

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA E  
GEOCIÊNCIAS**

**INFLUÊNCIA DO USO DA TERRA NOS  
PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO ITU – RS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Greice Vieira Silveira**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2014**

**INFLUÊNCIA DO USO DA TERRA NOS PARÂMETROS  
LIMNOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITU –  
RS**

**Greice Vieira Silveira**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Área de Concentração em Análise Ambiental e Dinâmica Regional, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Geografia**

**Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2014**

Silveira, Greice Vieira

Influência do uso da terra nos parâmetros limnológicos  
na bacia hidrográfica do rio Itu – RS / Greice Vieira

Silveira. -2014.

92 p.; 30cm

Orientador: Waterloo Pereira Filho

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2014

1. Sensoriamento Remoto 2. Limnologia 3. Bacia  
Hidrográfica 4. Uso e Cobertura da Terra 5.  
Geoprocessamento I. Pereira Filho, Waterloo II. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do  
Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM.  
Dados fornecidos pela autora.

---

© 2014 Todos os direitos autorais reservados a Greice Vieira Silveira.

A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte.

Endereço Eletrônico: greice.v.silveira@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Naturais e Exatas  
Programa de Pós Graduação em Geografia e Geociências**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**INFLUÊNCIA DO USO DA TERRA NOS PARÂMETROS  
LIMNOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITU – RS**

elaborado por  
**Greice Vieira Silveira**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Geografia**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

Liane de Souza Weber (UFSM)

---

Maria de Lourdes Bueno Trindade Galo (UNESP)

Santa Maria, 28 de março de 2014.

## AGRADECIMENTOS

À *Deus pela vida*, a sua presença constante e busca nos momentos de conflito comigo mesma.

Aos *meus pais Vitor e Geneci* que sempre me incentivaram e apoiaram e ao meu *irmão Matheus*.

Aos meus amigos de quatro patinhas *Nick e Dérick* pelo carinho e amor.

À *Universidade Federal de Santa Maria* e aos professores do Programa de Pós Graduação em Geografia e Geociências pela oportunidade de crescimento intelectual.

À *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)* pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor *Waterloo Pereira Filho* pela orientação, incentivo, paciência e amizade.

Às Professoras *Liane de Souza Weber e Maria de Lourdes Bueno Trindade Galo* pela leitura e contribuições a este trabalho.

Aos *amigos do Laboratório de Geotecnologias Patricia Trindade, Diego de Almeida Prado, Gustavo Toniollo, Joceli Augusto Gross e Felipe dos Santos* pelos momentos de descontração e apoio nos momentos de dificuldade.

Aos *meus amigos Suyan Neves, Kelly Neves, Ingrid Welter* pelo carinho, apoio e amizade nos momentos difíceis.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desse trabalho.

*E por fim a todos que acreditaram na minha capacidade de vencer.*

## EPÍGRAFE

*A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro*

*(Albert Einstein)*

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências  
Universidade Federal de Santa Maria

### **INFLUÊNCIA DO USO DA TERRA NOS PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITU – RS**

**AUTORA: GREICE VIEIRA SILVEIRA**

**ORIENTADOR: WATERLOO PEREIRA FILHO**

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de março de 2014.

A bacia hidrográfica do Rio Itu está localizada na região oeste do Rio Grande do Sul e possui área de 2.809,61 km<sup>2</sup>. O setor oeste do Estado é caracterizado por áreas de campos nativos, regionalmente, conhecido como Campanha Gaúcha e tradicionalmente utilizado para a criação de gado. Entretanto, nas últimas décadas foram observadas significativas mudanças na dinâmica da região, onde os campos passaram a ser explorados por culturas agrícolas e pela silvicultura. Outra característica importante é o desenvolvimento de processos de arenização e voçorocas associado aos substratos geológicos muito friáveis. Portanto, o objetivo desta pesquisa é analisar as variações espaço-temporais do uso e cobertura da terra em cinco microbacias no rio Itu e sua relação com as variáveis limnológicas. Foram realizadas análises descritivas das cinco microbacias a partir da declividade, hipsometria, solos e uso e cobertura da terra. O período de estudo foi de 1991 até 2010, selecionou-se imagens do satélite Landsat TM do mês de janeiro dos anos de 1991, 1999 e 2010 para analisar: 1) a evolução do uso e cobertura da terra através de mapas; 2) confeccionar um mapa síntese considerando-se a declividade e o uso e cobertura da terra. As classes de uso foram assim definidas: floresta, campo, solo exposto, agricultura e água. Os mapas de hipsometria e declividade foram realizados a partir das curvas de nível e dados do radar SRTM, gerando o MNT e após foi realizado o fatiamento das classes. O mapa dos tipos de solos foi baixado o shapefile do site do IBGE e realizado o recorte por microbacia. O trabalho de campo foi realizado em julho de 2013, em total de cinco pontos amostrais, cada um a uma microbacia, as variáveis da água analisadas foram temperatura, pH, condutividade elétrica, turbidez e total de sólidos em suspensão. O tipo de uso da terra que mais se destaca entre as cinco microbacias é o solo exposto que aparece sempre com percentuais altos, sendo que as microbacias 3 e 4 apresentam os valores mais expressivos por estarem inseridas em uma área com processo de arenização. As microbacias 1, 2 e 3 apresentaram a classe floresta em crescimento. A presença e ou a ausência de mata ciliar no entorno dos cursos d'água pode estar influenciando na variação de temperatura, no total de sólidos em suspensão e na turbidez. A presença dos areais próximos as margens do rio podem estar influenciando no total de sólidos em suspensão, neste caso na microbacia 3, a qual apresentou o valor mais elevado. O pH e a condutividade elétrica podem estar sendo influenciados pelo tipo de solo predominante da região, o Latossolo vermelho, que apresenta um caráter ácido, pois o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre.

**Palavras chave:** Microbacias. Variáveis Limnológicas. Sensoriamento Remoto. Mudanças no Uso e Cobertura da Terra.

## **ABSTRACT**

Master's Degree Dissertation  
Graduate Program in Geography and Geosciences  
Federal University of Santa Maria

### **INFLUENCE OF THE LAND USE IN THE LIMNOLOGICAL PARAMETERS OF THE ITU RIVER HYDROGRAPHIC BASIN – RS**

**AUTHOR: GREICE VIEIRA SILVEIRA**

**ADVISOR: WATERLOO PEREIRA FILHO**

Defense's date and place: Santa Maria, March 28<sup>th</sup> of 2014.

With a 2,809.61 km<sup>2</sup> area the Itu River Basin is placed in the western side of Rio Grande do Sul. This region, the so-called Campanha Gaúcha, is traditionally used for livestock as it presents plenty of native grasslands. However major changes have been noticed during the last decades in the area activities such as agriculture and forestry use of the fields instead. Sandy desertification and gully erosion have also taken place due to very friable geological substrates. So this work aims to analyze the spatial and temporal changes of the land use in five micro-basins around Itu River and their relationship with limnological variables. Descriptive analysis of the five micro-basins were performed from the slope, hypsometry, soils and land use. There were selected images captured by the Landsat TM satellite from January months of 1991, 1999 and 2010 in order to: 1) check the cover and land use evolution by using maps; 2) elaborate a synthesis map considering slope, cover and land use. The land use classes were defined as: forest, field, bare soil, agriculture and water. Hypsometry and slope maps were made from SRTM data while the soil types maps was elaborated with the shapefile downloaded from the IBGE website. The fieldwork was carried out in July 2013 in one sampling point per micro-basin. The water variables analyzed were temperature, pH, electrical conductivity, turbidity and total suspended solids (TSS). The bare soil is the kind of land use which stands out most among the micro-basins as it appears with high percentages. The micro-basins 3 and 4 are the ones which present most significant values for this land use class due to the low desertification in the areas where they are located in. The locations closer to the Itu River springs (most sloped areas) lead to the micro-basins 1 and 2 being the only ones which show a rising forest class. The presence or absence of riparian forest surrounding watercourses may have been influencing the temperature change as well as the turbidity and the amount of solids in suspension. For micro-basin 3 the latest can also have been influenced by the presence of sand on the riverbanks. In their turn pH and electrical conductivity are likely to have been affected by the red latosol which is the predominant soil of the region and presents an acid character (the pH is due to the type of soil where water flows through

**Keywords:** Micro-basins. Limnological Variables. Remote Sensing. Changes in Cover and Land Use.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos .....	34
Figura 2 – Mapas de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itu em 1991 (a), 1999 (b) e 2010 (c) .....	44
Figura 3 - Mosaico de fotografias dos cenários encontrados na área de estudo.....	45
Figura 4 – Mapas de uso e cobertura da terra na microbacia 1 .....	47
Figura 5 - Mapas de uso e cobertura da terra na microbacia 2.....	48
Figura 6 - Mapas de uso e cobertura nas microbacia 3 .....	49
Figura 7 - Mapas de uso e cobertura na microbacia 4.....	50
Figura 8 – Mapas de uso e cobertura da terra na microbacia 5 .....	51
Figura 9 - Mapas de declividade das microbacias.....	54
Figura 10 - Mapas de hipsometria das microbacias .....	57
Figura 11 – Mapas de tipos de solos das microbacias.....	60
Figura 12 - Mapas síntese declividade e uso e cobertura da terra .....	64
Figura 13 - Mapas de Mudanças no uso e cobertura da terra das microbacias .....	68
Fotografia 1 - Coleta das amostras de água para determinação do TSS.....	37
Fotografia 2 - Áreas de vegetação nas nascentes do rio Itu (a) e avanço das plantações de silvicultura (b) .....	47
Fotografia 3 - Áreas de arenização (a) e de silvicultura (b) .....	52
Fotografia 4 - Ponto 1 (a) e 2 (b) e seu entorno com mata ciliar.....	71
Fotografia 5 - Ponto 3 (a) e 4 (b) .....	71
Fotografia 6 – Ponto 5 .....	72
Gráfico 1 – Temperatura pontos amostrais.....	70
Gráfico 2 – pH dos pontos amostrais.....	73
Gráfico 3 - Condutividade elétrica dos pontos amostrais.....	74
Gráfico 4 - Total de sólidos em suspensão nos pontos amostrais .....	76
Gráfico 5 - Turbidez dos pontos amostrais.....	77
Mapa 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Itu.....	18
Mapa 2 - Localização dos pontos amostrais.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso e cobertura do solo bacia hidrográfica do Itu .....	43
Tabela 2 - Uso e cobertura do solo nas microbacias .....	46
Tabela 3 – Área (ha) ocupada pelas classes de declividade nas microbacias.....	53
Tabela 4 - Hipsometria microbacias.....	55
Tabela 5 - Solos microbacia .....	59
Tabela 6 - Uso da terra associado a declividade .....	63
Tabela 7 – Mudanças no uso e cobertura do solo.....	66
Tabela 8 – Produção agropecuária .....	69
Tabela 9 – Relação uso da terra com as variáveis limnológicas .....	78

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

Mb – Microbacia

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

TSS – Total de sólidos em suspensão

pH – Potencial hidrogeniônico

F – Floresta

C – Campo

Agric – Agricultura

A – água

SE – Solo exposto

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

SEPLAG – Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã

MNT – Modelo Numérico do Terreno

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

NTU – Nefelométricas Unidades de Turbidez

## **LISTA DE APÊNDICES**

<b>Anexo A – Exemplo da Programação em LEGAL do Spring (Mapa mudanças no uso e cobertura da terra).....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo B – Exemplo da Programação em LEGAL do Spring (Mapa síntese declividade e uso e cobertura da terra).....</b>	<b>99</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 Características da área de estudo .....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
2.1 Bacia hidrográfica .....	19
2.2 Uso e cobertura da terra .....	20
2.3 Arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul .....	21
2.4 Fundamentos de limnologia .....	23
2.4.1 Variáveis limnológicas .....	25
2.5 Princípios físicos do sensoriamento remoto .....	29
2.6 Classificação digital de imagens orbitais .....	31
2.7 Sistemas de informações geográficas .....	32
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	34
3.1 Materiais utilizados .....	35
3.2 Período de análise e pontos amostrais .....	35
3.3 Levantamento e determinação das variáveis limnológicas .....	36
3.3.1 Totais de sólidos em suspensão .....	37
3.4 Análise descritiva dos dados limnológicos .....	38
3.5 Elaboração do banco de dados .....	39
3.6 Mapa de uso e cobertura da terra .....	39
3.7 Mapas Gerados a partir do Modelo Numérico do terreno .....	40
3.8 Mapa de solos .....	41
3.9 Elaboração dos mapas síntese .....	41
3. 10 Análise integrada entre o ambiente terrestre e aquático. ....	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	43
4.1 Análise uso da terra bacia hidrográfica do rio Itu .....	43
4.2 Análise do uso e cobertura do solo nas microbacias .....	46
4.3 Análise declividade microbacias .....	52
4.4 Análise da hipsometria nas microbacias .....	55
4.5 Análise dos tipos de solo nas microbacias .....	58
4.6 Análise do cruzamento entre os dados de declividade e uso e cobertura da terra ....	62
4.7 Análise mudanças no uso e cobertura do solo nas microbacias .....	65
4.8 Análise limnológica nos pontos amostrais das microbacias .....	70
4.8.1 Temperatura .....	70
4.8.2 Potencial hidrogeniônico .....	72
4.8.3 Condutividade elétrica .....	74
4.8.4 Total de sólidos em suspensão .....	75
4.8.5 Turbidez .....	76
4.8.6 Relação entre uso e cobertura da terra e variáveis limnológicas .....	78
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	80
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	83
<b>APÊNDICES</b> .....	90

# 1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações da sociedade está relacionada aos problemas ambientais que vem crescendo cada vez mais, dentre esses, destaca-se os corpos d'água, que denunciam as realidades locais de cada região. A causa das alterações negativas sobre o ambiente aquático também deve ser buscada, em grande parte, na área do seu entorno e nos processos que ocorrem como: escassez de terras férteis, desenvolvimento socioeconômico da região com consequentes modificações no uso e ocupação do solo e, particularmente, as formas como são exercidas as atividades agrárias na área da bacia hidrográfica (TUNDISI, 1988).

A Limnologia é uma ciência multidisciplinar cujo foco de estudo são as águas continentais e engloba estudos relacionados aos aspectos químicos, hidrográficos, geológicos e ecológicos desses ambientes aquáticos. Inicialmente, os estudos limnológicos realizados focavam na descrição dos padrões de funcionamento dos ambientes aquáticos como a ciclagem de nutrientes e a estratificação dos corpos d'água. No entanto, o desenvolvimento da ciência ecológica nas últimas décadas marcou o início da busca dos processos capazes de explicar tais padrões (ESTEVES, 1998).

Desde 1997, com a institucionalização da Política Pública das Águas, a bacia hidrográfica estabeleceu-se como unidade territorial de planejamento e gestão. A difusão do termo microbacia, até pouco tempo de uso quase restrito da hidrologia e da geomorfologia, está se tornando de domínio público. Isso se justifica, sobretudo, pelo reconhecimento da importância da água para o abastecimento público, recreação e como agente do transporte de soluções do solo, dos poluentes ou dos vetores de doenças.

A bacia hidrográfica é o espaço físico de gestão dos diversos usos da água, onde se pode melhor perceber e entender os impactos da ação antrópica sobre a quantidade e principalmente a qualidade da água como resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. De maneira geral, pode-se dizer que a qualidade da água é função das condições naturais e do uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica (VON SPERLIN, 2005).

A dinâmica das bacias hidrográficas consiste na interação de elementos naturais e antrópicos, como a cobertura vegetal, o clima, a pedologia, a geomorfologia e o uso e ocupação do solo. Esses elementos são fundamentais para a manutenção do equilíbrio do ciclo hidrológico das bacias hidrográficas.

As atividades econômicas acabam por gerar a retirada da vegetação natural, expondo o solo a possíveis processos erosivos intensificados pela ação do escoamento superficial, carreando para os cursos de drenagem, sedimentos, detritos orgânicos e inorgânicos que interferem na qualidade da água e ainda podem assorear os cursos d'água (NETTO et al, 2011).

Segundo Egler (2001) o processo da agricultura e da pecuária nas áreas nativas, sejam elas florestas ou campos, por meio do desmatamento e das queimadas foram, nos últimos cinquenta anos, os grandes responsáveis pela redução da cobertura original e pelas mudanças que ocorreram no uso da terra no país. Tais mudanças são necessárias para o desenvolvimento da sociedade e por isso estão associadas a ela tanto consequências positivas quanto negativas.

Desta forma, o uso da terra torna-se relevante e de grande importância para a preservação e manejo dos recursos naturais principalmente tratando-se das áreas de preservação permanente da vegetação no entorno dos cursos d'água. Deve-se levar em conta os fatores que influenciam na configuração e proteção da flora e fauna tanto do ecossistema aquático quanto terrestre, já que a alteração das características de um ecossistema pode levar a alteração no outro, causando, muitas vezes, sérios problemas. Dentre esses, o grande aporte de agrotóxicos e nutrientes das lavouras para o manancial de água ocasionando crescimento exagerado das plantas aquáticas e, conseqüentemente a morte da ictiofauna devido à falta de oxigenação (ESTEVES, 1998; TUNDISI et al., 1999).

As técnicas de sensoriamento remoto são importantes alternativas para o conhecimento da superfície, considerando sua variação espacial. O mapeamento do uso e cobertura do solo por meio de imagens de sensoriamento remoto tem a vantagem de poder ser periodicamente atualizado, atendendo as necessidades dos estudos que fazem uso da técnica. (ANDERSON e SHIMABUKURO, 2005). Destaca-se ainda, que a obtenção dessas informações é imprescindível em atividades tais como: monitoramento dos recursos hídricos, previsão e gerenciamento agrícola, gestão urbana, tomadas de decisões no setor elétrico, dentre outras.

Essa pesquisa visa contribuir com uma análise sobre as variações espaço-temporais do uso e cobertura da terra e sua relação com as variáveis limnológicas em cinco microbacias no rio Itu. Visto que, a contínua interferência das atividades humanas em sistemas aquáticos continentais produz impactos diretos ou indiretos, com consequência para a qualidade da água, a biota aquática e o funcionamento de lagos, rios e represas. Dessa forma, a necessidade de estudos para utilização racional dos recursos hídricos torna-se mais evidente (WETZEL, 2001).

A eficácia do sensoriamento remoto e de técnicas de coleta e medição de parâmetros limnológicos foi comprovada em estudos de ambientes aquáticos e terrestre dentre eles

destaca-se: “Influência das bacias hidrográficas e características espaço-temporal de variáveis limnológicas em reservatórios no Rio Grande do Sul.” (Wachholz, 2011); “Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no Reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca – RS” (Corazza, 2010); “Análise comparativa entre uso e ocupação do solo e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Palmital – PR” (Volothen, 2011); “Uso e ocupação da terra e suas influências em parâmetros químicos e físicos da água da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista. (Gonçalves, 2011) e “Sensoriamento Remoto da dinâmica da circulação da água do Sistema Planície do Curuai/Rio Amazonas” (BARBOSA, 2005).

Desta forma, o objetivo geral desta pesquisa é analisar as variações espaço-temporais do uso e cobertura da terra em cinco microbacias no rio Itu e sua relação com as variáveis limnológicas. Os objetivos específicos são: 1º Identificar e quantificar os diferentes usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itu, 2º Identificar os padrões limnológicos de cada bacia através de: totais de sólidos em suspensão (TSS), condutividade elétrica, turbidez, pH e temperatura da água e 3º Analisar a influência que o uso e cobertura da terra pode ocasionar nas variáveis limnológicas.

## **1.1 Características da área de estudo**

O Rio Grande do Sul é um dos estados do país com maior disponibilidade de águas superficiais, pois seu território é drenado por uma densa malha hidrográfica superficial e conta com três grandes bacias coletoras: a bacia do Uruguai, do Guaíba e a Litorânea. A bacia hidrográfica do rio Itu está localizada na bacia hidrográfica do Uruguai, a qual abrange cerca de 57% da área total do Estado, ou seja o rio Itu está inserido na maior bacia hidrográfica do Estado do RS. O uso do solo da bacia do Uruguai está vinculado principalmente às atividades agrícolas, pecuárias e agroindustriais (SEPLAG, 2012).

A bacia hidrográfica do rio Itu está localizada na região oeste do Rio Grande do Sul e possui uma área de 2.809,61 km<sup>2</sup>. O rio Itu é afluente da margem direita do Rio Ibicuí e abrange os municípios de São Francisco de Assis, Manuel Viana, Itaqui, Unistalda, Maçambará, São Borja e Santiago.

Segundo Trentin (2011) o setor oeste do estado do Rio Grande do Sul é caracterizado por áreas de campos nativos, regionalmente, conhecido como Campanha Gaúcha e tradicionalmente utilizado para a criação de gado. Entretanto, nas últimas décadas foi

observado significativas mudanças na dinâmica da região, em que os campos passaram a ser explorados por culturas agrícolas e pela silvicultura, espécies exóticas (Eucaliptos). Outra característica importante que se pode destacar é o desenvolvimento de processos de arenização e voçorocas associado a substratos geológicos muito friáveis.

A arenização e silvicultura consistem numa problematização que transcorre diversos segmentos da sociedade, entre comunidades locais de agricultores, pecuaristas, técnicos, cientistas e políticos. A partir da década de 1970, essa questão vem ocupando as discussões das questões ambientais referentes à região Sudoeste do Rio Grande do Sul. Na medida em que a arenização é apontada como a principal causa do processo de degradação ambiental da região, a silvicultura foi privilegiada como solução nas políticas ambientais, tanto públicas como nas parcerias do público-privado (RIBEIRO, VERDUM, 2013).

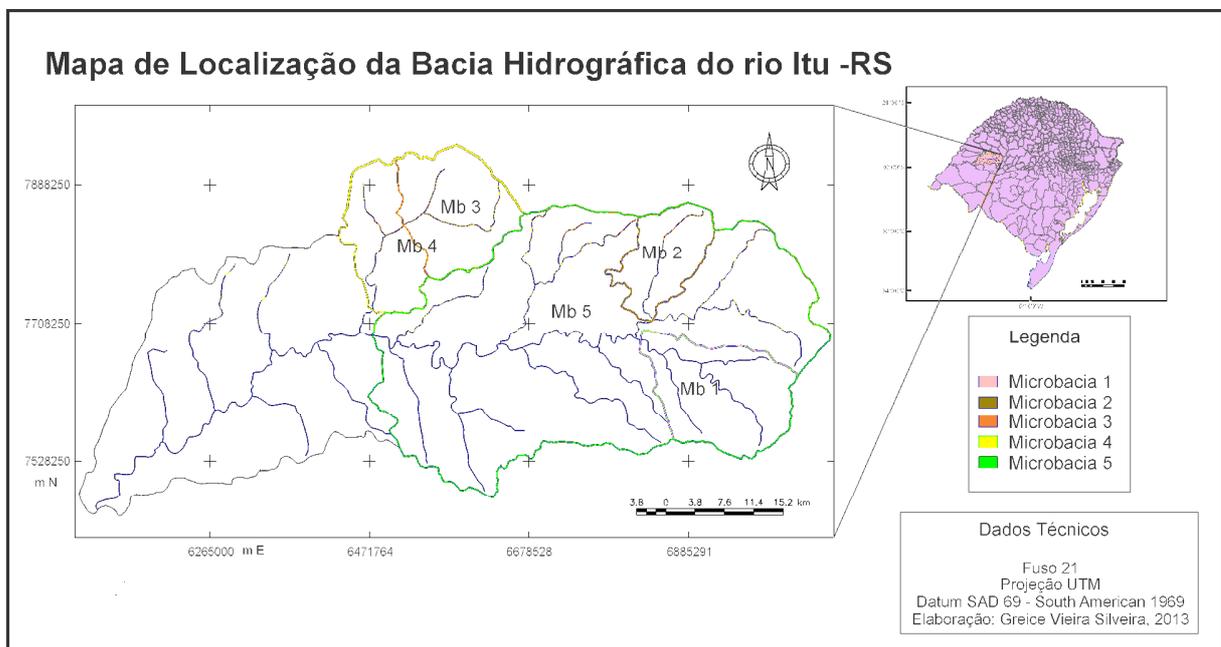
Um problema ambiental persistente são as voçorocas, principalmente quando associadas à degradação de terras e a exportação de sedimentos para as drenagens. Essas também interferem diretamente na preservação de recursos hídricos, pois os sedimentos erodidos alteram a qualidade da água e aumentam os custos para sua utilização, como também alteram as condições hidrodinâmicas que operam no solo. Outro destaque são as mudanças que ocorreram na dinâmica do uso e ocupação no solo que, associado a fragilidade natural da região, têm intensificado os processos de dinâmica superficial.

A característica mais notável da região é a grande predominância de formações campestres. A vegetação arbórea restringe-se praticamente a certas encostas dos chapadões de arenito, sobretudo ao norte do Rio Ibicuí, bem como as faixas que acompanham os principais cursos de água tratando-se, nos dois casos, de habitats favorecidos por suprimento mais regular de água. O território sul-rio-grandense situa-se em uma zona climática de transição e, por isso, as principais características climáticas da área de estudo é decorrente da participação tanto dos Sistemas Atmosféricos Extratropicais (massas e frentes polares) quanto dos Intertropicais (massas tropicais e Correntes Perturbadas), ainda que os primeiros exerçam o controle dos tipos de tempo (SARTORI, 2003).

A posição subtropical em que a região está inserida é área de confronto periódico entre forças opostas, provocado pelo avanço sistemático dos Sistemas Atmosféricos de origem polar em direção aos sistemas polares tropicalizados (Massa Polar Velha) ou aos sistemas de origem tropical (Massa Tropical Atlântica ou Continental), proporcionando a distribuição das chuvas durante todo o ano, motivada pelas sucessivas passagens frontais, sem ocorrência de estação seca no regime pluviométrico (SARTORI, 2003).

Conforme Sartori (2003) a variabilidade têmporo-espacial das precipita es ocasiona episódios de longas estiagens ou de enchentes, que podem acontecer em qualquer época do ano e que refletem altera es na habitualidade da circula o atmosférica nas escalas regionais e zonais, em parte provocadas pelos, então conhecidos, fen menos de “*El Ni o*” e “*La Ni a*”. A varia o espacial da chuva na região sofre, em parte, a influência do relevo, já que o estado possui a serra geral no seu setor central, com alinhamento perpendicular   dire o geral de deslocamento das frentes polares, que   principalmente de sudoeste para nordeste, desde o extremo sul do Oceano Pacífico até as latitudes tropicais do Oceano Atlântico, o que determina altera es no volume pluviométrico registrado nas regiões climáticas do estado (SARTORI, 2003).

Os solos da área de estudo apresentam-se bem diversificados, sendo diretamente influenciados pela grande varia o do relevo e pelas características geológicas da bacia hidrográfica que interfere na forma o e nos distintos tipos de solos, ou mesmo, nas características de determinado solo (TRENTIN, 2011).



Mapa 1 - Localiza o da bacia hidrográfica do rio Itu

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Bacia hidrográfica**

As bacias hidrográficas vêm sendo utilizadas como unidades básicas de planejamento, pois representam a unidade geográfica que integra as características físicas, humanas e econômicas, constituindo-se em ecossistemas adequados para avaliação dos impactos causados pela ação antrópica que podem acarretar desequilíbrios e riscos tanto no ambiente terrestre quanto aquático (ROCHA, 1999).

Uma bacia, sub-bacia, ou microbacia hidrográfica são formadas por divisores de água e uma rede padrão ou sistema de drenagem, caracterizada pela sua forma, extensão, densidade e tipo. Podem, ainda, ser definidas como uma área drenada por um sistema de cursos hídricos inter-relacionados e controlados por um divisor d'água que drena a água, material sólido e dissolvido, geralmente dirigido para um rio, lago, reservatório ou oceano (ROCHA, 1991; GUERRA e CUNHA, 1996).

Microbacias hidrográficas consistem em unidades naturais de planejamento ambiental, intervenção e monitoramento. Suas dimensões mais reduzidas do que as grandes bacias hidrográficas favorecem o gerenciamento dos recursos hídricos por permitirem maior eficiência no controle das mudanças nos fluxos energéticos (descarga, cargas sólidas e dissolvidas), impactos ambientais e desequilíbrios da paisagem que eventualmente ocorrem em seu interior. As alterações podem ter causas naturais, contudo modificações podem ser agravadas pelas atividades antrópicas decorrentes do uso e ocupação do solo, podendo-se citar mudança do regime hídrico, desmatamento, mineração, práticas agrícolas, urbanização etc. (GUERRA & CUNHA, 2004; MEDEIROS et al., 2009).

As bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas desenvolvidas, pois as mudanças significativas em qualquer dessas unidades podem gerar alterações, efeitos e/ou impactos à jusante e nos fluxos energéticos de saída (STRASSBURGER, 2005). As transformações que ocorrem no interior das bacias hidrográficas podem ter causas naturais, entretanto, nos últimos anos, o homem tem participado como um agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrios da paisagem.

As características naturais podem contribuir para a erosão potencial das encostas e

para os desequilíbrios ambientais, pois a rede de drenagem é o reflexo de um conjunto de variáveis físicas como clima, relevo, solos, substrato rochoso e vegetação. Assim é importante que se tenha o conhecimento da potencialidade real e das limitações de uso dessas áreas para conservar o ambiente em equilíbrio. A bacia hidrográfica representa um papel relevante e pressupõe a participação integrada dos diferentes agentes para que haja desenvolvimento e sustentabilidade ambiental na administração, principalmente da água e das florestas nativas (GUERRA e CUNHA, 1996).

A entrada de substâncias de origem antropogênica nos cursos d'água, de forma contínua ou esporádica, altera as concentrações das espécies dissolvidas e de microorganismos, podendo ser rapidamente notadas. A cobertura vegetal exerce papel fundamental na manutenção do ciclo da água, ao proteger o solo contra o impacto das gotas das chuvas. Além de aumentar a porosidade e a permeabilidade do solo, por meio da ação das raízes, reduz o escoamento superficial e mantém sua umidade e fertilidade, pela presença de matéria orgânica (BELTRAME, 1994).

Segundo Wachholz (2007) o ecossistema aquático envolve dois sistemas: o biótico e o abiótico, sendo ambos vulneráveis à entrada e saída do ecossistema terrestre. O ambiente aquático é um sistema aberto, quando sofre elevada influência das características do ambiente terrestre e, conseqüentemente, da ação humana. Deste modo, a principal entrada no ecossistema aquático são as chuvas, quanto à recepção direta *in situ* e indireta, por meio do escoamento superficial na bacia hidrográfica. Essa é a principal fonte responsável por variações no sistema aquático, pois, além das características da própria água, ocorre a interação com o ambiente terrestre.

## **2.2 Uso e cobertura da terra**

O mapeamento do uso e cobertura do solo de uma dada região é de extrema importância para a compreensão da organização do espaço e das mudanças ocorridas, uma vez que, o meio ambiente está em constante transformação devido aos aumentos das atividades antrópicas.

As primeiras classificações do uso da Terra se baseavam em trabalhos de campo. Posteriormente, a partir da década de 50 do século passado, um grande número de pesquisadores em várias partes do mundo dedicou-se a identificação detalhada de cultura

agrícolas em fotografias aéreas (STEINER, 1970). Segundo Borges et al (1993), com o advento das imagens orbitais na década de 1970, o mapeamento do uso e ocupação do solo em uma dada região ganhava mais um importante instrumento de avaliação.

Para Rosa (1990) o conhecimento atualizado das formas de utilização e ocupação da terra, bem como seu uso histórico, se constitui num fator imprescindível para o estudo dos processos que se desenvolvem numa dada região como a erosão, desertificação, inundações, assoreamentos de cursos d'água, dentre outros.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2006) o levantamento sobre o uso e a cobertura da terra comporta análises e mapeamentos e é de grande utilidade para o conhecimento atualizado das formas de uso e de ocupação do espaço, constituindo importante ferramenta de planejamento e de orientação à tomada de decisão.

O uso e manejo inadequado do solo e as mudanças na cobertura têm sido fatores responsáveis também pelo desmatamento dos principais biomas brasileiros, com destaque para a Mata Atlântica. Sendo assim, o levantamento do uso e cobertura da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado podem causar deterioração do ambiente (PRADO, 2010). Para Spínola & Turetta (2010) estudos para análise das mudanças no uso da terra permitem o entendimento de processos de alteração do espaço geográfico e também os efeitos dessas ações sobre o mesmo. Deste modo, esse tipo de análise pode ser considerado como o primeiro passo para elaboração de um trabalho de planejamento e gestão territorial.

O uso e ocupação do solo tem importância fundamental na ocorrência natural da água, sendo que as intervenções humanas, como o desmatamento e a urbanização, são fatores modificadores do ciclo hidrológico, pois diminuem a evapotranspiração, além de outras consequências prejudiciais ao meio ambiente. A qualidade da água, representada por parâmetros que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas está intimamente relacionada a contaminação de mananciais, que impedem seu uso para abastecimento humano, agravando ainda mais o problema da escassez desse recurso, tão discutido nos dias atuais (VON SPERLING, 2005).

### **2.3 Arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul**

A região de ocorrência dos areais está localizada no sudoeste do Rio Grande do Sul (RS), a partir do meridiano de 54° em direção oeste até a fronteira com a Argentina e a

República Oriental do Uruguai. A degradação do solo nessa área apresenta-se sob a forma de areais. Esses ocupam uma larga faixa onde se localizam os municípios de Alegrete, Cacequi, Itaquí, Maçambará, Manuel Viana, Quaraí, Rosário do Sul, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda (SUERTEGARAY, 1987).

No Brasil, na década de 50, começou o processo de modernização do campo, que se acentuou a partir da década de 60, principalmente nas regiões Sul e Sudeste, e expandiu para outras regiões, sobretudo a partir da década de 70 (TEIXEIRA, 2005).

Segundo Suertegaray (2001) no estado do Rio Grande do Sul a modernização trouxe graves consequências em termos de degradação ambiental, sendo que a introdução do cultivo da soja e o pisoteio do gado são os principais responsáveis pela intensificação dos processos erosivos do solo. Na região sudoeste do RS o processo de arenização vem ocorrendo ao longo de milhares de anos devido à fragilidade natural do ecossistema, associada à erosão eólica e intensificada pelas práticas inadequadas de manejo do solo.

Suertegaray (1987) conceitua arenização como sendo o processo de retrabalhamento de depósitos arenosos pouco ou não consolidados que acarreta nessas áreas uma dificuldade de fixação da cobertura vegetal, devido à intensa mobilidade dos sedimentos pela ação das águas e dos ventos. Consequentemente, arenização indica uma área de degradação relacionada ao clima úmido, onde a diminuição do potencial biológico não desemboca em definitivo em condições de tipo deserto. Ao contrário, a dinâmica dos processos envolvidos nessa degradação dos solos é fundamentalmente derivada da abundância de água.

A área de ocorrência dos areais no RS tem como substrato o arenito da Formação Botucatu. Sobre essa formação Mesozóica assentam-se depósitos arenosos não consolidados, originários de deposição hídrica e eólica durante o Pleistoceno e Holoceno. São nestes depósitos que vão se originar os areais (SUERTEGARAY, 1987).

A formação dos areais, identificada a partir de estudos geomorfológicos, associada à dinâmica hídrica e eólica indica que os areais resultam inicialmente de processos hídricos. Esses processos hídricos, relacionados com uma topografia favorável permitem, numa primeira fase, a formação de ravinas e voçorocas. Na continuidade do processo, as voçorocas desenvolvem-se por erosão lateral e regressiva, consequentemente, alargando suas bordas. Em decorrência do processo de transporte de sedimentos pela água durante episódios de chuvas torrenciais, formam-se depósitos arenosos em forma de leques. Com o tempo esses leques vão se agrupando e em conjunto dão origem a um areal. O vento que atua em todas as direções sobre essas areias, permite a ampliação do processo. No sudoeste do RS um dos principais agentes de expansão dos areais é o processo de erosão eólica (SUERTEGARAY, 1995).

Para Souto (1984) quatro fatores são fundamentais para a ação destrutiva de agentes eólicos: vulnerabilidade da superfície do solo, área de extensão, velocidade e constância dos ventos e grau de umidade, ou seja, causas naturais. Em estudos de Rovedder (2003), que quantificou a quantidade de areia movimentada em um areal durante um período de 16 meses consecutivos, constatou-se que a maior quantidade de areia movimentada correspondia aos meses de maior velocidade dos ventos na região, no período de primavera-verão.

Souto (1984) destaca que os efeitos da erosão eólica são proporcionais a velocidade dos ventos e a redução da cobertura vegetal e/ou precipitações, acentuando-se quando em solos de origem arenítica. Para Ab'Saber (1995), a ação dos ventos é mais complexa porque se alternam ventos gerais sul-norte, muito fortes no inverno gaúcho. Esses ventos ganham força erosiva, principalmente em determinados locais como cabeceiras de drenagem, vertentes e extensos interflúvios planos da região.

Apesar de ter sua origem comprovadamente vinculada à causas naturais, a consolidação do quadro de degradação verificado atualmente no sudoeste do RS, teve na participação do homem um fator decisivo e que não pode ser ignorado. Ab'saber (1995) destaca essa participação em ações diretas ou indiretas. As ações diretas são o recorte e a remoção de areias nas margens de estradas ou rodovias, ou nas baixas vertentes de vales, rios, sangas e arroios. Já as ações indiretas compreendem os desmatamentos em locais inadequados (próximos às sangas e arroios); a ampliação da área de pecuária feita, em alguns locais, mediante a destruição da vegetação de médio porte; a exploração de florestas para obtenção de lenha e as tentativas de implantação de agricultura comercial com utilização de maquinário inadequado ao preparo do solo, entre outras.

## **2.4 Fundamentos de limnologia**

A ciência que estuda os corpos hídricos continentais, como lagos, reservatórios, rios, e demais áreas úmidas é denominada limnologia. Esta ciência está fortemente ligada à hidrologia e pode ser considerada uma ciência interdisciplinar, apoiada nos estudos físicos, químicos e biológicos desses ambientes. Uma variável limnológica é determinada pelo valor das características físico-químicas e biológicas existentes num corpo de água, principalmente em um reservatório ou lago de captação de água. (DUNNE e BOARD, 1998; ESTEVES, 1998).

A limnologia também pode ser definida como o ramo da ciência relacionada com a produtividade biológica das águas continentais e todas as influências causadas pelo meio. A expressão “produtividade biológica” inclui seus aspectos qualitativos e quantitativos, como seu aspecto atual e suas potencialidades; as “águas continentais” se referem a todos os tipos de águas superficiais do continente sejam elas doces ou salgadas; e as “influências causadas pelo meio” englobam todos os fatores físicos, químicos, biológicos, meteorológicos, entre outros (WELCH, 1952).

No início do século XVIII começou os estudos de limnologia, com medidas de temperatura em lagos e, conseqüentemente, o reconhecimento da temperatura e densidade da água como uma das mais importantes variáveis ambientais, fundamentais na explicação do padrão de circulação das massas de água (ESTEVES, 1998). Os estudos limnológicos são fundamentais para a implantação de medidas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, bem como para um melhor acompanhamento de ações de conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos continentais.

Até 1950 as pesquisas tinham caráter descritivo sobre a tipologia dos lagos e as relações de causa e efeito que se observavam. Após essa data as pesquisas passaram a conter fases experimentais em campo e em laboratório, principalmente devido ao avanço da tecnologia. Atualmente as técnicas matemáticas e estatísticas auxiliam no conhecimento das interrelações entre os componentes dos ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1998).

A conservação dos ecossistemas aquáticos continentais, no que visa sua utilização racional, é um dos temas centrais da Limnologia moderna. Neste sentido os pesquisadores desta linha de pesquisa visam manter as condições naturais do ambiente para que possam ter seus múltiplos usos garantidos. Dentre os quais se destaca; o fornecimento de água, geração de energia elétrica, para fins de pesquisas, produção de alimentos e lazer (ESTEVES, 1998). A limnologia pode colaborar com a melhoria da qualidade da água utilizada pela população, investigando as fontes poluidoras, criando teorias para a sua eliminação e contribuindo para a estabilidade do ecossistema.

Esteves (1998) destaca que o ambiente aquático apresenta algumas características peculiares, tais como: alta concentração para solubilização de compostos orgânicos e inorgânicos, possibilitando que os organismos, em especial os autotróficos possam absorver por toda superfície do corpo; gradientes verticais e horizontais que em certos casos se tornam evidente por meio da distribuição desigual da luz, nutrientes, temperatura e gases (oxigênio absorvido e gás carbônico); baixo teor de sais dissolvidos típico de ambientes de água doce;

alta densidade e viscosidade da água têm grande significado para a locomoção dos organismos no meio aquático.

As pesquisas sobre o metabolismo dos ecossistemas aquáticos continentais podem ser realizadas em três etapas: uma delas é a etapa de análise. A qual possibilita o conhecimento da estrutura do ecossistema através de investigações das variáveis limnológicas, tais como: pH, condutividade elétrica, turbidez, temperatura, ventos, concentração de nutrientes, penetração da radiação solar, análise quantitativa e qualitativa das comunidades animais e vegetais, dentre outras.

Portanto os estudos limnológicos são fundamentais para a implantação de medidas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, somadas a um melhor acompanhamento de ações de conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos continentais. Um dos campos de atuação mais antigos da limnologia e dos mais importantes nos tempos atuais refere-se às pesquisas sobre o metabolismo dos ecossistemas aquáticos continentais. Estas pesquisas possibilitam, por exemplo, o conhecimento da estrutura e do funcionamento destes ecossistemas, viabilizando, portanto o seu manejo e a máxima produtividade (ESTEVES, 1998; TUNDISI e TUNDISI, 2008).

#### 2.4.1 Variáveis limnológicas

Norling et al (2004) enfatizaram que os impactos sobre lagos, reservatórios e rios são inúmeros, causando a variação da temperatura, oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão, concentração de nutrientes, modificação da hidráulica, aumento da concentração de mercúrio e impacto dos gases do efeito estufa.

##### 2.4.1.1 Temperatura

A temperatura da água é influenciada por elementos e fatores climáticos e pela variação diária da temperatura do ar atmosférico, bem como de outras variáveis limnológicas, como o total de sólidos em suspensão e a transparência (TUCCI, 1993). Ela é diretamente proporcional à transparência (zona eufótica) e inversamente proporcional ao TSS, isto é,

quanto maior a temperatura da água, maior a transparência e, portanto, menor o TSS presente na água e vice-versa. Lagos e reservatórios apresentam um gradiente de temperatura da água de acordo com a profundidade, em geral associado às condições sazonais e climáticas (WETZEL, 1983; ESTEVES, 1998).

As alterações de temperatura são parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas. A temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam (CETESB, 2013).

#### 2.4.1.2 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) nos cursos d'água está relacionado com a dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, fotossíntese e oxidação da matéria orgânica e da ação antrópica através de despejos domésticos e industriais. Com relação à questão sanitária, somente em águas extremamente ácidas ou básicas, poderiam causar algum tipo de problemas de saúde para a população (VON SPERLING, 2005).

O pH é uma medida da intensidade do caráter ácido de uma solução. É dado pela atividade do íon hidrogênio, sendo medido potenciométricamente e apresentado em uma escala anti-logarítmica, (ESTEVES, 1998). A escala de pH, compreendida entre 0 e 14, indica se o meio é ácido, básico ou neutro, quando o pH for menor, maior ou igual a 7, respectivamente. O pH é uma variável importante para a conservação da qualidade da água, visto que alterações nos seus valores podem acarretar alterações químicas e conseqüentemente a vida aquática e ainda causar problemas como por exemplos nas redes de distribuição de água.

Por influir em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas, o pH é um parâmetro importante em muitos

estudos no campo do saneamento ambiental. A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Além disso, o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes (CETESB, 2013).

#### 2.4.1.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é importante para o metabolismo do ecossistema aquático, pois está relacionada à capacidade de propagar energia às partículas e nutrientes sólidos dissolvidos na água, podendo ajudar na identificação de fontes poluidoras. O valor da condutividade elétrica é inversamente proporcional ao valor do índice pluviométrico, isto é, quanto maior o valor da condutividade elétrica, menor o valor do índice pluviométrico, e vice-versa (ESTEVEZ, 1998).

A condutividade é a expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura, além disso, indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água. Portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados. A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição da água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2013).

#### 2.4.1.4 Total de sólidos em suspensão

Para Wachholz (2007) o total de sólidos em suspensão (TSS) é decorrência do metabolismo aquático e tem relação com as atividades desenvolvidas no ambiente terrestre. Nas sub-bacias hidrográficas as partículas orgânicas e inorgânicas são carregadas até o

reservatório, através do escoamento superficial. Entretanto, a perda de material muda conforme o tipo do uso da terra. O TSS em níveis elevados pode repercutir na degradação do habitat aquático e na qualidade da água.

O total de sólidos em suspensão é todo o material particulado em suspensão na água e que não passa por um filtro de 0,45  $\mu\text{m}$ . Entre os constituintes de um corpo d'água, o TSS é o componente de maior peso no comportamento óptico da água. O TSS na água é composto por dos tipos de sedimentos, os sólidos orgânicos em suspensão e os sólidos inorgânicos em suspensão. Os sólidos orgânicos são compostos principalmente por fitoplâncton e matéria orgânica particulada e os sólidos inorgânicos por partículas minerais, principalmente silte e argila (ESTEVES, 1998; BARBOSA, 2005).

#### 2.4.1.5 Turbidez

A turbidez é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, e esta redução se dá por absorção e espalhamento. A atenuação ocorre devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos (algas, bactérias, e em menor proporção os compostos dissolvidos) (CETESB, 2013).

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é intensificada pelo manejo inadequado do solo. Um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas são alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas Estações de Tratamento de Águas. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo inter-relações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro (ESTEVES, 1998).

Os esgotos domésticos e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em consequência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático. A elevação da turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes. Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso, afeta adversamente os usos doméstico e industrial (CETESB, 2013).

## 2.5 Princípios físicos do sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é definido como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre alvos (objetos, elementos e fenômenos geográficos) da superfície terrestre, sem que haja contato físico entre eles. Os dados adquiridos pelos sensores remotos são armazenados, processados e analisados e, assim, torna-se possível a extração de informações sobre o ambiente terrestre (NOVO, 2008).

A interação da radiação eletromagnética com os alvos da superfície terrestre e com o próprio solo depende, sobretudo, das características de cada um dos alvos e do ambiente que os cerca apresentando, dessa forma, diferentes quantidades de energia absorvida e refletida, o que possibilita a discriminação de diversas ocupações da superfície terrestre, pois cada alvo possui respostas espectrais diferenciadas (MOREIRA, 2005).

Conforme Novo (1989), os diferentes sistemas sensores são caracterizados pela sua resolução, definida como uma medida da habilidade que o sensor possui de distinguir entre respostas espectralmente semelhantes e espacialmente próximas. Além da resolução espacial que mede a menor separação linear ou angular entre dois objetos da superfície terrestre, os sistemas de varredura instalados em satélites podem ser caracterizados em termos de sua resolução espectral, que é uma medida da largura das faixas espectrais nas quais o sensor opera; resolução radiométrica, relacionada com a sensibilidade do sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno; e resolução temporal, relativa ao intervalo de tempo entre a aquisição de duas imagens de uma mesma área.

No Sensoriamento Remoto, a radiometria espectral é definida como a medida quantitativa da intensidade de radiação. Por meio desta é que se diferencia a resposta espectral de cada objeto possível de identificação em uma imagem, nesse caso utilizando a radiação eletromagnética que cada alvo apresenta (NOVO, 2008; MENESES, 2001).

As medidas radiométricas principais utilizadas no sensoriamento remoto referem-se a irradiância, radiância, absortância, reflectância e transmitância. A irradiância corresponde ao fluxo de energia que incide sobre uma determinada superfície por unidade de área. A radiância é determinada pelo fluxo radiante por ângulo que deixa uma fonte em uma dada direção por unidade de área (SLATER, 1980; NOVO, 2008; JENSEN, 2009).

O fluxo radiante ao incidir sobre o alvo pode apresentar três formas de interação, absortância, reflectância e transmitância. A absortância se refere à razão entre o fluxo de energia absorvido e a energia incidente em uma superfície. A reflectância é dada pela

quantidade de energia refletida em razão da energia que incide na superfície. A transmitância é a razão entre o fluxo transmitido pelo fluxo incidente numa dada superfície (NOVO, 2008; JENSEN, 2009).

A radiação dos objetos na superfície terrestre é emitida em diferentes amplitudes e composições espectrais. Independente da fonte, a radiação detectada pelos sensores remotos percorre determinada distância na atmosfera. O efeito do sinal recebido pelo sensor muda devido às condições da atmosfera, com as distintas distâncias percorridas pela radiação, a magnitude do sinal da energia recebida pelo sensor e o comprimento de onda envolvido (LILLESAND e KIEFER, 1994).

Em decorrência da variação dos efeitos atmosféricos, a atmosfera pode interferir na intensidade, composição e mudança da distribuição espectral da radiação disponível em qualquer sistema sensor. Estes efeitos são causados principalmente por mecanismos de espalhamento e absorção atmosféricos (LILLESAND e KIEFER, 1994; KIRK, 1994; BARBOSA et. al., 2003).

O espalhamento atmosférico é a difusão da radiação por partículas na atmosfera. Esse é classificado conforme a interação entre a radiação e o tamanho das partículas presentes na atmosfera, que variam de tamanho como as moléculas de água até poeira e gotículas. Em um determinado tamanho de partícula, a radiação será espalhada em comprimentos de onda específicos do espectro eletromagnético, sendo que quanto menores as partículas, o espalhamento tende a regiões do espectro com menores comprimentos de onda (ZULLO JR, 1994).

A absorção atmosférica é outro mecanismo de interação entre a atmosfera e a radiação eletromagnética. A absorção atmosférica ocorre quando as moléculas presentes na atmosfera, principalmente ozônio, gás carbônico, vapor de água e oxigênio absorvem a radiação em diversos comprimentos de onda, resultando na perda de energia incidente na superfície (ZULLO JR, 1994).

A reflectância espectral dos alvos pode ser medida a grandes distâncias usando sistemas multiespectrais de sensoriamento remoto ou com o uso de um espectrorradiômetro a poucos centímetros do alvo. Os padrões das respostas de reflectância dos diversos tipos de materiais são obtidos pela medida da intensidade da radiação eletromagnética por comprimento de onda refletida dos objetos. Essas medidas são normalmente apresentadas na forma de gráficos denominados curvas espectrais de reflectância. (MENESES, 2001; JENSEN, 2009).

## 2.6 Classificação digital de imagens orbitais

A classificação de imagens é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos e são utilizados em Sensoriamento Remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse (INPE, 2013).

Segundo Fitz (2008) classificação de uma imagem é a identificação de elementos nelas presentes pela associação de cada um de seus pixels a uma determinada classe temática. A comparação é realizada entre pelo menos duas bandas do espectro, a fim de se comparar o mesmo pixel por meio de possíveis diferentes respostas.

A classificação de imagens multiespectrais consiste em rotular os pixels de uma cena a partir de suas características espectrais, sendo que essa categorização é implementada por um programa computacional habilitado para reconhecer os pixels espectralmente similares (RICHARDS, 1999). Conforme a necessidade ou não da interferência do analista no treinamento do algoritmo de classificação, esse processo pode ser supervisionado ou não supervisionado.

Os métodos de classificação digital podem ser agrupados em função da presença ou não de uma fase de treinamento onde o analista interage com o computador, isto é, podem ser divididos em categorias, de acordo com o tipo de treinamento: supervisionados ou não supervisionados (EASTMAN, 2006). No primeiro caso, o analista dispõe de informações sobre a área de estudos e rotula as classes conhecidas como classes de informação, já que as mesmas estão associadas com informação introduzida pelo usuário. Na classificação não supervisionada, o analista não interfere no processo de treinamento, dando origem às classes espectrais, que se constituem em conjuntos de pixels cuja resposta no espaço espectral é semelhante.

A classificação por Máxima Verossimilhança (MaxVer) é uma das técnicas de classificação supervisionada mais utilizadas de dados de sensoriamento remoto. Este classificador é supervisionado porque avalia a probabilidade a posteriori de um determinado pixel da imagem pertencer a uma das classes de estudo, atribuindo ao pixel a classe a qual ele tem a maior probabilidade de pertencer. Este método considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. A distribuição de valores de reflectância em uma área de treinamento é descrita por uma função de densidade de probabilidade, desenvolvida com base na estatística Bayesana. Este classificador avalia a probabilidade de um determinado pixel pertencer a uma categoria a qual ele tem maior probabilidade de associação (INPE, 2013).

## 2.7 Sistemas de informações geográficas

De acordo com Câmara e Medeiros (1998), os Sistemas de informações geográficas (SIGs) apresentam como características principais: integrar, numa única base de dados, as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numérico do terreno (MNT) e oferecer mecanismos para combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Para Lisboa Filho (2002), as áreas de aplicação de SIGs podem ser divididas em cinco grupos principais: ocupação humana, uso da terra, uso dos recursos naturais, atividades econômica e meio ambiente. O principal objetivo desse sistema é fornecer ferramentas computacionais para que as evoluções espaço-temporais e as interrelações dos fenômenos geográficos possam ser determinadas e analisadas.

A carência de informações sobre as restrições de uso da terra e ao planejamento adequado da sua utilização tem ocasionado frequentes impactos negativos à ambiência. Dentre os principais problemas relacionam-se com a utilização inadequada dos seus recursos naturais, sem considerar a legislação vigente e as limitações de uso das terras no processo de planejamento ambiental. Sendo assim, a utilização do Sensoriamento Remoto e do SIG são eficazes para a definição e localização de áreas deterioradas, destacando, por exemplo, as áreas de conflitos no uso e manejo adequado do solo, (KRAMER, 2009).

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento constituem-se em técnicas fundamentais para a manutenção de registros do uso e cobertura da terra ao longo do tempo. As imagens de satélite são muito importantes e úteis, pois permitem avaliar as mudanças ocorridas na paisagem de uma região e num dado período, registrando a cobertura vegetal em cada momento. Com os dados extraídos através do sensoriamento remoto torna-se fácil a identificação das áreas de preservação permanente e de conflitos ambientais de maneira rápida por meio de operações de análise espacial e de procedimentos matemáticos efetuados sobre a base de dados geográficos.

Para Alvarenga et al. (2003), as geotecnologias representadas pelo Geoprocessamento e Sistema de Informações Geográficas vêm se mostrando imprescindíveis no contexto do monitoramento ambiental. A partir das mesmas, são obtidos mapas temáticos como, por exemplo, mapas de uso e cobertura vegetal, que fornecem informações do espaço territorial,

indicando as regiões de grande potencial em equilíbrio ou desequilíbrio ambiental, direcionando dessa forma ações de fiscalização, controle, monitoramento e pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

A análise da influência do uso da terra nas variáveis limnológicas em microbacias na bacia hidrográfica do rio Itu foi possível seguindo as seguintes etapas metodológicas: levantamento bibliográfico, coleta de dados em campo, processamento e interpretação de dados e posterior correlação dos resultados obtidos, conforme o fluxograma apresentado na figura 1.

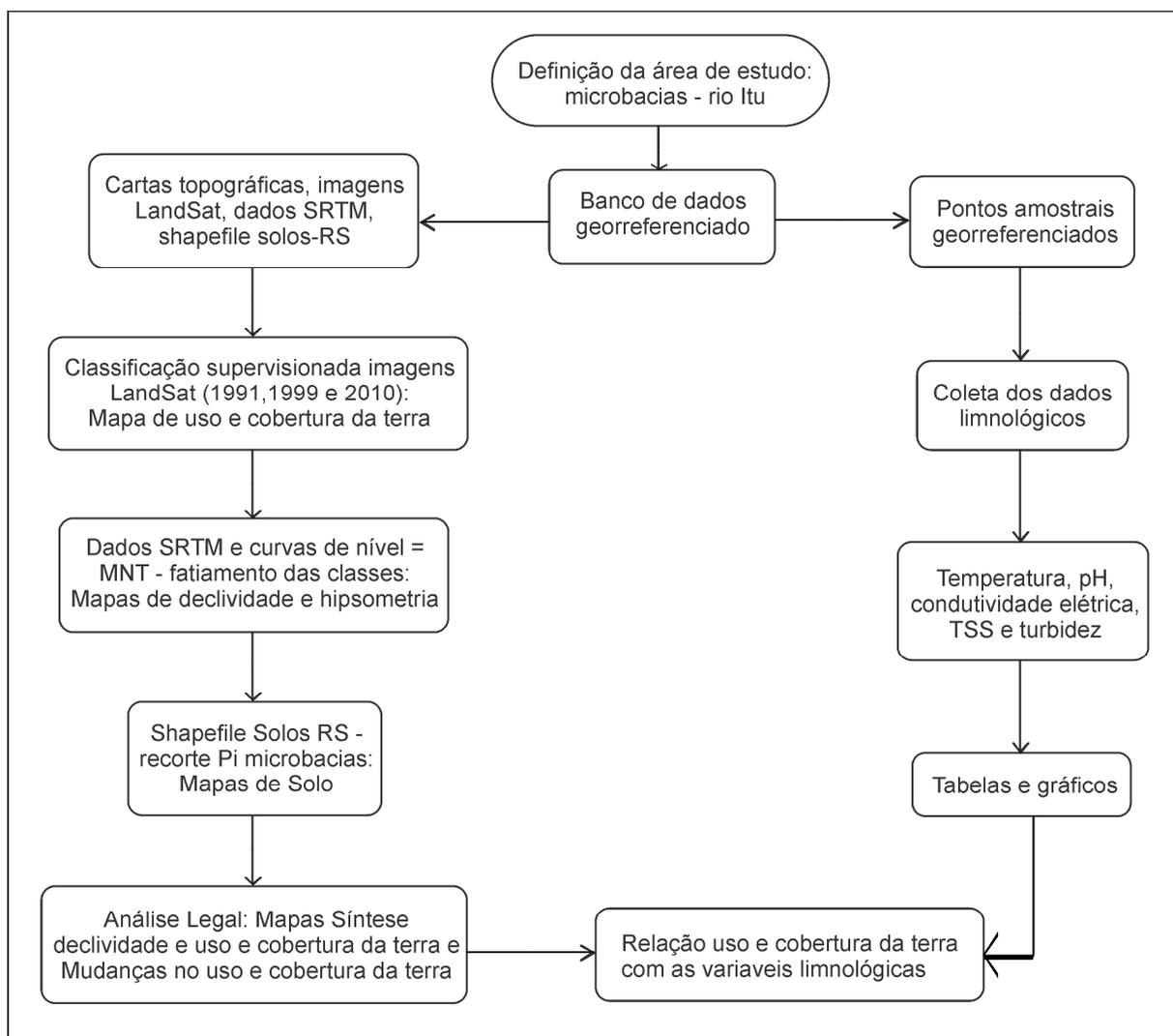


Figura 1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos

### 3.1 Materiais utilizados

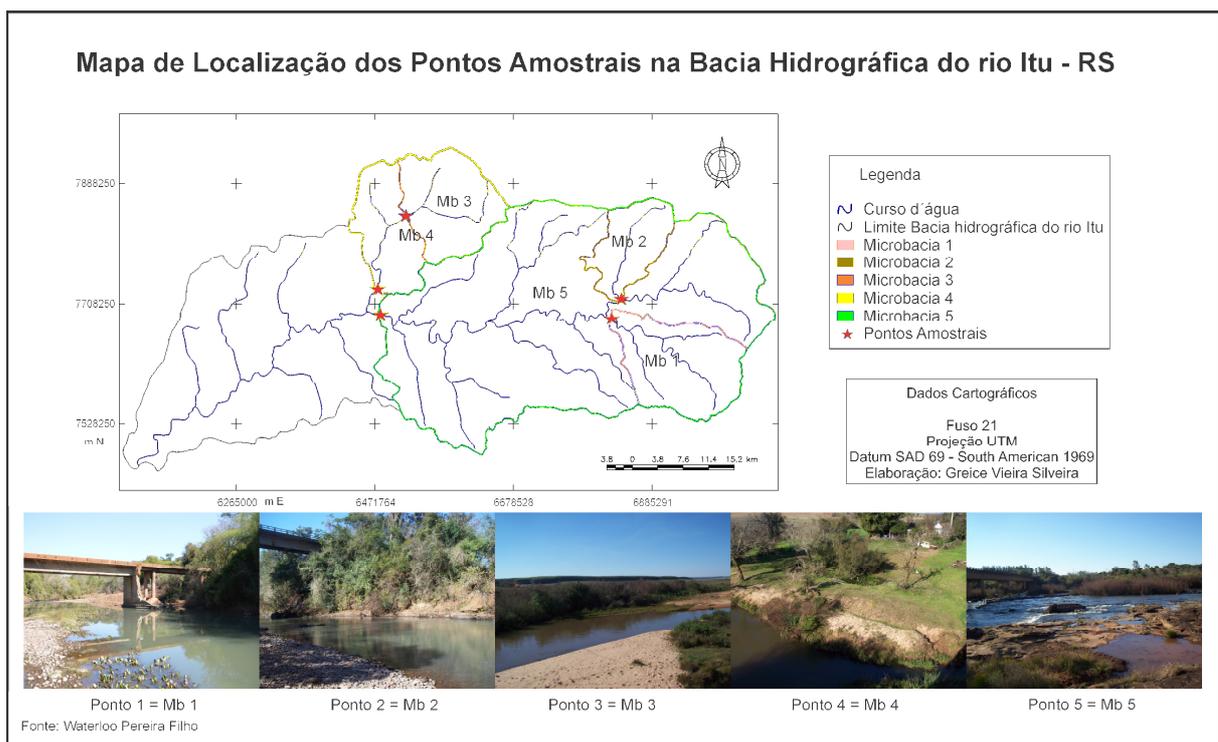
- Imagens do Sensor LANDSAT/TM 5 órbita ponto 224/80, resolução espacial de 30 metros das seguintes datas 23/01/91, 17/01/99 e 15/01/10, disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);
- Cartas topográficas e suas respectivas folhas: Santiago (SH-21-X-D-II-1), Unistalda (SH-21-X-D-1-2), Nova Esperança (SH-21-X-D-II-3), Vila Kramer (SH-21-X-D-I-4), Cândida Vargas (SH-21-X-B-IV-3), Passo do Goulart (SH-21-X-D-I-1), Caraguataí (SH-21-X-D-I-3), Três Bocas (SH-21-X-C-III-2), Arroio Piraju (SH-21-X-C-III-4), Bororé (SH-21-X-C-III-1), Chalé (SH-21-X-C-III-3), escala 1:50.000, elaboradas pela Diretoria de Serviços Geográficos (DSG) de 1979;
- GPS Garmin Etrex de precisão de 5 metros, termômetro digital para coleta da temperatura e aparelho Horiba que mede variáveis limnológicas;
- Shapefile da camada de solos do estado do Rio Grande do Sul;
- Dados de altimetria SRTM (Shuttle Radar Topography Mission - Missão Topográfica por Radar do Ônibus Espacial) disponibilizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), com resolução de 90 metros;
- Software Sistema de Informações Georreferenciadas – SPRING versão 4.3.3– INPE e Software Corel Draw 16.

### 3.2 Período de análise e pontos amostrais

A definição dos pontos de amostragem foi realizada no Google Earth no qual foi possível visualizar áreas em que havia acesso de carro como pontes e que pode ser coletadas amostras na beira do rio. Assim foi estabelecido cinco pontos de amostragem, pois em alguns pontos pré-selecionados anteriormente não conseguiu-se acesso, por se tratar de propriedade particular e outro por estar seco o curso d'água. Os locais de coleta de cada ponto amostral ficaram assim estabelecidos, pois foi onde se conseguiu acesso ao curso d'água. Os dados utilizados correspondem ao trabalho de campo realizado no dia 30 de julho de 2013 (período

referente a época de inverno), data disponível para saída a campo, bem como dia favorável para coleta de dados. Em decorrência de diversos fatores foi impossibilitada a realização de mais de um trabalho de campo para poder comparar com datas de diferentes estações do ano. a área acumulada entre as microbacias ligadas.

No mapa 1tem-se a delimitação de cada microbacias, que foram delimitadas conforme a drenagem de cada ponto amostral, sendo que em duas Mbs existe acumulação de áreas pela influência da rede de drenagem. Portanto a Mb 4 sofre influência da Mb3, por estar sob o mesmo curso hídrico,o rio Itu, se tratando então da mesma rede de drenagem. O mesmo ocorre com a Mb 5 que também sofre influência das Mbs 1 e 2. Por esse motivo que uma análise cumulativa torna-se interessante, pois os pontos analisados podem sofrer influência de sua rede de drenagem.



Mapa 2 - Localização dos pontos amostrais-

### 3.3 Levantamento e determinação das variáveis limnológicas

Para posicionamento dos pontos amostrais foi utilizado um aparelho GPS Garmin Etrex de precisão de 5 metros, com as coordenadas geográficas dos pontos previamente armazenadas no aparelho. A medição da condutividade elétrica, turbidez e pH foram realizadas em campo com o aparelho Horiba, o qual acopla diferentes sensores de medição de variáveis limnológicas. Os dados coletados ficam armazenados na memória do aparelho, que posteriormente são baixados para o computador e depois tabulados. A temperatura foi coletada em campo com termômetro digital. Para os totais de sólidos em suspensão (TSS) foram coletadas amostras de água para posterior determinação dos valores referentes a estas variáveis em laboratório (Fotografia 1).



Fotografia 1 - Coleta das amostras de água para determinação do TSS  
Fonte: Waterloo Pereira Filho

Além das coletas relativas à limnologia foram realizados os seguintes procedimentos complementares sobre as características do ponto amostral: medida da velocidade do vento (em Km/hora), realização de fotografias digitais do ponto amostral e das margens e anotação do horário da coleta. Também foram observadas de forma empírica: a cor da água, direção do vento, rugosidade da superfície da água e cobertura de nuvens.

### 3.3.1 Totais de sólidos em suspensão

A determinação dos valores de TSS nível de laboratório foi realizada conforme apresentado em APHA (2005). Para a filtração foram utilizados bomba de vácuo e filtros de celulose (Marca Millipore - HAWG047S0) constituído por membranas HA em Ester de Celulose com poros de 0,45 µm e diâmetro de 47 mm (MILLIPORE, 2011).

Os filtros foram secados previamente por 24 horas em estufa a uma temperatura de 50°C, a fim de eliminar a umidade. Posteriormente à secagem, pesaram-se os filtros em balança analítica com acurácia de 0,0001g da marca Mettler Toledo - modelo AG 245, para obtenção do peso inicial. Após a filtração da água, os filtros retornaram à estufa, onde permaneceram por 24 horas em 50°C novamente. Após, obteve-se o peso final com a pesagem dos filtros na mesma balança. Com esse procedimento foi possível determinar o TSS na unidade mg/L para cada amostra, de acordo com a Equação 1.

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

Em que: TSS=Total de Sólidos em Suspensão,

Pf=Peso final do filtro,

Pi=Peso inicial do filtro,

V=Volume da amostra

### 3.4 Análise descritiva dos dados limnológicos

Com os dados limnológicos organizados em tabelas no programa Excel foram gerados gráficos para interpretar e comparar cada ponto amostral. Por serem poucos os pontos amostrais não foram realizados testes estatísticos de correlação, pois para se obter um resultado significativo para comparar é necessária uma amostra maior de pontos.

### **3.5 Elaboração do banco de dados**

O banco de dados foi criado no aplicativo, a projeção utilizada é UTM (Universal Transversa de Mercator) e Datum SAD 69(South American 1969). As conversões do formato das imagens TIFF para o formato GRIB (grb) no aplicativo Impima (módulo Spring), para que pudessem ser registradas aos demais dados espaciais, foi realizada a importação para o aplicativo Spring das cartas topográficas, as quais estavam no formato digital (TIFF). Foram importadas onze cartas topográficas dos seguintes municípios: Santiago, Unistalda, Nova Esperança, Vila Kramer, Cândida Vargas, Passo do Goulart, Caraguataí, Três Bocas, Arroio Piraju, Bororé, Chalé. Após o registro das cartas foi realizada a importação dos arquivos GRIB georreferenciados e neste momento era selecionada a opção mosaico, que gerou um mosaico das onze cartas. Esse mosaico serviu como base para o georreferenciamento da imagem LandSat do sensor TM 5 (órbita/ponto 224/80) bandas 3, 4 e 5 dos seguintes anos: 1991,1999 e 2010. A imagem de 1991 foi georreferenciada a partir do mosaico e as imagens de 1999 e 2010 pela de 1991. Posteriormente foram criados os Planos de Informação (PI) e delimitada a área referente a bacia hidrográfica do rio Itu através da ferramenta temático/edição vetorial e após foram delimitadas as cinco microbacias conforme a posição dos pontos amostrais.

### **3.6 Mapa de uso e cobertura da terra**

Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra foram utilizadas três datas de imagens de satélite que permitiram uma análise multitemporal no período de 20 anos, mostrando a evolução do uso da terra na área da bacia hidrográfica do rio Itu. As datas selecionadas foram: 23/01/91, 17/01/99 e 15/01/10, escolhidas em função da cobertura de nuvens e da disponibilidade no catálogo de imagens do INPE. Optou-se por imagens do mês de janeiro, pois nesta época do ano a colheita já foi realizada e o dossel das plantas já está em crescimento. Foram definidas cinco classes de interesse para o trabalho, sendo estas:

- Floresta: correspondem as florestas nativas e áreas de florestamento;
- Campo: correspondem às áreas de vegetação rasteira, pastagem e campo sujo;

- Água: referentes a rios, açudes, banhados;
- Agricultura: destinada a todas as áreas agrícolas, permanentes ou cíclicas;
- Solo exposto: compreende as áreas sem cobertura vegetal, areal, solos preparados para o plantio e ou após a colheita.

Para a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra, primeiramente foi realizado o registro das imagens TM/Landsat. Após o registro das imagens, essas foram importadas para o banco de dados e associadas às bandas 3, 4 e 5 e associadas aos canais B, G e R, respectivamente, e realizada a ampliação linear de contraste para melhorar o aspecto visual da imagem, facilitando a aquisição de dados de treinamento, já que foi feita de forma supervisionada por pixel, ou seja, seleção e delimitação manual de amostras para cada uma das classes: floresta, campo, solo exposto, agricultura e água. A classificação das imagens foi feita com limiar de aceitação de 99,99% (para classificar todos os pixels) Máxima Verossimilhança (Maxver).

### **3.7 Mapas Gerados a partir do Modelo Numérico do terreno**

Os mapas do relevo (hipsometria e declividade) são produtos gerados a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT), que é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Esse modelo foi criado no software SPRING, através da digitalização das curvas de nível e pontos cotados e também através dos dados do radar altimétrico orbital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission - Missão Topográfica por Radar do Ônibus Espacial) que foi criado com o objetivo de obter informações altimétricas da superfície terrestre. Os dados SRTM são disponibilizados pela EMBRAPA em formato Tiff/GeoTiff, com 90 metros de resolução espacial.

Mediante o modelo numérico do terreno (MNT), foi possível materializar informações georreferenciadas e analisar sua abrangência geográfica, podendo ser representado pelas grades regular e triangular e um modelo de interpolação, os quais permitiram a geração dos seguintes produtos: mapas de declividade e hipsometria. O mapa de hipsometria foi gerado através da digitalização das isolinhas e dos pontos cotados, na ferramenta MNT/editar, após foi gerado a grade triangular e posteriormente a grade retangular. Depois foi criado um modelo de dados imagem e na ferramenta MNT selecionou-se a opção Geração de imagem

MNT, após isto foi realizado o fatiamento da imagem em cinco classes com os seguintes intervalos de altitude: 60 - 140m; 140 -220m; 220 - 300m; 300 - 380m; 380 - 460m.

Para a geração do mapa de declividade a partir de dados SRTM, primeiro criou-se um modelo numérico SRTM, na importação da imagem SRTM foi selecionada a opção entidade-grade. Na barra de ferramentas seleciona-se a opção declividade, que gera a grade de declividade. Após esta etapa, cria-se o modelo temático declividade e depois é realizado o fatiamento das classes. O mapa de declividade foi criado utilizando a metodologia de Ross (1992) a partir do fatiamento da imagem em cinco classes de declividade: 0-5%, 5-12%, 12-30%, 30-47% e >47%.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (1981) o limite de 2% representa áreas muito planas e, quando próximas às drenagens, estão sujeitas à ocorrência de inundações; 5% - representa áreas de baixa declividade e onde se registram processos deposicionais e a partir desta inclinação o processo erosivo começa a ser significativo; 15% - representa a faixa que define o limite máximo para o emprego da mecanização na agricultura e, áreas propícias à ocorrência de processos de movimentos de massa e escorregamentos.

### **3.8 Mapa de solos**

A definição e o levantamento das informações dos solos tiveram como referência o levantamento e classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos EMBRAPA (1999) e o livro Solos do Estado do Rio Grande do Sul, realizado por Streck et al. (2008), bem como os dados do Projeto RADAM e de shapefiles disponíveis no IBGE. Foi utilizado o shapefile disponível no site do IBGE dos solos do Rio Grande do Sul o qual, a partir deste foi recortado os polígonos de cada microbacia.

### **3.9 Elaboração dos mapas síntese**

O mapa de mudanças no uso e cobertura da terra foi elaborado a partir do cruzamento dos dados dos mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1991 e 2010, que permitiu visualizar e quantificar a evolução de cada classe de uso nos períodos estudados. Esse mapa

foi elaborado através da ferramenta Análise – Legal (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), com o cruzamento dos mapas de uso da terra entre duas das datas analisadas nesta pesquisa (1991 e 2010), conforme mostrado no Anexo A.

O mapa síntese declividade e uso e cobertura da terra foi gerado pelo cruzamento dos dados do mapa uso da terra de 2010 com o mapa de declividade através da ferramenta Análise Legal. Nos anexos A e B encontra-se a Linguagem de Programação utilizada para a geração dos mapas de mudanças no uso e cobertura da terra e síntese declividade e uso e cobertura da terra.

### **3. 10 Análise integrada entre o ambiente terrestre e aquático.**

A análise integrada entre o ambiente terrestre e aquático foi realizada através do cruzamento das informações dispostas em uma tabela. Essa tabela contém dados sobre uso e cobertura da terra predominante na microbacia e no entorno do ponto amostral; tipo de solo predominante da Mb e no entorno do ponto amostral e as seguintes variáveis limnológicas: temperatura, pH, condutividade elétrica, total de sólidos em suspensão e turbidez. Com estes dados dispostos lado a lado foi possível determinar a relação entre o ambiente terrestre e aquático.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise uso da terra bacia hidrográfica do rio Itu

A Tabela 1 sintetiza os dados referentes ao uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Itu nos anos de 1991, 1999 e 2010, portanto uma representação em escala temporal de 20 anos. Em 1991 a classe floresta estava presente em 7,12% da área da bacia, em 1999 passou para 9,66%, e em 2010 diminuiu para 9,53%, não houve grandes mudanças de 1999 para 2010, a classe se manteve quase que constante, de 1991 para 2010 houve um crescimento de 2,41%.

Tabela 1 - Uso e cobertura do solo bacia hidrográfica do rio Itu

Classes	1991		1999		2010	
	ha	%	ha	%	ha	%
Floresta	19.980,00	7,12	27.106,20	9,66	26.734,95	9,53
Campo	47.060,19	16,78	54.539,28	19,44	71.915,58	25,64
Solo Exposto	87.469,65	31,18	111.113,37	39,61	167.227,56	59,61
Agricultura	125.734,14	44,82	87.444,00	31,17	14.232,51	5,07
Água	292,59	0,10	333,72	0,12	425,97	0,15
<b>Total</b>	<b>280.536,57</b>	<b>100,00</b>	<b>280.536,57</b>	<b>100,00</b>	<b>280.536,57</b>	<b>100,00</b>

A classe campo apresenta em 1991 era de 16,78%, em 1999 passou para 19,44% e em 2010 para 25,64%. Ao longo do período de estudo ocorreu um crescimento de 8,86%, um fato importante, por se tratar de uma área de estudo em que ocorre o avanço da silvicultura e dos processos de arenização (Figura 2). Na classe solo exposto também houve crescimento, pois em 1991 era de 31,18%, em 1999 passou para 39,61% e em 2010 para 59,61%. Dessa forma, o crescimento de 1991 até 2010 foi de 28,43% das áreas de solo exposto, enquanto que a classe agricultura em 1991 que era de 44,82, em 1999 passou para 31,17%, em 2010 diminuiu para 5,07%. Ao longo do período de análise ocorreu uma diminuição de 39,75% da classe agricultura. Portanto, a classe em que houve um crescimento maior foi a de solo exposto, em contrapartida na classe agricultura ocorreu uma diminuição.

## Mapas de Uso e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do rio Itu

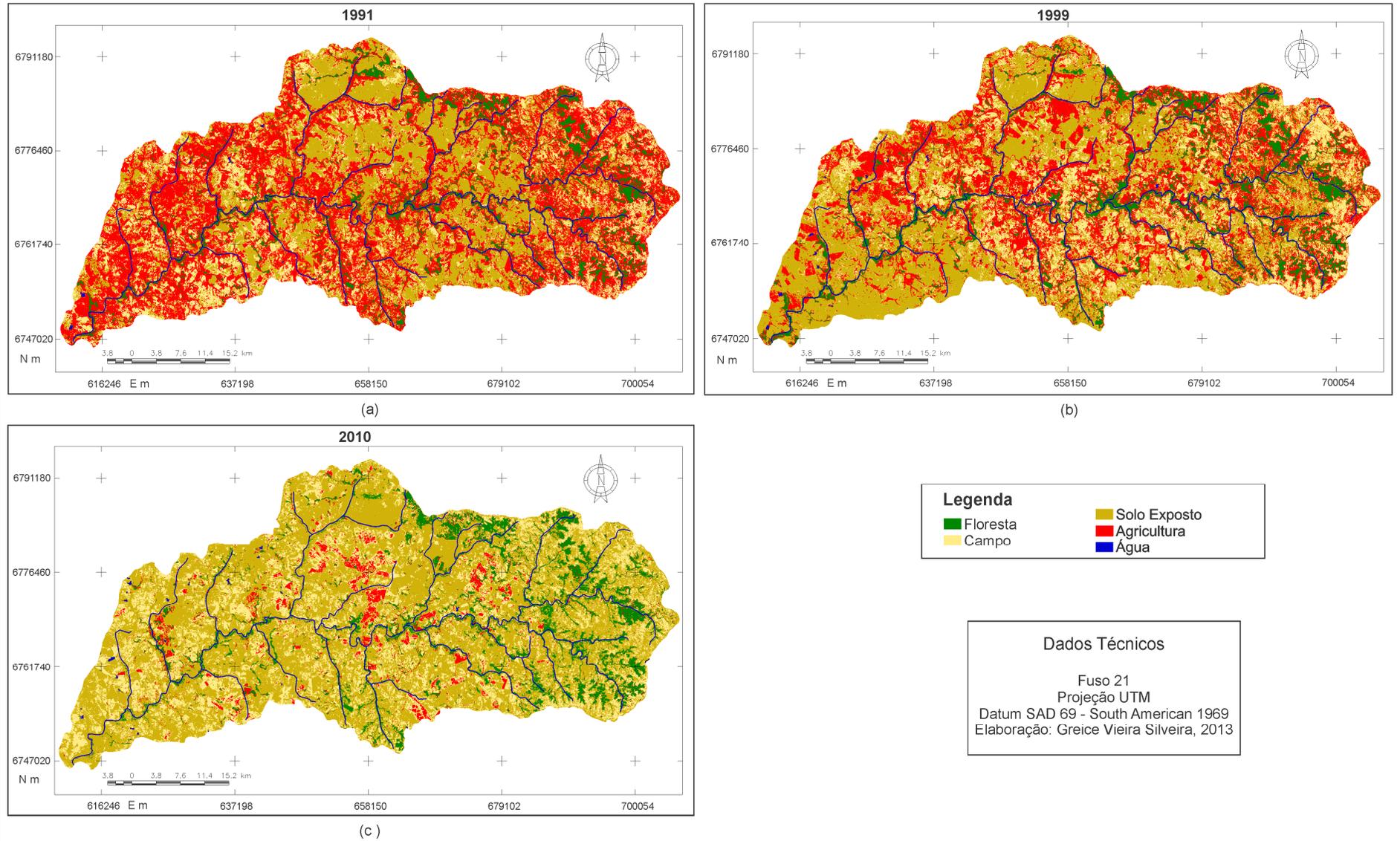


Figura 2 – Mapas de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itu em 1991 (a), 1999 (b) e 2010 (c)

Esta diferença significativa entre estas duas classes pode ser atribuída pelo crescimento de áreas em que ocorrem os processos erosivos. A classe floresta e campo juntamente representam 35,17% da área total da bacia, sendo o restante representado pelo solo exposto e agricultura. Na classe florestas estão incluídas as áreas de silvicultura (florestamento) que cresceram nas últimas décadas na região sudoeste do Rio Grande do Sul. Na Figura 1 foi confeccionado um mosaico de fotografias onde tem-se um panorama do uso da terra em uma parcela da bacia hidrográfica do rio Itu. As imagens referem-se a cinco micro-bacias no qual foi dividida a área de estudo, no caso o rio Itu. Na saída a campo foi encontrado focos de arenização ( 1, 5, 7 e 9 ), afloramentos (3), áreas de cultivo agrícola ( 1 ), imensas áreas com plantio de silvicultura (2, 4 e 5), algumas criações de gado esparsas nos campos (6 e 8) e algumas áreas preservadas com vegetação de pequeno e médio porte (3, 6,7 e 8).



Figura 3 - Mosaico de fotografias dos cenários encontrados na área de estudo

Fonte: Waterloo Pereira Filho

## 4.2 Análise do uso e cobertura do solo nas microbacias

A Tabela 2 apresenta a evolução no uso e cobertura do solo em cinco microbacias no rio Itu. As microbacias encontram-se situadas no alto e médio curso do rio Itu, sendo as microbacias 1 e 2 localizadas em alto curso e as demais no médio curso.

Tabela 2 - Uso e cobertura do solo nas microbacias

Classes	Mb 1			Mb 2			Mb 3			Mb 4			Mb 5		
	Área: 22.628,43 ha			Área: 12.119,85 ha			Área: 19.121,94 ha			Área: 33.779,61 ha			Área: 156.008,97 ha		
	1991	1999	2010	1991	1999	2010	1991	1999	2010	1991	1999	2010	1991	1999	2010
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
F	<b>11,81</b>	16,45	<b>20,50</b>	<b>10,95</b>	15,76	<b>17,91</b>	<b>8,28</b>	7,09	<b>6,98</b>	<b>5,71</b>	5,37	<b>5,06</b>	<b>9,13</b>	12,82	<b>13,71</b>
C	20,35	23,42	<b>23,14</b>	16,13	23,68	<b>27,78</b>	12,98	12,32	<b>18,06</b>	14,70	15,25	<b>22,14</b>	<b>14,25</b>	23,58	<b>24,40</b>
S.E	<b>17,54</b>	28,48	<b>53,85</b>	<b>25,70</b>	21,97	<b>50,70</b>	54,91	53,51	<b>68,77</b>	51,11	52,13	<b>66,79</b>	32,36	30,21	<b>56,55</b>
Agric.	<b>50,29</b>	31,63	<b>2,50</b>	<b>47,21</b>	38,58	<b>3,60</b>	<b>23,81</b>	27,06	<b>6,12</b>	<b>28,47</b>	27,24	<b>5,97</b>	<b>44,22</b>	33,34	<b>5,29</b>
A	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,07	0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	0,05
<b>Total</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A classe floresta apresentou um crescimento nas microbacias 1 e 2, porém o maior destaque aconteceu na Mb 1, onde houve um aumento de 8,69% de 1991 para 2010. Observa-se que a classe floresta é preservada na cabeceira dos cursos d'água, pois a mata ciliar acompanha o perfil da drenagem, sendo que os setores leste e sul (Figura 4) são as áreas com maior concentração de floresta. Por estar localizada nas nascentes do rio Itu (Fotografia 2a), a Mb 1, é a mais preservada se comparada às demais. Além disso, o aumento em área na classe floresta registra o efeito dos atuais projetos de florestamento para fins de produção de celulose presentes na bacia (Fotografia 2b).

A classe campo na Mb 1 esta localizada em maior porcentagem nos limites da microbacia, em especial no setor leste e sul. O solo exposto foi avançando de 1991 para 2010, pois anteriormente estava localizado mais no setor noroeste e atualmente ocupa as regiões norte, nordeste, noroeste e sudoeste da Mb. Em decorrência disso, observa-se a agricultura que 1991 era ocupada por todos os setores da Mb1 vem diminuindo, e em 2010 é encontrada algumas pequenas parcelas desta classe no setor nordeste.

O uso e cobertura do solo campo se mantêm em crescimento em quase todas as microbacias, sendo que a Mb 2 apresenta um crescimento maior, pois em 1991 era de 16,13% e em 2010 passou para 27,78%, ou seja um aumento de 11,65%. Observa-se que a classe

campo ocupava pequenas áreas mais ao norte e sul da Mb e em 2010 essas áreas aumentaram, especialmente na região sul e oeste.

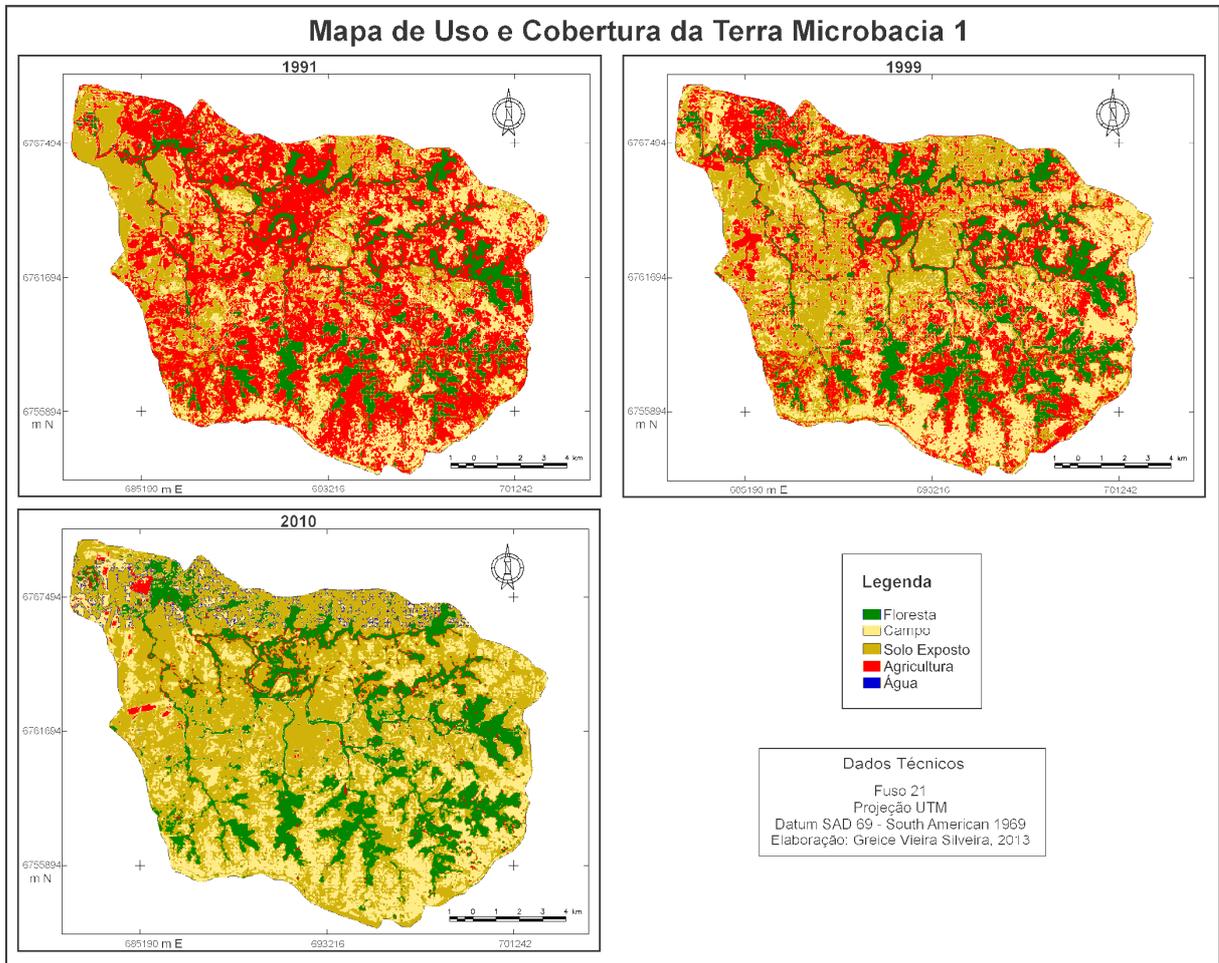


Figura 4 – Mapas de uso e cobertura da terra na microbacia 1



Fotografia 2 - Áreas de vegetação nas nascentes do rio Itu (a) e avanço das plantações de silvicultura (b)  
 Fonte: Waterloo Pereira Filho

Na Mb 2 a classe floresta está crescendo, observou-se um crescimento da mata ciliar no perfil da drenagem, sendo os setores norte e nordeste (Figura 5) os que apresentaram maior concentração de área de floresta. O solo exposto também apresentou um crescimento em todos os setores da Mb, especialmente na região sul e oeste, porém a agricultura continua a diminuir, pois em 1991 e 1999 abrangia todos os setores da Mb e em 2010 ocupa em maior porcentagem apenas o setor sul.

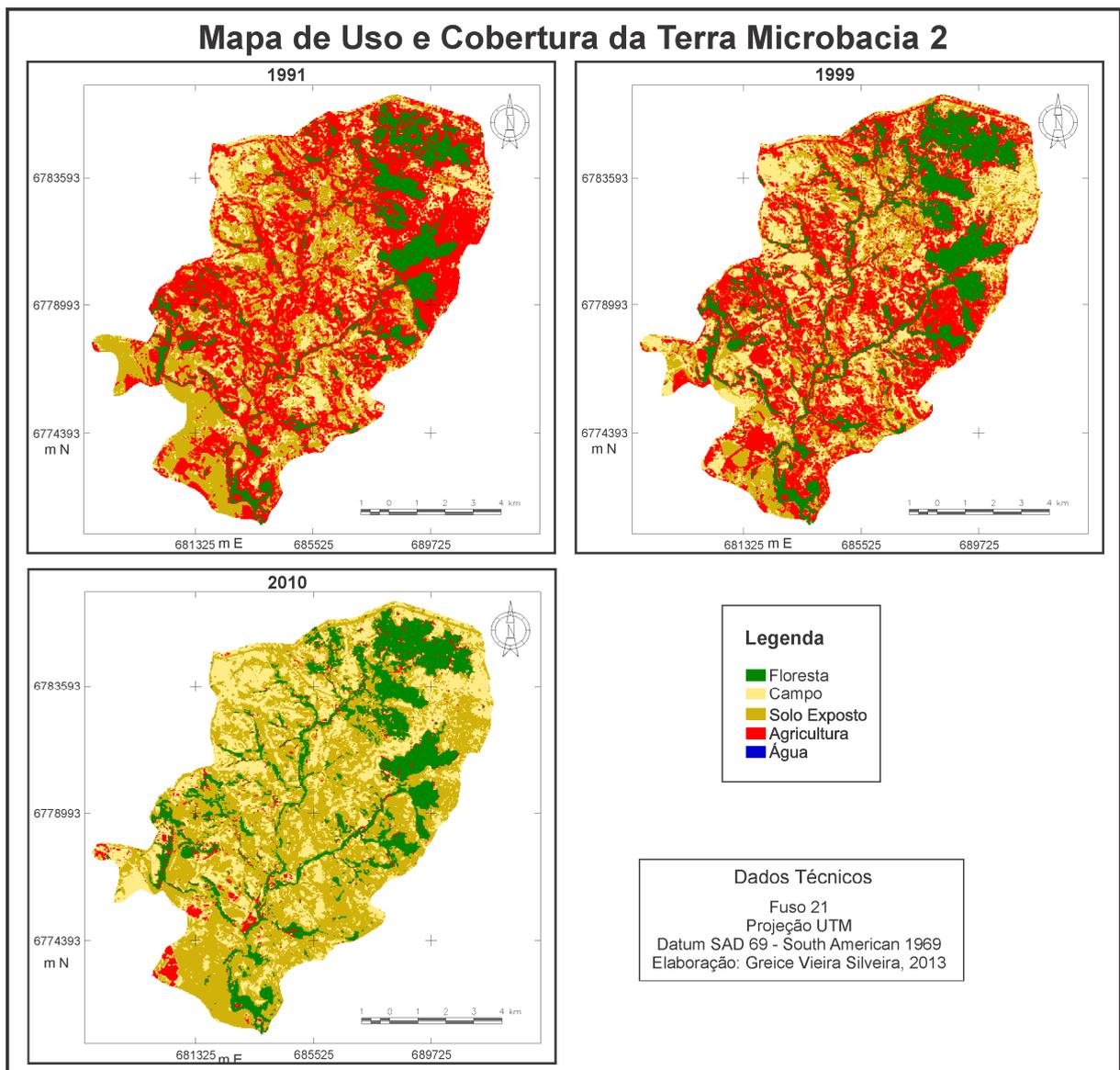


Figura 5 - Mapas de uso e cobertura da terra na microbacia 2

A Mb 3 apresenta a maior porcentagem da classe solo exposto, isto é observado em todos os setores da Mb, pois a agricultura vem diminuindo e as classes campo e solo exposto

avançando sobre áreas que anteriormente eram ocupadas pela agricultura em 2010 observa-se que apenas o setor sul apresenta a maior área desta classe, sendo encontrado pequenas parcelas nos demais setores (Figura 6). A classe campo esta localizada no entorno dos limites da Mb, essas áreas aumentaram especialmente no setor sul. A floresta não acompanha como das demais microbacias o curso da drenagem, ou seja, o entorno do curso d'água está suscetível aos processos erosivos, além disso, por estar localizada em uma área de intensos processos de arenização, alguns cursos d'água acaba sumindo em decorrência das chuvas não serem frequentes. Sendo assim vem diminuindo ainda mais as poucas áreas que ainda é ocupada pela mata ciliar.

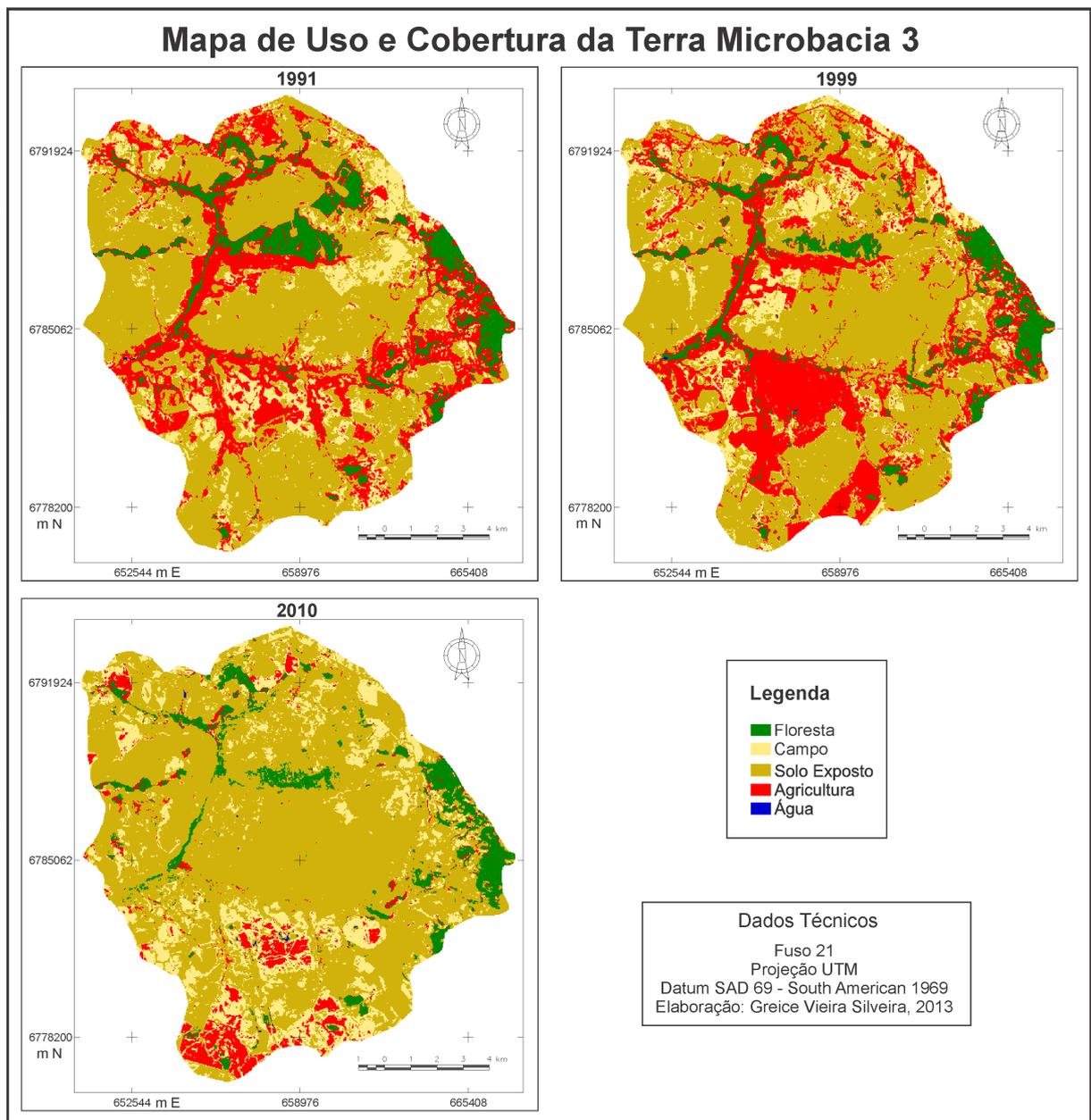


Figura 6 - Mapas de uso e cobertura nas microbacia 3

A microbacia 4 engloba a área da Mb 3 juntamente, por isto apresenta pouca variação nos dados em relação a Mb 3. Na Mb 4 as áreas de floresta vem diminuindo, estão localizadas em maior porcentagem nos setores norte e leste, as demais áreas acompanham a drenagem (Figura 7). A classe campo vem aumentando, especialmente nos setores sul, sudeste e norte da Mb. A agricultura continua a diminuir, pois perdeu áreas para as classes campo e solo exposto, anteriormente estava próxima a drenagem e em 2010 esta situada nas regiões sul e sudeste e em pequenas parcelas em outros setores da Mb. O solo exposto vem aumentando e ganhou espaço que antes era ocupado pela agricultura.

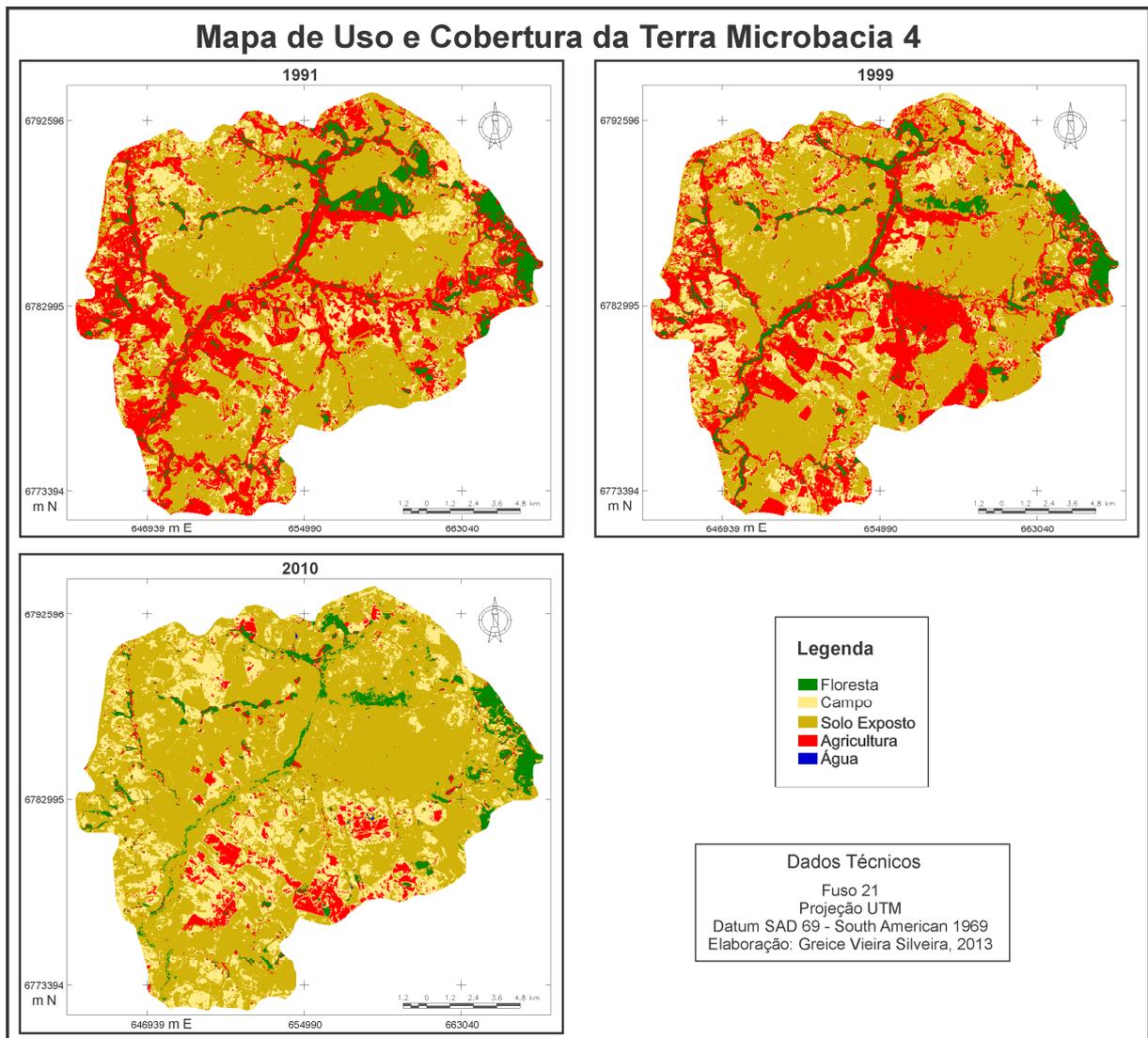


Figura 7 - Mapas de uso e cobertura na microbacia 4

A microbacia 5 engloba as áreas referente as Mbs 1 e 2 juntamente e justamente por isso a classe floresta aumentou cerca de 4,58%, pois a maior concentração da mata ciliar esta localizada nos setores sul, leste e norte (Figura 8), os quais correspondem as áreas das Mbs 1 e 2. A classe campo também apresentou um aumento de 10,15% na área total e ocupa principalmente as regiões do entorno do limite da Mb. O solo exposto em 1991 ocupava apenas a região central da microbacia e aos poucos foi avançando para todos os setores a medida que foi aumentando a área referente a essa classe. Enquanto a classe agricultura foi diminuindo aos poucos, esta foi sendo ocupada pelas áreas de solo exposto, campo e floresta e esta localizada nos setores sul e nordeste da Mb.

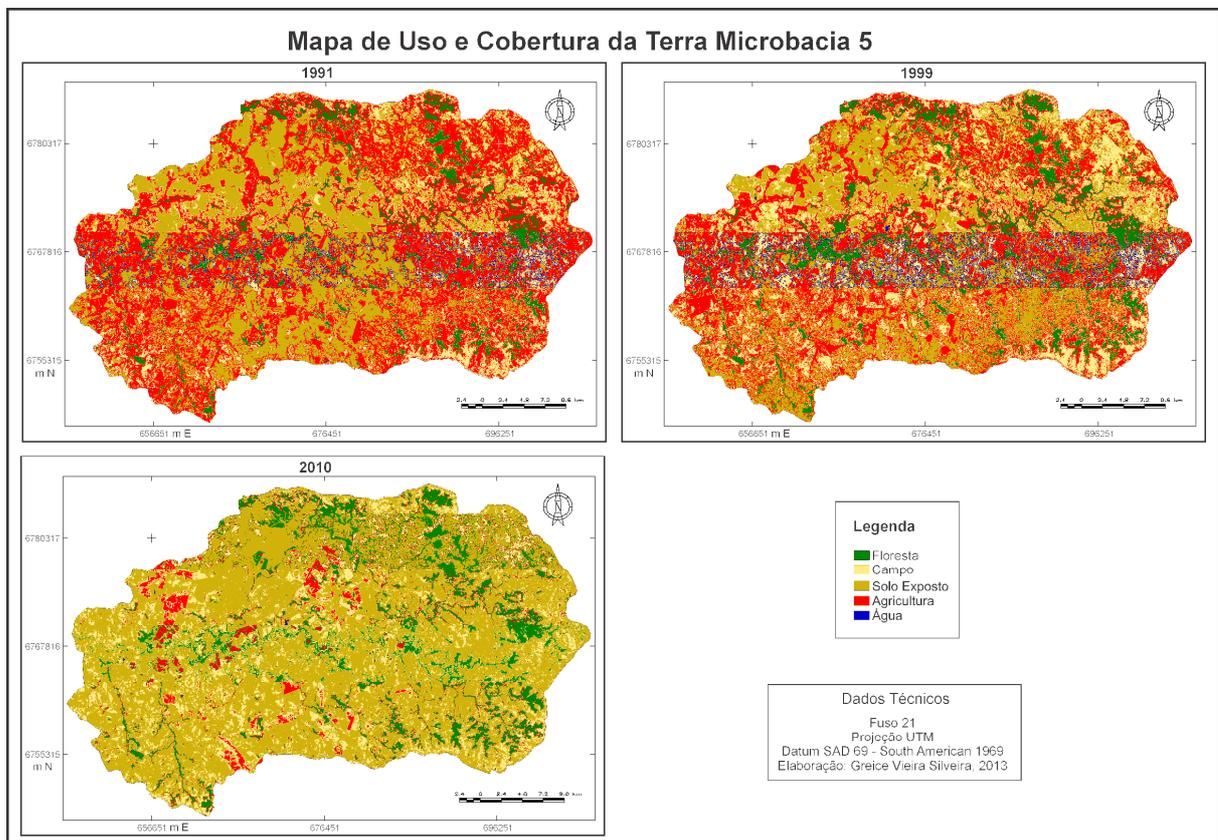


Figura 8 – Mapas de uso e cobertura da terra na microbacia 5

Portanto, a classe solo exposto em todas as Mbs é expressiva, passando de 50% sendo que nas Mbs 3 e 4 este crescimento é acima de 60% para o ano de 2010. Dessa forma, pode-se atribuir a este crescimento acelerado do solo exposto às áreas de arenização (Fotografia 3a) encontrado nas saídas a campo, bem como pode ser visto as áreas de silvicultura próximas a estas áreas de arenização (Fotografia 3b).



Fotografia 3 - Áreas de arenização (a) e de silvicultura (b)

Fonte: Waterloo Pereira Filho

A silvicultura está sendo usada como forma de diminuir o avanço da arenização, pois nas últimas décadas no sudoeste do Rio Grande do Sul vem ocorrendo um incentivo a plantação de espécies exóticas como tentativa de diminuir o “avanço dos areais”, mediante o plantio de eucalipto e acácia negra com vistas à industrialização da região. A plantação de eucaliptos é uma forma de conter a expansão dos areais, pois estes agem como um quebra-vento evitando a ação do vento, associado a ele também plantação de forrageiras (RIBEIRO e VERDUM, 2013).

#### 4.3 Análise declividade microbacias

Nos mapas de declividade (obtidos por meio de dados SRTM) foram observadas algumas oscilações no formato dos declives. A Tabela 3 apresenta as classes de declividades das cinco microbacias no rio Itu. Na Mb 1 as classes de 0 – 5% e de 5 – 12% somam 81,47% da área total da microbacia e estão situadas em todos os setores. As classes consideradas altas declividades contabilizam 1,49% da área total. Como observado no (Figura 9 - a) as regiões de alta declividade estão localizadas mais no setor oeste e algumas pequenas parcelas nos setores sul e norte.

Tabela 3 – Área (ha) ocupada pelas classes de declividade nas microbacias

Classes	Mb 1	Mb 2	Mb 3	Mb 4	Mb 5
	Área: 22.628,43 ha %	Área: 12.119,85 ha %	Área: 19.121,94 ha %	Área: 33.779,61 ha %	Área: 156.008,97 ha %
0 - 5 %	35,89	<b>44,17</b>	<b>62,84</b>	<b>61,58</b>	<b>43,80</b>
5 - 12 %	<b>45,58</b>	<b>46,28</b>	30,66	32,41	<b>43,88</b>
12 - 30 %	17,04	9,26	6,27	5,55	11,60
30 - 47 %	<b>1,42</b>	0,26	0,22	0,43	0,68
47 - 100 %	<b>0,07</b>	0,03	<b>0,01</b>	0,03	0,04
<b>Total</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Na Mb 2 está inserida em baixas declividades, pois a classe de 0 – 5% compreende 44,17%, e a classe de 5 – 12% abrange 46,28%. Estas duas classes contabilizam 90,45% da área, sendo que as duas classes acima de 30% de declividade somam apenas 0,29% da área total da microbacia. Nos setores norte e sul são encontrados as médias declividades e as altas são representadas por pequenas áreas localizadas no setor norte (Figura 9 - b).

Na Mb 3 observa-se que mais de 90% da área de estudo está inserida em baixas declividades (Figura 9 - c), pois ao somar as classes de 0 – 5% e de 5 – 12% estas abrangem 93,5% da área total. A classe de 30 – 47% compreende 0,22%, ou seja, uma parcela muito pequena, situada no setor sul da microbacia e a classe acima de 30% contabiliza apenas 0,01% localizada no sul da Mb 3, está próxima as classes de 30 – 47%.

As classes de 0 – 5% e de 5 – 12% na Mb 4 contabilizam 93,99% da área total, distribuídas ao longo de todos os setores da Mb. Enquanto isso as classes acima de 30% compreendem apenas 0,46%, e estão localizadas nos setores sudeste e oeste da microbacia (Figura 9 - d). As médias declividades estão situadas nos setores oeste, sudeste e leste da Mb4.

Na Mb 5 as classes de 0 – 5% e de 5 – 12%, compreendem 87,68% da área total e abrangem todos os setores. As duas classes acima de 30% de declividade somam 0,72% da área total, localizadas nos setores sul, norte e leste da Mb (Figura 9 - e). As médias declividades compreendem 11,68% da área e estão situadas em pequenas parcelas em todos os setores da microbacia.

### Mapas de Declividade das Microbacias

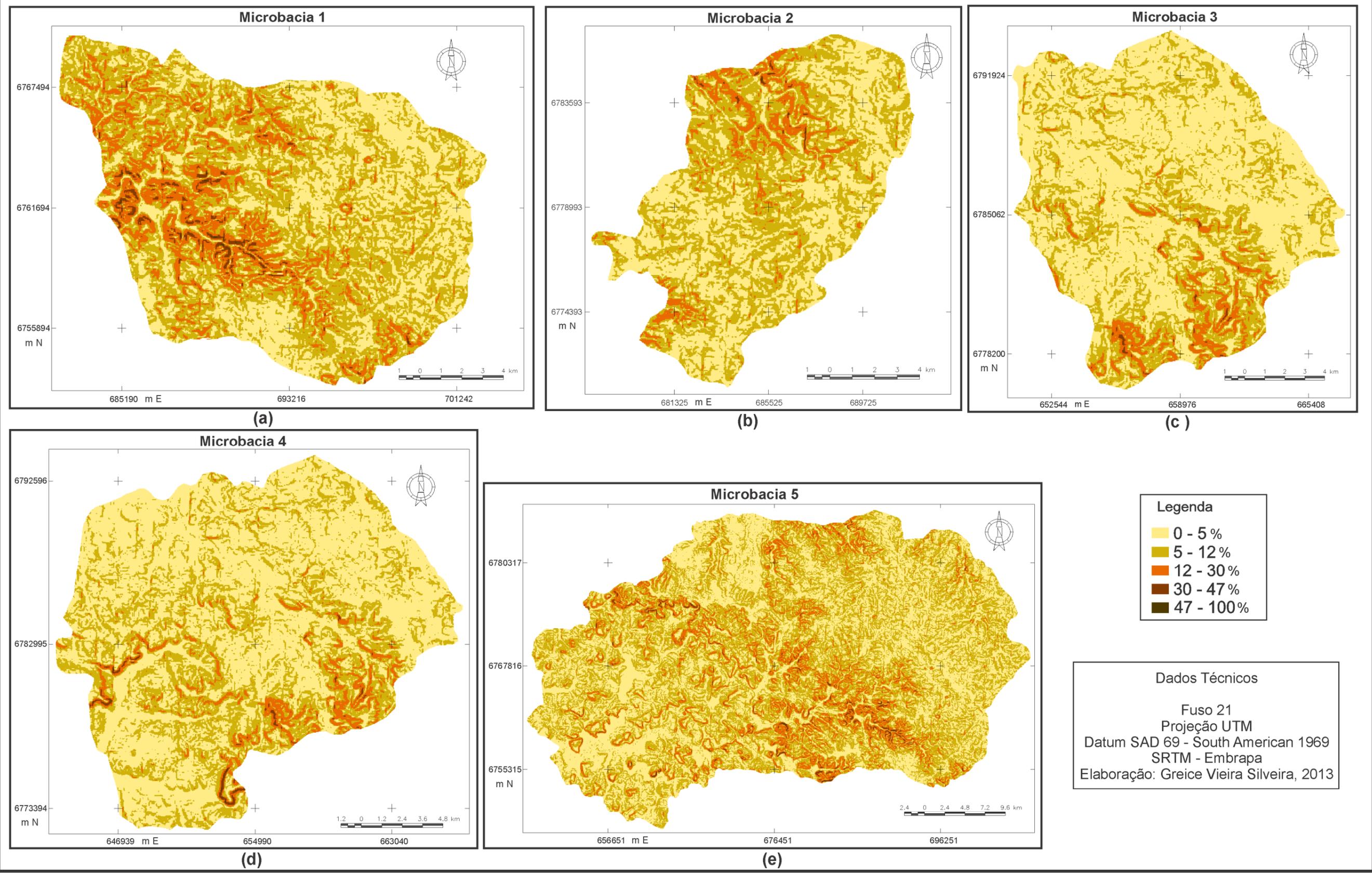


Figura 9 - Mapas de declividade das microbacias

Dessa forma, nas cinco microbacias analisadas o predomínio é de declividades entre 0 -5% e 5 - 12%, sendo que as médias declividades oscilam em cada uma das Mbs entre 5% a 17% da área total, enquanto que as altas declividades praticamente não variam, apresentando baixos percentuais em todas as microbacias.

#### 4.4 Análise da hipsometria nas microbacias

A Tabela 4 sintetiza as cotas das classes altimétricas das cinco microbacias. Na Mb 1 observa-se o predomínio das cotas das classe entre 220 – 300 metros com 33,29% e a classe de 300 – 380 metros com 33,77% da área total, ambas situadas nos setores de sul a norte. A classe de 60-140 metros compreende apenas 0,04%, é possível visualizar quando ampliado esta área muito pequena localizada no setor noroeste da Mb 1 (Figura 10 – a).

Tabela 4 - Hipsometria microbacias

Classes	Mb 1	Mb 2	Mb 3	Mb 4	Mb 5
	Área: 22.628,43 ha %	Área: 12.119,85 ha %	Área: 19.121,94 ha %	Área: 33.779,61 ha %	Área: 156.008,97 ha %
60 - 140 m	0,04	0,00	17,14	25,47	13,99
140 -220 m	15,54	19,37	<b>71,64</b>	<b>65,37</b>	<b>41,42</b>
220 - 300 m	<b>33,29</b>	<b>44,92</b>	10,65	8,71	22,24
300 - 380 m	<b>33,77</b>	31,60	0,57	0,24	16,05
380 - 460 m	17,36	4,11	0,00	0,21	6,30
<b>Total</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Na Mb 2, as maiores cotas estão entre 220 – 300 metros com 44,92% da área localizadas na região central e setores oeste, sudoeste e sudeste. Enquanto isso, os menores valores encontrados pertencem às cotas de 380 – 460 metros com apenas 4,11%, situadas nos setores norte e nordeste (Figura 10 - b). Desta forma, a média das cotas da Mb 2 fica entre as baixas e médias altitudes.

Na Mb 3 observa-se que as cotas mais baixas predominam, pois 71,64% da área total é da classe com cotas entre 140 – 220 metros de altitude, ou seja, esta microbacia está inserida numa região mais plana. A classe de 220 – 300 metros apresenta pequenas áreas distribuídas nos setores noroeste, sudeste, oeste e noroeste (Figura 10 - c) Já a classe de 300 – 380 metros

representa apenas 0,57%, uma parcela pequena localizada no setor leste, bem como não existe cotas acima de 380 metros na Mb 3.

Na Mb 4 pode ser observado que as cotas mais baixas predominam , pois esta inserida entre cotas que variam entre 60 até 220 metros de altitude, pode-se inferir que o predomínio do uso solo exposto é propiciado pelas baixas altitudes encontradas nesta região . Sendo que a classe com cota entre 60 – 140 metros apresenta 25,47% está localizada nos setores sul e oeste, indo em direção a área central da microbacia.

A cota entre 140 – 220 metros compreende 65,37%, ou seja, é a classe predominante e abrange todos os setores da Mb 4. A classe entre 380 – 460 metros de altitude aparece com apenas 0,21%, em uma área muito pequena localizada no setor noroeste (Figura 10 - d).

### Mapas Hipsométrico das Microbacias

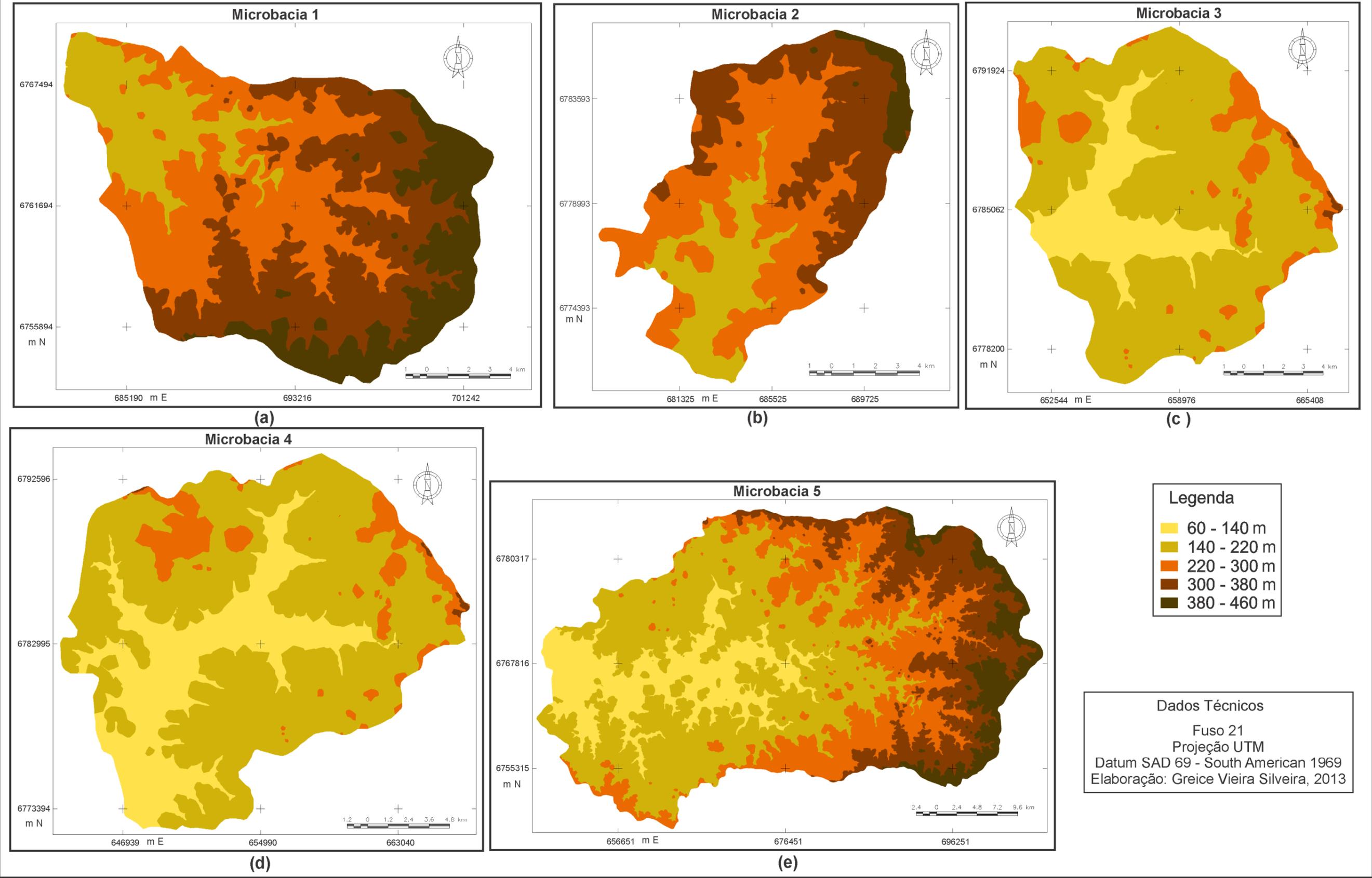


Figura 10 - Mapas de hipsometria das microbacias

Na Mb 5 observa-se o predomínio das classes de 140 – 220 bem distribuída ao longo dos setores sul e oeste (Figura 10 - e) com 41,42%. Já a classe de 380 – 460 com apenas 6,30% da área total e está localizada em pequenas parcelas nos setores, sudeste, leste e nordeste. Nessa microbacia o predomínio dos usos solo exposto, agricultura e campo são justificados pelas baixas altitudes. Desta forma, na Mb 1 as cotas predominantes são de 220 até 380 metros, na Mb 2 se destaca as que variam entre 220 até 300 metros. Na Mb 3 a cota de 140 – 220 metros é a predominante, sendo que nas Mbs 4 e 5 também, porém observa-se o predomínio ainda das cotas de 60 até 220 metros na Mb 4 e de 220 – 300 metros na Mb 5.

#### **4.5 Análise dos tipos de solo nas microbacias**

O solo é um recurso lentamente renovável, encontrado na superfície terrestre que resulta da alteração de rochas e sedimentos pela ação das condições climáticas como a intensidade de chuvas e a variação de temperatura, assim como pela ação dos organismos vivos e do relevo, ao longo do tempo (STRECK et al, 2008).

Portanto, a formação dos solos de uma região ou local depende da combinação de fatores endógenos, do material de origem (rocha) e de um conjunto de fatores exógenos desencadeados pelo clima, relevo e pelos organismos vivos. Esses processos pedogenéticos, no decorrer do tempo determinam as feições do solo como cor, espessura de horizontes, quantidade de areia, silte, argila e matéria orgânica.

Nas microbacias analisadas observa-se que existe a predominância de dois tipos de solo com características distintas. O Latossolo vermelho escuro álico está presente em todas as microbacias analisadas, é um tipo de solo profundo e homogêneo, altamente intemperizado e com acentuada acidez. Já os Litólicos são solos pouco desenvolvidos, rasos, bem drenados e com substrato de rocha vulcânica (STRECK et al, 2008).

A Tabela 5 apresenta as classes de solos encontrados nas cinco microbacias analisadas. A Mb 1 é representada em 91,67% da área total pela classe de solos Litólicos, que são pouco desenvolvidos, rasos e possuem o horizonte A diretamente assentado sobre a rocha ou sobre um pequeno horizonte C, geralmente com muito material de rocha em decomposição. Em suma os solos Litólicos apresentam-se de bem drenados a acentuadamente drenados e com características morfológicas, físicas e químicas muito variáveis, em função do

material originário, cujas principais limitações referem-se à profundidade dos perfis e à presença de pedras e/ou afloramento de rocha em alguns locais (STRECK et al, 2008).

Tabela 5 - Solos microbacia

Classes	Mb 1	Mb2	Mb 3	Mb 4	Mb 5
	Área: 22.628,43 ha %	Área: 12.119,85 ha %	Área: 19.121,94 ha %	Área: 33.779,61 ha %	Área: 156.008,97 ha %
<b>Litólico distrófico (Neossolo)</b>	<b>43,31</b>	<b>39,07</b>	0,00	0,00	18,81
Podzólico vermelho escuro álico (Argissolo)	1,62	0,00	0,00	0,00	2,61
<b>Latosolo vermelho escuro álico (Latosolo)</b>	5,75	11,54	<b>91,29</b>	<b>84,35</b>	<b>50,39</b>
<b>Litólico eutrófico (Neossolo)</b>	<b>49,32</b>	<b>41,81</b>	4,34	2,44	26,43
Terra roxa estrutural eutrófica (Nitossolo)	0,00	7,58	0,00	5,57	1,76
Planossolo eutrófico (Planossolo)	0,00	0,00	4,37	7,64	0,00
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Fonte:IBGE adaptação: recorte das áreas das microbacias

A classe de solo Podzólico vermelho escuro álico ou simplesmente Argissolo vermelho compreende 1,62% da área total da Mb 1 e está situado no setor sudeste (Figura 11 - a), Esse tipo de solo ocorre em áreas de relevo suave ondulado a forte ondulado, possuem um horizonte sub-superficial argiloso e são solos geralmente profundos e bem drenados. Podem apresentar limitações químicas devido à baixa fertilidade natural, forte acidez e alta saturação por alumínio, sendo também de alta suscetibilidade à erosão e degradação (STRECK et al, 2008). Os Argissolos são utilizados principalmente com pastagens, soja, trigo, milho, feijão, arroz e reflorestamento (SEPLAG - ATLAS SOCIOECONÔMICO, 2013).

Na Mb 2 encontramos 4 tipos de solos, sendo 80,88% é representada pelos solos Litólicos distrófico e eutrófico (Neossolos), os quais estão situados em todos os setores da bacia (Figura 11 - b). A classe de solo Litólico distrófico apresenta uma porcentagem de saturação por bases inferior a 50% sendo, portanto, bastante ácidos. Esses tipos de solos quando derivados de arenito, possuem cor que varia de preta a bruno-avermelhado-escura, textura arenosa ou média, baixa fertilidade natural e normalmente utilizados com pastagem (STRECK et al, 2008).

A Mb 3 compreende 91,29% da classe Latossolo vermelho escuro álico e o restante pelas classes Litólicos eutróficos (4,34%) e Planossolo eutrófico (4,37%), situados nos setores leste e oeste da bacia (Figura 11 - c). Os solos do tipo Litólico eutrófico quando derivados de folhelho, siltitos, argilitos e rochas cristalinas, podem ser de média e alta fertilidade natural,

## Mapas de Tipos de Solos das Microbacias

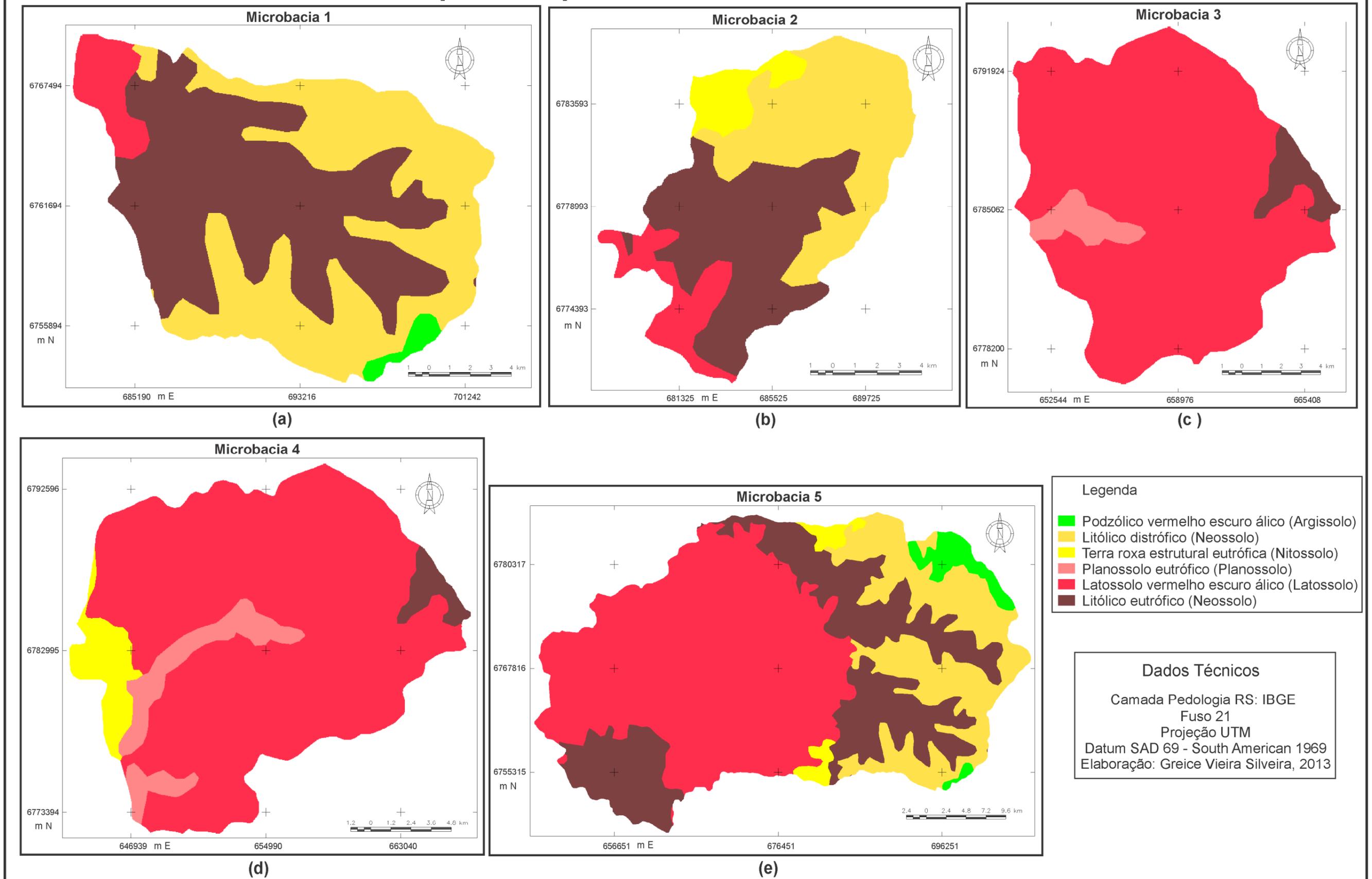


Figura 11 – Mapas de tipos de solos das microbacias

sempre inferior a dos derivados de basalto, em relevo forte ondulado ou montanhoso, de textura argilosa, silitosa ou média (STRECK et al, 2008).

A Mb 4 é representada pelas classes do Latossolo vermelho escuro álico (84,35%), Terra roxa estrutural eutrófica (5,57%) localizado no setor oeste, Planossolo eutrófico (7,64%) no setor sudoeste e Neossolo eutrófico (2,44%) situado no setor nordeste (Figura 11 - d). O tipo de solo Terra roxa estrutural eutrófica apresenta o horizonte B textural, não hidromórficos, desenvolvidos de rochas eruptivas básicas, com teores de óxido de ferro sempre iguais ou superiores a 15,%, sua profundidade varia entre 100 e 200 cm, com textura argilosa ou muito argilosa e relação textural inferior a 1,5. (STRECK et al, 2008).

A classe Planossolo eutrófico são solos típicos de áreas baixas, onde o relevo permite excesso de água permanente ou temporário, ocasionando fenômenos de redução que resultam no desenvolvimento de perfis com cores cinzentas. Uma característica desses solos é a presença de horizonte superficial aluvial de textura arenosa ou média, que contrasta abruptamente com o horizonte subjacente B, de elevada concentração de argila (STRECK et al, 2008).

A Mb 5 possui cinco classes de solo, pois compreende a área das Mbs 1 e 2 juntamente. O Latossolo vermelho aparece com 50,39% e está presente nas cinco microbacias, sendo que em maior representatividade nas Mbs 3, 4 e 5. Ocorrem predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado, propiciando a mecanização agrícola, em menor expressão, podem ocorrer em áreas de relevo ondulado (EMBRAPA, 1999).

O Latossolo em condições naturais, ou quando convenientemente manejados, são resistentes à erosão, uma vez que possui boas propriedades físicas, o que possibilita a rápida infiltração e percolação da água das chuvas. A mecanização pesada e excessiva, principalmente nos de textura muito argilosa, pode provocar sua compactação, dificultando a rápida penetração da água com o conseqüente aparecimento da erosão. Quando possuem textura média, geralmente são bastante profundos e permeáveis e a estruturação no horizonte A é relativamente pobre. Por isso, quando intensivamente cultivados, apresentam alta susceptibilidade à erosão hídrica, com a formação de sulcos profundos que rapidamente evoluem em voçorocas (STRECK et al, 2008).

Os solos Litólicos distrófico e eutrófico podem ocorrer em áreas de relevo ondulado ou montanhoso. Apesar destes fatores limitantes, são intensamente utilizados com culturas bastante diversificadas, como milho, feijão, frutíferas e outras (SEPLAG – ATLAS SOCIOECONÔMICO, 2013). A diferença entre os solos Litólicos ditrófico e eutrófico está

que no primeiro a porcentagem de saturação por bases é inferior a 50%, sendo, portanto, bastante ácidos, são solos de fertilidade média ou baixa. Enquanto os eutróficos possuem concentrações de nutrientes em níveis ótimos, ou quase ótimos, para o crescimento de plantas e animais (STRECK et al, 2008).

Os solos da bacia hidrográfica do Rio Itu apresentam uma grande diversidade quanto aos tipos de solos, os quais são influenciados diretamente pela grande variação do relevo e pelas características geológicas da bacia hidrográfica que interferem na formação e diferenciação dos tipos de solos, ou mesmo, nas características de determinado solo, visto que, as rochas, material base do desenvolvimento dos solos, apresentam também grande variação quanto as suas características de textura, estrutura e coesão frente aos processos de intemperismo (TRENTIN, 2011). Portanto, nas cinco microbacias analisadas o Latossolo vermelho está presente em todas e pode ser considerado o tipo de solo que reflete maior influência sobre as diferentes formas de uso e cobertura do solo na região.

#### **4.6 Análise do cruzamento entre os dados de declividade e uso e cobertura da terra**

A Tabela 6 compreende o cruzamento dos dados uso e cobertura do solo com a declividade nas cinco microbacias. A classe floresta é predominante nas baixas e médias declividades em todas as microbacias. Na Mb 1 o uso floresta compreende 0,17% nas altas declividades, ou seja, acima de 30%, estas áreas estão localizadas em pequenas parcelas nos setores norte e noroeste (Figura 12 - a). Os menores percentuais encontrados foi nas Mbs 3 e 4 nas médias e altas declividades para o uso floresta.

Tabela 6 - Uso da terra associado a declividade

Classes	Mb 1	Mb 2	Mb 3	Mb 4	Mb 5
	Área: 22.628,43 ha %	Área: 12.119,85 ha %	Área: 19.121,94 ha %	Área: 33.779,61 ha %	Área: 156.008,97 ha %
F: 0 - 5 %	<b>7,49</b>	<b>8,80</b>	<b>4,86</b>	<b>3,40</b>	<b>6,26</b>
F: 5 - 12 %	<b>9,83</b>	<b>7,92</b>	<b>1,93</b>	<b>1,45</b>	<b>6,03</b>
F: 12 - 30 %	<b>3,02</b>	<b>1,21</b>	0,22	0,20	1,40
F: 30 - 47 %	0,16	0,06	0,00	0,02	0,08
F: 47 - 100 %	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
C: 0 - 5 %	<b>8,80</b>	<b>11,42</b>	<b>10,66</b>	<b>13,15</b>	<b>10,49</b>
C: 5 - 12 %	<b>10,52</b>	<b>13,19</b>	<b>5,51</b>	<b>7,35</b>	<b>10,81</b>
C: 12 - 30 %	<b>3,48</b>	<b>3,07</b>	1,79	1,51	2,91
C: 30 - 47 %	0,30	0,07	0,10	0,10	0,17
C: 47 - 100 %	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
S.E: 0 - 5 %	<b>18,84</b>	<b>22,43</b>	<b>44,36</b>	<b>41,99</b>	<b>24,80</b>
S.E: 5 - 12 %	<b>23,98</b>	<b>23,64</b>	<b>21,10</b>	<b>21,39</b>	<b>24,69</b>
S.E: 12 - 30 %	<b>10,07</b>	4,53	3,26	3,10	6,61
S.E: 30 - 47 %	0,94	0,13	0,06	0,28	0,41
S.E: 47 - 100 %	0,04	0,01	0,00	0,02	0,02
Agric: 0 - 5 %	0,76	1,51	<b>2,93</b>	<b>2,97</b>	<b>2,25</b>
Agric: 5 - 12 %	<b>1,24</b>	1,57	<b>2,13</b>	<b>2,21</b>	<b>2,34</b>
Agric: 12 - 30 %	0,46	0,46	1,02	0,79	0,67
Agric: 30 - 47 %	0,04	0,01	0,07	0,07	0,04
Agric: 47 - 100 %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	100,00	100,05	100,00	100,00	100,00

O uso e cobertura campo é predominante nas baixas declividades (0 a 12%) em todas as microbacias, mas nas Mb 2 e 5 são mais expressivas com mais de 20%. A Mb 2 compreende 24,61%, situadas principalmente nos setores norte, noroeste e oeste (Figura 12 - b), enquanto a Mb 5 abrange 21,30% da área total, distribuída ao longo de todos os setores (Figura 12 - e). Para as altas declividades o uso campo apresenta valores muito baixos, não chegando a 1% em nenhuma das microbacias.

A classe solo exposto é predominante nas baixas declividades e apresenta altos índices em todas as microbacias, mas aparece com maior expressividade nas Mbs 3 e 4, que totalizam mais de 60% da área total cada uma. Em ambas Mbs é possível observar o predomínio do uso solo exposto nas baixas declividades em todos os setores (Figura 12 - c/d), quando comparado aos demais mapas das outras microbacias é evidente que são os mais fáceis de identificar os usos e suas respectivas declividades.

Na classe agricultura os maiores percentuais encontrados foram nas Mbs 3, 4 e 5, que contabilizaram mais de 5% cada uma, para as baixas e médias declividades juntamente. As microbacias 1 e 2 apresentam os menores valores do uso agricultura somando-se todas as declividades para este uso e cobertura do solo, na Mb 1 esta classe esta representada nos

## Mapas Síntese Declividade e Uso e Cobertura da Terra das Microbacias

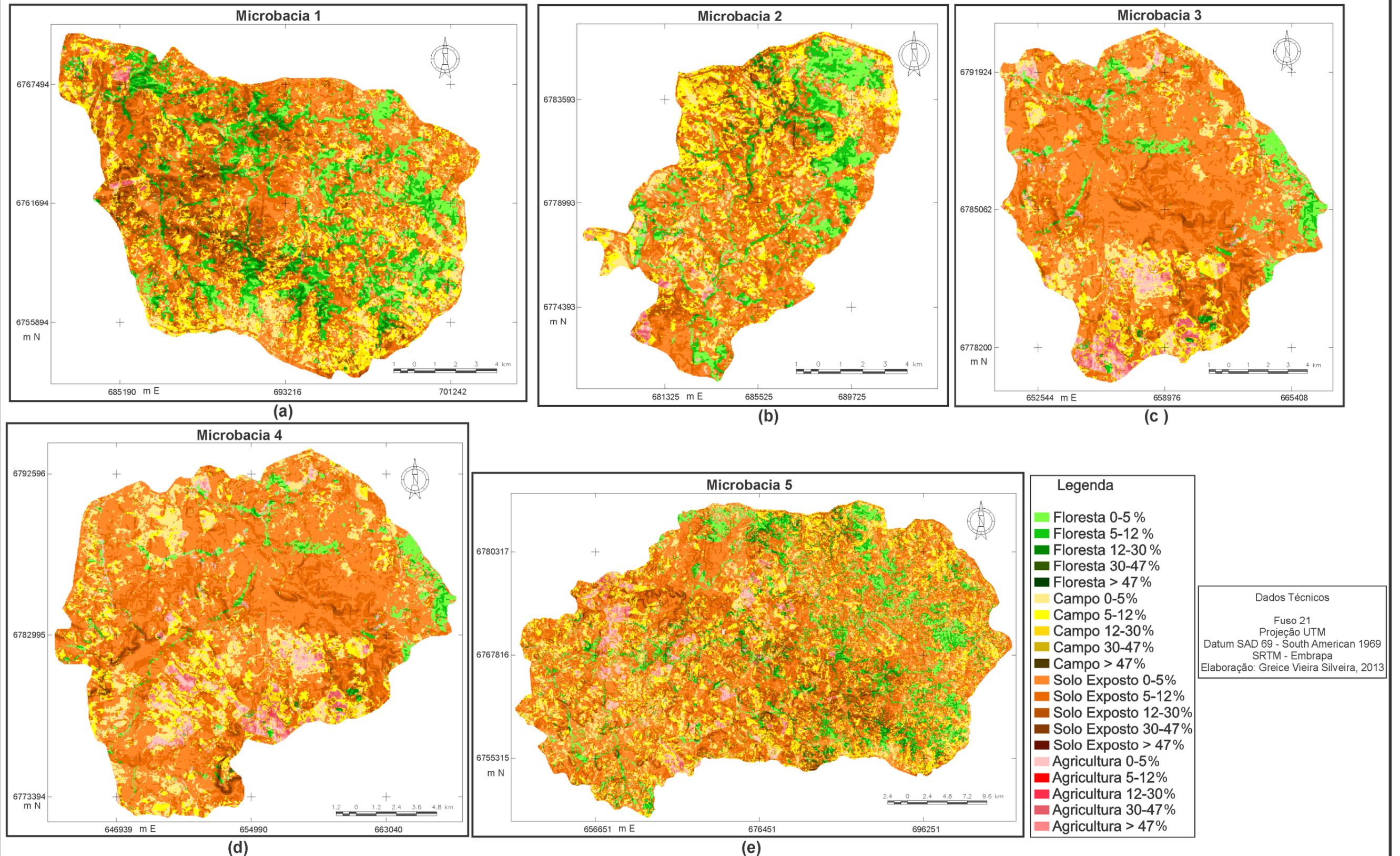


Figura 12 - Mapas síntese declividade e uso e cobertura da terra

setores oeste e noroeste, enquanto que na Mb 2 está situada no setor sul (Figura 12 - b).

Sendo assim, em síntese os usos e cobertura do solo nas microbacias estão sendo manejado principalmente pelo uso solo exposto nas baixas declividades, entre 0 a 12%. Em seguida aparecem os usos campo e floresta, os quais também estão sendo manejados nas baixas declividades. Sendo que os menores valores encontrados nas Mbs analisadas, independente da declividade em que está inserida cada uma, é representado pelo uso da terra agricultura.

#### **4.7 Análise mudanças no uso e cobertura do solo nas microbacias**

A Tabela 7 sintetiza os dados nas mudanças ocorridas no uso da terra 1991 a 2010, isoladamente para cada microbacia. Com relação a classe floresta as áreas que permaneceram e passaram a ser desta, as Mbs 1, 2 e 5 se destacam com percentuais mais elevados, sendo que a Mb 1 compreende 10,18% da área total, é observado (Figura 13 – a), que a classe que permanece como floresta são as áreas que acompanham o traçado da drenagem. Outro dado importante é que na Mb1 9,83% da área é da classe agricultura que passou a ser floresta, essa classe acompanha as áreas de floresta, pois ambas estão situadas próximas, localizadas em pequenas áreas distribuídas em diversos setores.

A Mb 2 também apresenta um valor expressivo quando comparada as demais Mbs, com 7,94% da área total da classe agricultura que passou a floresta, acompanhando também o perfil do curso d'água. Os menores valores encontrados da classe que permanece floresta são nas Mbs 3 e 4, principalmente na Mb 4 com 3,33%, localizadas nos setores norte e leste e em pequenas áreas no sul (Figura 13 - d). O valor mais expressivo da classe floresta que passou a solo exposto ocorre na Mb3 com 2,75%. A mudança no uso e cobertura floresta para solo exposto foi a mais alta em todas as microbacias quando comparada aos demais usos que eram floresta em 1991.

Tabela 7 – Mudanças no uso e cobertura do solo

Classes	Mb 1	Mb 2	Mb 3	Mb 4	Mb 5
	Área: 22.628,43 ha %	Área: 12.119,85 ha %	Área: 19.121,94 ha %	Área: 33.779,61 ha %	Área: 156.008,97 ha %
F - F	<b>10,18</b>	<b>9,54</b>	4,86	3,33	7,24
F - C	0,09	0,10	0,17	0,11	0,14
F - S.E	<b>1,35</b>	<b>1,07</b>	<b>2,75</b>	<b>1,81</b>	<b>1,39</b>
F - Agric	0,18	0,24	0,50	0,44	0,35
F - A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C - F	0,15	0,08	0,03	0,02	0,07
C - C	<b>9,98</b>	<b>9,93</b>	<b>4,57</b>	<b>5,66</b>	<b>7,05</b>
C - S.E	<b>9,96</b>	<b>5,76</b>	<b>7,41</b>	<b>8,14</b>	<b>6,55</b>
C - Agric	0,26	0,36	0,95	0,87	0,58
C - A	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
S.E - F	0,34	0,35	0,25	0,16	0,47
S.E - C	4,36	8,19	9,53	10,74	8,55
S.E - S.E	<b>12,44</b>	<b>16,32</b>	<b>42,03</b>	<b>37,49</b>	<b>21,50</b>
S.E - Agric	0,39	0,84	3,09	2,70	1,84
S.E - A	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01
Agric - F	<b>9,83</b>	<b>7,94</b>	<b>1,85</b>	<b>1,53</b>	<b>5,93</b>
Agric - C	<b>8,70</b>	<b>9,56</b>	<b>3,79</b>	<b>5,63</b>	<b>8,66</b>
Agric - S.E	<b>30,09</b>	<b>27,64</b>	<b>16,55</b>	<b>19,33</b>	<b>27,09</b>
Agric - Agric	1,69	2,07	1,57	1,99	2,52
Agric - A	0,00	0,00	0,05	0,03	0,02
A - F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A - C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A - S.E	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03
A - Agric	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A - A	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>Total</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A classe do uso e cobertura campo que permanece em 2010 é mais elevada nas microbacias 1, 2, ambas com mais de 9%. e estão bem distribuída em todos os setores. A Mb 3 apresenta o menor valor com 4,57% da área, com pequenas parcelas no setor sul, nordeste e noroeste (Figura 13 - c). A Mb 1 apresentou o percentual mais alto com 9,96% no uso campo que passou a solo exposto, embora de uma forma geral isso tenha ocorrido em todas as microbacias.

O uso e cobertura solo exposto que continua a ser dessa classe é mais elevado nas Mbs 3 e 4, justamente as duas microbacias que apresentam os menores percentuais para as classes floresta e campo. A Mb 3 compreende 42,03% da área total e esta situada em todos os setores da microbacia, mas principalmente nos setores oeste, noroeste e região central. Dentre os demais usos o solo exposto perdeu mais área para a classe campo, especialmente as Mbs 3 e 4. destaque a Mb2 com 9,56% situadas em pequenas áreas em todos os setores (Figura 13 - b).

O uso agricultura foi substituído pela floresta em maior percentagem nas Mbs 1, 2 e 5, também ocorreu isso com o uso solo exposto porém em todas as microbacias.

A classe agricultura apresentou as mudanças mais expressivas, pois apresentou os menores percentuais em áreas que eram de agricultura em todas as microbacias. Percebe-se que o uso agricultura vem sendo substituído pelo uso campo em todas microbacias.

## Mapas de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra das Microbacias

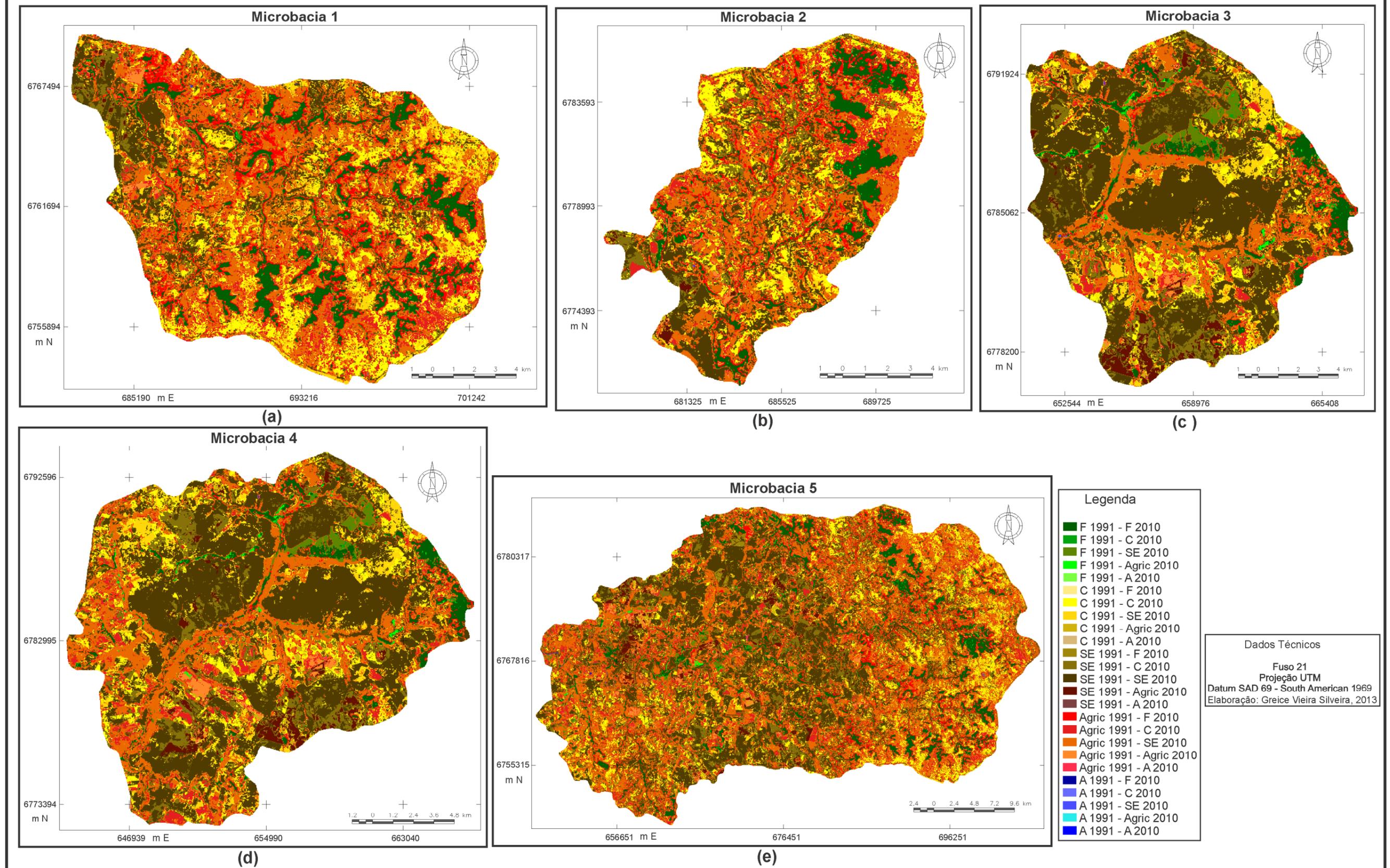


Figura 13 - Mapas de Mudanças no uso e cobertura da terra das microbacias

Portanto, nas cinco microbacias analisadas os tipos de usos e cobertura do solo campo e floresta somam 43,63% na Mb 1, seguido da Mb2 com 45,69% da área total, estas duas Mbs apresentaram dados mais expressivos se comparadas as outras, pois de uma maneira geral o uso campo e floresta cresceu em decorrência das mudanças que ocorreram principalmente no uso agricultura. O uso solo exposto também apresentou alterações, mas para o uso campo em maior expressividade. As Mbs 3, 4 e 5 estão inseridas em áreas em que o processo de arenização vem crescendo ao longo dos anos, propiciando em maior percentual o uso e cobertura solo exposto. Observa-se que as Mbs estão inseridas em uma área de baixas declividades, a qual propicia o uso e cobertura do solo campo para as áreas de pastagens e o florestamento de Eucaliptos como uma forma de impedir o avanço dos areais.

Tabela 8 – Produção agropecuária

Município	Agricultura			Pecuária			Silvicultura		
	Soja/área plantada em ha			Bovino/cabeça			Madeira em Tora/m <sup>3</sup>		
	1991	1999	2010	1991	1999	2010	1991	1999	2010
Santiago	20.000	28.500	15.000	290.600	240.810	199.893	500	2280	3820
Unistalda	-	1.800	4.650	-	52.194	52.335	-	480	635

Fonte: Dados do Instituto de Geografia e Estatística

A tabela 8 apresenta dados da pecuária, agricultura e silvicultura em três anos distintos dos municípios de Santiago e Unistalda, os quais estão situados em áreas referentes as microbacias analisadas. Conforme se observa o município de Santiago apresentou uma diminuição nas áreas destinadas a produção de agricultura, assim como no seu rebanho bovino e por consequencia um aumento expressivo na sua produção de silvicultura.

Em Unistalda a pecuária não apresentou uma variação expressiva, mas a agricultura e silvicultura aumentaram. Esses dados do IBGE são referentes aos três anos analisados nos mapas de uso e cobertura do solo e serviram como base para confirmar que os dados extraídos dos mapas estão em conformidade com as mudanças que vem ocorrendo na produção econômica da região. Sendo assim, a mudança na economia reflete os usos do solo encontrados, onde a agricultura vem cedendo espaço para a pecuária com o aumento das áreas de campos e da silvicultura com o crescimento da classe floresta e o solo exposto justifica-se pelas microbacias estarem inseridas em uma área com intensos processos erosivos.

## 4.8 Análise limnológica nos pontos amostrais das microbacias

### 4.8.1 Temperatura

A média da temperatura da água encontrada para os cinco pontos foi de 17,6 °C, no dia da coleta a temperatura aumentou consideravelmente ao longo do dia. Com relação aos cinco pontos, não houve variações significativas entre cada ponto amostrado (Gráfico 1), sendo que o ponto 1 foi coletado aproximadamente as 11:55 minutos da manhã e apresentou a maior temperatura 19,5 °C. Logo em seguida aparece o ponto 3 com 18,7 °C, o qual foi coletado as 15:20 minutos da tarde.

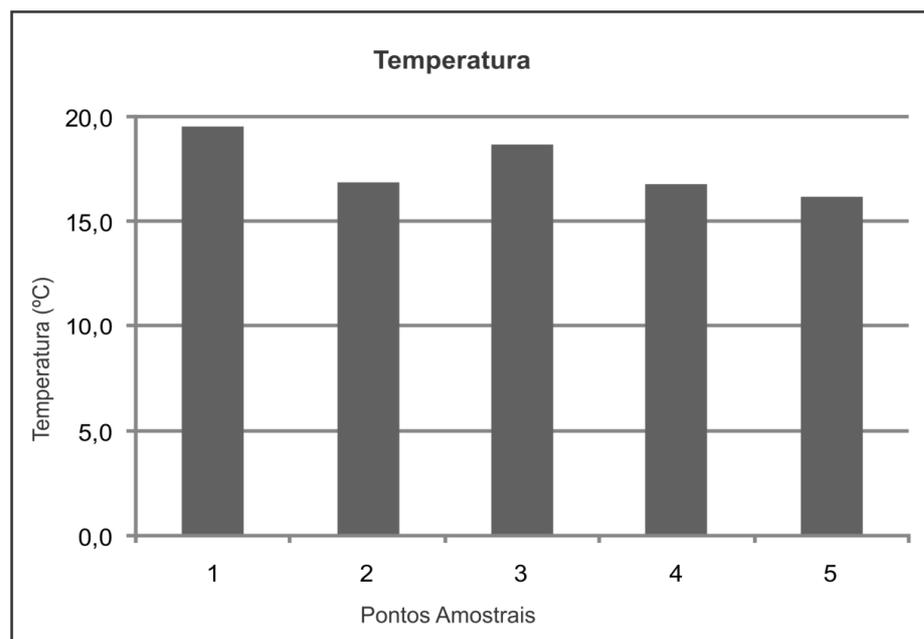


Gráfico 1 – Temperatura pontos amostrais

A diferença de temperatura de água encontrada nos cinco pontos amostrais pode estar relacionada com a presença ou ausência de mata ciliar ao longo do curso d'água. O ponto 1 apresenta a temperatura mais elevada, sendo que na microbacia 1 foi encontrada a maior porcentagem do uso floresta (Tabela 2). O entorno dos pontos 1 e 2 (Fotografias 4 – a e b) apresenta-se preservado, com mata galeria ao longo do curso d'água. O ponto 3 apresenta a

segunda temperatura mais elevada, porém apresenta uma porcentagem menor da classe floresta e maior de solo exposto, seu entorno é apenas com capões (Fotografia 5 – a). Os pontos 2, 4 e 5 não apresentam uma variação expressiva de temperatura entre si, a classe floresta apenas no ponto 2 é maior, nos outros dois é pequena, outro dado que pode ser considerado é que nos três pontos o percentual de solo exposto é elevado. A ocorrência da classe campo é elevada em todas as microbacias. O entorno dos pontos 4 e 5 apresentam vegetação de pequeno porte e capões (Fotografias 5 – b e 6 ).



Fotografia 4 - Ponto 1 (a) e 2 (b) e seu entorno com mata ciliar  
Fonte: Waterloo Pereira Filho



Fotografia 5 - Ponto 3 (a) e 4 (b)  
Fonte: Waterloo Pereira Filho



Fotografia 6 – Ponto 5

As imagens selecionadas mostram o entorno de cada ponto amostral, como uma forma de justificar essa variação de temperatura encontrada entre cada um. A presença de mata ciliar pode ser o motivo da mudança de temperatura, embora os pontos 1 e 3 apresentem maior temperatura, seus entornos são bem distintos. O ponto 1 com mata ciliar e o 3 com areal e vegetação de porte pequeno. Outro fator que tem influência na diferença de temperatura é o horário em que cada amostra foi coletada.

#### 4.8.2 Potencial hidrogeniônico

No Gráfico 2 observa-se que dos cinco pontos amostrais, os valores mais altos encontrados foram nos pontos 3 e 4, ambos com pH de 5,86. O valor mais baixo encontrado foi pH de 5,69. Num contexto geral o pH não apresentou variações expressivas entre cada ponto, sendo considerado ácido.

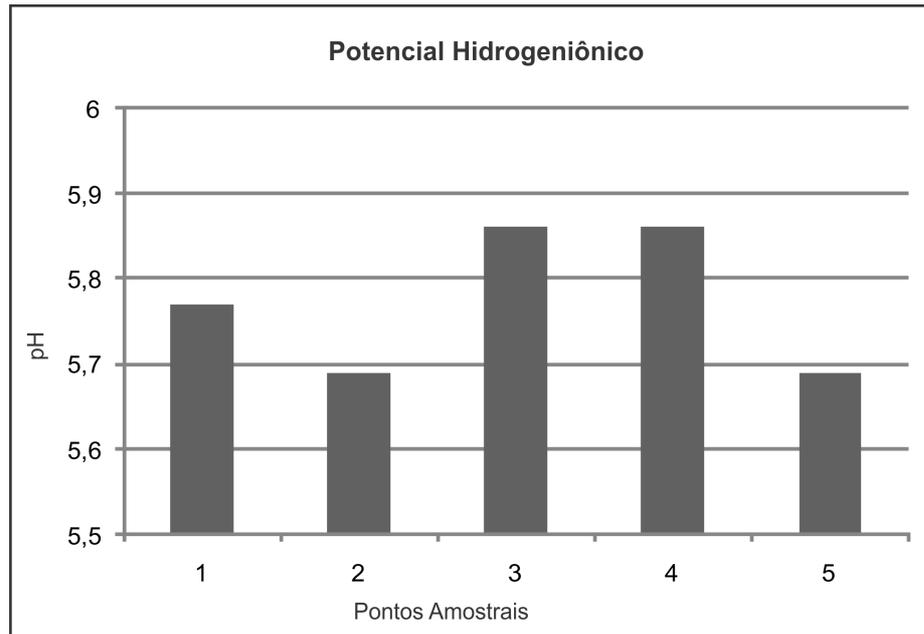


Gráfico 2 – pH dos pontos amostrais

O pH é uma viável que reflete o tipo de solo por onde a água percorre, por exemplo em lagoas com grande população de algas, e em dias ensolarados, o pH pode aumentar muito, chegando a 9 ou mais. Isso porque as algas, ao realizarem fotossíntese, retiram muito gás carbônico, que é a principal fonte natural de acidez da água. (da SILVA et al, 2010). Geralmente um pH muito ácido ou muito alcalino está associado à presença de despejos industriais.

O tipo de solo abundante na região onde está inserida a área de estudo é do tipo Latossolo vermelho escuro, pois como citado anteriormente o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre. Sendo assim, por haver pouca variação do pH entre as amostras e também pelo Latossolo estar presente nas cinco microbacias analisadas, esse tipo de solo pode estar influenciando na variável. Embora ele seja predominante apenas nas microbacias 3, 4 e 5, a área do ponto onde foi coletada cada amostra corresponde no mapa de solos ao Latossolo. Segundo EMBRAPA (1999) os Latossolos são geralmente distróficos e ácidos variando seu pH de 4 a 5,5 a média, mesmo que o valor encontrados nas amostras seja superior ainda se pode inferir que esse tenha influência nos valores obtidos nos 5 pontos analisados.

### 4.8.3 Condutividade elétrica

Condutividade elétrica é uma medida da habilidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. Essa propriedade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon.

A condutividade elétrica encontrada nos cinco pontos amostrais variou expressivamente. Analisando o Gráfico 3, o menor valor encontrado foi no ponto 3 com apenas 22  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o maior valor foi no ponto 1 setor montante, com 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Portanto a média encontrada para a condutividade elétrica foi de 35,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para os cinco pontos analisados.

A variável condutividade elétrica não permite determinar, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas é importante por contribuir na identificação de possíveis de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, dentre outros.

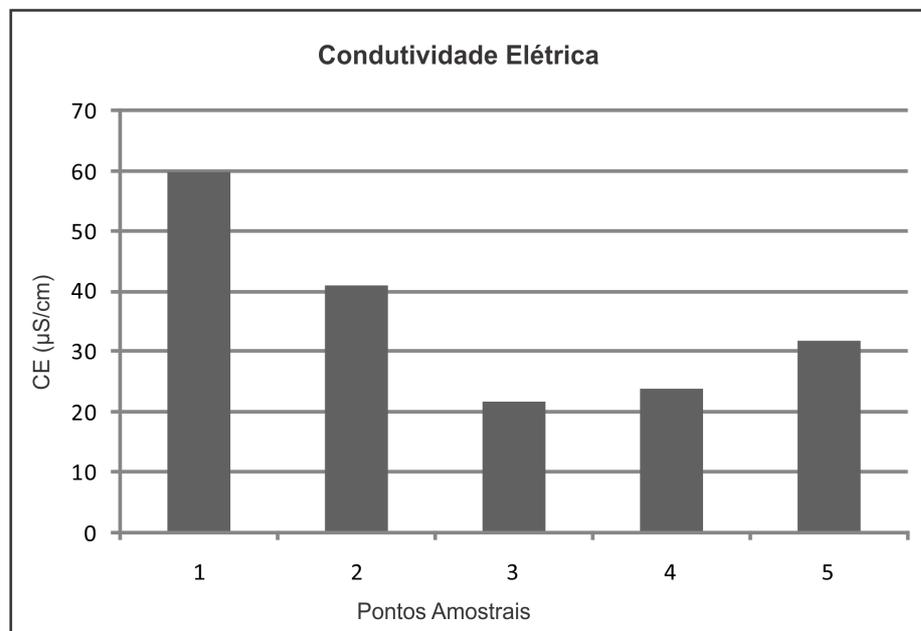


Gráfico 3 - Condutividade elétrica dos pontos amostrais

A diferença de condutividade elétrica nos 5 pontos amostrais pode estar sendo influenciada pelo tipo de íon presente no solo predominante em cada microbacia, pois nas microbacias 1 e 2 são encontrados solos Litólicos distrófico e eutrófico em maior proporção que nos demais. Enquanto que nas microbacias 3, 4 e 5 o Latossolo vermelho escuro álico é predominante, sendo que os pontos 3 e 4 tem uma variação pequena entre si de condutividade, o que pode ser aferido pelo fato de que ambos apresentam mais de um tipo de solo na sua microbacia correspondente. Esta variação não ocorre no ponto 5 onde apenas o Latossolo vermelho predomina e isto pode justificar o ponto 5 apresentar um valor de condutividade maior que os pontos 3 e 4.

Comparando com a Tabela de solos pode-se perceber que o Latossolo influencia diretamente sobre a condutividade elétrica, pois conforme a porcentagem desse solo em cada microbacia percebe-se que maior é a condutividade elétrica. O uso da terra por sua vez nas microbacias 1, 2 e 5 apresenta predominância da classe floresta e menor área de agricultura, sendo que nessas duas Mbs o valor de condutividade é maior que nas demais. Porém nos pontos 3 e 4 a classe floresta diminuiu e a agricultura aumentou, indicando que a diferença de condutividade elétrica encontrada pode estar associada ao manejo do solo em cada microbacia analisada.

#### 4.8.4 Total de sólidos em suspensão

O Total de sólidos em suspensão é uma variável limnológica que está intrinsecamente relacionada com a ocupação do entorno do ambiente aquático, pois o aporte de sedimentos é facilitado pelo desmatamento, pelas chuvas, ventos, bem como quando o solo está em preparo para o plantio.

A média do TSS encontrada para os cinco pontos amostrados é de 7,6 mg/L. No Gráfico 1 observou-se que o ponto 3 apresentou valor mais elevado que os demais, sendo de 17,33 mg/L, enquanto que os outros não houve grande variação, nem chegando a 10 mg/L. A pluviometria foi considerada a partir de dez dias antes da saída a campo até o dia 30/07/13, dia em que foi realizada a expedição a campo. Considerando os dados obtidos por meio do site da HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas (2014), houve precipitação de 3,9 mm, apenas nove dias antes da saída a campo (30/07/13).

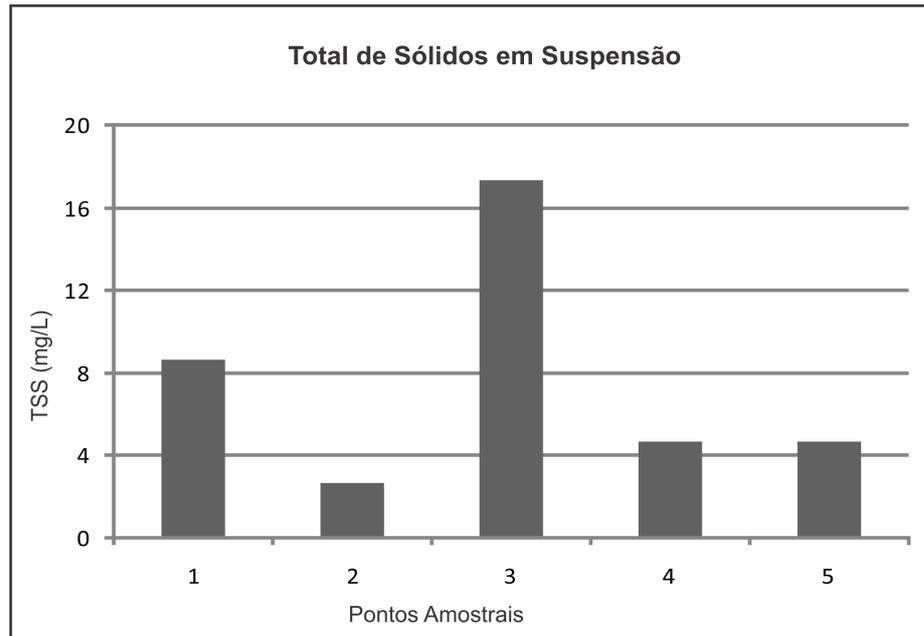


Gráfico 4 - Total de sólidos em suspensão nos pontos amostrais

O ponto 3 (Fotografia 5 – a) está inserido em uma área de arenização, sendo que no leito do rio pode ser observado, assim como no entorno do curso d'água a vegetação é de pequeno porte e gramíneas, outro dado importante é que áreas de silvicultura estão sendo manejadas próximas ao curso d'água. Outra justificativa para este valor elevado, é que o ponto 3 está inserido na microbacia 3, que apresenta a maior área de solo exposto (68,77%), bem como as áreas de floresta vem diminuindo (6,98%).

O menor valor ocorreu no ponto 2, que está inserido na Mb 2 que está próxima as nascentes do rio Itu, assim como apresenta valores altos de solo exposto (50%), porém as classes de campo (27,71%) e floresta (17,98%), ambas vem aumentando de 1991 para 2010. Desta forma, pode-se inferir que o ponto 2 mantém, o entorno do leito do rio mais preservado, com vegetação de médio a grande porte, dificultando que os sedimentos sejam carreados para o rio.

#### 4.8.5 Turbidez

Segundo Salata et al. (1988), além das atividades relacionadas ao uso e manejo do solo, intervenções na vegetação e nas estradas e vias de acesso são também consideradas

importantes modificadoras de parâmetros qualitativos, por serem fontes potenciais de turbidez da água.

A turbidez da água ocorre devido à matéria em suspensão, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e partículas similares, alterando a penetração da luz através da difusão e absorção, dando à água uma aparência turva. A medida de turbidez se baseia numa comparação entre a interferência à passagem de raios luminosos por meio da amostra e através de suspensões adotadas como padrões de medida.

A zona produtiva dos corpos d'água é quase idêntica à profundidade de visibilidade na coluna d'água. A presença de sólidos em suspensão, e conseqüentemente de turbidez, modifica as condições de iluminação da água e o alcance da radiação luminosa, influenciando na fotossíntese e no crescimento das plantas aquáticas e do plâncton, especialmente em águas paradas ou com baixa velocidade de escoamento.

No Gráfico 5 os valores mais altos encontrados foi nos pontos 4 e 5 ambos acima de 20 NTU, e o menor valor ocorreu no ponto 1 com 9,9 NTU. Dentre os pontos analisados existe uma variação expressiva entre eles, pois a montante tem-se valores mais baixos e a jusante os mais altos, com exceção do ponto 5 em que voltou a diminuir o valor da turbidez.

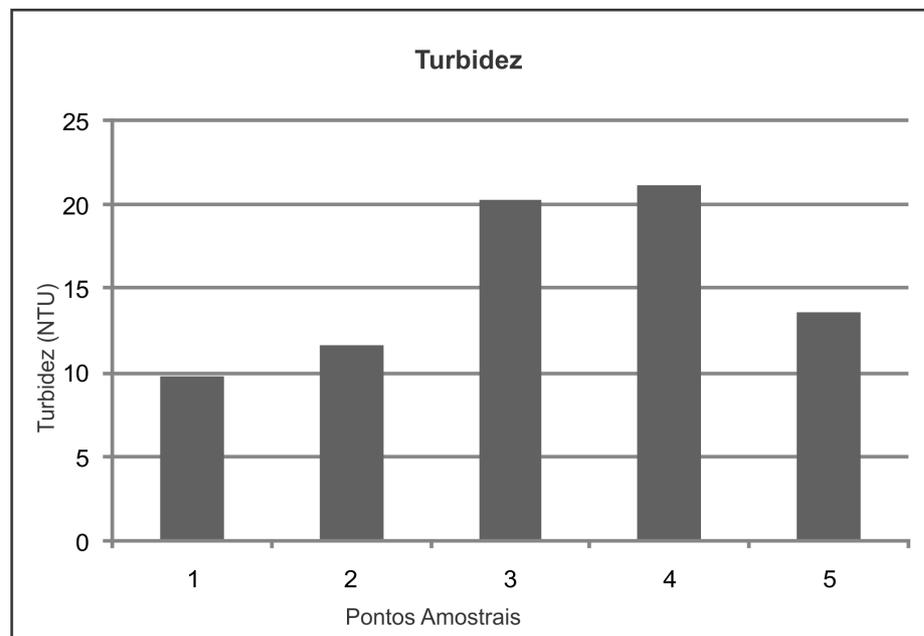


Gráfico 5 - Turbidez dos pontos amostrais

A diferença de turbidez entre os pontos amostrais pode estar associada à maior porcentagem de floresta em algumas microbacias. Enquanto que nos pontos 1 e 2, respectivamente microbacias 1 e 2 foram encontrados os valores mais altos da classe floresta e menor porcentagem de agricultura (Tabela 2) a partir do ponto 3 ocorre uma diminuição da classe floresta e um aumento da agricultura.

Dessa forma, pode-se inferir que a diferença de turbidez encontrada pode estar sendo influenciada pelas classes floresta e agricultura, pois as microbacias 1 e 2 apresentam as maiores porcentagens da classe floresta e menor agricultura e por conseqüência os menores valores de turbidez. Enquanto que as microbacias 3, 4 e 5 apresentam maior turbidez, que por sua vez, aparecem com uma porcentagem menor da floresta e maior da agricultura.

#### 4.8.6 Relação entre uso e cobertura da terra e variáveis limnológicas

A Tabela 9 apresenta a relação entre o uso e cobertura da terra e as variáveis limnológicas. Observa-se uma relação entre a condutividade elétrica e o solo do tipo predominante no entorno do ponto amostral de cada microbacia. Nos valores percentuais do solo Latossolo por Mb, observou-se que conforme aumentava a condutividade elétrica a porcentagem do Latossolo diminuía. O uso e cobertura predominante nas Mbs são solo exposto e campo, enquanto o uso predominante no entorno de cada ponto amostral varia, sendo floresta nas Mbs 1e 2 e solo exposto nas demais.

Tabela 9 – Relação uso da terra com as variáveis limnológicas

Variáveis/Classe	Microbacia/Ponto Amostral				
	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	19,5	16,9	18,7	16,8	16,2
pH	5,77	5,69	5,86	5,86	5,69
Condutividade elétrica (µS/cm )	60	41	22	24	32
Total de sólidos em suspensão (mg/L)	8,6	2,6	17,3	4,6	4,6
Turbidez (NTU)	9,81	11,7	20,4	21,2	13,6
Uso e cobertura no entorno do ponto	F	F	SE	F e SE	C e SE
Uso e cobertura predominante na Mb	SE e C	SE e C	SE e C	SE e C	SE e C
Tipo de solo no entorno do ponto	Latossolo	Latossolo	Planossolo	Latossolo e Planossolo	Latossolo
Tipo de solo predominante na Mb	Neossolo	Neossolo	Latossolo	Latossolo	Latossolo
Solo Latossolo vermelho (%)	5,75	11,54	91,29	84,35	50,39

No potencial hidrogeniônico também se observa uma relação com o solo do tipo Latossolo, pois a medida que a porcentagem desse diminui em cada microbacia, o valor do pH aumenta. Além disso, nota-se uma relação entre o pH e condutividade elétrica, pois os pontos 3 e 4 apresentam o valor mais alto de pH e menor de condutividade elétrica.

O total de sólidos em suspensão apresenta relação com o entorno do ponto amostral da microbacia, pois a Mb 3 tem o valor mais elevado, apresenta não somente em seu entorno mas na Mb como um todo a predominância da classe solo exposto. Enquanto o ponto 2 que apresenta o menor valor de TSS, em seu entorno é predominante a classe floresta. A turbidez apresenta relação com o uso e cobertura do entorno do ponto amostral, pois no ponto 3 e 4 o entorno.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Numa análise das cinco microbacias estudadas no rio Itu verificou-se que em todas ocorrem o predomínio das baixas e médias declividades, sendo que as altas declividades aparecem em poucas áreas. Quanto a hipsometria as Mbs 1 e 2 apresentam todas as cotas das 5 classes variando amplamente entre 60 até 460 metros. O solo predominante é o Latossolo vermelho, presente em todas as microbacias.

O objetivo geral “*analisar as variações espaço-temporais do uso da terra em cinco microbacias no rio Itu e sua relação com as variáveis limnológicas*”, foi atingido, pois se observou que existe uma relação entre o uso e cobertura da terra e as variáveis limnológicas, especialmente entre a condutividade elétrica, pH, total de sólidos em suspensão e turbidez, com o tipo de solo predominante na microbacia e no entorno do seu ponto amostral, o Latossolo. O uso e cobertura solo exposto apresenta relação com os níveis de TSS encontrado.

*1º - Identificar e quantificar os diferentes usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Itu;*

Na bacia hidrográfica do rio Itu num contexto geral existe predomínio das áreas de solo exposto, o qual apresentou crescimento no período estudado de vinte anos, e em decorrência disso a agricultura foi diminuindo. No entanto a classe floresta apresentou um pequeno crescimento de 2,41% no período analisado, apenas as áreas de campo que obtiveram um crescimento maior de 8,86%. Pode se inferir que embora a classe solo exposto venha aumentando ao longo do tempo em decorrência dos areais, a classe floresta e campo cresceram pelo avanço da silvicultura na região, bem como da plantação de pastagens forrageiras para o gado.

O tipo de uso da terra que mais se destaca entre as cinco microbacias analisadas é o solo exposto que aparece sempre com percentuais altos, sendo que as Mbs 3 e 4 apresentam os valores mais expressivos por estarem inseridas em uma área com processo de arenização. As Mbs 1 e 2 apresentaram a classe floresta em crescimento justamente por estarem próximas as nascentes do rio Itu, a Mb 5 também apresenta a floresta em crescimento, pois na área dessa Mb está incluída a área das Mbs 1 e 2. A classe campo em todas as Mbs aparece em crescimento, sendo que o uso da terra agricultura apresenta um percentual menor que 10% em todas as Mbs.

*2° - Identificar os padrões limnológicos de cada microbacia através da: temperatura, pH, condutividade elétrica, total de sólidos em suspensão (TSS) e turbidez da água;*

Em decorrência de diversos fatores que impossibilitaram mais de um trabalho campo no rio Itu não foi possível identificar padrões limnológicos, pois não foi possível comparar campos em estações do ano diferente, bem como ver se existem diferenças entre um campo em que houve precipitação e outro não. Sendo assim as afirmações referentes aos dados limnológicos são subjetivas, pois para inferir com certeza tem-se a necessidade de outros levantamentos para afirmar com precisão.

A temperatura encontrada nos cinco pontos amostrais não variou muito, pois a média foi de 17,6 °C, sendo que os pontos 1 e 3 apresentaram as temperaturas acima de 18 °C. O pH com valor mais alto foi encontrado nos pontos 3 e 4, ambos com pH de 5,86. O valor mais baixo encontrado de 5,69. Num contexto geral o pH não apresentou variações expressivas entre cada ponto, todos os pontos apresentaram caráter ácido. A condutividade elétrica encontrada nos cinco pontos amostrais variou expressivamente. Sendo que o menor valor encontrado foi no ponto 3 com apenas 22  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o maior valor foi no ponto 1 setor montante, com 60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Portanto a média encontrada para a condutividade elétrica foi de 35,8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para os cinco pontos analisados. A média do TSS encontrada é de 7,6 mg/L, observou-se que o ponto 3 apresentou valor mais elevado que os demais, sendo de 17,33 mg/L, enquanto que os outros não houve grande variação, nem chegando a 10 mg/L. A turbidez apresentou uma variação expressiva, pois a montante tem-se valores mais baixos e a jusante os mais altos, com exceção do ponto 5 em que voltou a diminuir o valor da turbidez.

*3° - Analisar a influência que o uso e cobertura da terra pode ocasionar nas variáveis limnológicas;*

A análise realizada sobre a influência que o uso e cobertura da terra pode estar ocasionando nas variáveis limnológicas é parcial, pois necessita-se de mais missões de campo para se obter diferentes condições de uso da terra e climatológicas. Desta forma, num contexto geral a respeito dos dados encontrados a presença e ou a ausência de mata ciliar no entorno dos cursos d'água pode estar influenciando na variação de temperatura, pois esta varia conforme esses usos e cobertura da terra. O total de sólidos em suspensão e a turbidez variam conforme o percentual da classe solo exposto. A presença dos areais próximos as margens do rio podem estar influenciando no total de sólidos em suspensão, neste caso na Mb 3, que apresentou o valor mais expressivo. O pH e a condutividade elétrica parecem estar sendo influenciados pelo tipo de solo predominante da região, o Latossolo, que apresenta um caráter ácido, pois o pH reflete o tipo de solo por onde a água percorre. Além disso, a

condutividade elétrica pode estar sendo influenciada também pelo manejo do solo de cada microbacia analisada, pois as Mbs 1, 2 e 3 apresentaram maior valor de floresta e menor de agricultura, nestas duas Mbs o valor de condutividade é maior que nas demais, porém nos pontos 4 e 5 a classe floresta diminuiu e a agricultura aumentou. Portanto, pode estar associado ao manejo do solo a variação de condutividade elétrica encontrada.

Os dados da produção agropecuária referente aos municípios de Santiago e Unistalda confirmam as mudanças que vem ocorrendo no uso e cobertura da terra, pois os dados extraídos dos mapas estão em conformidade com as mudanças ocorridas na produção econômica da região. Essas mudanças acabam por refletir nas variáveis limnológicas, principalmente no total de sólidos em suspensão.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, Aziz Nacib. A Revanche dos Ventos: Destruição de solos areníticos e formação de areais na Campanha Gaúcha. **Revista Ciência & Ambiente**. Santa Maria: Editora da Universidade Federal de Santa Maria, n. 11, p. 33-55, jul./dez. 1995.

ALVARENGA, B. S.; D'ARCO, E.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R. O ensino de conceitos e práticas de espectroradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo. In: Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p.739-747.

ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação Espectro-Temporal de formações vegetais. In: Bernardo F.T. Rudorff; Yosio E. Shimabukuro; Juan C. Ceballos. (Org.). **O Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. 1 ed. São Jose dos Campos: Editora Parêntese, 2007, v., p. 159-171.

APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater**. 21 ed. Springfield: Byrd Prepress, 2005.

BARBOSA, C. C. F., et. al.. Caracterização espectral das massas d'água amazônicas. **Anais...** XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Brasil, 2003, INPE, p. 2419 - 2425.

BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície de Curuai/Rio Amazonas. 2007. 282p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

BELTRAME, A. DA V. Diagnóstico **do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 112 p., 1994.

BORGES, M. H.; PFEIFER, R.M.; DEMATTÊ, J.A.M. **Evolução e mapeamento do uso da terra, através de imagens aerofotogramétricas e orbitais em Santa Bárbara D' Oeste (SP)**. Scientia Agrícola, Piracicaba – SP, 50 (3), 365-371. 1993.

CÂMARA, G; MEDEIROS, J. S. de. **Princípios básicos em geoprocessamento**. In: ASSAD, E. D. & SANO, E. E. Sistemas de informações geográficas- aplicações na agricultura. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 3-11.

CETESB. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas->

superficiais/variaveis.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2013.

CORAZZA, R. **Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da usina hidrelétrica Dona Francisca-RS**. 103p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

DA SILVA, D. F; GALVÍNCIO, J. D; ALMEIDA, H. R. de C. Variabilidade da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. **Qualit@s Revista Eletrônica**. INSS 1677 - 4220. v. 9. n. 3. 2010. Disponível em: <<http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/>> . Acesso em: 10 dez. 2014.

DUNNE, T; BOARD, N.R. **Hydrologic sciences: taking stock and looking ahead**. v. 1998. Washington: National Academies Press, 138p.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Andes: Guide to GIS and Image Processing**. Worcester, MA: Clark University, P. 327. 2006

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Brasil em Relevô**. Download SRTM. Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/rs/sh-21-x-c.htm>> Acesso em: 02 jun. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro. 1999. p. 412.

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

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 160. 2008.

GONÇALVES, F; ROCHA, P. C; FERREIRA, C. C. Uso e ocupação da terra e suas influências em parâmetros limnológicos químicos e físicos da água da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista. **Anais...XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, Brasil, 2011, INPE, p. 1248

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

GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. Geomorfologia e Meio Ambiente. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 394 p., 2004.

HIDROWEB – Sistema de Informações Hidrológicas. Dados Hidrológicos. Séries Históricas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico do Uso da Terra**. Ed. 2, n. 7. Rio de Janeiro, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Shapefile Solos RS**. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/pedologia/unidades\\_federacao/](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/unidades_federacao/)> . Acesso em: 20 set. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Banco de Dados Agregados. SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=291&z=p&o=28>>. Acesso em: 05 jan. 2014

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Tutorial Geoprocessamento**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em 10 set. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000. 130p. 2v. (IPT - Publicação, 1183) 1981.

JENSEN, J, R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KRAMER, G. **Avaliação espaço-temporal das avaliações entre ecossistemas terrestre e aquático: estudo de caso da bacia da UHE Passo Real da região sul do Brasil**. 90p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

KIRK, J. T. O. **Light e photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2ed. Cambridge University Press: New York, 1994.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and image interpretation**. 3ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

LISBOA FILHO, J. **Projeto de banco de dados para sistemas de informações geográficas**.

In: ESCOLA DE INFORMÁTICA RJ/ES, 2, 2002, Vitória. Anais... Vitória: FAESA, p.109-145. 2002.

MEDEIROS, G.A.; ARCHANJO, P.; SIMIONATO, R.; REIS, F.A.G.V. Diagnóstico da qualidade da água na microbacia do Córrego Recanto, em Americana, no Estado de São Paulo. **Geociências**, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2009

MENESES, P. R. **Fundamentos de radiometria óptica spectral**. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. (orgs). Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais. Brasília: UnB; Embrapa Cerrados, p. 15. 2001.

MILLIPORE. **Glass Fiber Filters**. Disponível em: <<http://www.millipore.com>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2013.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2005.

NETTO, F. M. da LUZ; DANELON, J. R. B; RODRIGUES, S. C. Avaliação da qualidade da água e do uso da terra da bacia hidrográfica do córrego Terra Branca – Uberlândia – MG. **Revista Geográfica Acadêmica**. v. 5, n. 2, 2011, p. 66-75.

NORLING, P; WOOD-BLACK, F; MASCIANGIOLI, T. M. **Water and sustainable development: opportunities for the Chemical Sciences – A Workshop Report to the Chemical Sciences Roundtable**. Washington: National Academic Press, 94p. 2004.

NOVO, E. M. L. M.; HANSON, J. D.; CURRAN, P. J. The effect of viewing geometry and wavelength on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. **International Journal Remote Sensing**, v. 10, n. 8, 1989. p.1357-1372.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008.

PRADO, R. B. Mapeamento e caracterização do padrão de uso e cobertura da terra na microbacia do córrego Pito Aceso, Bom Jardim –RJ: utilizando imagens orbitais de alta resolução. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos**, ISSN 1678- 0892. 150 — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p. 37. 2010.

RIBEIRO, C. C. R; VERDUM, R. Arenização, silvicultura e políticas ambientais no sudoeste do Rio Grande do Sul. **GEOgraphia**. Rio de Janeiro. V. 15. N. 29. 2013. p. 77-98. Disponível em: < <http://www.uff.br/geographia/ojs/index.php/geographia/article/view/597>> .Acesso em: 10 jan. 2014.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote Sensing digital image analysis: An Introduction**. 3. ed. Australia: Springer, 1999.

ROCHA, J. S. M. **Manual de Manejo Ambiental de Bacias Hidrográficas**. 2 ed. Santa Maria: UFSM, 1991.

ROCHA, J. S. M. da. **Educação ambiental técnica para os ensinos fundamental, médio e superior**. 2ed. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1999.

SANTOS, F. C dos. **Influência dos constituintes opticamente ativos na reflectância espectral da água do reservatório Passo Real, RS**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SARTORI, M. G. B. A Dinâmica do Clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. São Paulo: **Terra Livre**, v. 1. n. 20. p.27-49. 2003.

SEPLAG. **Atlas socioeconômico Rio Grande do Sul**. Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: < <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/default.asp>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

SLATER, P.N. **Remote sensing: optics and optical systems**. Reading, MA, Addison-Wesley, p. 575. 1980.

SOUTO, João José P. **Deserto, uma ameaça? Estudo dos núcleos de desertificação na fronteira sudoeste do RS**. Porto Alegre: DRNR Diretoria Geral, Secretaria da Agricultura, 1984

SPÍNOLA, G.; TURETTA, A. P. D. Mudança de uso da terra em duas bacias drenagem no município de Nova Friburgo. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos**, ISSN 1678-0892, 159. Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro, Embrapa Solos. p. 27. 2010.

STEINER, D. Time dimension for crop surveys from space. **Photogrammetric Engineering**. Falls Church, v. 36, n. 2, p.187-194. 1970.

STRASSBURGER, L. **Uso da terra nas bacias hidrográficas do Rio do Peixe (SC) e do Rio Pelotas (RS/SC) e sua influencia na limnologia do reservatório da UHE-Itá (RS/SC)**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

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

SUERTEGARAY, D. M. A. **A trajetória da natureza: um estudo geomorfológico sobre as areias de Quaraí, RS**. 1987. 243f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SUERTEGARAY, D.M A.. O Rio Grande do Sul descobre os seus “Desertos”. **Revista Ciência & Ambiente**. Santa Maria: Editora da Universidade Federal de Santa Maria, n. 11, p. 33-55, jul./dez. 1995.

SUERTEGARAY, D.M.A.; GUASSELLI, L.A.; VERDUM, R. (Org.). **Atlas da Arenização Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Secretaria da Coordenação e Planejamento e Secretaria da Ciência e Tecnologia Governo do Estado do RS, 1.ed. Porto Alegre, 84p. 2001.

TEIXEIRA, J. C. Modernização da Agricultura no Brasil: Impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**. Três Lagoas, v. 2 – n. 2. 2005.

TRENTIN, R. **Mapeamento geomorfológico e caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul – Brasil**. 2011. 215 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Da Universidade/UFRGS/São Paulo: EDUSP: ABRH, v. 4. 1993

TUNDISI, J. G. (Ed). **Limnologia e manejo de represas**. Série Monografia em Limnologia. V. 1 (Jomo 2), 1988. p. 311- 355.

TUNDISI, J. C. et al. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: **Águas doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação**. Rebouças, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. São Paulo: Escritura, p. 195-225. 1999.

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

VOLOCHEN, V. Análise comparativa entre uso e ocupação do solo e qualidade da água na bacia hidrográfica do rio palmital – PR. **Anais...XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, Brasil, 2011, INPE, p. 6976

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3a Minas Gerais: UFMG, p. 452. 2005.

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

WACHHOLZ, F. **Influência das bacias hidrográficas e características espaço-temporal de variáveis limnológicas em reservatórios no Rio Grande do Sul**. 2011. 191 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

WELCH, P. S. W. Limnology. 2. ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1952.

WETZEL, R.G. **Limnology**. 2<sup>a</sup> Ed. Philadelphia: Saunders College Publishing House, 1983. 767p.

WETZEL, R. G. Limnology: Lakes and River Ecosystems. 3 ed. San Diego, CA: Academic Press, 2001.

ZULLO JR, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. 75 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1994.

## APÊNDICES

## Anexo A – Exemplo da Programação em LEGAL do Spring (Mapa mudanças no uso do solo)

```
// cruzamento entre Uso 1991 e 2010
{
  //Definindo as variáveis e suas categorias
  Tematico Classificacao1991 ("Classificacao1991");
  Tematico Classificacao2010 ("Classificacao2010");
  Tematico mapasintese ("mapasintese");

  //Recuperando planos
  Classificacao1991=Recupere (Nome = "limite_1991");
  Classificacao2010=Recupere (Nome = "limite_2010");

  //Criando novo plano
  mapasintese=Novo(Nome="mapasintese", ResX=30, ResY=30, Escala=60000);

  //Definindo as relações entre classes
  mapasintese = Atribua (CategoriaFim = "mapasintese")
  {
    "FF": (Classificacao1991.Classe == "floresta" && Classificacao2010.Classe == "floresta"),
    "FC": (Classificacao1991.Classe == "floresta" && Classificacao2010.Classe == "campo"),
    "FS": (Classificacao1991.Classe == "floresta" && Classificacao2010.Classe == "soloexposto"),
    "FA": (Classificacao1991.Classe == "floresta" && Classificacao2010.Classe == "agricultura"),
    "CF": (Classificacao1991.Classe == "campo" && Classificacao2010.Classe == "floresta"),
    "CC": (Classificacao1991.Classe == "campo" && Classificacao2010.Classe == "campo"),
    "CS": (Classificacao1991.Classe == "campo" && Classificacao2010.Classe == "soloexposto"),
    "CA": (Classificacao1991.Classe == "campo" && Classificacao2010.Classe == "agricultura"),
    "SF": (Classificacao1991.Classe == "soloexposto" && Classificacao2010.Classe == "floresta"),
    "SC": (Classificacao1991.Classe == "soloexposto" && Classificacao2010.Classe == "campo"),
    "SS": (Classificacao1991.Classe == "soloexposto" && Classificacao2010.Classe == "soloexposto"),
    "SA": (Classificacao1991.Classe == "soloexposto" && Classificacao2010.Classe == "agricultura"),
    "AF": (Classificacao1991.Classe == "agricultura" && Classificacao2010.Classe == "floresta"),
    "AC": (Classificacao1991.Classe == "agricultura" && Classificacao2010.Classe == "campo"),
    "AS": (Classificacao1991.Classe == "agricultura" && Classificacao2010.Classe == "soloexposto"),
    "AA": (Classificacao1991.Classe == "agricultura" && Classificacao2010.Classe == "agricultura"),
    "FG": (Classificacao1991.Classe == "floresta" && Classificacao2010.Classe == "agua"),
    "CG": (Classificacao1991.Classe == "campo" && Classificacao2010.Classe == "agua"),
    "SG": (Classificacao1991.Classe == "soloexposto" && Classificacao2010.Classe == "agua"),
    "AG": (Classificacao1991.Classe == "agricultura" && Classificacao2010.Classe == "agua"),
    "GG": (Classificacao1991.Classe == "agua" && Classificacao2010.Classe == "agua"),
    "GF": (Classificacao1991.Classe == "agua" && Classificacao2010.Classe == "floresta"),
    "GC": (Classificacao1991.Classe == "agua" && Classificacao2010.Classe == "campo"),
    "GS": (Classificacao1991.Classe == "agua" && Classificacao2010.Classe == "soloexposto"),
    "GA": (Classificacao1991.Classe == "agua" && Classificacao2010.Classe == "agricultura")
  };
}
```

## Anexo B – Exemplo da Programação em LEGAL do Spring (Mapa síntese declividade e uso da terra)

```
// cruzamento uso 2010 e declividade
{
  //Definindo as variáveis e suas categorias
  Tematico Classificacao2010 ("Classificacao2010");
  Tematico mapadeclividade ("mapadeclividade");
  Tematico sintesedeclividade ("sintesedeclividade");

  //Recuperando planos
  Classificacao2010=Recupere (Nome = "Classificacao2010");
  mapadeclividade=Recupere (Nome = "mapadeclividade");

  //Criando novo plano
  sintesedeclividade=Novo(Nome="sintesedeclividade", ResX=30, ResY=30, Escala=60000);

  //Definindo as relações entre classes
  sintesedeclividade = Atribua (CategoriaFim = "sintesedeclividade")
  {
    "floresta0-5": (Classificacao2010.Classe == "floresta" && mapadeclividade.Classe == "0-5"),
    "floresta5-12": (Classificacao2010.Classe == "floresta" && mapadeclividade.Classe == "5-12"),
    "floresta12-30": (Classificacao2010.Classe == "floresta" && mapadeclividade.Classe == "12-30"),
    "floresta30-47": (Classificacao2010.Classe == "floresta" && mapadeclividade.Classe == "30-47"),
    "floresta47-100": (Classificacao2010.Classe == "floresta" && mapadeclividade.Classe == "47-100"),
    "campo0-5": (Classificacao2010.Classe == "campo" && mapadeclividade.Classe == "0-5"),
    "campo5-12": (Classificacao2010.Classe == "campo" && mapadeclividade.Classe == "5-12"),
    "campo12-30": (Classificacao2010.Classe == "campo" && mapadeclividade.Classe == "12-30"),
    "campo30-47": (Classificacao2010.Classe == "campo" && mapadeclividade.Classe == "30-47"),
    "campo47-100": (Classificacao2010.Classe == "campo" && mapadeclividade.Classe == "47-100"),
    "soloexposto0-5": (Classificacao2010.Classe == "soloexposto" && mapadeclividade.Classe == "0-5"),
    "soloexposto5-12": (Classificacao2010.Classe == "soloexposto" && mapadeclividade.Classe == "5-12"),
    "soloexposto12-30": (Classificacao2010.Classe == "soloexposto" && mapadeclividade.Classe == "12-30"),
    "soloexposto30-47": (Classificacao2010.Classe == "soloexposto" && mapadeclividade.Classe == "30-47"),
    "soloexposto47-100": (Classificacao2010.Classe == "soloexposto" && mapadeclividade.Classe == "47-100"),
    "agricultura0-5": (Classificacao2010.Classe == "agricultura" && mapadeclividade.Classe == "0-5"),
    "agricultura5-12": (Classificacao2010.Classe == "agricultura" && mapadeclividade.Classe == "5-12"),
    "agricultura12-30": (Classificacao2010.Classe == "agricultura" && mapadeclividade.Classe == "12-30"),
    "agricultura30-47": (Classificacao2010.Classe == "agricultura" && mapadeclividade.Classe == "30-47"),
    "agricultura47-100": (Classificacao2010.Classe == "agricultura" && mapadeclividade.Classe == "47-100")
  };
}
```