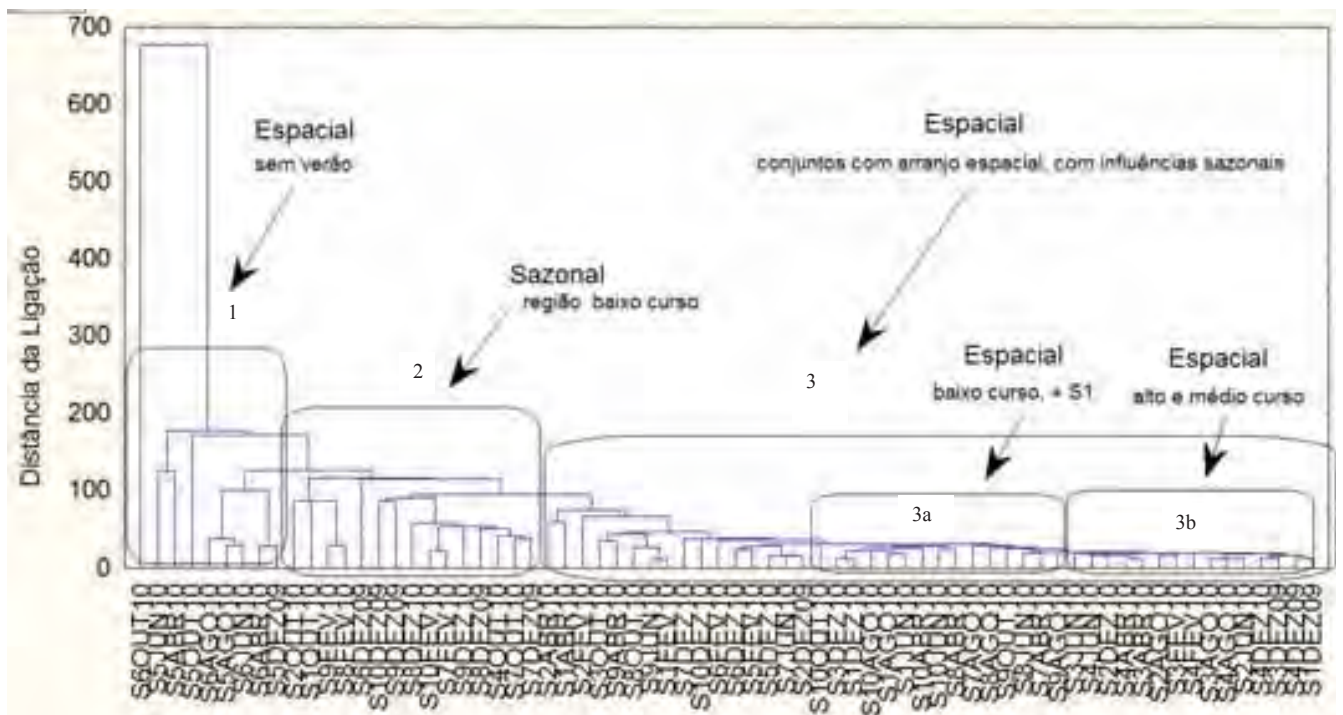


Figura 49: Dendrograma com os dados amostrados na pesquisa.  
 Fonte: Pesquisa de Campo. Org: GONÇALVES, F.

Nas seções 5 e 6 pode-se observar a predominância da Formação Adamantina, que se caracteriza por possuir arenitos, siltitos arenosos, arenitos argilosos, com agentes cimentantes carbonáticos e textura fina, essas propriedades podem interferir nos valores de condutividade elétrica da água. Além disso, esta região possui um intensivo uso da terra para finalidade agrícola, no caso em específico para o plantio de cana-de-açúcar, o qual se caracteriza pela intensa movimentação de solo. Esse processo é usualmente acompanhado do uso de insumos agrícolas, como a adição de nutrientes, que podem influenciar nas variáveis físicas e químicas da água.

A região de agrupamento 2 pode ser observada no gráfico da figura 49, este possui uma amostragem de dados o qual se caracteriza pela predominância de amostras de uma estação de verão, com meses de fevereiro e dezembro de 2009/2010. Além disso, os elementos existentes neste agrupamento pertencem às seções 8, 9 e 10, ou seja, o baixo curso do rio Santo Anastácio. Quanto às variáveis que mais se relacionam nestas seções, podemos citar os sólidos suspensos e a turbidez, ambos tendem a serem mais elevados neste trecho do rio.

Obteve-se nesta análise uma região maior de agrupamento, identificada como 3 na figura 49, esta região de agrupamento possui elementos amostrais de todo o canal fluvial em diferentes períodos do ano, para facilitar a análise agrupou-se duas regiões dentro deste conjunto maior, as quais foram denominadas 3a e 3b.

A região 3<sup>a</sup> observada no gráfico da figura 49 possui dados amostrais da região do baixo curso do rio seção 8, 9 e 10, com exceção da seção 1 que também se encontra neste agrupamento, no entanto pertence à região de cabeceira. Essa região de agrupamento de dados amostrais deve-se principalmente as variáveis sólidos suspenso e turbidez, ambos de modo geral apresentam tendência de maiores valores em direção a foz do rio Santo Anastácio. Identifica-se nestas seções valores semelhantes relativo aos sólidos suspensos totais com uma média que varia nestas seções de 75,5 a 110,6 mg/l e turbidez 109 NTU a 139,6 NTU.

Já a região 3b de agrupamento, também com característica espacial, possui elementos amostrais do alto e médio curso, referente às seções 1, 2, 3 e 4, independentemente de estação climática. Esses dados amostrais encontram-se agrupados principalmente por assemelhar-se entre si, quanto à condutividade elétrica, cuja média manteve entre 154,6  $\mu\text{s}/\text{cm}$  a 224,3  $\mu\text{s}/\text{cm}$  no alto curso deste canal fluvial.



Além da análise de agrupamentos (Cluster), foi realizada a análise das componentes principais (ACP), que permite interpretar a estrutura de um conjunto de dados multivariados a partir das respectivas matrizes de variâncias-covariâncias ou de correlações entre as variáveis consideradas.

Essa análise de componentes principais vem sendo empregada com frequência na avaliação de dados de monitoramento ambiental. Essa análise permite a redução da dimensão de dados, facilitando a extração de informações que serão de grande relevância na avaliação.

Foi realizada a análise de componentes principal sazonal, considerando os períodos de amostragem e uma análise de componentes principais onde se levou em consideração as seções amostradas ao longo do rio Santo Anastácio.

A ACP resumiu o conjunto das variáveis ambientais escolhidas para o estudo, os componentes principais fator 1 e fator 2 foram significativos e, portanto, utilizados para a interpretação dos dados limnológicos. Estes dois fatores explicaram 56,15462% da variabilidade total dos dados.

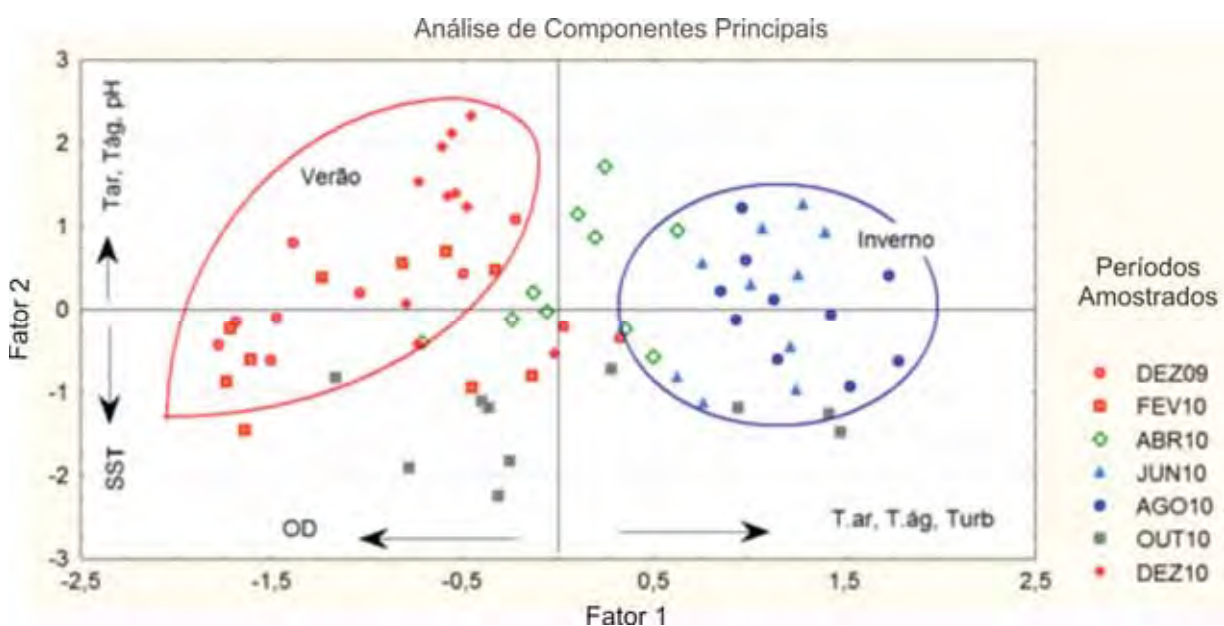
Além da variabilidade dos dados, realizou-se a extração das componentes principais a fim de associá-los às variáveis que mais se relacionam, considerando o quadrante do fator em que se encontram. Para isso fez-se a extração dos fatores e considerou-se as variáveis fortemente relacionadas aos valores próximos e maiores a 0.7 (tabela 4).

**Tabela 4:** Extração das componentes principais.

<b>Extração das Componentes Principais</b>		
	<b>Fator 1</b>	<b>Fator 2</b>
<b>TEMPAR</b>	0,656662	0,638513
<b>TEMPAG</b>	0,778525	0,575366
<b>VELOC</b>	0,038725	0,097280
<b>PH</b>	-0,454278	0,597223
<b>COND</b>	-0,378500	0,406233
<b>OXDIS</b>	-0,718988	-0,279321
<b>TURB</b>	0,773581	-0,422868
<b>SST</b>	0,498238	-0,641527

Analisando a extração das componentes principais temos: o fator 1 positivo relaciona-se as variáveis de temperatura da água, temperatura do ar e turbidez; o fator 1 negativo está relacionado ao oxigênio dissolvido; o fator 2 negativo está fortemente relacionado aos sólidos suspensos, e positivamente ao pH, temperatura da água e do ar.

O gráfico obtido da relação entre Fator 1 e Fator 2 da primeira análise de componentes principais, apresentou elementos amostrais que caracterizaram principalmente duas estações do ano, como se observa no gráfico da figura 50. Em um grupo obteve-se a correlação de dados obtidos nos meses de verão (dezembro 2009/2010 e fevereiro de 2010) e em outro grupo, obteve-se a correlação de dados nos meses de inverno (junho e agosto). Os elementos mais esparsos na área do gráfico referem-se às estações de primavera e outono, bem como o mês de outubro onde se observa uma distribuição ocasionada pelos valores de sólidos suspensos totais levantados no período.

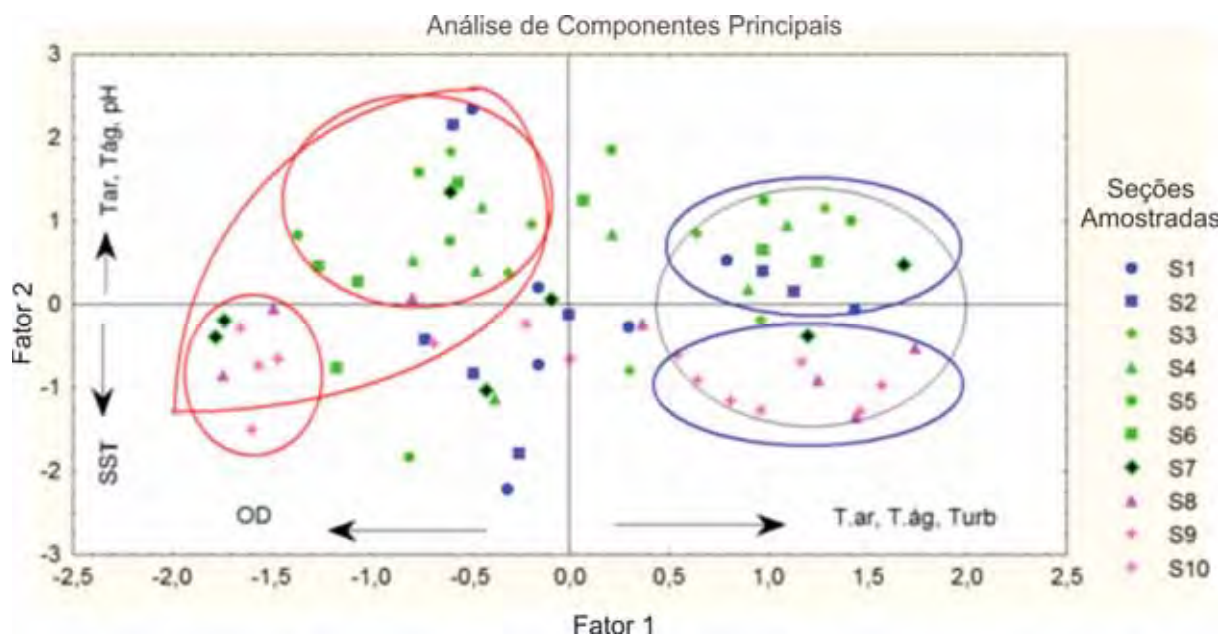


**Figura 50:** Gráfico da análise sazonal das componentes principais.

Nota-se no gráfico da figura 50, que no fator 1 positivo representado pela estação de inverno às variáveis que mais se relacionam são: temperatura do ar, temperatura da água e turbidez. As temperaturas do ar e da água no inverno encontram-se mais amenas e com a diminuição da precipitação neste período têm-se uma quantidade menor de partículas sólidas sendo carregadas para o canal fluvial em episódios de chuva, diminuindo assim a turbidez da água.

Já o arranjo visualizado no fator 1 negativo, é constituído por meses da estação de verão e estão mais bem relacionados à variável oxigênio dissolvido, uma vez que esta variável é absolutamente influenciada pela temperatura, como já dito anteriormente, quanto maior a temperatura menor a quantidade de oxigênio dissolvido na água.

Foi realizada a análise de componentes principais com base no conjunto espacial, considerando as seções amostradas e as variáveis analisadas, como pode ser observado no gráfico da figura 51.



**Figura 51:** Análise espacial de componentes principais.

Na análise espacial de componentes principais, podemos notar que as seções 1, 2 e 7 encontram-se bem distribuídas na área do gráfico, notando pouca correlação entre seus elementos amostrais.

As seções 3, 4, 5 e 6 encontram-se agrupadas no fator 2 positivo, o que indica que os elementos dessa amostra estão altamente correlacionados às variáveis de temperatura do ar, temperatura da água e pH. As temperaturas foram semelhantes nestas seções no decorrer do ano. E os valores de pH obtidos nas seções 5 e 6 tiveram as médias mais elevadas em relação aos outros pontos amostrados neste canal fluvial.

Já as seções 8, 9 e 10 do baixo curso do rio ocorrem predominantemente no fator 2 negativo; sendo assim, a análise de componentes principais indica uma alta correlação entre essas seções no que diz respeito às variáveis de sólido suspenso e turbidez, ambas as variáveis aparecem em maiores concentrações nessas seções principalmente pelo aporte de sedimento carregado para o canal fluvial, acredita-se que esse fato deve-se essencialmente à presença de solo exposto para o plantio de cana-de-açúcar e manejo inadequado da pastagem.

A influência climática tende a homogeneizar o rio, porém algumas características são inerentes a determinadas regiões da bacia e do canal fluvial. As análises de componentes

principais foram responsáveis por separar sutilmente e indicar as variáveis que mais influenciam e se correlacionam, dentre elas: o sólido suspenso, a turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura do ar e da água.

Na análise espacial de componentes principais, podemos notar a correlação entre as variáveis limnológicas e a partir dela individualizou-se 3 regiões com características semelhantes suficientemente responsáveis pelo agrupamento das seções, deste modo, compartimentou-se a bacia hidrográfica com base na ACP, essas se caracterizam principalmente quanto às seguintes variáveis: região 1 – temperatura da água e pH; região 2 - temperatura da água , pH e condutividade elétrica; região 3 – sólidos suspensos e turbidez (Figura 52).

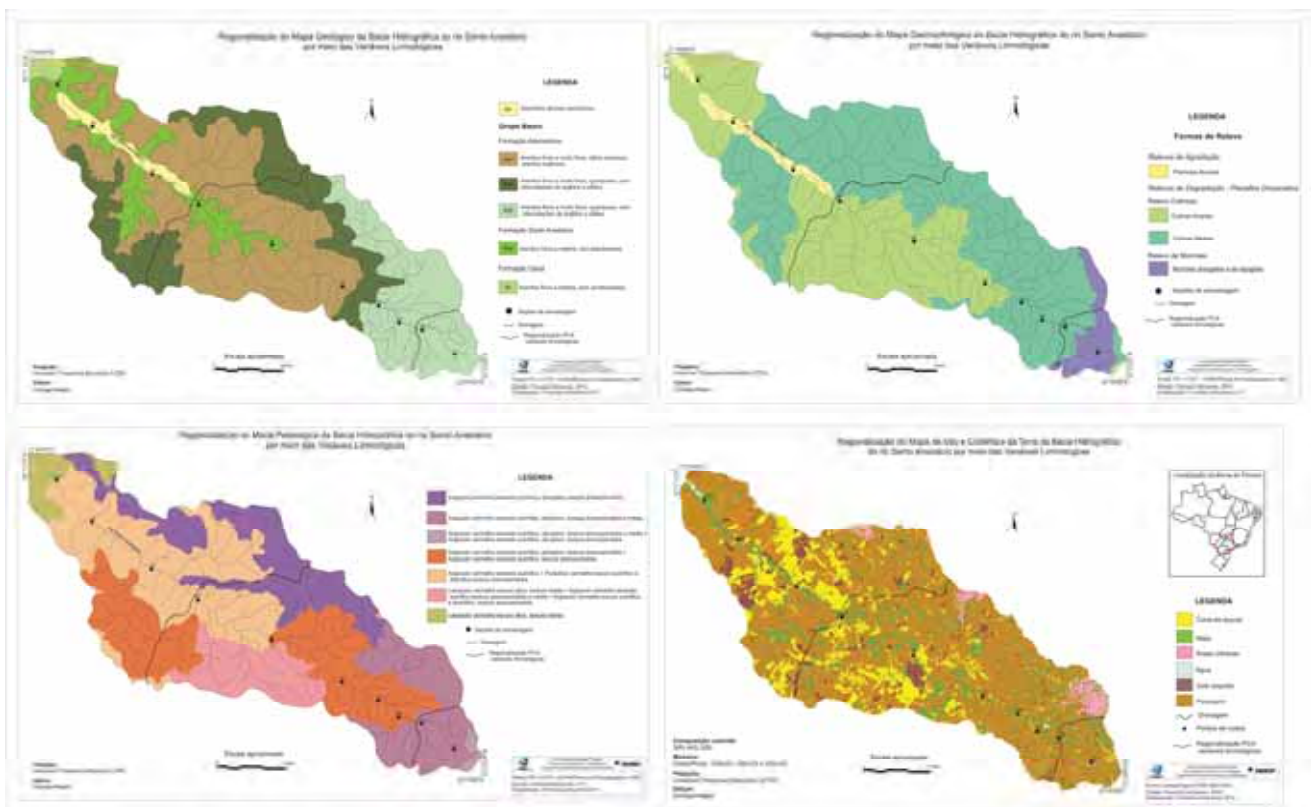


Figura 52: Regionalização da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio a partir da ACP.

Nesse sentido notou-se principalmente que na região 1, referente ao alto curso da bacia, as variáveis temperatura da água e pH são responsáveis pelo correlacionamento dos dados e junção das seções 1 e 2. Esta região caracteriza-se geomorfologicamente por colinas amplas e médias e morretes alongados, há um declive mais acentuado nesta porção da bacia. Quanto à geologia, a formação Adamantina do grupo Bauru é única nessa região e caracteriza-se por arenitos finos a muito finos, quartzosos. O Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico é predominante nessa região de cabeceira. Por ser uma região distinta, com características peculiares à região de nascentes, as variáveis limnológicas apresentaram pouca correlação entre seus elementos amostrais com as demais seções.

Quanto ao uso da terra, ocorre nessa região uma intensa concentração da classe de pastagens, tornando a área ambientalmente mais vulnerável, visto que essa é uma região de nascentes e a falta de manejo poderá causar alterações ambientais na região.

A segunda região é maior e mais abrangente, diz respeito ao médio curso do rio e engloba as seções 3, 4, 5, 6 e 7. Há nessa área a predominância do uso e cobertura da terra para pastagem e cana-de-açúcar, ambas se manejadas indevidamente contribuem para o desequilíbrio ambiental dos rios principalmente pela geração de grande aporte de sedimentos.

Essa área possui relevo colinoso, com colinas amplas e médias. Constitui-se em arenitos finos a médios mal selecionados da formação Santo Anastácio, e 3 tipos de arenitos finos a muito finos da formação Adamantina. São identificados nessa região Argissolos Vermelho-Amarelo Eutróficos com variações em sua textura, sendo na maioria arenosa média, esses solos são mais friáveis vulneráveis a erosão. Nas seções 5 e 6 pode-se observar a predominância da Formação Adamantina que se caracteriza por possuir arenitos, silitos arenosos, arenitos argilosos essas propriedades podem de certa forma interferir nos valores de condutividade elétrica da água.

Os resultados apresentados acima corroboram com Esteves, 1998 o qual afirma que condutividade elétrica tende a aumentar com a elevação da temperatura e com a maior concentração de íons dissolvidos. O autor ainda explica que, os íons mais diretamente responsáveis pelos valores de condutividade elétrica são os denominados macronutrientes como: cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, sulfato, cloreto, etc. A condutividade elétrica apresentou valores mais elevados nas seções da região 2, do que nas demais seções ao longo do rio Santo Anastácio.

No baixo curso da bacia, região 3, composta pelas seções 8, 9 e 10, há o predomínio de um relevo mais tênue e aplainado, com colinas e planícies aluviais. Geologicamente conta

com as formações Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá. No que se refere aos tipos de solos, esta região possui Argissolos Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro. A região do baixo curso resulta no acúmulo e resposta do rio desde suas nascentes. Neste sentido, observou-se principalmente a alteração dos valores de sólido suspenso e turbidez, estas variáveis limnológicas se alteraram espacialmente, e aumentam no sentido a foz do rio Santo Anastácio.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância de se conhecer as características físicas, de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio e relacioná-los com as variáveis limnológicas do canal propiciou compreender a forma com que este ambiente se comporta, além de subsidiar ações de planejamento ambiental, na busca da ordenação do espaço físico e manutenção dos recursos hídricos.

Quanto ao mapeamento de uso da terra, o mesmo foi validado pelo método estatístico - Índice kappa e obtiveram-se resultados positivos, comprovando assim a validade das informações apresentadas. A análise limnológica foi realizada de forma sistemática seguindo os protocolos exigidos para esse tipo de levantamento e apresentou dados relevantes para a pesquisa. A estatística multivariada foi útil para localizar agrupamentos de seções e períodos de análise em que determinadas variáveis se assemelham, podendo assim realizar as devidas associações entre o canal fluvial e o meio físico e antrópico da bacia hidrográfica.

Nos campos realizados para coleta de dados notou-se alterações ambientais como processos erosivos e assoreamentos em áreas próximas aos plantios de cana-de-açúcar e a pastagens mal manejadas. Associado a essa característica foram nessas seções que se obtiveram valores elevados de carga sedimentar, além de alterações em algumas variáveis físicas e químicas da água como condutividade elétrica, turbidez e sólido suspenso.

A classe solo exposto ocorre em aproximadamente 6,02% no total da área da bacia e representa principalmente áreas que estão em estágio de preparo para o plantio da cana-de-açúcar, assim como, também por pastagens degradadas, onde a gramínea está altamente espaçada e muito seca, predominando a característica de solo exposto na área.

Após avaliação sistemática e quantificação do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, notou-se que no alto curso da bacia predomina o uso de pastagem, alguns tipos de culturas, como café e cana-de-açúcar, vegetação natural principalmente próximo aos afluentes, algumas reservas e florestas plantadas, além da grande extensão de uso urbano caracterizando o núcleo urbano de Presidente Prudente.

Já no médio curso da bacia observa-se extensas áreas de cultivo e plantio de cana-de-açúcar, além de solo exposto, e alguns remanescentes de vegetação natural, encontra-se também áreas urbanas, como o município de Santo Anastácio.



No baixo curso da bacia é comum encontrarmos áreas de pastagem mais secas, muito similar na interpretação visual com solo exposto e áreas de vegetação natural. Além da classe água notada principalmente devido ao represamento do rio Paraná em Porto Primavera. Observa-se também uso urbano, caracterizando a cidade de Presidente Venceslau

Podemos notar a existência de uma forte relação sazonal entre os dados das variáveis físicas e químicas da água, quando consideramos as estações do ano, além de uma homogeneidade entre os pontos mais próximos, com características físicas semelhantes e de uso similar da terra. No que diz respeito ao pH, as amostras de água coletadas no rio Santo Anastácio possuem concentrações de íons de hidrogênio apresentando-se de forma espacial e sazonalmente homogênea. Os valores de potencial variam entre 5,9 e 7,05, considerados comuns em ambientes aquáticos continentais.

Quanto à condutividade elétrica, no período amostrado, nota-se certa homogeneidade nos valores, com exceção das seções 5 e 6, onde estes são consideravelmente mais elevados se comparados com as demais seções. Nas seções 5 e 6 pode-se observar valores de condutividade elétrica da água acima da média, nota-se nessas seções um intensivo uso da terra para finalidade agrícola, no caso em específico para o plantio de cana-de-açúcar e pastagem. Os elevados valores de condutividade elétrica podem estar associados a lançamentos de efluentes e vinhoto no canal fluvial do rio Santo Anastácio.

Já os valores de sólidos suspensos possuem de um modo geral, a tendência de acréscimos elevados em direção a foz do rio Santo Anastácio. Quando analisados sazonalmente notou-se uma variação com elevações de sólidos suspensos nos meses de fevereiro e outubro, períodos com maiores concentrações e episódios de precipitação.

Analisando os valores de oxigênio dissolvido, esses estão dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05. Observou-se que este aumentou em todos os pontos nos meses de abril, junho e agosto. Associam-se os menores valores de oxigênio dissolvido no ponto 10 devido à velocidade nula nesta seção, limitando assim o poder de aeração da água, além de conter muitos materiais orgânicos em decomposição. Ressalta-se que nesta seção o rio Santo Anastácio sofre interferência do barramento no rio Paraná, da Usina Hidrelétrica Sergio Mota (Porto Primavera) da CESP (Companhia Energética de São Paulo).

No que tange o objetivo central da pesquisa, o mesmo foi alcançado, visto que a partir dos levantamentos físicos e de uso e cobertura da terra, tornou-se possível relacionar suas interferências nas variáveis químicas e físicas da água do rio Santo Anastácio.

Vale ressaltar a importância de que os órgãos e/ou instituições ligados ao planejamento e meio ambiente (Prefeituras, Incra, IBAMA) tenham conhecimento deste documento e se empenhem em planejar as formas de uso nas bacias hidrográficas, em especial a do rio Santo Anastácio.

## BIBLIOGRAFIA

AMORIM, M. C.C.T; DUBREUIL, V.; QUENOL, H; SANT'ANA NETO, J.L. **Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França)**. Confins [Online], Número 7. (2009)

ARONOFF, S. Remote sensing for GIS managers. California: Esri Press, 2005.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informação Geográficas: Aplicações na Agricultura**. Platina: Embrapa, 1993

BARTH, F. T. Aspectos Institucionais do Gerenciamento de Recursos Hídricos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

BERNARDI et al. **Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental**. Geochimica Brasiliensis, 23(1) 079-090, 2009.

BERTALLANFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Editora Vozes, 1977.

BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. IGCE-Universidade Estadual Paulista, Rio Claro,SP. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). 2000.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 153-192.

BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M (org.) Monitoramento da Quantidade e Qualidade das Águas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

BRANCO, S. M. Água, meio ambiente de saúde. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

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

BRASIL. CONGRESSO. SENADO. RESOLUÇÃO CONAMA Nº. 357, DE 27 DE MARÇO DE 2005. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.CRQ4.ORG.BR/DOWNLOADS/RESOLUCAO357.PDF](http://WWW.CRQ4.ORG.BR/DOWNLOADS/RESOLUCAO357.PDF)>. ACESSO EM 15 AGO. 2006.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Promulgada em 5 de outubro de 1988. São Paulo. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Legislação de Recursos Hídricos – Consolidação 1987-2001. São Paulo, DAEE, 2002.

BRASIL, Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a **Política Nacional de Recursos Hídricos**, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentada o inciso XIX do art. 21 da constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 12 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRIGANTE, J; ESPÍNDOLA, E. L. G; POVINELLI, J. et al. **Avaliação ambiental do rio Moji-Guaçu: resultados de uma pesquisa com abordagem ecossistêmica**. São Paulo: RiMa Editora, 2002.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, C.B.; CASANOVA, M.A.; HERMELY, A.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas, Instituto de Computação/UNICAMP. (1996).

CÂMARA, G & MONTEIRO. V. M. A. **Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação**. 1 ed. São José dos Campos. INPE. 2001

CAMARGO, A. F. M.; PEREIRA, A. M. M. Qualidade da água em áreas urbanas. In BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. (org.). **Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional**. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – DEPLAN – UNESPIGCE, 2003.

CARVALHO, W. A. (coord.) **Levantamento Semidetalhado dos solos da Bacia do Rio Santo Anastácio – SP**. Boletim Científico nº 2 vol. 1. Faculdade de Ciências e Tecnologia/Unesp, Presidente Prudente: 1997

CERON, A. O.; DINIZ, J. A. F. **O uso de fotografias aéreas na identificação das formas de utilização agrícola da terra**. Revista Brasileira de Geografia. n2, p-161-173, 1966.

COMPANHIA de TECNOLOGIA e SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). São Paulo: on line, 2006. Apresenta informações sobre parâmetros de qualidade da água. Disponível em <[http:// www.cetesb.sp.gov.br/](http://www.cetesb.sp.gov.br/)> Acesso em 23 de maio de 2006.

COOPERATIVA de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais/CPTI. **Relatório da situação dos recursos hídricos da bacia CBH-PP: Relatório Zero**. SP: CBH-PP, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 1991.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2004.

CONGALTON, R.G. **A review of assessing the accuracy classificatons of remotely sensed data**. Remote Sensing Environment, v. 37, p.35-46, 1991.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 357, de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. CONAMA, mar. 2005.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2. ed., 1980

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

CHRISTOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A; et al (Org ); **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**, São Paulo: Ed. Hucitec, 2002.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tipos de Solos. [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_43\\_911200585233.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_43_911200585233.html). [Acessado em: 30 de outubro de 2010]

DIBIESO, Eduardo Pizzolim. Planejamento Ambiental da Bacia hidrográfica do Córrego do Cedro – Presidente Prudente/ SP/ Eduardo Pizzolim Dibieso.- Presidente Prudente: [s.n., 2006]

ESPÍNDOLA, E.L.G. et. al. **A bacia hidrográfica do córrego monjolinho**. USP- Escola de Engenharia de São Carlos: RIMA, 2000.

ESTEVEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro/RJ: Interciência/Finep. 1998.

FERREIRA, C. C. **GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO: Processamento de Imagens Orbitais de Sensores Passivos (CCD e TM) e Ativos (SRTM) como Subsídio para o Gerenciamento da Bacia hidrográfica das Pitangueiras/SP**. Monografia do Curso de Bacharelado em Geografia – UFMS, campus de Três Lagoas, 2008.

FLORENZANO, Tereza Galloti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo. Oficina de textos, 2002.

FONSECA, L. M. G. **Processamento Digital de Imagens**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

FONSECA, A. A. Água de uma fonte só. In: BOAS, S. V. (org.) **Formação e informação ambiental: jornalismo para iniciados e leigos**. São Paulo: Summus, 2004. (Col. Formação & informação).

GUEDES, I. C, et al. **Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas**. Revista UnG – Geociências V.5, N.1, 2006, 75-102.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia e meio ambiente**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

IBGE. **Manual Técnico do Uso da Terra**. Ed. 2, n. 7. Rio de Janeiro, 2006.

JENSEN, J. **Introductory Digital Image Processing: a remote sensing perspective**. New Jersey: Prentice, 1996.

LEAL, A. C. **Gestão das águas no Pontal do Paranapanema – São Paulo**. 279 f. 2000. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LEAL, A. C. Gestão Urbana e regional em Bacias Hidrográficas: interfaces com o gerenciamento de recursos hídricos. In: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. (org.). **Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional**. Rio Claro: Laboratório de Planejamento Municipal – DEPLAN – UNESP- IGCE, 2003.

LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Nova York: John Wiley & Sons, 2004.

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

MARTIN, E. S. **Poluição no Rio Santo Anastácio (Presidente Prudente, SP): Levantamento e Valoração Econômica**. 205 f. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

MENDONÇA, Francisco. et al. O espaço geográfico em análise. In: RA'É GA. v.1 Curitiba: Departamento de Geografia/UFPR, 1997

MIALL, A.D. **A review of the braided-river depositional environment**. Earth Science Reviews,13:1-62. 1977

MINGOTI, S. A. **Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma Abordagem Aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

MIRANDA, C. O. O papel político-institucional dos Comitês de bacia hidrográfica no Estado de São Paulo. In: FELICIDADE, N.; MARTINS, R. C.; LEME, A. A. (org.). *Uso e Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil*. São Carlos, RIMA, 2001.

MIRANDOLA - AVELINO, Patricia. Helena. **Análise Geo - Ambiental Multitemporal para fins de Planejamento Ambiental: Um exemplo aplicado à Bacia hidrográfica do Rio Cabaçal Mato Grosso - Brasil**. Tese de Doutorado em Geografia do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006,317 paginas.

MORAES, América Jacinta de. **Manual para avaliação da qualidade da água**. São Paulo: RIMA, 2001.

MORRAL, N. **Apostila Rios Vivos**. Faculdade de Ciências e Tecnologia/Unesp. Presidente Prudente, 2005.

NASCIMENTO, F. R. do; CARVALHO, O. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental: uma proposta metodológica. Revista Fluminense de Geografia, n. 2, Niterói, 2003.

NOVO, E. M. L. M.; BRAGA, C. Z. F. (1995). **Segundo relatório do projeto sensoriamento remoto de sistemas aquáticos**. Convênio CRHEA/USP-INPE/MCT. São José dos Campos. 103 p.

PASSOS, V. F. dos. **Influência das diferentes formas de uso da terra em variáveis limnológicas no Arroio Tumurupará nos municípios de Cândido Godói, Ubiretama e Campinas das Missões/RS**. UFSM - Santa Maria, 2009. (Dissertação de mestrado em Geomática).

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do Reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de Recursos Hídricos**. (Tese) USP - Escola de Engenharia de São Carlos - Ciências da Engenharia Ambiental; 2004.

ROCHA, P.C. **Dinâmica dos canais no sistema rio-planície fluvial do alto rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico-PR**. Tese de Doutorado. UEM/PEA. Maringá-PR. 2002. 170 pp.

ROCHA, R. R. A. **Limnologia comparativa e preditiva de rios e lagoas da planície de inundação do alto rio Paraná (PR/MS-Brasil)**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá: 2003.

ROCHA, R. R. de A.; ROCHA, P. C. **Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica**. Revista Tópos. , V.1, N.2, P.81 - 112, 2007.

ROSA, Roberto. BRITO, José Luis Silva. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Uberlândia, 1996.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5 ed. Uberlândia: EDUFU, 2003.  
SANT'ANNA NETO, J. L. Variabilidade e tendência das chuvas no oeste paulista. **Boletim Climatológico**, Presidente Prudente, vol. 1, n.1, p. 45-56, mar. 1996.

SANTOS, A. C. 1997. **Noções de Hidroquímica**. In: Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Coordenadores: Fernando Antônio Carneiro Feitosa / João Manoel Filho. Fortaleza. CPRM / LABHID – UFPE. p. 81-108

SÃO PAULO. Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Legislação de Recursos Hídricos – Consolidação 1987-2001. São Paulo, DAEE, 2002.

SÃO PAULO. Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – 94/95. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Legislação de Recursos Hídricos – Consolidação 1987-2001. São Paulo, DAEE, 2002.



SÃO PAULO. Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997. Dispõe sobre a proteção e recuperação de mananciais. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Legislação de Recursos Hídricos – Consolidação 1987-2001. São Paulo, DAEE, 2002.

SILVA, J. A. **Gestão de recursos hídricos e sistemas de informações geográficas: contribuições para a organização sócio-espacial do Pontal do Paranapanema-SP.** Presidente Prudente. Tese (doutorado pós-graduação em geografia. UNESP - Presidente Prudente) 2006.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: RIMA. 2003.

SILVA, A. B. **Sistema de informações Georeferenciadas: conceitos e fundamentos.** Campinas São Paulo: Unicamp, 2003.

SILVA, A. de S; HERMES, L. C. **Avaliação da qualidade das Águas: manual prático.** Brasília: EMBRAPA - Informação Tecnológica, 2004.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling" Camara G, Souza RCM, FreitasUM, Garrido J Computers & Graphics.

STEIN, D. P. **Avaliação da degradação do meio físico da bacia do rio Santo Anastácio Oeste Paulista.** 197 f. 1999. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SUDO, H. **Bacia do Alto Santo Anastácio: estudo geomorfológico.** 235f. 1980. Tese (doutorado em Geografia). Departamento de Geografia da FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SUIZU, T. M. **Variações na morfologia do canal do Rio Santo Anastácio como resposta a processos morfodinâmicos na sua bacia de drenagem.** Relatório FAPESP – Iniciação científica. Processo nº 2009/15532-2.

TUNDISI, J.G. **Produção primária, “standing stock” e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia.** São Paulo: USP, 1969, 131p. (tese)

TUNDISI, J. G. **A bacia hidrográfica como unidade de pesquisa, Gerenciamento e Planejamento.** São Carlos, USP, CDCC, 1996.

VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E., 1980. **The river continuum concept.** Can. J. Fish. Aquat. Sci., vol.37. p. 130-137.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática.** Santa Maria: UFSM, 2005.

VON SPERLING, N. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.



WETZEL, R.G.; LINKENS, G.E. **Limnological analyses**. 3. Ed. New York, Springer-Verlag. 391p, 2001.

WARD, J. V. & STANFORD, J. A. **The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain rivers.** –**Regul. Rivers: Res. Manage.** 10: 159–168. 1995.

ANEXO 1

DADOS DO CAMPO 15/12/2010										
Seções	Coordenadas geográfica		Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Velocidade (m/seg)	pH	Condutividade (µs/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/dl)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)
	Latitude	Longitude								
S1	22°13'53" S	51°22'40" W	24,4	21,8	0,892	5,89	210,5	9,2	40,43	36,5
S2	22°12'16" S	51°26'03" W	24,6	24,2	0,986	6,0	262,6	8,6	48,95	49,5
S3	22°10'38" S	51°28'55" W	26,6	24,8	0,0	6,7	193,9	5,5	47,96	41,0
S4	22°10'00" S	51°32'16" W	28,4	26,9	0,361	6,13	210,5	6,9	48,86	42,5
S5	22°07'75" S	51°36'43" W	31,1	29,1	0,807	6,05	421,9	4,0	48,35	51,0
S6	20°05'08" S	51°43'77" W	33,7	30,4	0,842	6,18	278,3	8,4	182	67,5
S7	22°01'37" S	51°53'30" W	37,0	31,8	0,623	6,07	175,7	7,2	224	170,5
S8	21°58'96" S	51°58'13" W	39,0	30,5	0,684	6,21	185,8	8,3	245	124,0
S9	21°55'57" S	52°05'22" W	32,8	30,3	0,245	6,07	145,7	7,8	326	123,5
S10	21°50'19" S	52°09'29" W	33,0	29,0	0,0	6,01	119,3	5,6	369	52,5

DADOS DO CAMPO 24/02/2010

Seções	Coordenadas geográfica		Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Velocidade (m/seg)	pH	Condutividade (µs/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/dl)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)
	Latitude	Longitude								
S1	22°13'89" S	51°22'66" W	26,3	23,6	0,819	6,0	216,6	9,0	37,92	142,0
S2	22°12'26" S	51°26'06" W	28,9	25,8	1,005	5,9	274,5	9,8	51,0	190,0
S3	22°10'63" S	51°28'92" W	29,6	29,0	0,0	6,19	207,1	7,9	21,89	74,5
S4	22°10'00" S	51°32'16" W	30,9	28,8	0,382	6,19	233,7	6,2	34,07	71,0
S5	22°07'75" S	51°36'43" W	30,7	29,7	0,755	6,35	297,0	7,4	39,91	74,0
S6	20°05'08" S	51°43'77" W	34,6	31,9	0,914	6,12	283,5	6,9	69	91,5
S7	22°01'37" S	51°53'30" W	38,8	32,4	0,762	6,02	123,1	7,7	174	120,5
S8	21°58'96" S	51°58'13" W	35,2	30,7	0,638	6,13	115,4	7,8	284	250,5
S9	21°55'57" S	52°05'22" W	31,4	28,3	0,200	5,92	121,0	7,5	305	270,5
S10	21°50'19" S	52°09'29" W	28,7	28,1	0,0	5,94	121,1	4,9	163	104,0

DADOS DO CAMPO 17/04/2010

Seções	Coordenadas geográfica		Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Velocidade (m/seg)	pH	Condutividade (µs/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/dl)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)
	Latitude	Longitude								
S1	22°13'89" S	51°22'66" W	32,4	24,6	0,701	6,29	55,5	9,6	26,30	63,2
S2	22°12'26" S	51°26'06" W	31,0	27,1	0,876	6,46	2,15	9,4	28,25	90,7
S3	22°10'63" S	51°28'92" W	31,0	26,5	0,0	6,42	207,6	12,0	12,57	49,0
S4	22°10'00" S	51°32'16" W	33,0	24,6	0,315	6,39	217,0	9,3	16,80	54,2
S5	22°07'75" S	51°36'43" W	33,9	27,0	0,913	7,05	733,0	9,0	23,06	86,2
S6	20°05'08" S	51°43'77" W	34,8	25,3	0,941	6,46	424,0	9,05	21,33	54,0
S7	22°01'37" S	51°53'30" W	31,1	24,1	0,935	6,29	198,4	9,9	41,01	98,7
S8	21°58'96" S	51°58'13" W	25,3	22,1	0,442	6,35	148,6	9,7	40,15	80,0
S9	21°55'57" S	52°05'22" W	24,3	22,1	0,154	6,28	199,1	9,9	16,0	177,7
S10	21°50'19" S	52°09'29" W	26,3	22,8	0,0	6,17	138,1	6,7	57,0	56,5

DADOS DO CAMPO 19/06/2010

Seções	Coordenadas geográfica		Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Velocidade (m/seg)	pH	Condutividade (µs/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/dl)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)
	Latitude	Longitude								
<b>S1</b>	22°13'89" S	51°22'66" W	26,3	22,6	0,277	6,68	157,0	10,7	23,76	59,0
<b>S2</b>	22°12'26" S	51°26'06" W	24,8	20,7	0,966	6,71	213,7	11,9	41,71	56,5
<b>S3</b>	22°10'63" S	51°28'92" W	31,2	20,4	0,0	6,67	197,0	11,4	7,63	36,5
<b>S4</b>	22°10'00" S	51°32'16" W	25,4	21,2	0,254	6,72	217,9	9,8	15,27	38,0
<b>S5</b>	22°07'75" S	51°36'43" W	22,6	20,9	0,477	6,86	852,0	10,7	24,06	50,0
<b>S6</b>	20°05'08" S	51°43'77" W	22,6	20,2	0,727	6,41	562,0	10,7	22,88	38,0
<b>S7</b>	22°01'37" S	51°53'30" W	20,1	18,4	0,748	6,38	265,8	10,8	38,55	58,75
<b>S8</b>	21°58'96" S	51°58'13" W	18,1	17,9	0,561	6,37	207,2	10,9	41,68	88,5
<b>S9</b>	21°55'57" S	52°05'22" W	19,5	18,7	0,135	6,30	208,8	9,2	41,33	143,25
<b>S10</b>	21°50'19" S	52°09'29" W	20,40	19,6	0,0	6,16	127,1	8,3	29,83	82,75

DADOS DO CAMPO 14/08/2010

Seções	Coordenadas geográfica		Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Velocidade (m/seg)	pH	Condutividade (µs/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/dl)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)
	Latitude	Longitude								
S1	22°13'89" S	51°22'66" W	18,5	20,5	0,467	6,46	159,2	11,5	19,71	42,25
S2	22°12'26" S	51°26'06" W	22,5	21,0	0,593	6,52	218,7	11,1	15,55	71,50
S3	22°10'63" S	51°28'92" W	24,8	20,4	0	6,45	211,1	11,6	37,82	68,50
S4	22°10'00" S	51°32'16" W	26,3	19,0	0,121	6,58	221,8	9,8	33,73	59,75
S5	22°07'75" S	51°36'43" W	25,0	22,3	0,456	6,72	532,6	9,0	19,49	35,50
S6	20°05'08" S	51°43'77" W	25,0	21,2	0,648	6,56	522,3	9,6	13,48	72,00
S7	22°01'37" S	51°53'30" W	19,1	18,2	0,919	6,48	262,4	10,2	11,87	27,50
S8	21°58'96" S	51°58'13" W	17,4	16,5	0,985	6,23	238,9	11,9	27,91	35,00
S9	21°55'57" S	52°05'22" W	15,5	17,1	0,128	6,24	185,5	10,1	35,49	45,75
S10	21°50'19" S	52°09'29" W	17,7	19,1	0	6,24	144,5	9,5	36,4	42,25

DADOS DO CAMPO 16/10/2010

Seções	Coordenadas geográfica		Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Velocidade (m/seg)	pH	Condutividade (µs/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/dl)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)
	Latitude	Longitude								
S1	22°13'89" S	51°22'66" W	21,2	21,1	0,571	6,21	121,1	9,9	347,0	345,0
S2	22°12'26" S	51°26'06" W	21,1	21,5	0,626	6,38	161,3	9,1	269,0	338,0
S3	22°10'63" S	51°28'92" W	21,5	22,1	0	6,49	194,5	8,3	49,42	187,25
S4	22°10'00" S	51°32'16" W	22,1	22,4	0,678	6,36	210,4	7,8	245,0	173,25
S5	22°07'75" S	51°36'43" W	22,8	22,3	0,840	6,35	196,8	7,5	350,0	499,75
S6	20°05'08" S	51°43'77" W	23,4	24,0	0,761	6,64	332,1	5,4	1000	178,25
S7	22°01'37" S	51°53'30" W	23,8	23,7	0,812	6,32	203,1	8,7	204	180,5
S8	21°58'96" S	51°58'13" W	17,4	16,5	0,985	6,23	238,9	11,9	27,91	139,5
S9	21°55'57" S	52°05'22" W	15,5	17,1	0,128	6,24	185,5	10,1	35,49	77,25
S10	21°50'19" S	52°09'29" W	17,7	19,1	0	6,24	144,5	9,5	36,4	110,25

DADOS DO CAMPO 10/12/2010

Seções	Coordenadas geográfica		Temperatura do ar (°C)	Temperatura da água (°C)	Velocidade (m/seg)	pH	Condutividade (µs/cm)	Oxigênio dissolvido (mg/dl)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)
	Latitude	Longitude								
S1	22°13'89" S	51°22'66" W	36,4	33,1	0,740	6,9	162,4	7,3	21,32	31,5
S2	22°12'26" S	51°26'06" W	37,2	32,1	0,766	6,95	224,3	7,1	27,65	48,5
S3	22°10'63" S	51°28'92" W	35	32,5	0	6,82	156,4	6,6	29,20	40,5
S4	22°10'00" S	51°32'16" W	31,5	29,6	0,219	6,57	184,6	7,3	44,40	42,5
S5	22°07'75" S	51°36'43" W	32,2	32,7	0,840	6,61	255,1	6,6	40,41	44,5
S6	20°05'08" S	51°43'77" W	33,1	30,5	0,800	6,73	287,9	7,5	53,0	56,0
S7	22°01'37" S	51°53'30" W	31,1	29,0	0,719	6,55	134,4	6,8	75,0	23,0
S8	21°58'96" S	51°58'13" W	28,0	27,2	0,521	6,32	155,3	7,1	171,0	57,0
S9	21°55'57" S	52°05'22" W	29,4	28,4	0,154	6,5	126,9	9,8	218,0	151,25
S10	21°50'19" S	52°09'29" W	21,5	20,1	0	6,38	113,0	5,9	72,0	80,75



**ANEXO 2**

**PLANILHA DE CAMPO**

**Seção:** \_\_\_\_\_

**Data:** \_\_\_\_\_

**Hora:** \_\_\_\_\_

<b>Localização</b>				
<b>Largura do canal (m)</b>				
<b>Largura da ponte (m)</b>				
<b>Velocidade (m/s)</b>	T1:	T2:	T3:	V.med.: m/seg
<b>Temperatura do Ar (°C)</b>				
<b>Temperatura Água (°C)</b>				
<b>pH</b>				
<b>Condutividade (µs/cm)</b>				
<b>Ox. Dissolvido(mg/dl)</b>				
<b>Turbidez (NTU)</b>				
<b>Condições do tempo</b>				

**Batimetria**

**MD a ME:** m ponte + m lamina d'água+ m ponte

**Lamina d'água:** metros

**MD/ME**

<b>Largura (m)</b>	<b>Profundidade (m)</b>