

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

**ANÁLISE DOS AREAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO ARROIO PUITÃ, OESTE DO RS, ATRAVÉS DO  
MAPEAMENTO MULTITEMPORAL NO PERÍODO DE  
1984 A 2014**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Angélica Cargnin de Souza**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2015**



**ANÁLISE DOS AREAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
ARROIO PUITÃ, OESTE DO RS, ATRAVÉS DO  
MAPEAMENTO MULTITEMPORAL NO PERÍODO DE  
1984 A 2014**

**Angélica Cargnin de Souza**

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

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto da Fonseca Pires**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Cargnin de Souza, Angélica

Análise dos areais da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã, Oeste do RS, através do mapeamento multitemporal no período de 184 a 2014 / Angélica Cargnin de Souza.- 2015.

141 p.; 30cm

Orientador: Carlos Alberto da Fonseca Pires

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2015

1. Arenização 2. Arroio Puitã 3. Mapeamento multitemporal 4. Uso e cobertura da terra 5. Sensoriamento Remoto I. da Fonseca Pires, Carlos Alberto II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica de Teses e Dissertações

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Angélica Cargnin de Souza. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Duques de Caxias 1430, Apto 01, Santa Maria, RS, 97015-190

End. Elet.: [angelica.cargnindesouza@gmail.com](mailto:angelica.cargnindesouza@gmail.com)

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

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

**ANÁLISE DOS AREAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO  
PUTÃ, OESTE DO RS, ATRAVÉS DO MAPEAMENTO  
MULTITEMPORAL NO PERÍODO DE 1984 A 2014**

Elaborada por  
**Angélica Cargnin de Souza**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Carlos Alberto da Fonseca Pires, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Romário Trentin, Dr. (UFSM)**

---

**Janete Terezinha Reis, Dr<sup>a</sup>. (UFFS)**

Santa Maria, 31 de Julho de 2015



## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho aos meus pais Valdes e Rosane, com todo meu amor e gratidão, por todo esforço e apoio dedicado por vocês ao longo da vida para que eu pudesse obter minha formação.





## AGRADECIMENTOS

Agradeço à **Universidade Federal de Santa Maria** primeiramente por me permitir o ao ensino superior público e de qualidade num dos melhores centros de ensino do país e, posteriormente, pela oportunidade de aprimoramento acadêmico junto à mesma instituição.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior** (CAPES) pelo apoio financeiro que possibilitou a realização dessa pesquisa.

Aos meus pais, **Rosane e Valdes**, pela vida, ensinamentos e força, pois sem seu apoio jamais teria conseguido. Em especial á minha mãe pela dedicação á educação dos filhos, pelos conselhos e conforto transmitidos em todas as horas, principalmente naquelas seguidas de medo. Aos meus irmãos, **Eberton e Ronaldo**, pela amizade e companhia em todos os momentos.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Carlos Alberto da Fonseca Pires** pela liberdade e confiança que conferistes a mim na realização do presente trabalho.

Ao **Prof. Dr. Romario Trentin** pela disponibilidade e atenção dedicadas a mim sempre que solicitada ajuda.

Com grande carinho ao colega e amigo **Anderson Augusto Volpato Scoti** pela amizade, ajuda sempre que solicitada e pela troca constante de saberes.

A minha querida amiga **Angéli Aline Behling** pelo apoio e amizade sinceros em todos os momentos.

E por último, porém não menos importante agradeço ao meu namorado **Diorgenes Zwicker** pela amizade, apoio paciência e carinho dedicado a mim em todos os momentos, principalmente na reta final.



**“Se pensar é o destino do ser humano,  
continuar sonhando é o seu grande desafio.**

**E isto, é lógico,  
implica em trajetórias com riscos,  
em vitórias, com muitas lutas,  
e não poucos obstáculos pelo caminho.**

**Apesar de tudo,  
seja ousado.**

**Liberte sua criatividade.**

**E nunca desista de seus sonhos...”**

*Augusto Cury*



## RESUMO

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

### **ANÁLISE DOS AREAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO PUITÃ, OESTE DO RS, ATRAVÉS DO MAPEAMENTO MULTITEMPORAL NO PERÍODO DE 1984 A 2014**

AUTORA: ANGÉLICA CARGNIN DE SOUZA  
ORIENTADOR: CARLOS ALBERTO DA FONSECA PIRES  
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 31 de Julho de 2015.

O Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul é caracterizado por apresentar áreas de vulnerabilidade ambiental e de intensa degradação do solo, com extensas porções de terra recobertas por areias submetidas aos condicionantes climáticos, geológicos e geomorfológicos locais. Essas áreas são denominadas de areais e o processo de arenização. Nesse contexto, o objetivo dessa pesquisa foi analisar a evolução dos areais da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã no período 1984 a 2014, através de mapeamento multitemporal de 10 em 10 anos. Assim foi proposto verificar o melhor método classificador para mapeamento dos areais, elaborar um mapeamento do uso e ocupação da terra da bacia da área a partir de imagens de satélite LANDSAT dos últimos 30 anos, e, analisar as principais mudanças no uso e ocupação da terra no entorno das áreas dos areais. Para realizar tal pesquisa se seguiram algumas etapas metodológicas descritas a seguir: primeiramente se deu a coleta de dados; a seguir se deu a etapa de geoprocessamento inicialmente com o teste com cinco algoritmos classificadores supervisionados pixel a pixel (Mínima Distância, Mahalanobis, MAXVER, Parelelepípedo e SAM) avaliando-os a partir do coeficiente Kappa, após se deu a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1984, 1994, 2004 e 2014, e, por fim as análises geográficas com o cruzamento das informações obtidas nos mapeamentos; e a etapa de trabalho de campo a fim de reconhecimento dos alvos da superfície que ocorreu concomitantemente com a etapa de geoprocessamento. Os resultados revelaram como algoritmo classificador mais adequado ao mapeamento da arenização no Sudoeste do RS o classificador MAXVER aplicado no mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia para todas as datas. O mapeamento para todos os anos considerados nos revela a predominância de campos na área de estudo, apresentando redução com o decorrer do período cedendo lugar principalmente à agricultura e à silvicultura. Verificou-se uma expansão de área dos areais nos períodos correspondentes de 1984-1994 e 1994-2004, porém a redução de área num terceiro período, de 2004-2014. Analisando-se todo o período tem-se a expansão dos areais em 1,87 km<sup>2</sup> de área. As expansões e retrações dos areais no período estão diretamente relacionadas com os condicionantes climáticos e de relevo do local, visto que os principais agentes naturais responsáveis pela manutenção desse processo são a água e o vento.

**Palavras-chave:** Arenização. Arroio Puitã. Mapeamento Multitemporal. Uso e Cobertura da Terra. Sensoriamento Remoto.



## **ABSTRACT**

Master's Dissertation  
Post-Graduation Course in Geography  
Universidade Federal de Santa Maria

**ARENIZATION ANALYSIS OF THE RIVER BASIN OF ARROIO PUITA,  
WEST RS, THROUGH THE MAPPING MULTITEMPORAL IN THE PERIOD  
1984 2014**  
AUTHOR: ANGÉLICA CARGNIN DE SOUZA  
ADVISOR PROFESSOR: CARLOS ALBERTO DA FONSECA PIRES  
PLACE AND DATE OF DEFENSE: Santa Maria, July 31, 2015.

The Southwest of Rio Grande do Sul State is characterized by presenting areas of environmental vulnerability and intense degradation, with extensive portions of land covered with sand subjected to local conditions, climatic, geological and geomorphological. These areas are known as sands and the process arenization. In this context, the objective of this research was to analyze the evolution of arenization in the River Basin of Arroio Puitã in the period of 1984-2014, through multi-temporal mapping of 10 in 10 years. Thus it was proposed to verify the best classifier method for mapping the sand, draw up a mapping of land use and occupation of basin area from LANDSAT satellite images of the past 30 years, and analyze the main changes in the land use and occupation in around of the areas of sand. To accomplish such research have been followed some methodological steps described below: first happened data collection; to follow happened the geoprocessing stage initially with the test with five classifiers algorithms supervised pixel by pixel (Minimum Distance, Mahalanobis, MAXVER, Parelelepípedo and SAM) evaluating them from the Kappa coefficient, happened after the making of the use and land cover maps for the years 1984, 1994, 2004 and 2014 and finally were done the geographical analysis with the intersection of the information obtained in the mappings; and the stage corresponding to field work to target recognition of the surface that occurred concurrently with the geoprocessing step. The results revealed as the most appropriate classifier algorithm to map the sandy desertification in Southwest RS, the classifier MAXVER applied to mapping of use and land cover of the river basin for all dates. The mapping for all years considered reveals to us the predominance of fields in the study area, decreasing with the passage of time giving way mainly to agriculture and forestry. There was an expansion of area with arenization at first two periods 1984-1994 and 1994-2004, however the reduction of area in a third period, 2004-2014. Analyzing the whole period it has been the expansion of arenization area 1.87 square kilometers. The expansions and retractions of areas of sand in the period of analysis are directly related to climatic conditions and local relief since the main natural agents responsible for the maintenance of this process are water and wind.

**Keywords:** Arenization. Arroio Puitã. Multitemporal mapping. Use and Land Cover. Remote Sensing.





## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã.....	27
Figura 2 – Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Itu .....	34
Figura 3 – Imagem ilustrativa da ocorrência de areais em colinas associados a diferentes paisagens .....	35
Figura 4 – Espectro Eletromagnético .....	42
Figura 5 – Resoluções dos sensores imageadores TM, OLI e TIRS.....	48
Figura 6 – Características e aplicações das bandas do LANDSAT 5 e 7.....	50
Figura 7 – Estratégia de classificação pelo método da Mínima Distância.....	55
Figura 8 – Estratégia de classificação pelo método do Paralelepípedo .....	56
Figura 9 – Estratégia de classificação pelo método MARVER .....	57
Figura 10 – Princípio do classificador distância de Mahalanobis. ....	58
Figura 11 – Exemplo de SAM bidimensional.....	59
Figura 12 – Mapa de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã .....	62
Figura 13 – Mapa de Unidades de Relevo da Bacia hidrográfica do Arroio Puitã .....	64
Figura 14 – Características das Unidades de Relevo .....	64
Figura 15 – Ocorrências de El Niño e La Niña .....	68
Figura 16 – Fluxograma metodológico .....	74
Figura 17 – Interface do aplicativo ArcMap componente do ArcGIS. ....	79
Figura 18 – Interface do Software ENVI.....	80
Figura 19 – Descrição das classes temáticas sua representação real no terreno e sua representação na imagem composição RGB.....	83
Figura 20 – Representação de alguns materiais utilizados a campo. ....	86
Figura 21 – Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por Mínima Distância.....	89
Figura 22 - Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por Mahalanobis.....	90
Figura 23 – Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por Maxver.....	91
Figura 24 – Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por Paralelepípedo ..	92
Figura 25 – Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por SAM.....	93
Figura 26 – Mapa de uso e cobertura da terra da BHAP em 1984.....	97
Figura 27 – Quadro de áreas e gráfico representativo das classes de uso e cobertura da terra da BHAP em 1984 .....	97

Figura 28 – Mapa de uso e cobertura da terra da BHAP em 1994.....	98
Figura 29 – Quadro de áreas e gráfico representativo das classes de uso e cobertura da terra da BHAP em 1994. ....	98
Figura 30 – Mapa de uso e cobertura da terra da BHAP em 2004.....	99
Figura 31 – Quadro de áreas e gráfico representativo das classes de uso e cobertura da terra da BHAP em 2004. ....	99
Figura 32 – Mapa de uso e cobertura da terra da BHAP em 2014.....	100
Figura 33 – Quadro de áreas e gráfico representativo das classes de uso e cobertura da terra da BHAP em 2014. ....	101
Figura 34 – Gráfico ilustrativo das alterações nos usos e coberturas da terra da BHAP no período de 1984 – 2014.....	102
Figura 35 – Campos: A) Campo limpo; B) Campos sujos; C) Butiá anão .....	102
Figura 36 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de campos na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014 .....	103
Figura 37 – Agricultura: A) plantação de aveia; B) plantação de azevém; C) plantação de trigo.....	103
Figura 38 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de agricultura na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014.....	104
Figura 39 – Solo exposto: A e B) solo sem cobertura vegetal recém-revolvido; C) solo com presença de cultivares em fase inicial.....	105
Figura 40 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de solo exposto na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014.....	105
Figura 41 – Florestas: A) capões de mato de pequeno a médio porte; B) mata galeria; C) vegetação de médio e grande porte .....	106
Figura 42 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de floresta na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014 .....	106
Figura 43 – Silvicultura: A, B e C) plantações de eucaliptos sobre áreas arenosas.....	107

Figura 44 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de silvicultura na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014 .....	108
Figura 45 – Água: A e B) represas e açudes; C) curso d'água .....	108
Figura 46 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de água na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014 .....	109
Figura 47 – A) ação da água; B) ação do vento; C) processos de ravinamento e voçorocamento.....	110
Figura 48 – A) areal em meia encosta de vertente côncava; B) blocos inconsolidados de arenitos sob ação do intemperismo; C) morrote de arenito. ....	111
Figura 49 – A) silvicultura sobre áreas arenosas; B) cerca enterrada pela areia e reconstruída sobre areais; C) presença de bovinos soltos em areais .....	111
Figura 50 – Principais areais e áreas em processo de arenização na BHAP	114
Figura 51 – Quadro de áreas e gráfico representativo dos areais da BHAP em 1984, 1994, 2004 e 2014 .....	115
Figura 52 – Mapa da evolução dos areais da BHAP por anos, 1984, 1994, 2004 e 2014 .....	116
Figura 53 – Mapa da evolução dos areais da BHAP por períodos, 1984-1994, 1994-2004, 2004-2014 e 1984-2014 .....	118



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – QUALIDADE DA CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO INTERVALOS DO COEFICIENTE KAPPA .....	84
TABELA 2 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR MÍNIMA DISTÂNCIA .	89
TABELA 3 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR MAHALANOBIS .....	90
TABELA 4 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR MAXVER .....	91
TABELA 5 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR PARALELEPÍPEDO ..	93
TABELA 6 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR SAM.....	94
TABELA 7 – AVALIAÇÃO DOS ALGORÍTMOS CLASSIFICADORES .....	94
TABELA 8 – ALTERAÇÕES NOS USOS E COBERTURAS DA TERRA DA BHAP DE 1984 À 2014 .....	101
TABELA 9 – EVOLUÇÃO DOS AREAIS NA BHAP POR PERÍODOS.....	117



## LISTA DE REDUÇÕES E SIGLAS

BHAP	Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã
DSG –	Diretoria de Serviços Geográfico
ERTS-1 –	Earth Resources Technological Satellite-1
ETM+ –	Enhanced Thematic Mapper Plus
GPS –	Global Position System
IBGE –	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE –	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT –	Land Remote-Sensing Satellite
MSS –	Multispectral Scanner Subsystem
NASA –	National Aeronautics and Space Administration
OLI –	Operational Terra Imager
RADAR –	Radio detection and ranging
REM –	Radiação Eletromagnética
RS –	Rio Grande do Sul
SIG –	Sistemas de Informação Geográfica
SR –	Sensoriamento Remoto
SW –	Sudoeste
TIRS –	Thermal Infrared Sensor
TM –	Thematic Mapper
USGS –	U. S. Geological Survey





## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL .....</b>	<b>30</b>
1.1 O Processo de Arenização no Oeste do Rio Grande do Sul .....	30
1.2 Mapeamento multitemporal dos areais .....	35
1.3 Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	38
1.4 Sensoriamento Remoto .....	41
1.4.1 Comportamento espectral de solos e rochas .....	43
1.4.2 Sistemas sensores e sistemas orbitais .....	45
1.4.3 Características das Imagens .....	51
1.4.4 Interpretação e análise de imagens .....	52
1.5 Caracterização da Área de Estudo .....	61
1.5.1 Caracterização dos aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã ..	62
1.5.2 Caracterização dos aspectos socioeconômicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã .....	71
<b>2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>74</b>
2.1 Coleta de dados.....	74
2.1.1 Dados Bibliográficos.....	75
2.1.2 Dados Cartográficos.....	75
2.2 Geoprocessamento .....	78
2.2.1 Softwares utilizados .....	78
2.2.2 Mapeamento Multitemporal.....	80
2.2.3 Análises geográficas .....	85
2.3 Trabalho de campo .....	85
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>88</b>
3.1 Teste de Classificadores .....	88
3.2 Mapeamento multitemporal do uso e cobertura da terra.....	95
3.3 Evolução dos areais da BHAP de 1984 a 2014 .....	110
<b>4 CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>121</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>134</b>



## INTRODUÇÃO

A erosão e a degradação do solo com a redução ou a perda da produtividade biológica ou econômica de terras principalmente agricultáveis compõem um dos mais significativos problemas ambientais na atualidade, sendo que, os principais agentes erosivos hoje a nível mundial são a água e o vento. Porém a ação desses agentes tem seu efeito intensificado quando combinadas com processos decorrentes de atividades humanas, acelerando a deterioração das propriedades biológicas, físicas, químicas ou econômicas do solo.

O Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul é caracterizado por apresentar áreas vulnerabilidade ambiental e de intensa degradação do solo. Essas áreas foram classificadas como áreas de atenção especial tomando como base o mapa elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente e Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (1992), que localiza as áreas com risco de desertificação.

O processo de desertificação é caracterizado pela degradação da terra em áreas áridas, semiáridas e secas, onde há dificuldade de fixação da cobertura vegetal, resultante de inúmeros fatores que incluem as atividades antrópicas. Nas áreas de degradação do solo no Sudoeste do RS a dinâmica dos processos aí envolvidos é derivada de um clima úmido onde há abundância de água. Esse processo de degradação é conceituado por Suertegaray (1987) como arenização.

Suertegaray (1996) diz que a arenização possui origem de cunho natural, mas esse processo vem sendo intensificado principalmente em virtude da expansão da lavoura de soja a partir das décadas de 1960 e 1970, com a mecanização da agricultura e uso excessivo do solo, e também do superpastoreio. A expansão das áreas de areais no Sudoeste do RS constitui uma série de problemas ambientais como a diminuição de terras agricultáveis, o aumento de erosão e a redução da fertilidade do solo.

A partir desse entendimento remete-se a importância em escolher como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã (Figura 1), localizada na região Oeste do RS e que está marcada pela presença de inúmeros areais que recobrem extensas porções da superfície no interior da mesma, constituindo assim numa das principais áreas da região em ocorrência de areais.

Essa bacia está localizada entre as coordenadas geográficas de 28°58'19" e 29°11'40" de latitude Sul e 29°11'40" e 55°34'18" de longitude Oeste, a qual engloba partes dos municípios de Itaqui, Maçambará e São Borja. A área de estudo possui 392,53km<sup>2</sup> e um perímetro de a 95,80 km. Tem como canal principal o Arroio Puitã, afluente da margem direita do Rio Itu, este, por sua vez, é afluente do Rio Ibicuí que deságua no Rio Uruguai pertencendo assim à Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai.

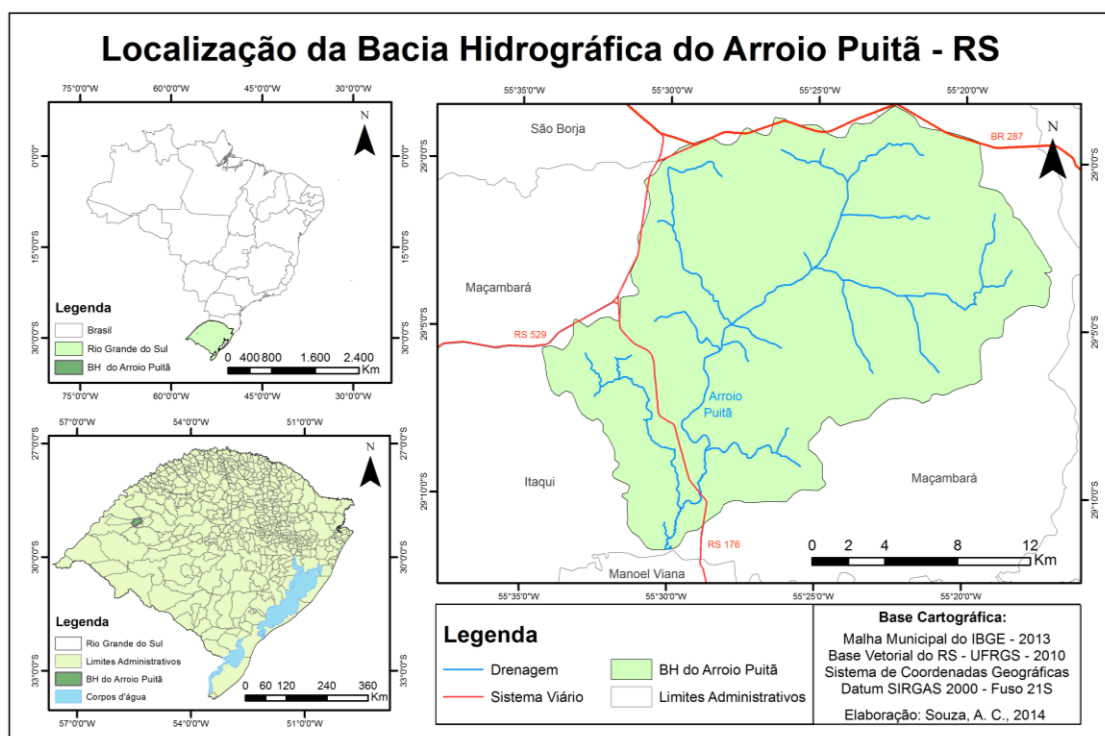


Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã

O processo de degradação do solo na bacia do Arroio Puitã ocorre de maneira semelhante ao da região Sudoeste do RS onde a dinâmica dos processos de formação dos areais difere da dinâmica de formação de desertos.

Apesar da gênese do processo de desertificação e de arenização serem um tanto distintas, o resultado desses dois processos são áreas onde há pouca cobertura vegetal nos solos e baixos teores de matéria orgânica e umidade nos mesmos. Segundo Carvalho e Almeida-Filho (2007) essas características podem favorecer a utilização de sensoriamento remoto, nesse tipo de estudo, pois as alterações e mudanças no uso do solo e na cobertura vegetal podem ser facilmente detalhadas.

O sensoriamento remoto, conforme Lillesand e Kiefer (1994), pode ser entendido como a ciência e também a arte que permite se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise dos dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com esse objeto, área ou fenômeno sob investigação, ou seja, obtido de maneira remota. Aragão e Almeida (2009) consideram que as técnicas como o mapeamento a partir de imagens de satélite, auxiliam na detecção de mudanças ocorridas no meio ambiente, na realização de trabalhos bem como na redução nos custos.

Assim, as geotecnologias revelam cada vez mais serem instrumentos eficazes na geração de informações integradas, de maneira que auxiliam na compreensão dos processos socioambientais, assim como podem orientar as melhores estratégias de planejamento e gestão de recursos naturais.

Nesse contexto o desenvolvimento da presente pesquisa possui como objetivo principal analisar a evolução (expansão, estagnação ou redução) dos areais da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã num período de 30 anos (1984 a 2014). Os objetivos específicos propostos foram: verificar o melhor método classificador para mapeamento dos areais; analisar a evolução do uso e ocupação da terra da bacia do Arroio Puitã a partir de imagens de satélite dos últimos 30 anos; e, analisar as principais mudanças no uso e ocupação do solo no entorno das áreas dos areais.

O desenvolvimento da pesquisa resultou na melhor compreensão do comportamento dos areais nos últimos 30 anos e assim permite auxiliar num planejamento por meio da não expansão dos areais e também de uma possível redução dessas áreas degradadas. Com esse entendimento o planejamento pode-se estender ao entorno dos areais de modo que os usos da terra nesses locais não agravem os processos da dinâmica superficial o que resultaria numa expansão de áreas.

A degradação desses ambientes representa um problema tendo em vista que a fertilidade do solo é reduzida e a erosão aumenta. Nesse contexto faz-se necessário o conhecimento da localização, gênese, evolução e comportamento desse processo em cada local específico, bem como o conhecimento dos principais agentes da dinâmica superficial envolvidos no processo nesses locais.

A presente dissertação está estruturada em cinco capítulos sendo eles: Introdução, Referencial Teórico e Conceitual, Procedimentos Metodológicos, Resultados, Conclusões e Recomendações.

Na introdução está exposto o tema da pesquisa, os objetivos e a justificativa.

No referencial teórico e conceitual é apresentada uma revisão sobre a temática da arenização e de seu mapeamento, também se faz uma apresentação das geotecnologias e, por fim, a caracterização da área de estudo.

Nos procedimentos metodológicos estão descritas as etapas que foram seguidas no decorrer da pesquisa, sendo basicamente as descritas a seguir: coleta de dados, aplicação de geoprocessamento e de trabalho de campo.

No penúltimo capítulo são apresentados os resultados e discussões referentes ao teste de classificadores, o mapeamento multitemporal da bacia do Arroio Puitã 1984 a 2014, e o mapeamento e análise da evolução dos areais de 1984 a 2014 da área de estudo.

E no último capítulo estão descritas as considerações em relação ao estudo desenvolvido e as recomendações para possíveis pesquisas futuras.

# 1 REFERENCIAL TEÓRICO E CONCEITUAL

O referencial teórico e conceitual vem apresentar principalmente conceitos sobre a temática abordada neste caso, apresenta em sequência uma discussão sobre a temática da arenização, uma discussão sobre o mapeamento multitemporal de areais, temas e conceitos referentes ao geoprocessamento e aos sistemas de informação geográfica, bem como sobre sensoriamento remoto, por fim, a caracterização da área de estudo.

## 1.1 O Processo de Arenização no Oeste do Rio Grande do Sul

Conforme Suertegaray (1996, 2011) a primeira discussão a respeito do processo de desertificação, dos problemas por ele causados e a iniciativa a seu combate em nível mundial parte de dois momentos. O primeiro na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, e o segundo, em Nairobi (Quênia) no ano de 1977, com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, organizada pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente.

Segundo as Nações Unidas desertificação pode ser entendida como a degradação da terra nas zonas áridas, subúmidas, semiáridas e secas, resultante de vários fatores, incluindo variações climáticas e atividades humanas. Na conferência de Nairobi “definiu-se desertificação como: a diminuição ou a destruição do potencial biológico da Terra que poderá desembocar, em definitivo, em condições do tipo desértico” (SUERTEGARAY et al., 2001, p. 4).

A partir desses dois eventos de nível internacional o processo de desertificação segundo Hulme e Kelly (1993, apud SUERTEGARAY, 1996) passa a ser reconhecido como um problema ambiental com significativos prejuízos de natureza humana, social ou econômica, que dever ser combatido. É adotado então um plano de ação e controle à desertificação a nível mundial, e elaborado um mapa mundial com a localização dos desertos e das áreas de risco à desertificação, classificando os riscos como muito alto, alto e moderado.

No Brasil, a partir da década de 70, duas regiões ganham destaque quanto à ameaça de desertificação. A região do semiárido nordestino, classificada como de alto risco à desertificação, e a campanha gaúcha, vista como área sujeita a processos de desertificação.

A razão pela qual a campanha gaúcha, sudoeste do Rio Grande do Sul, passou a ser vista como passível de desertificação, segundo Suertegaray (1992,1996), se deve aos primeiros trabalhos feitos na época nessa região e, principalmente, à mídia que divulga no fim dessa década uma série de reportagens sobre a degradação do solo na região, definindo essas áreas com presença de areia exposta como desertos.

Souto (1985) definiu o fenômeno como deserto e o processo como desertificação, associando esse processo a causas antrópicas. Porém os autores Ribeiro e Verdum (2013, p. 79) a respeito da definição dada por Souto (1985) consideraram que esta “se caracteriza pelo alarmismo em relação à suposta “desertificação”, pela ênfase à deflação eólica e sua mitigação, mediante o plantio de eucalipto e, ainda, pela responsabilização da ação humana na formação dos “desertos””.

Suertegaray (1987) considerou inadequada a conceituação que se dá ao processo que ocorre na região devido principalmente ao fato desta não se constituir de uma zona árida ou semiárida, pelo contrário, estando associada a um clima úmido, e também devido à falta de comprovação de que, como indicado pelo conceito de desertificação, a expansão desse processo estaria mudando o clima regional.

Assim a Suertegaray (1987, 1992, 1996, 1998) define o processo como arenização, onde os areais:

São, sobretudo, depósitos areníticos inconsolidados desprovidos de vegetação e retrabalhados sob os processos característicos do clima atual. Não tem características de áreas em processo de desertificação. Pelo contrário, são areais que estão sendo ativados sob o clima úmido, a despeito dos processos áridos que dominaram a região em épocas passadas (SUERTEGARAY, 1998, p.32).

Os areais existentes no Rio Grande do Sul possuem sua gênese associada a um clima úmido (em torno de 1.700 mm/ano) com boa distribuição de chuvas durante o ano todo, sem, portanto uma estação seca definida.



O Sudoeste do Rio Grande do Sul apresenta extensas áreas arenosas desprovidas de vegetação e com ocorrência ligada ao substrato arenítico, fluvial da Formação Guará, áreas denominadas de areais. Assim, segundo Suertegaray (1998), o sudoeste do RS apresenta grande fragilidade e vulnerabilidade na sua paisagem que se caracteriza pela presença de áreas em processo intenso de degradação do solo, processo definido pela autora, em 1987, em sua tese de doutorado, como arenização.

Suertegaray (1996) diz que a arenização possui origem de cunho natural, mas o processo vem sendo acelerado pelo uso da terra através do superpastoreio e da expansão da lavoura da soja e da mecanização da agricultura. Atualmente os areais se estendem por vários municípios como Alegrete, Cacequi, Itaqui, Maçambará, Manuel Viana, Quaraí, Rosário do Sul, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda. Os campos de areia atingem 3.670 ha do RS e há ainda 1.600 ha com focos de arenização segundo dados do Atlas da Arenização organizado por Suertegaray, Guasselli e Verdum (2001).

A gênese dos areais no sudoeste do Rio Grande do Sul é muito discutida, Marchiori (1992) destaca que:

a presença e a expansão dos areais no sudoeste rio-grandense é anterior aos primórdios da colonização e reside na fragilidade natural do ecossistema. Indicações neste sentido podem ser encontradas nos relatos de famosos naturalistas que percorreram o Rio Grande do Sul no século passado. (MARCHIORI, 1992, p.65)

De maneira mais geral Suertegaray (1995, 1996) vincula a gênese dos areais a três processos naturais: a deflação, o escoamento superficial e o escoamento concentrado sob a forma de ravinas e voçorocas. Assim Suertegaray e Verdum (2008) consideram que a formação dos areais no sudoeste do RS resulta:

(...) do retrabalhamento de depósitos areníticos (pouco consolidados) ou arenosos (não consolidados) que promove nessas áreas dificuldade de fixar a vegetação, devido à constante mobilidade dos sedimentos. O retrabalhamento desses depósitos, no caso de formações superficiais, provavelmente quaternárias, resultou de uma dinâmica morfogenética onde os processos hídricos superficiais, particularmente o escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca, associados a chuvas torrenciais, expõe, transporta e deposita areia, dando origem à formação de areais que, em contato com o vento, tendem a uma constante remoção. (SUERTEGARAY e VERDUM, 2008, p. 11)

A fragilidade ambiental é decorrente de um paleoambiente semiárido ou semiúmido estepário que, recentemente, sofreu umidificação. A partir da umidificação se deu o surgimento de áreas mais úmidas. A partir dessa umidificação, houve conseqüentemente uma maior intensidade da ação das águas gerando um fluxo de escoamento concentrado o que provocou ravinas e voçorocas que por vezes atingiram o lençol freático remobilizando as areias que afloraram à superfície.

Conforme Suertegaray (2011, p. 66), referente às três fases que definem a gênese dos areais: “a primeira corresponde à formação de degraus de abatimento, a segunda à de ravinas e voçorocas e a terceira à formação do areal propriamente dito”. A formação de ravinas e voçorocas ocorre principalmente em interflúvios e meia encostas, onde a pouca cobertura vegetal acaba acelerando o escoamento superficial que dá origem a esses processos de degradação do solo.

Os estudos envolvendo o sudoeste do RS a partir da temática dos areais trouxeram contribuições significativas à presente pesquisa através de vários trabalhos produzidos pelo Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM) da UFSM. Entre os trabalhos estão os caracterizados principalmente por mapeamentos temáticos ligados a geomorfologia e solos com recortes espaciais políticos ou naturais. Destaca-se aqui os trabalhos a seguir: Trentin (2007); Robaina et al (2010); Trentin e Robaina (2012); e, Trentin, Santos e Robaina (2012).

Trentin (2007) em seu trabalho sobre a definição de unidades geoambientais da Bacia do Rio Itu traz um mapeamento dos areais ou campos de areias existentes na mesma, sendo a maioria localizada na Bacia do Arroio Puitã. Conforme o autor os campos de areia “desenvolvem-se a partir de cabeceira de drenagens desmatadas e, principalmente, em vertentes convexas junto à base das colinas, em geral, associados, na meia encosta, a arenitos pouco coesos” Trentin (p. 117, 2007).

Robaina et al (2010) propõe uma classificação geomorfológica da Bacia do Ibicuí. Aqui a região com ocorrência dos campos de areia ou areais situa-se na porção oeste da Depressão Periférica do RS, com mais especificidade dentro da Depressão do Ibicuí junto ao compartimento denominado Modelado de Patamares Residuais em Arenito.

Nessa região há ocorrência de “processos geomorfológicos controlados pela drenagem do Rio Ibicuí e seus afluentes, atuando sobre substrato de rochas sedimentares de diferentes tipos, onde há a predominância de arenitos” (ROBAINA et al, p. 15, 2010).

Essa área de ocorrência dos areais é constituída por formas de relevo do tipo colinas associadas à morrotes isolados de arenitos, estes últimos ocorrem devido a maior resistência aos processos erosivos pela ocorrência de arenitos com camadas cimentadas por óxido de ferro e por sílica. Nessa área há a presença de arenitos pouco coesos e solos arenosos que facilitam a ação hídrica e eólica facilitando a formação de feições como areais, ravinas e voçorocas (ROBAINA et al, 2010).

Em estudo sobre a compartimentação geomorfológica da Bacia do Rio Itu, Trentin, Santos e Robaina (2012) classificam os compartimentos geomorfológicos em uma escala maior, mais detalhada (Figura 2). A maior parte da área da bacia do Arroio Puitã corresponde à mesma classificação proposta por Robaina et al (2010), como já descrito acima.

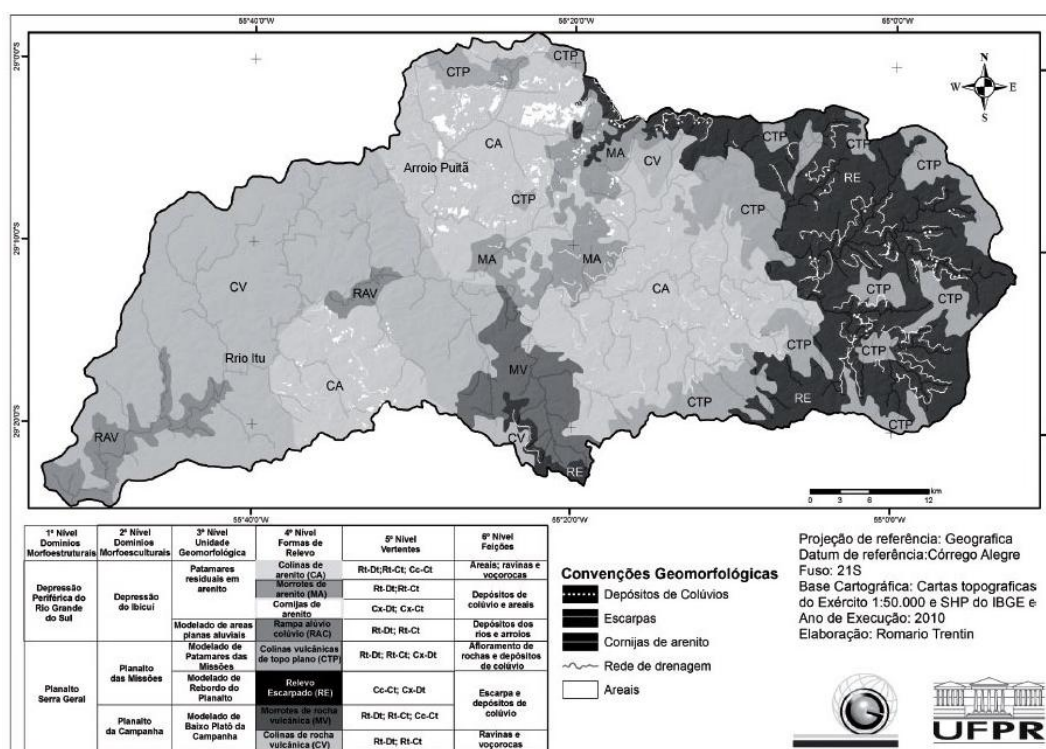


Figura 2 – Mapa geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Itu  
Fonte: Trentin et al (2012), adaptado pela autora.

Destaca-se a presença de áreas no Planalto da Serra Geral, mais especificamente Planalto das Missões junto ao compartimento denominado Modelado de Patamares das Missões. Neste há presença de colinas vulcânicas de topo plano, marcada por afloramentos de rochas e depósitos de colúvio.

Robaina e Trentin (p. 548, 2012) em trabalho mais específico sobre os areais da Bacia do Ibicuí, consideram que os campos de areia ou areais com relação à ocorrência na topografia na área de estudo se dão em duas condições típicas: “nas baixas vertentes próximas aos cursos d’água, formando depósitos tipo vertente-terraços muito arenoso; e em colinas adjacentes a encostas de morrotes e a degraus com afloramento de rocha na meia encosta”.

Na figura a seguir (Figura 3) há uma representação ilustrativa da ocorrência de areais em colinas na área de estudo, que estão associados a uma paisagem de campos, butiá-anão como vegetação característica, plantações de eucalipto representando a silvicultura, modelado de patamares residuais em arenitos, associação de morrotes de topo plano e colinas e processos erosivos.

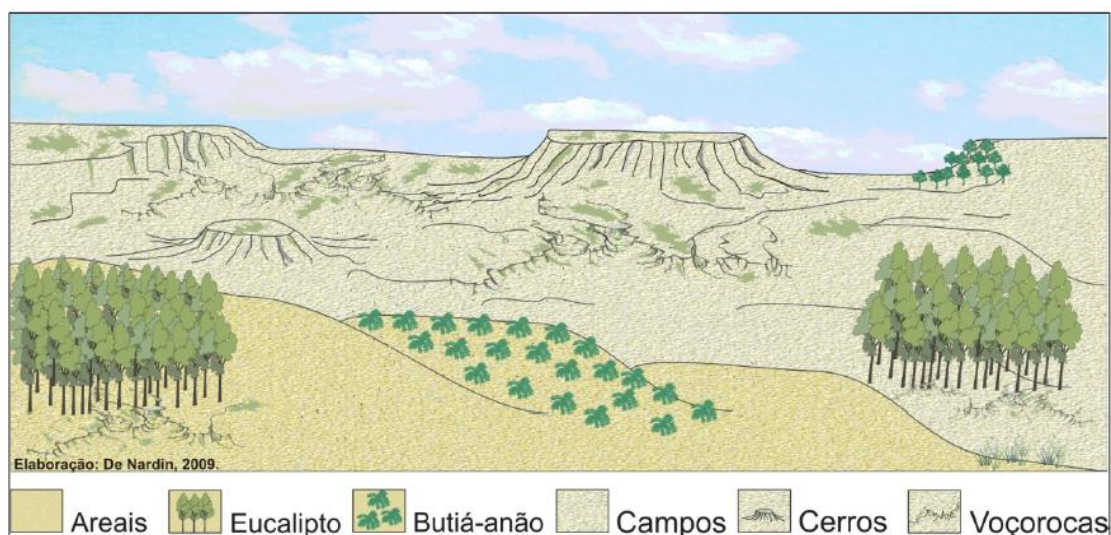


Figura 3 – Imagem ilustrativa da ocorrência de areais em colinas associadas a diferentes paisagens

Fonte: De Nardin (2009)

## 1.2 Mapeamento multitemporal dos areais

O levantamento e análise do uso e cobertura da terra de determinada área é um instrumento imprescindível para estudos ambientais, uma vez que possibilita o seu melhor gerenciamento e planejamento, de modo que possibilita se conhecer a utilização dada por parte do homem à terra ou a situação da vegetação que reveste

o solo, além de permitir o desenvolvimento de técnicas e projetos que visem um melhor planejamento e gestão do ambiente em questão.

Segundo o IBGE:

Ao retratar as formas e a dinâmica de ocupação da terra, esses estudos também representam instrumento valioso para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental, diante dos diferentes manejos empregados na produção, contribuindo assim para a identificação de alternativas promotoras da sustentabilidade do desenvolvimento (IBGE, 2006, p.20).

Turner e Meyer (1994 apud BRIASSOULIS, 1999) dizem que a cobertura da terra se refere a seu estado biofísico como, por exemplo, áreas agrícolas, áreas construídas, montanhas, água ou florestas. Segundo os mesmos autores, o uso da terra se refere então ao propósito de utilização e a finalidade de utilização dos seres em relação à determinada cobertura da terra, podendo ser conservação, agropastoril, residencial, dentre outros.

O IBGE (2006) considera a respeito de uso da terra as áreas que estão sendo utilizadas de alguma maneira para o desenvolvimento de atividades econômicas, já cobertura da terra está relacionada com áreas em que predominam características naturais ou construídas. Lima et al. (1989) define o uso da terra de forma simplificada como sendo a forma como a terra está sendo utilizado pelo homem.

Turner e Meyer (1994 apud BRIASSOULIS, 1999), consideram ainda que uma única classe de cobertura pode suportar múltiplos usos, do mesmo modo que um único sistema de uso pode incluir diversas coberturas. Dizem ainda que mudanças no uso do solo geralmente implicam mudanças na cobertura do solo, mas modificações na cobertura do solo nem sempre resultam em alterações no seu uso.

Nesse contexto o mapeamento e levantamento do uso e cobertura da terra de uma determinada área, segundo Cavalheiro e Rassier (1998), vêm demonstrar a distribuição espacial das atividades nela realizadas.

Para Silva et al. (2013, p. 2) “o mapeamento do uso do solo mediante técnicas de análises espaciais são o meio mais rápido e fácil para análise dos fenômenos naturais nas mais variadas escalas”. Fontes básicas para o mapeamento da cobertura da terra são os dados de imagens orbitais, podendo ser utilizados dados de diversos sensores dependendo de fatores como o objetivo, a escala e o custo do mapeamento.

Nesse contexto Lissner e Guasselli (2013) dizem que:

Estudos que integram ferramentas de sensoriamento remoto e de análise de séries temporais de imagens de satélite mostram-se extremamente úteis para a compreensão da evolução ambiental devido a disponibilidade de dados e de imagens facilitando o monitoramento espacial e temporal (...). (LISSNER e GUASSELLI, 2013, p. 428).

Segundo Keller (1969, p. 151), “somente o registro dos fatos em mapas poderá mostrar as áreas e a distribuição real das diferentes formas de uso do espaço rural”. Porém, para que se possa entender as mudanças nas relações entre uso e cobertura da terra, é necessário que seja feita a classificação da cobertura da terra, a caracterização de sua função e o entendimento dos agentes envolvidos.

Em relação ao mapeamento e areais no Sudoeste do Rio Grande do Sul “o uso de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento trouxe uma série de novas abordagens para o entendimento e a espacialização da dinâmica relativa aos processos de arenização no sudoeste do RS” (GUASSELLI, 2012, p. 97).

No que diz respeito ao mapeamento desses areais foram desenvolvidos vários estudos específicos tomando por base como referência tanto duas unidades espaciais: o município, como unidade administrativa, e a bacia hidrográfica, como unidade ambiental.

Assim destacam-se os estudos realizados por: Suertegaray, Guasselli e Martins (1993), com o mapeamento dos areais do SW do RS através de imagens Landsat TM5, utilizando imagens analógicas; Suertegaray, Guasselli e Weber (1994) fazendo um estudo sobre o uso da terra e a expansão/retração das áreas de arenização no SW do RS pela primeira vez com o mapeamento utilizando imagens digitais do Landsat TM5; Andrades Filho, Suertegaray e Guasselli (2005) fazendo uma atualização do mapeamento dos areais também com imagens do Landsat; e, Andrades Filho, Suertegaray e Guasselli (2006) com o mapeamento e a quantificação dos areais nas bacias hidrográficas do SW do RS investigação sobre a relação entre areais, drenagem e orientação do relevo, onde se tem o estudo com bacias incluindo da bacia do Riu Itu à qual a presente área de estudo, a bacia do Arroio Puitã, se faz pertencente.

A partir dos mapeamentos com imagens do Landsat TM 5 Guasselli (2012) apresenta algumas bandas de melhor eficácia no reconhecimento dos padrões espectrais característico dos areais, sendo a banda 3, comprimento de onda do

infravermelho, região do visível do espectro eletromagnético, a banda 4, região do infravermelho próximo, e, banda 5, região do infravermelho médio.

Nessas bandas podem ser mais bem analisadas características espectrais dos solos como umidade, quantidade de matéria orgânica, mineralogia, granulação, dentre outras.

O mesmo autor faz uma ressalva também à algumas dificuldades no mapeamento dos areais utilizando imagens de satélite a que se deve atentar, tais como a escala de mapeamento e principalmente confusões espectral com outros alvos.

Uma dessas confusões está com a gênese dos areais, de mesma material que os depósitos arenosos ao longo das margens dos rios apresentando assim a mesma resposta espectral.

Outra confusão comum a que se deve atentar são áreas de solo exposto destinadas a cultivos agrícolas, como de soja e milho, onde os solos arenosos apresentam valores espectrais por vezes semelhantes aos característicos dos areais.

### **1.3 Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**

Os mapas desde a antiguidade até os dias atuais são utilizados pelo homem para a representação e conhecimento da superfície terrestre. Estes anteriormente existiam apenas em meio impresso o que impossibilitava o cruzamento de dados e a geração de análises. Com o advento de tecnologias e dos meios computacionais surgem novas tecnologias também em âmbito cartográfico como o Geoprocessamento e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Essas geotecnologias, segundo Fitz (2008b), são “novas tecnologias ligadas às geociências e correlatas, as quais trazem avanços significativos no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em processos de gestão, manejo e em tantos outros aspectos.”

Numa visão geral as geotecnologias são:

O conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. As geotecnologias são compostas

por soluções em hardware, software e peopleware que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. Dentre as geotecnologias podemos destacar: sistemas de informação geográfica, cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia (ROSA, 2005 p. 81).

Dentre essas geotecnologias o termo Geoprocessamento surge como uma ciência, como uma disciplina do conhecimento que, por meio de técnicas matemáticas e meios computacionais vem se difundindo, sendo largamente utilizada e influenciando de maneira crescente áreas como a Cartografia, Recursos Naturais, dentre outros, e através das ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas SIG, possibilitam a criação de banco de dados georreferenciados, a integração de dados de fontes diversas e a realização de análises complexas (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001).

Assim os SIGs constituem, segundo os mesmos autores, uma poderosa ferramenta de apoio á diversos campos da ciência, mas de modo particular à geografia possibilitando realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados.

Os SIGs utilizam de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica a fim de gerar a geoinformação, que é a união da informação a um atributo geográfico.

Um SIG segundo Burrough e McDonnell (1998, p. 11) “é um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real para um conjunto de propósitos específicos”. Para compor um SIG é necessário bases de dados, softwares, hardwares e profissionais/usuários envolvidos. Uma definição de SIG e de seus componentes é descrita a seguir segundo Fitz (2008b) como:

Um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas específico (FITZ, 2008b, p.23).

O termo SIG segundo Câmara, Davis e Monteiro (2001, pg. 2) é utilizado para “sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica”.



Fitz (2008b) diz que as funções atribuídas a um SIG se vinculam com a estrutura do seu sistema e à demanda das necessidades do usuário. Essas funções podem ser entendidas como os próprios módulos do sistema a que estão relacionados, onde podem ser destacadas: a aquisição e edição de dados, o gerenciamento do banco de dados, a análise geográfica dos dados e a representação dos mesmos.

Conforme Assad e Sano (1998) se identificam os seguintes componentes num SIG: interface com o usuário; entrada e integração de dados; consulta e análise espacial e processamento de imagens; visualização e plotagem; e, armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

A aquisição de dados em SIG se dá de forma direta, em meio digital, de dados alfanuméricos ou espaciais, estes últimos pré-processados ou não, por meio de planilhas de dados, pelo uso de sistemas de posicionamento por satélite (GPS) e por processos de digitalização ou vetorização.

Num SIG a informação geográfica é organizada em camadas ou planos de informação (*layers*), consistindo cada uma num conjunto selecionado de objetos que estão associados a seus respectivos atributos permitindo o cruzamento dessas informações, ou melhor, a análise geográfica dos dados. Por esta pode-se entender como a capacidade que o sistema tem de realizar simultaneamente análises de dados espaciais e seus atributos alfanuméricos.

É nessa etapa que os softwares de SIG se diferenciam dos demais softwares de desenho gráfico, pois é capaz de estabelecer relações espaciais entre todos os elementos dos dados (FITZ, 2008b).

Os SIG's constituem dessa forma uma importante e consistente ferramenta na análise e consulta de dados geográficos, pois permite a manipulação integrada de dados gráficos e não gráficos de maneira integrada possibilitando aos usuários não só uma melhor visualização e quantificação de determinado fenômeno, mas também a possibilidade de correlacioná-lo com outros dados (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001).

Para Rosa (1995) SIG's juntamente com o sensoriamento remoto, aliados à tecnologia computacional, demonstram que podem auxiliar na coleta, armazenamento e análise do volume e complexidade dos dados necessários para

estudos ambientais. Uma enorme gama de informações podem dessa forma serem mais facilmente analisadas, dentre elas o uso do solo.

#### **1.4 Sensoriamento Remoto**

As geociências de um modo geral vêm utilizando amplamente e de modo crescente de imagens oriundas do sensoriamento remoto objetivando mapeamentos e monitoramentos da superfície terrestre. O sensoriamento remoto hoje em dia com o aparecimento de novos sensores e de modernas técnicas é “ferramenta de fundamental importância no planejamento como um todo, em se tratando de estudos englobados pelas ciências da Terra” (ANDRIOTTI, 2003, p. 82).

Conforme Aragão e Almeida (2009), o sensoriamento remoto permite através de técnicas como o mapeamento a partir de imagens de satélite a detecção de mudanças ocorridas no meio ambiente, a aceleração na realização de trabalhos bem como uma redução nos custos. Segundo Novo (2008), o sensoriamento remoto pode ser entendido como:

A utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2008, p. 4).

Para Fitz (2008, p.109) o sensoriamento remoto é uma “técnica que utiliza sensores para captação e registro à distância, sem o contato direto, da energia refletida ou absorvida pela superfície terrestre”.

Para que a aquisição da superfície terrestre de forma remota seja possível é necessário que haja algum tipo de interação entre o sensor e os objetos que é dada através de um fluxo energético. Esse fluxo de energia constitui uma forma de radiação eletromagnética pode ser emitido tanto pelo próprio objeto como pelo sensor, e essa relação varia ao longo de espectro eletromagnético.

O espectro eletromagnético (Figura 4) pode ser entendido como o “conjunto das ondas eletromagnéticas que compõem o campo de radiação de um determinado objeto” (Novo, 2008, p.16).

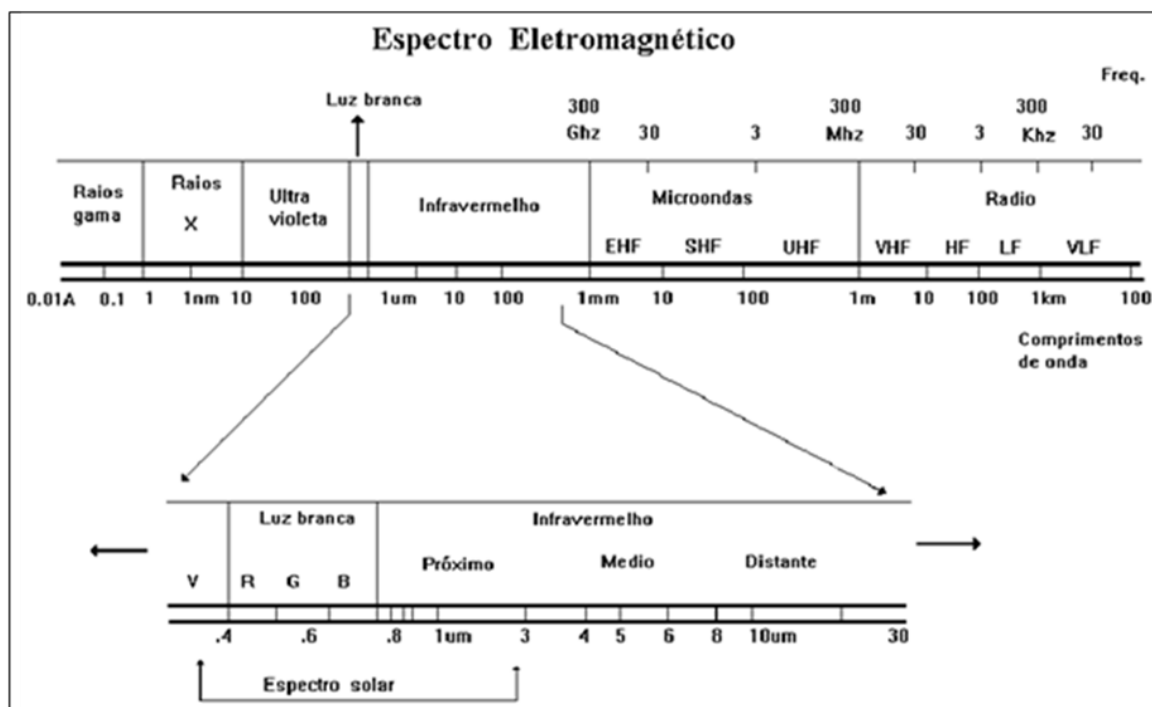


Figura 4 – Espectro Eletromagnético

Fonte: INPE, 2005.

Florenzano (2002, p.11) diz que “o espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência”. O espectro eletromagnético abrange desde os comprimentos de ondas curtos, como os raios gama, de alta frequência, até longos comprimentos de onda, como as ondas de rádio, de baixa frequência.

Conforme o mesmo autor, na região do espectro correspondente ao visível é que o olho humano é capaz de enxergar a energia eletromagnética, distinguindo cores do violeta ao vermelho. A radiação do infravermelho é subdividida em três regiões: infravermelho próximo, médio e termal.

Os objetos da superfície terrestre refletem e absorvem seletivamente energia eletromagnética, conforme a sua composição molecular, o que denomina-se resposta espectral dos objetos ou assinatura espectral permite identificá-los numa

imagem de sensoriamento remoto. Para o SR da superfície terrestre as principais regiões espectrais utilizadas são a Visível, Infravermelha e Microondas.

#### 1.4.1 Comportamento espectral de solos e rochas

As interações ocorrem entre a radiação eletromagnética (REM) e o alvo e são determinadas pelo comprimento de onda detectado e pelas propriedades físicas do alvo. Segundo Jensen (2009) as formas de interação no momento em que o fluxo de energia radiante incide sobre o alvo podem ser três: absorvância, reflectância e transmitância.

A absorvância corresponde a razão entre o fluxo de energia absorvido e a energia incidente sobre uma superfície, e a transmitância, é dada pela razão entre o fluxo de energia transmitido pelo fluxo incidente sobre uma superfície. Já a reflectância se refere a razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente sobre a superfície. A reflectância de um objeto para cada tipo de radiação que compõe o espectro eletromagnético pode ser diferente.

Novo (2008, p.219) diz que em teoria, “se a reflectância de um objeto pudesse ser medida em faixas espectrais adjacentes e estreitas ao longo da região reflexiva do espectro, poder-se-ia construir um gráfico representativo da sua “assinatura espectral”. A mesma autora diz que, na prática, no caso de uma folha verde, por exemplo, “o que se mede efetivamente é o comportamento espectral da folha, ou seja, a reação da radiação a diferentes modos de ocorrência da folha em relação ao iluminante”. Porém, a assinatura espectral e o comportamento espectral de um mesmo tipo de alvo possuem proximidade quanto a resposta espectral em geral.

Florenzano (2002) diz que devido a variação da energia refletida pelos objetos da superfície terrestre é possível distingui-los nas imagens de sensores remotos, essa variação de energia pode ser representada através de curvas.

A curva espectral dos solos sem vegetação indica certa uniformidade quanto á quantidade de energia refletida ao longo do espectro. Na região espectral correspondente ao azul os valores de reflexão baixos, porém aumentam continuamente em a faixa do vermelho e do infravermelho.

Sendo mais expressiva a energia refletida na faixa correspondente ao infravermelho, pois é nessa região que as características de solos puros podem ser analisadas, segundo Crosta (1992). Os parâmetros como tipo de mineral, granulação e conteúdo de material orgânico, como umidade do solo e rugosidade de superfície, influenciam a resposta espectral.

O teor de umidade no solo influi diretamente sobre sua resposta espectral. Uma alta umidade do solo é caracterizada, em todos os comprimentos de onda, por valores baixos de reflexão, o que significa uma refletividade menor e vice versa.

A respeito dos solos da área de estudo, pertencente ao Bioma Pampa Novo (2008, p. 236) baseada em Terra e Saldanha (2007) diz que estudos a respeito da “reflectância bidirecional de solos típicos do Bioma Pampa mostraram que esta é influenciada pelos substratos litológicos (rochas sedimentares e ígneas ácidas)”.

No caso dos minerais e rochas, estes apresentam comportamento espectral semelhante aos dos solos sendo que um dos elementos de maior diferenciação entre os mesmos é a presença de matéria orgânica no caso dos solos (NOVO, 2008). Conforme Dalmolin (2005, p. 484) “a matéria orgânica influencia na forma e no albedo da curva espectral ao longo de todo o espectro óptico, sendo que, na literatura, diferentes intervalos espectrais são utilizados em algoritmos para prever seu teor no solo”.

Assim conforme relatado por Epiphanyo (1992, p. 29) com base em Hoffer e Johannsen(1969) “de acordo com o conteúdo de matéria orgânica tem-se em geral que a medida que o teor de matéria orgânica aumenta, a reflectância do solo decresce no intervalo de comprimentos de onda de 0,4 a 2,5  $\mu\text{m}$ ”.

Segundo Dalmolin (2005) baseado no que foi observado em laboratório por Orlov (1966) e no que diz Stoner (1979) quanto maior o diâmetro dos agregados ocorre um decréscimo da refletividade, e vice versa, ou seja, a diminuição no tamanho de partícula, ou melhor, o aumento da proporção de areia fina e areia muito fina, provoca aumento da reflectância em solos de textura arenosa, ocorrendo o contrário em solos de textura média a fina.

#### 1.4.2 Sistemas sensores e sistemas orbitais

Sensores são “dispositivos capazes de captar a energia refletida ou emitida por uma superfície qualquer e registrá-la na forma de dados diversos” (Fitz, 2008, p.98). Para que se possam adquirir dados por meio dos sensores, deve existir uma fonte de energia radiante, um objeto de visada (alvo na superfície terrestre) e um sistema de imageamento óptico e detector, o sensor.

Os produtos oriundos do sensoriamento remoto podem ser fotografias aéreas, quando o sensor está instalado em uma aeronave situada em altitude preconcebida, imagens de radar ou imagens digitais em bandas específicas do espectro.

Novo (2008) classifica os sistemas sensores em dois grupos: sensores imageadores que produzem uma imagem da superfície observada, ou melhor, produz uma imagem bidimensional da radiância, emitância ou retroespalhamento do terreno; e, sensores não-imageadores possibilitam medir a intensidade da energia proveniente de um alvo sem necessariamente produzir uma imagem do terreno.

Os sensores do tipo RADAR produzem uma fonte de energia própria na região das micro-ondas, assim podem obter imagens durante o dia e também durante a noite e sob quaisquer condições meteorológicas. Permitem a detecção de alvos e determinação das distâncias por meio de ondas de rádio, operando na região das micro-ondas, em comprimentos bem maiores que os da região espectral do visível e do infravermelho.

Já os sistemas imageadores podem ser comparados ao sistema visual humano que é um sensor natural que capta somente a luz ou energia na região do visível. Porém, os sensores artificiais captam dados em diferentes faixas espectrais, captam energia da região do visível e do infravermelho. Os sensores óticos necessitam de radiação eletromagnética para captar a energia proveniente dos objetos. Esses sensores ficam limitados às condições meteorológicas, ou seja, a qualidade do produto do imageamento dependerá da cobertura de nuvens existente na área imageada.

Os equipamentos sensores colocados a bordo de plataformas em órbita da Terra compõem o sistema orbital. Segundo Novo (2008) as plataformas orbitais podem ser classificadas em plataformas tripuladas, espaçonaves e ônibus espaciais, e não tripuladas, composta por satélites. Já os sistemas orbitais podem ser

classificados conforme sua aplicação em três grandes grupos: satélites ambientais (meteorológicos e oceanográficos), satélites de recursos naturais e satélites de aplicação híbrida.

Os satélites de recursos naturais ou de recursos terrestres compõem o maior número de sistemas disponíveis. Com órbita circular, quase polar, recobrem grande parte da Terra. A órbita síncrona com o sol permite que o satélite se desloque em torno na Terra com a mesma velocidade de deslocamento desta em relação ao Sol, garantindo passagem aproximadamente no mesmo horário local sobre os diferentes pontos da Terra e mesmas condições de iluminação para a superfície terrestre. Dentre os principais satélites de recursos naturais estão os satélites da série LANDSAT.

#### 1.4.2.1 Sistema LANDSAT

O sistema LANDSAT teve início na segunda metade da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana (NASA). O primeiro de uma série de oito desenvolvidos para a observação de recursos terrestres, denominado ERTS-1, foi posto em órbita em 1972 e em 1975 passou a se denominar LANDSAT. Os três primeiros LANDSAT (1, 2 e 3) tinham como principal sistema sensor o *Multispectral Scanner Subsystem* (MSS) possuindo resolução espacial de 80 metros e operando em quatro canais, dois no visível e dois no infravermelho próximo.

Os LANDSAT's 4 e 5 possuíram como sistema sensor o *Thematic Mapper* (TM) que era capaz de registrar dados em sete canais compostos por três na região do visível BGR, um no infravermelho próximo, dois no infravermelho médio e um na região do infravermelho termal, sistema sensor atingiu resolução espacial de 30 metros. Quando comparado ao sensor MSS o sensor TM foi projetado para possuir melhor resolução espacial, melhor discriminação espectral entre os objetos, maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica (NOVO, 2008).

Segundo a mesma autora após a perda do LANDSAT 6, que não conseguiu atingir sua órbita, uma cooperação foi montada entre a NASA, NOAA e USGS é

responsável pelo desenvolvimento do LANDSAT 7, que é lançado em 1999 e com um novo sistema sensor, o *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+).

A NASA fica então responsável pelo desenvolvimento e lançamento do satélite, bem como, pelo desenvolvimento do sistema e recepção terrestre. A NOAA se responsabiliza pela operação e manutenção do satélite em órbita e pela operação das estações terrenas durante a vida útil do satélite. E, por fim, a USGS executa as atividades de aquisição, processamento, arquivo e distribuição dos dados.

O sensor ETM+ foi desenvolvido a partir do TM, ou seja, é um sistema de varredura mecânica que funciona da mesma maneira que o TM, porém há a inclusão de uma banda pancromática e um aumento de ganho na banda termal, melhorando a resolução espacial (Novo, 2008).

Conforme dados da USGS o LANDSAT 8 foi lançado em órbita pela NASA no dia 11 de fevereiro de 2013 (começou oficialmente as operações normais em 30 de maio de 2013), possuindo órbita sincronizada com o Sol a uma altitude de 705 km e cobrindo todo o globo a cada 16 dias. Possui dois instrumentos imageadores, o sensor *Operational Terra Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS).

O sensor OLI possui nove bandas espectrais, com resolução espacial de 30 m (bandas de 1 a 7 e 9) e uma banda pancromática, com resolução espacial de 15 m (banda 8). A nova Banda 1 (ultra-azul) é útil para estudos costeiros e aerossol e a nova Banda 9 (cirrus) é útil na detecção de nuvens.

O TIRS possui duas bandas na faixa do termal, com resolução espectral de 100 m (bandas 10 e 11), que são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas.

A seguir seguem as características espectrais dos instrumentos imageadores OLI e TIRS do LANDSAT 8 comparadas com o sensor TM, do LANDSAT 5, respectivamente (Figura 5).

Os satélites dessa série deslocam-se do norte para o sul em órbita geocêntrica e heliosíncrona, onde o ângulo formado entre o satélite a Terra e o Sol permanece constante garantindo condições semelhantes de iluminação ao longo do ano, na área imageada.



SATÉLITE	LANDSAT 8 – Sensor OLI e TIRS		LANDSAT 5 – Sensor TM	
<b>Intervalo Espectral</b>	Band 1 – Coastal aerosol	0,43 – 0,45 $\mu\text{m}$	---	---
	Band 2 – Blue	0,45 – 0,51 $\mu\text{m}$	Band 1 – Blue	0,45-0,52 $\mu\text{m}$
	Band 3 – Green	0,53 – 0,59 $\mu\text{m}$	Band 2 – Green	0,52-0,60 $\mu\text{m}$
	Band 4 – Red	0,64 – 0,67 $\mu\text{m}$	Band 3 – Red	0,63-0,69 $\mu\text{m}$
	Band 5 – Near Infrared (NIR)	0,85 – 0,88 $\mu\text{m}$	Band 4 - Near Infrared (NIR)	0,77-0,90 $\mu\text{m}$
	Band 6 – SWIR 1	1,57 – 1,65 $\mu\text{m}$	Band 5 - SWIR 1	1,55-1,75 $\mu\text{m}$
	Band 7 – SWIR 2	2,11 – 2,29 $\mu\text{m}$	Band 7 - SWIR 2	2,09-2,35 $\mu\text{m}$
	Band 8 – Panchromatic	0,50 – 0,68 $\mu\text{m}$	---	---
	Band 9 – Cirrus	1,36 – 1,38 $\mu\text{m}$	---	---
	Band 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	10,60 – 11,19 $\mu\text{m}$	Band 6 - Thermal Infrared	10,40-12,50 $\mu\text{m}$
	Band 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	11,50 – 12,51 $\mu\text{m}$		
<b>Resolução Espacial</b>	Bandas 1 - 7 e 9 – 30 metros Banda 8 – 15 metros Bandas 10 e 11 – 100 metros		Bandas 1 - 5 e 7 – 30 metros Banda 6 – 60 metros	
<b>Resolução Radiométrica</b>	16 bits		8 bits	
<b>Resolução Temporal</b>	16 dias		<b>16 dias</b>	

Figura 5 – Resoluções dos sensores imageadores TM, OLI e TIRS

Fonte: USGS – Landsat Missions, 2013, adaptado pela autora.

O período de revisita dos satélites LANDSAT a partir do LANDSAT 4 é de 16 dias aproximadamente o que permite uma média duas imagens mensais, possibilitando estudos utilizando séries temporais, pois se tem ao menos uma imagem disponível a cada mês.

Dentre as imagens do sensoriamento remoto uma das mais utilizadas em estudos de monitoramento e levantamento de recursos terrestres estão aquelas obtidas pelos sensores do TM, ETM+ e, atualmente, OLI, advindas dos satélites da série LANDSAT. A utilização dessas imagens permite ao usuário a confecção de mapeamentos de porções da superfície terrestre permitindo uma visão integrada dos diferentes padrões de organização da paisagem.

As aplicações dos produtos oriundos dos sensores LANDSAT abrangem diversos campos das geociências, tais como, recursos florestais e agrícolas, mapeamento e monitoramento do uso da terra, cartografia e atualização de mapas, geologia, recursos hídricos, recursos costeiros e demais atividades ligadas ao estudo do meio ambiente, como, por exemplo, o monitoramento de áreas de preservação, o mapeamento e monitoramento de eventos naturais e atividades humanas degradantes do ambiente como desmatamentos, queimadas, secas e inundações (EMBRAPA, NOVO, 2008).

No quadro a seguir estão expostas as principais características das bandas dos sensores TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 e 7 (Figura 6) que devem ser consideradas de acordo com o tipo de estudo desejado em cada pesquisa.

Rocha (2000) baseado nas bandas dos sensores dos satélites do LANDSAT recomenda as seguintes composições coloridas, de acordo com a finalidade desejada:

Bandas 1, 2 e 3: imagem em cor natural, com boa penetração de água, realçando correntes, a turbidez e os sedimentos. A vegetação aparece em tonalidades esverdeadas.

Bandas 2, 3 e 4: definem melhor os limites entre o solo e a água, ainda mantendo algum detalhe em águas profundas, e mostrando as diferenças na vegetação, aparece em tonalidades de vermelho.

Bandas 3, 4 e 5: mostram mais claramente os limites entre o solo e a água, e com a vegetação mais discriminada, aparecendo em tons de verde-rosa.

Bandas 2, 4 e 7: mostram a vegetação em tons de verde e permitem discriminar umidade, tanto na vegetação como no solo.

Vale ressaltar que para o LANDSAT 8 em comparação com o LANDSAT 5, considerados nesse estudo, há uma mudança na ordem das bandas devido ao acréscimo de novas bandas, conforme já exposto anteriormente, portanto essas combinações e características das bandas apresentadas acima devem ser ajustadas quando se trabalhar com o LANDSAT 8 fazendo a correspondência correta com o LANDSAT 5.

Banda	Intervalo Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Principais características e aplicações das bandas TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 e 7
1	(0,45 – 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade à plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 – 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 – 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4		Os corpos de água absorvem muita energia nessa banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nessa banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação e que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5		Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6		Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7		Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Figura 6 – Características e aplicações das bandas do LANDSAT 5 e 7

Fonte: Divisão de Geração de Imagens (DGI) – INPE, adaptada.

### 1.4.3 Características das Imagens

Por possuírem uma grande gama de recursos em termos espectrais, as imagens de satélite e de radar proporcionam análises mais detalhadas com relação às características físicas do meio natural (FITZ, 2008).

As imagens digitais obtidas por sensoriamento remoto possuem características importantes no que diz respeito ao processamento de dados, sendo elas a resolução espacial, a espectral e a radiométrica, que se dão em função das características do sensor que captou determinada imagem.

Segundo Novo (2008) as características da imagem são dadas pela:

A resolução espectral, ou seja, o número de bandas e as regiões espectrais a que se referem; b) a resolução espacial dos dados, ou seja, o tamanho do *pixel* no terreno (em metros); a resolução radiométrica, ou seja, o número de elementos discretos que representa o brilho de cada *pixel*; d) os dados auxiliares que permitirão sua correção radiométrica e geométrica (NOVO, 2008, p.255).

A resolução espacial é “a capacidade do sensor de detectar objetos a partir de uma determinada dimensão. Quanto maior a resolução do sistema sensor, menor é o tamanho mínimo dos elementos que podem ser detectados individualmente” (Rocha, 2000 p.117).

Crósta (1992, p.26) afirma que “a resolução radiométrica é dada pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza, usados para expressar os dados coletados pelo sensor”. Quanto maior for a resolução radiométrica significa que maior será a sensibilidade do sensor para captar pequenas diferenças de radiação.

A resolução espectral segundo Meneses e Almeida (2012, p.27) “um sensor tem melhor resolução espectral se ele possui maior número de bandas situadas em diferentes regiões espectrais e com larguras estreitas de comprimentos de onda”. O autor diz que esta resolução depende de três parâmetros: o número de bandas que o sensor possui; a largura das bandas; e, a posição das bandas dentro do espectro eletromagnético. Silva (1995) considera a resolução espectral como a menor porção do espectro que um sistema sensor pode segmentar.

Já a resolução temporal é dada pela frequência que o mesmo alvo é revisitado, ou melhor, o intervalo de tempo que o sistema sensor leva para imagear novamente a mesma área de interesse.

#### 1.4.4 Interpretação e análise de imagens

Existem duas técnicas de interpretação de imagens, a analógica ou manual e a digital, segundo Crosta (1992). A interpretação analógica se atem a análise de somente uma banda ou uma composição colorida, união de três bandas.

No processo de interpretação visual de imagens necessita-se considerar alguns parâmetros, ou melhor, elementos de interpretação, sendo os principais: tonalidade, cor, textura, forma, padrão, sombreamento, tamanho e localização.

Na análise digital há a possibilidade de manipulação de várias bandas, datas e resoluções. As imagens digitais possuem vantagens frente as analógicas uma vez que estas podem ser processadas objetivando o realce ou a extração de informações, portanto a partir de “imagens digitais podem ser geradas composições coloridas a partir da utilização de diferentes combinações de bandas espectrais, combinações de imagens de uma mesma banda em diferentes datas, ou imagens de diferentes sensores” (NOVO, 2008, p. 260).

O processamento digital de imagens (PDI) possui como função principal, segundo Crósta (1992, p.17), “fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação”. Entende-se assim pela manipulação de imagens através do processamento digital com o objetivo de melhorar o aspecto visual de dadas feições estruturais para que o analista possa melhor interpretá-las e também para que as mesmas possam ser submetidas posteriormente a outros processamentos (SPRING, 1996).

Segundo Novo (2008) o PDI segue basicamente três etapas:

- Pré-processamento
- Realce
- Classificação

As imagens adquiridas por sensores remotos possuem erros radiométricos, originados de falhas instrumentais, e geométricos, que podem ser causados por diferentes fatores como a curvatura e movimentos da Terra, posicionamento do satélite, etc (NOVO, 2008).

O pré-processamento consiste na restauração quantitativa da imagem através da correção de imperfeições geométricas, radiométricas e/ou ruídos que surgem no

processo de aquisição da imagem (JENSEN, 1995, NOVO, 2008). Assim a fase de pré-processamento prepara a imagem para a extração de dados de interesse melhorando assim a qualidade das informações geradas a partir utilização da mesma.

As técnicas de realce de imagens compreendem procedimentos já e processamento correspondendo ao conhecimento da distribuição estatística dos dados da imagem, o valor dos níveis de cinza, onde a finalidade é melhorar a visualização da cena, para posterior interpretação visual. Conforme Bebedetti (2006) as técnicas de realce mais utilizadas são manipulação de contraste, filtragem espacial e rotação de imagens.

#### 1.4.4.1 Classificação digital de imagens

De acordo com o que dizem Lillesand e Kiefer (1994), Moreira (2005) e Novo (2008) a classificação digital de imagens consiste basicamente em categorizar, atribuir um significado, um rótulo a todos os pixels existentes na cena com base em suas propriedades espectrais e/ou espaciais, em classes de cobertura terrestre ou temas. Conforme Crósta (1992, p. 107) “quando esse tipo de operação é efetuado para todos os pixels de uma determinada área, o resultado é um mapa temático, mostrando a distribuição geográfica de um tema, tal como vegetação ou solo”.

O processo de classificação digital é definido de acordo com o grau de intervenção do analista podendo a classificação ser supervisionada ou não supervisionada.

Segundo Novo (2008, p. 291) “na classificação não supervisionada os pixels de uma imagem são alocados em classes sem que o usuário tenha conhecimento prévio de sua existência”. Nesse tipo de classificação, com base em regras estatísticas “o computador” decide quais classes devem ser separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma (CRÓSTA, 1992).

Já na classificação supervisionada “o analista da imagem “supervisiona” o processo de categorização do pixel especificando, para algoritmo de computador, descritores numéricos dos vários tipos de cobertura do solo presentes em uma cena” (LILLESAND e KIEFER, 1994, p. 586, tradução nossa). Moreira (2005) e Crósta

(1992) complementam explicando que o método de classificação supervisionada utiliza classificadores no qual o reconhecimento dos padrões espectrais na imagem é feito com base em amostra de treinamento, que consiste em reconhecer a assinatura espectral de cada classe de cobertura da terra para a área presente na imagem, baseado em alguma regra estatística pré-estabelecida.

Conforme Novo (2008), nesse tipo de classificação o analista possui um conhecimento prévio da localização espacial de algumas amostras de interesse e esta se baseia no pressuposto que as classes espectrais podem ser descritas com base nas amostras fornecidas pelo analista da imagem. Para que esse processo seja possível:

(...) pontos de amostra representativa dos tipos de cobertura, chamadas áreas de treinamento, são usados para compilar uma "chave de interpretação" numérica, que descreve os atributos espectrais para cada tipo de característica de interesse. Cada pixel no conjunto de dados é então comparado numericamente para cada categoria na chave de interpretação e rotulada com o nome da categoria que "parece mais como". (LILLESAND e KIEFER, 1994, p. 586, tradução nossa).

Para a classificação de uma imagem deve-se atentar para alguns pontos tais como assumir que um conjunto de classes com propriedades bem conhecidas foi previamente determinado antes de se iniciar a classificação, que as classes podem ser definidas usando não somente valores de reflectância, mas também usando algumas propriedades observáveis na cena, e que qualquer pixel na imagem pertence necessariamente a uma dessas classes (Crósta, 1992).

O processo de classificação pode ser entendido ainda de acordo com a unidade a ser agrupada em dois grupos, classificação por pixel ou por regiões, isso independente de esta ser supervisionada ou não supervisionada (NOVO, 2008). A classificação pixel a pixel é executada na maioria dos classificadores e segundo Menezes e Almeida (2012, p. 191) utiliza apenas "da informação espectral de cada pixel para encontrar regiões homogêneas, a partir de medidas de distâncias ou de probabilidades de um pixel pertencer a uma classe específica", já na classificação por regiões o durante o processo de classificação é considerado um agrupamento de pixels que é usado como unidade de classificação.

Nesse estudo as classificações serão supervisionadas e se darão em função da unidade pixel, ou seja, classificação por pixel. Dentre as técnicas de classificação multiespectral pixel a pixel estão os métodos da Mínima Distância, Paralelepípedo,

MAXVER (sendo esses três os mais comuns), Mahalanobis e Spectral Angle Mapper.

Mínima Distância ou Distância Euclidiana é um método de classificação supervisionada que utiliza esta distância, ou seja, a distância euclidiana, para associar um pixel a uma determinada classe. De acordo com Meneses e Almeida (2012) no método da distância mínima é calculada a distância espectral entre o vetor de medida para o pixel candidato e a média para cada assinatura de classe utilizando assim a medida de distância Euclidiana.

As classes podem ser definidas com base em dados estatísticos, calculando-se a média de cada classe, em cada banda espectral e cada pixel desconhecido é atribuído à classe cuja média seja mais próxima a ele, conforme o Manual do ENVI 4.7, ou seja, à classe que apresenta a menor distância Euclidiana (MENESES e ALMEIDA, 2012). Na figura a seguir (Figura 7) as linhas cheias indicam as medidas da distância mínima para um pixel candidato às classes.

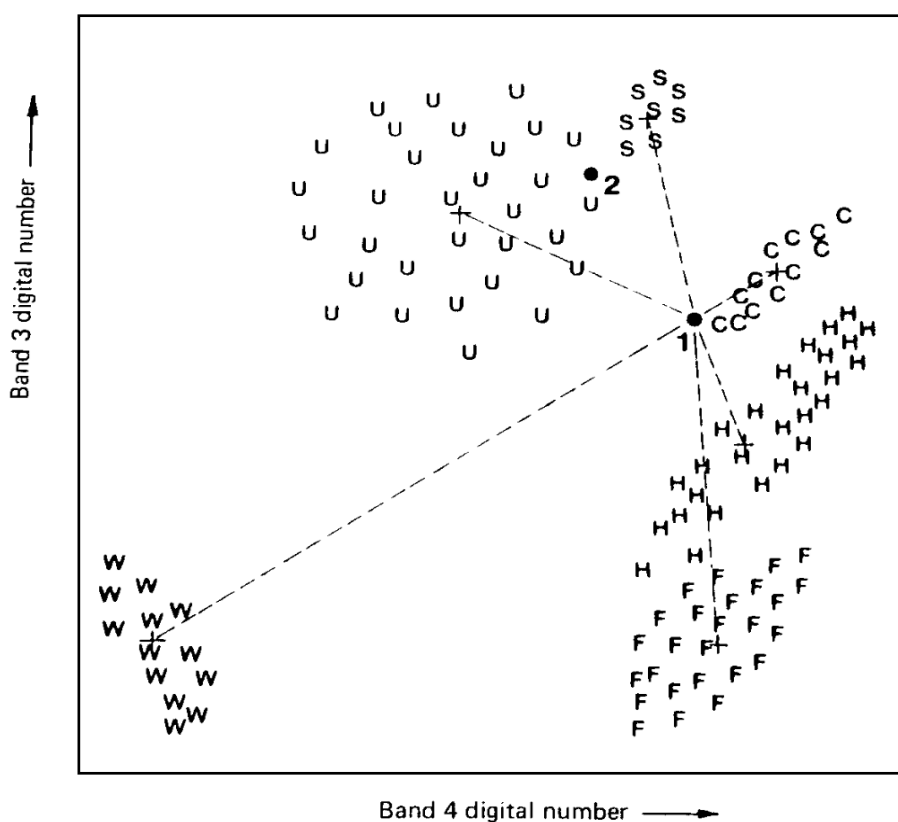


Figura 7 – Estratégia de classificação pelo método da Mínima Distância  
Fonte: LILLESAND e KIEFER, 1994



No método do Paralelepípedo (Figura 8) é considerada uma área no espaço de atributos ao redor do conjunto de treinamento, sendo que essa área tem a forma de um quadrado ou paralelepípedo, que é definido pelos valores numéricos máximo e mínimo do conjunto de treinamento (CRÓSTA, 1992). Assim, “os valores dos pixels de cada classe de treinamento são estimados por um limite superior e um inferior de valores digitais que são identificados como as dimensões das bordas do paralelepípedo”, e por isso leva esse nome (MENESES E ALMEIDA, 2012, p. 198).

Nesse processo podem ocorrer várias possibilidades, conforme o IBGE (2000):

- O pixel cai dentro de um só paralelepípedo;
- O pixel cai fora de todos; e
- O pixel cai dentro de mais do que um paralelepípedo (caso dos paralelepípedos que se superpõem). Neste caso o programa deve apresentar um critério para decidir entre os “concorrentes”. Esta regra deve ser a menor distância do centro do paralelepípedo.

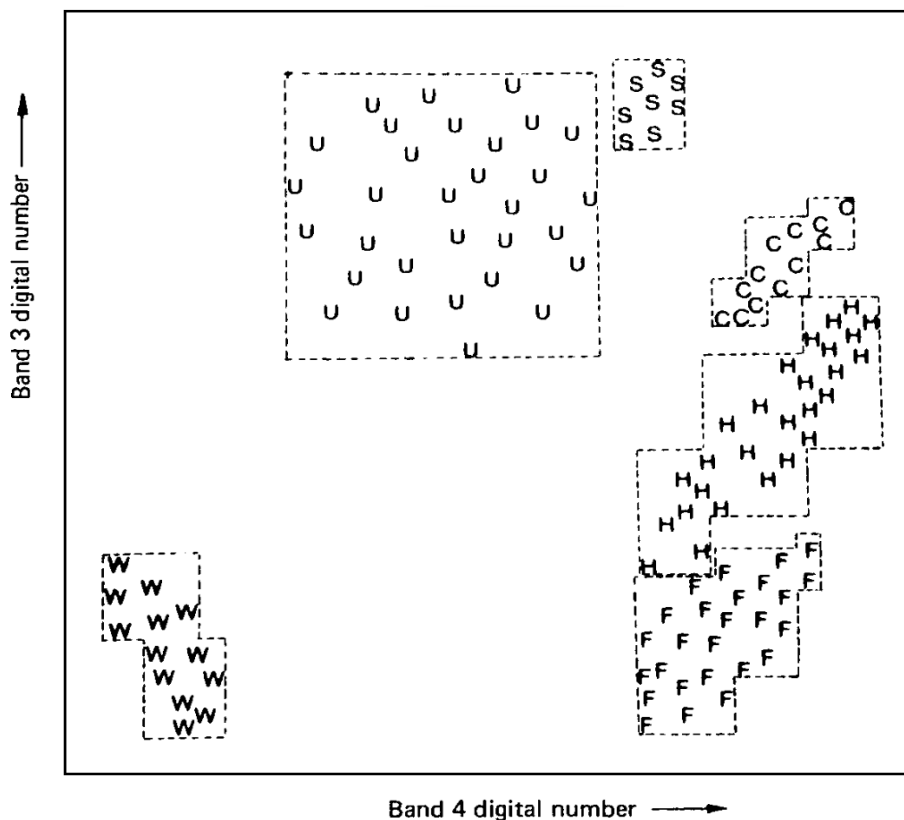


Figura 8 – Estratégia de classificação pelo método do Paralelepípedo

Fonte: LILLESAND e KIEFER, 1994

O classificador por Máxima Verossimilhança (MAXVER) (Figura 9) considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos, sendo que segundo Richards (1986) este método adota uma modelagem das classes por uma distribuição de probabilidade no espaço multiespectral, descrita por parâmetros de uma distribuição Gaussiana. Assume que todas as bandas têm distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica (CRÓSTA, 1992; INPE, 2008).

Nesse classificador as classes de treinamento são utilizadas na estimativa da forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe e também a localização do centro de cada classe no espaço de  $n$  bandas, assim, se a distribuição dos pontos for não for esférica, “como um elipsóide, seria esperado que a possibilidade (probabilidade) de um ponto pertencer ao agrupamento irá depender não somente da distância ao centro do agrupamento, mas também das dimensões e direções dos eixos do elipsoide” (MENESES e ALMEIDA, 2012, p. 203).

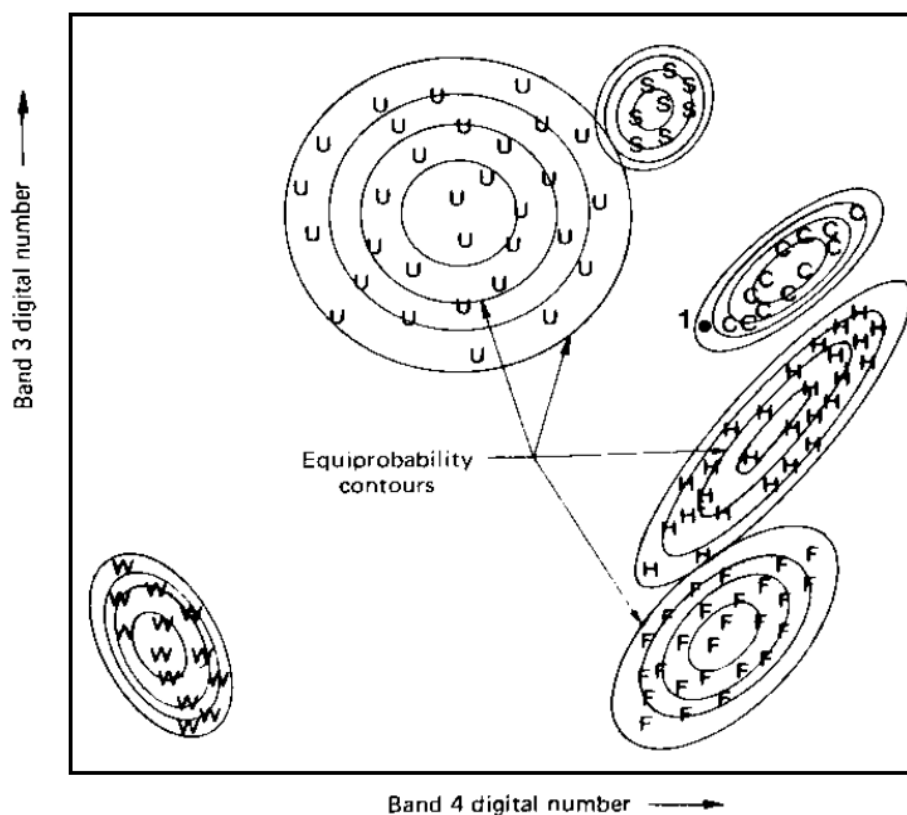


Figura 9 – Estratégia de classificação pelo método MARVER  
Fonte: LILLESAND e KIEFER, 1994

Segundo Crósta (1992) para o algoritmo MAXVER seja eficiente e preciso numa classificação o analista deve conhecer bem a imagem a ser classificada, e assim é necessário um número razoavelmente elevado de pixels para cada classe de treinamento, preferencialmente acima de uma centena, o que permite uma base segura para tratamento estatístico. Meneses e Almeida (2012, p. 204) dizem também que “por ser um classificador com base na probabilidade é recomendável que se tenha números de pixels por classe de amostragem mais ou menos iguais”.

O classificador por distância de Mahalanobis (Figura 10) é similar ao MARVER e usa estatísticas para cada classe, porém, ele assume que a covariância das amostras são iguais, sendo assim, um classificador mais rápido que o método de mínima distância (Manual do ENVI 4.7).

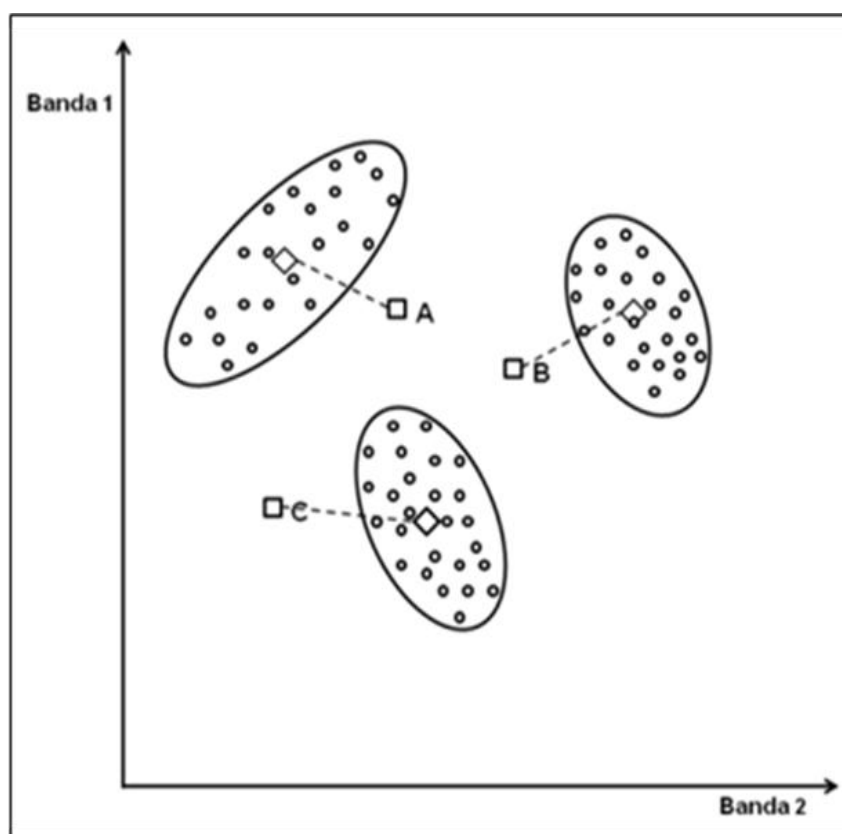


Figura 10 – Princípio do classificador distância de Mahalanobis.  
Fonte: Crisógono, 2012.

Meneses e Almeida (2012, p. 206) consideram que a distância de Mahalanobis a medida da distância do pixel na posição  $x$  do espaço

multidimensional até o centro da classe, dividida pelo comprimento do elipsóide na direção de  $x$ , e assim dizem que para se usar a essa distância para classificar um pixel a uma das  $n$  classes, “inicialmente calcula-se a matriz de covariância com base nas amostras de treinamento das  $n$  classes, e o pixel será destinado à classe na qual a distância de Mahalanobis seja a menor de todas”.

O método conhecido como Mapeador de Ângulo Espectral ou Spectral Angle Mapper (SAM) é um método de classificação que usa o ângulo entre as amostras de treinamento no espaço de  $n$  dimensões para determinar os pixels para uma determinada classe.

O algoritmo determina a similaridade espectral entre dois espectros e calcula o ângulo entre eles. Os ângulos são tratados como vetores no espaço  $n$  dimensional (Figura 11) onde ângulos menores representam relações mais próximas ao espectro de referência e pixels fora do ângulo máximo definido não são classificados (Manual do ENVI 4.7).

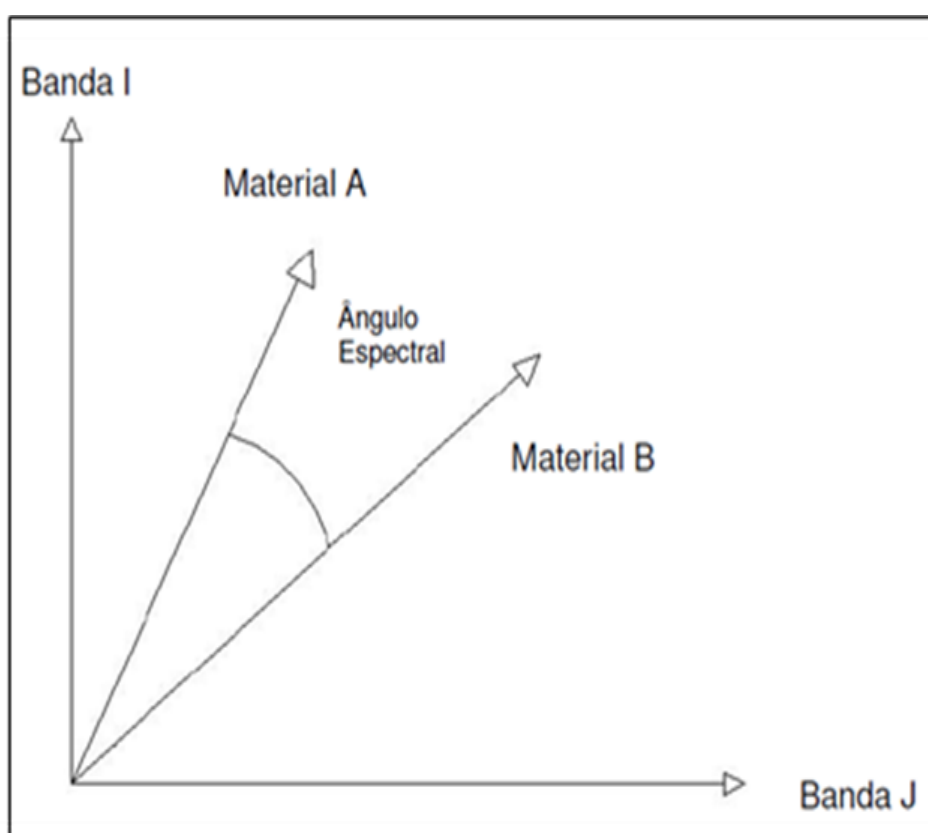


Figura 11 – Exemplo de SAM bidimensional.

Fonte: ENVI

#### 1.4.4.2 Validação de classificações

Após a realização de uma classificação automática através do uso de um algoritmo classificador e obtenção de uma imagem classificada é necessário avaliar a eficácia desse classificador e verificar a qualidade da classificação a fim de validá-la.

Essa validação é realizada por meio da geração de uma matriz de confusão ou matriz de erros. Conforme Lillesand e Kiefer (1994, p. 612) “matrizes de erro compararam, em uma base de categoria por categoria, a relação entre os dados conhecidos de referência (verdade de campo) e os resultados correspondentes de uma classificação automática”. Ela tem por objetivo avaliar o resultado de uma classificação comparando os dados da classificação com os dados da verdade do campo, dados levantados á campo ou amostras tomadas como puras e que não foram usadas no processo de classificação, apresentando o resultado dessa comparação em uma matriz.

Ela expõe a Acurácia e o Índice ou Coeficiente Kappa da classificação possibilitando a validação dos dados apresentados na classificação das imagens. Numa matriz de erros o número de linhas e o de colunas deve ser igual ao número de classes espectrais do estudo, e a partir dela erros de designação de classes, ou seja, erros de omissão e de comissão de cada classe são calculados (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Numa matriz de erros “os componentes da diagonal principal fornecem o número de pixels que foram corretamente classificados para cada classe correspondente [...] os elementos fora desta diagonal principal indicam os erros de designação de classes” (SOUZA et al, p. 3, 2014). A linha marginal indica o número de pontos atribuídos a cada classe, já a coluna marginal corresponde ao número total de elementos de imagem para cada classe.

Erro de comissão ocorre quando um pixel é classificado, ou seja, incluído numa classe quando na verdade pertence à outra. Este está disposto na coluna da matriz de erros e mede a confiabilidade de uma classe corresponder à verdade de campo. Já quando o pixel é omitido, ou melhor, excluído da classe correta e atribuído à outra classe recebe a denominação de erro de omissão. Esse erro está disposto na linha da matriz e mede a acurácia da classificação digital (mapa).

A exatidão específica de cada classe está representada na última coluna da tabela representando a percentagem de pixels do mapa temático que foram corretamente classificados. No fim dessa coluna está representada a exatidão global da classificação ou acurácia geral.

O Coeficiente Kappa é um subproduto da matriz de confusão e auxilia na avaliação do classificador uma vez que considera todos os elementos da matriz de erros ao invés de apenas aqueles que se situam na diagonal principal da mesma, como na acurácia, ou seja, estima a soma da coluna e linha marginais.

O Coeficiente Kappa é calculado da seguinte forma:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^p x_{ii} - \sum_{i=1}^p x_{io} x_{oi}}{n^2 - \sum_{i=1}^p x_{io} x_{oi}} \quad (1)$$

Onde,

$n$  = número total de pixels

$p$  = número de classes

$\sum x_{ii}$  = somatório dos elementos da diagonal da matriz de confusão

$\sum x_{io}$  = somatório dos elementos da linha  $i$

$\sum x_{oi}$  = somatório dos elementos da coluna  $i$

Segundo Colgaton (1991) o Coeficiente Kappa é satisfatório e apropriado para a avaliar a precisão de uma classificação, pois este considera toda a matriz de confusão em seu cálculo, ou seja, os elementos contidos na diagonal principal e os fora da diagonal principal, diferindo da acurácia ou exatidão global, que utiliza em seu cálculo apenas os valores concordantes.

## 1.5 Caracterização da Área de Estudo

Nesse capítulo é apresentada uma caracterização da área de estudo, a Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã, onde são expostos os aspectos físicos, como clima,

relevo, geologia, dentre outros, e socioeconômicos, caracterizando a população e a economia dos municípios abrangidos por essa bacia.

### 1.5.1 Caracterização dos aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã

A Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã possui área total de 392,53 km<sup>2</sup> e um perímetro correspondente a 95,80 km. Possui um comprimento total dos cursos d'água de 660,93 km e comprimento médio de 1,19 km, distribuídos por uma magnitude de 503 canais, apresentando uma densidade de drenagem total de 1,53 km/km<sup>2</sup>, conforme se observa a seguir (Figura 12).

Conforme Baratto e Trentin (2012, p. 548) “a bacia hidrográfica em estudo apresenta um Padrão de Drenagem predominantemente Retangular-dendrítico, pois suas drenagens obedecem às linhas de falhas e fraturas geológicas que condicionam um forte controle estrutural da região”.

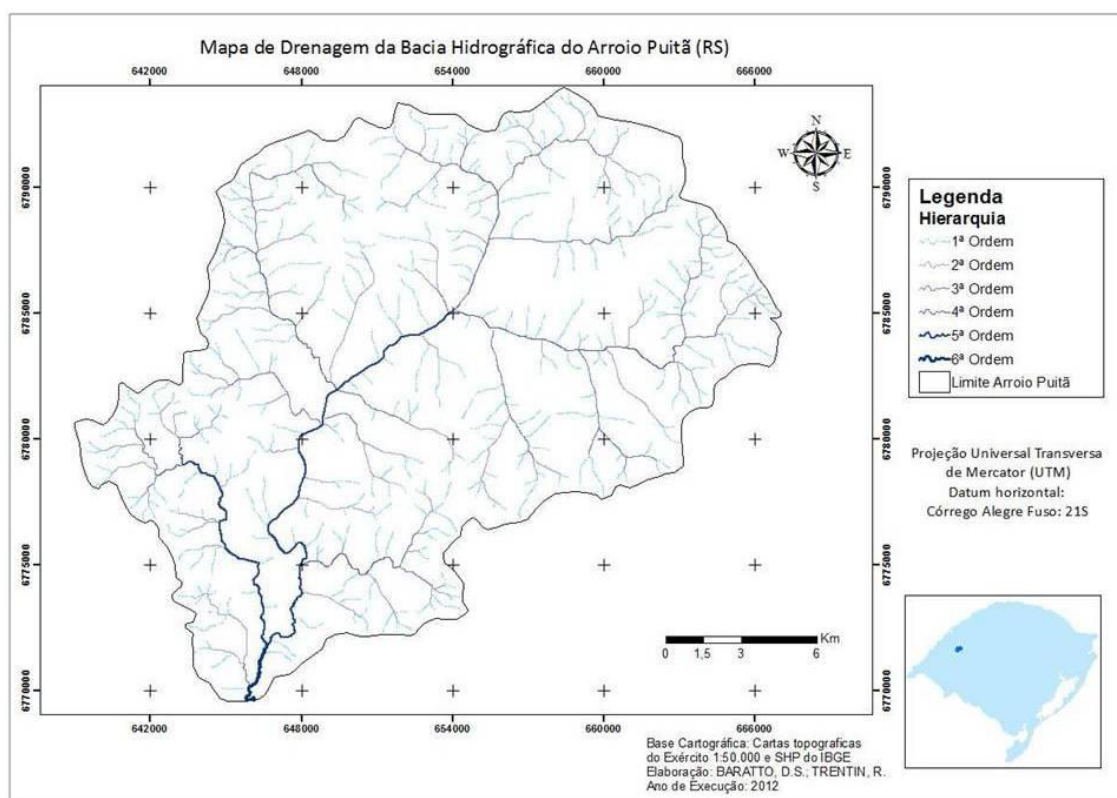


Figura 12 – Mapa de drenagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã  
Fonte: Baratto, D. da Silva & Trentin, R., 2012.

De acordo com as características da paisagem da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã, segundo Martins e Verdum (2003), ocorre o predomínio extensivo de campos e coxilhas, matas subtropicais, relevos testemunhos e extensas superfícies de depósitos aluvionares.

Quanto ao relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã este se situa sobre o compartimento geomorfológico do Planalto Sul Rio-grandense, possui uma amplitude altimétrica de 255m. As nascentes da bacia são encontradas nas porções mais elevadas chegando a 344 m de altitude e sua foz que se encontra a 89 metros de altitude. A maior porção de área da bacia é caracterizada por altitudes de até 200m.

As menores altitudes da bacia hidrográfica são inferiores a 200m, caracterizando a maior porção da área em estudo, cerca de 80 %. Essas altitudes ocupam áreas junto aos canais de drenagem do baixo curso, mais próximos à sua foz, e médio curso do rio e caracterizam-se por uma topografia com áreas planas, ondulações suaves até onduladas.

A partir da cota de 200m que indica o início do rebordo do planalto é visível uma clara transição topográfica do relevo. A partir dessa altitude até as maiores altitudes o relevo é representado por áreas predominantemente do alto curso da bacia hidrográfica, por vezes associados aos divisores de água nas maiores altitudes, e pequenas porções de relevo residual destacando morros testemunhos de uma evolução erosiva de recuo do rebordo (BARATTO e TRENTIN, 2012).

As áreas próximas às drenagens dentro da bacia possuem menores declividades, inferiores a 2%, já a porção do médio curso da bacia apresenta declividades entre 2% e 5%, correspondendo à maior porção de área total da bacia. As declividades entre 5 a 15 % apresentam-se dispersas por toda a sua área associando-se as vertentes que constituem os divisores da bacia e sub-bacias hidrográficas.

Já as declividades superiores a 15% se estendem “ao longo da rede de drenagem formando junto aos cursos d’água uma porção de vales encaixados com encostas íngremes e escarpadas, na porção do alto curso da bacia, estando associada ainda a porção de transição do rebordo do planalto” (Baratto e Trentin, 2012, p. 551).



Em estudo sobre o relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã, Baratto e Trentin (2012), realizaram o mapeamento e a individualização de cinco unidades de relevo agrupando áreas com características morfométricas semelhantes (Figura 13).

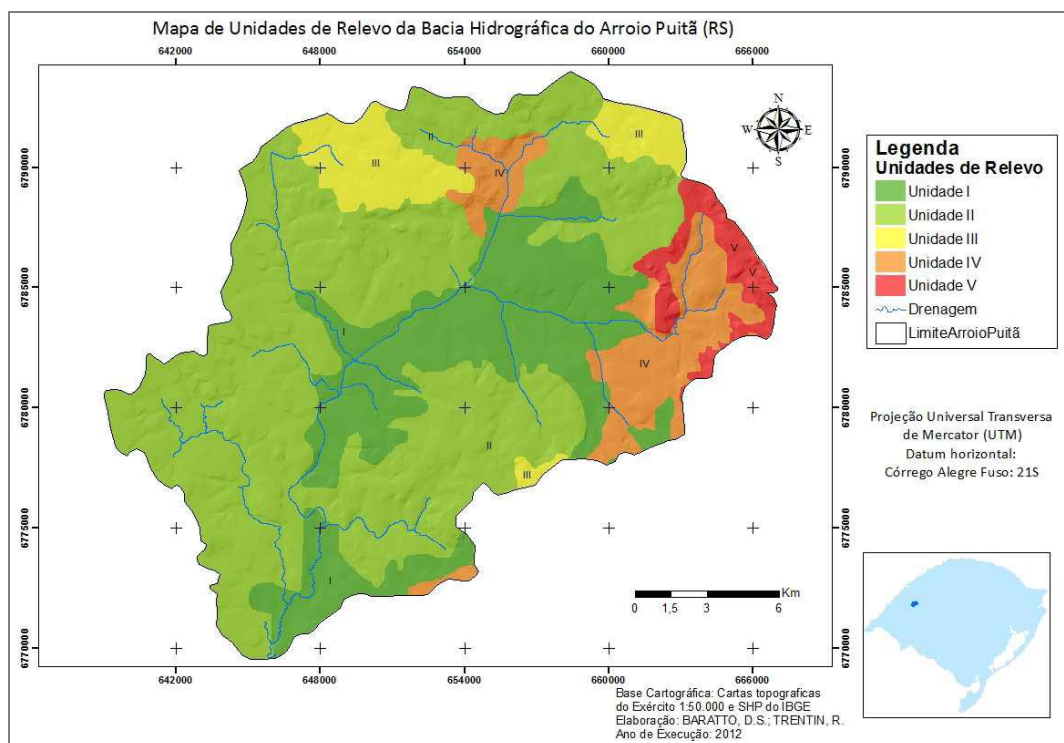


Figura 13 – Mapa de Unidades de Relevo da Bacia hidrográfica do Arroio Puitã  
Fonte: Baratto e Trentin, 2012.

No quadro a seguir (Figura 14) estão resumidas as características morfométricas que compõem cada uma das unidades de relevo da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã.

Unidade de Relevo	Declividade	Altitude	Forma das Vertentes	% da Área total
I	< 5	80-200	Suavemente Onduladas	23,82
II	5-15	< 200	Onduladas	55,42
III		> 200		7,19
IV	>15	< 200	Ondulada	8,33
V		> 200	Fortemente Ondulada	15,45

Figura 14 – Características das Unidades de Relevo  
Fonte: Baratto e Trentin, 2012.

As litologias encontradas na área são principalmente rochas vulcânicas e sedimentares, pertencentes à Bacia do Paraná, além de depósitos do Arroio Puitã. A Bacia do Paraná é uma vasta região sedimentar da América do Sul, abrigando um conjunto de rochas com idade entre o Neo-Ordoviciano e o Neocretáceo. Dentro de seus limites alojam-se porções territoriais do Brasil Meridional, Paraguai Oriental, Nordeste da Argentina e Norte do Uruguai.

Segundo Trentin (2007) as rochas vulcânicas presentes na área estão associadas à Formação Serra Geral, que é constituída por derrames vulcânicos que ocorreram no Sul do Brasil, sendo que estes recobrimentos não apresentam uma continuidade uniforme, estando bastante intercalado com as formações sedimentares. A rocha característica é o basalto que se apresenta em vários derrames, salientados na topografia em forma de patamares.

Associadas a esses derrames vulcânicos há a presença de rochas areníticas, principalmente o arenito de origem fluvial. Essas litologias encontram-se estratigraficamente em posição inferior aos derrames vulcânicos, mas afloram alguns locais com altitudes semelhantes aos derrames, provavelmente devido à movimentação tectônica e erosão.

Assim as rochas que caracterizam a área de estudo são pertencentes principalmente a Formação Botucatu e à Formação Guará, também há ocorrência de depósitos aluviais e a presença de fácies da Unidade Gramado.

As rochas sedimentares principalmente arenitos eólicos avermelhados com estratificação cruzada da Formação Botucatu são predominantes em grande parte da área, sendo encontrados em áreas mais rebaixadas e setores médios das vertentes, segundo Martins e Verdum (2003).

A Formação Guará é predominante nas áreas onde se encontram os principais areais dentro da bacia. Segundo Scherer & Lavina (2005), os arenitos da Formação Guará apresentam coloração bege a esbranquiçada e natureza fluvial com processos eólicos associados, e, conforme Medeiros et al. (2013), caracterizam-se pela granulometria grossa e média pouco selecionada. A Formação Guará é marcada por litologias friáveis que, conforme De Nardin e Robaina (2010), pela fácil desagregação condicionam a formação de feições erosivas de grandes extensões.

Os depósitos aluviais estão dispostos ao longo de grande parte do canal principal da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã e são decorrentes da presença do mesmo, que é responsável pelo acúmulo de consideráveis depósitos sedimentares.

As condições do substrato litológico arenoso e pouco coeso juntamente com as condições climáticas da área são favoráveis à ocorrência de feições erosivas.

Característica marcante na área de estudo é a grande concentração de processos de arenização na bacia do Arroio Puitã, onde se considera que:

“(...) se deve à grande concentração de áreas susceptíveis à erosão junto a uma área elevada do Rebordo – Serra do Iguariaça – que é o divisor de águas do Arroio Puitã. A transição da Depressão para o Planalto, formada pelo degrau da escarpa, condiciona uma concentração de drenagem que produz os processos erosivos nessa área”. (ROBAINA e TRENTIN, p. 555, 2012)

Apesar de a arenização possuir origem de cunho natural, esse processo é intensificado pela ação antrópica através de atividades como o superpastoreio e pela adoção de práticas agrícolas incompatíveis com a fragilidade do ecossistema local, com o uso sucessivo e intensivo do solo (Suertegaray (1996); Trentin, 2007; Robaina e Trentin, 2012).

Quanto às suas características climáticas a bacia do Arroio Puitã se encontra numa zona de clima predominante denominado Subtropical III conforme a classificação estabelecida por Rossato (2011), numa faixa que se estabelece desde a escarpa do Planalto Basáltico até o Litoral Norte. Essa tipologia climática é definida como sendo medianamente úmida com variação longitudinal das temperaturas médias, sofrendo influência dos sistemas polares (44% dos dias do ano), porém bastante afetados por sistemas tropicais continentais na sua porção oeste (5%) e marítimos na porção leste.

O volume de chuvas oscila ente 1700-1800 mm anuais distribuídos em 100-120 dias, chovendo em média de 9 a 12 dias por mês. As precipitações mensais em grande parte dos meses somam volumes de 135-155 mm, porém no período mais seco pode cair para 75-135 mm (meses de julho e agosto, por exemplo).

Nessa zona os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações que nela ocorrem. Porém o contato da Depressão Central com a escarpa do Planalto Basáltico favorece o desenvolvimento de chuvas orográficas, colaborando para o incremento nas precipitações. Nesse caso o ar que vem do

quadrante sul e oeste pelos vales dos rios Santa Maria, Jacuí e Ibicuí, ao entrar em contato com a escarpa, sobe e ocasiona a formação de nuvens que trazem a chuva a esta região (ROSSATO, 2011).

A temperatura média anual na porção oeste varia entre 20-23 °C onde as temperaturas do mês mais frio giram em torno de 8-11 °C e no mês mais quente entre 26-29 °C. Na porção oeste as geadas ocorrem com maior frequência (médias de 4 a 5 ao mês no inverno).

Os fenômenos El Niño e La Niña exercem influência importante sobre as precipitações pluviométricas no estado, tanto no excesso de chuvas quanto na estiagem. O El Niño se apresenta normalmente em intervalos de dois a sete anos apresentando condições climáticas “anormais” durante um período de 12 a 18 meses. Episódios de La Niña ocorrem com menor frequência, mas trazem consequências importantes (SARTORI, 2011). A periodicidade, a duração e até mesmo a época de ocorrência desses fenômenos tem mudado devido às alterações climáticas que vem ocorrendo no planeta (CPTEC, 2009).

O fenômeno El Niño caracteriza-se pelo aquecimento anormal das águas superficiais do oceano Pacífico Tropical, podendo afetar o clima em escala regional e até global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim os regimes de chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias. Por sua vez, La Niña representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao EL Niño, ou seja, é representada pelo esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical, sendo que alguns dos impactos de La Niña tendem a ser opostos aos de El Niño. Assim na porção oeste do estado do RS o fenômeno El Niño ocasiona aumento da temperatura média e da precipitação, e o La Niña ocasiona estiagem (OLIVEIRA, 2000).

Na Figura 15 estão listadas as últimas ocorrências de El Niño e La Niña registradas e sua intensidade.

A boa disponibilidade de chuvas, porém muitas vezes torrenciais e ocasionadas por condições climáticas anormais, acaba gerando sulcos no solo devido ao escoamento superficial concentrado o que vem favorecer o surgimento de feições erosivas, como ravinas e voçorocas comuns na área, ou agravar a situação de feições já existentes.

Ocorrência de El Niño		Ocorrência do La Niña	
1877 - 1878	1888 - 1889	1886	1903 - 1904
1896 - 1897	1899	1906 - 1908	1909 - 1910
1902 - 1903	1905 - 1906	1916 - 1918	1924 - 1925
1911 - 1912	1913 - 1914	1928 - 1929	1938 - 1939
1918 - 1919	1923	1949 - 1951	1954 - 1956
1925 - 1926	1932	1964 - 1965	1970 - 1971
1939 - 1941	1946 - 1947	1973 - 1976	1983 - 1984
1951	1953	1984 - 1985	1988 - 1989
1957 - 1959	1963	1995 - 1996	1998 - 2001
1965 - 1966	1968 - 1970	2007 - 2008	-
1972 - 1973	1976 - 1977		
1977 - 1978	1979 - 1980		
1982 - 1983	1986 - 1988		
1990 - 1993	1994 - 1995		
1997 - 1998	2002 - 2003		
2004 - 2005	2006 - 2007		
2009 - 2010	-		

Legenda: Forte Moderada Fraco

**Fontes de Informações**  
Rasmusson e Carpenter 1983, Monthly Weather Review, Ropelewski e Halpert 1987, Monthly Weather Review. Cold episode sources Ropelewski e Halpert 1989, Journal of Climate. Climate Diagnostics Bulletin. A intensidade dos ventos é baseada no padrão e magnitude das anomalias da TSM do Pacífico Tropical.

Figura 15 – Ocorrências de El Niño e La Niña  
Fonte: CPTEC.

Além da chuva, De Nardin e Robaina (2010) consideram também que os ventos têm uma atuação importante em porções onde o solo e a rocha apresentam-se desagregados, gerando depósitos arenosos. Os ventos constantes atuam também no transporte de sedimentos arenosos facilitando assim a expansão das grandes extensões de areia conhecidas como areais.

Para Klamt (1994) os solos da Campanha Gaúcha apresentam elevados teores de areia, essas areias quartzosas possuem estrutura fraca e pouca consistência, o que torna os solos mais suscetíveis à erosão, além de baixos teores de matéria orgânica.

Condizente com o substrato litológico da área e com as condições climáticas os tipos de solos predominantes na área da bacia são Latossolo Vermelho Arenoso e Nitossolo Vermelho, também há ocorrência do Neossolo Quartzênico, Neossolo Litólico e de Planossolo, conforme dados da Embrapa, Trentin (2007) e Streck et al (2008).

Os Latossolos são solos bem drenados, homogêneos, normalmente profundos a muito profundos, altamente intemperizados. Tem pouco ou nenhum incremento de argila com a profundidade e apresentam uma transição difusa ou gradual entre os horizontes, onde é difícil diferenciá-los justamente devido a

homogeneidade do perfil. São solos muito intemperizados, com predomínio de caulinita e óxido de ferro, e, portanto, uma baixa CTC (Capacidade de Troca Catiônica). A maioria dos Latossolos apresenta acentuada acidez, uma baixa reserva de nutrientes e toxidez por alumínio para as plantas.

Segundo Martins e Verdum (2003) na área de estudo ocorre o tipo de Latossolo Vermelho Distrófico de textura média originados de arenito e, segundo Streck et al (2008, p. 80), “por apresentarem textura mais arenosa são mais pobres em fertilidade e mais susceptíveis à erosão, exigindo práticas conservacionistas intensivas quando usadas com culturas anuais”.

O Latossolo e o Nitossolo são solos profundos com aparência muito similar devido ao pouco incremento de argila com a profundidade e a homogeneidade do perfil. O que distingue essas duas tipologias de solo é a presença do horizonte B com uma estrutura mais desenvolvida com revestimento reluzente. Os Nitossolos são, geralmente, solos ácidos pelo fato de apresentarem predomínio de caulinita e óxidos de ferro na sua constituição. O tipo de Nitossolo encontrado na área de estudo é o Nitossolo Vermelho que apresenta o horizonte B nítico com predomínio de cor vermelha.

Conforme Streck et al (2008) o termo Neossolo remete a solos novos, pouco desenvolvidos, sendo rasos ou profundos, em formação muito recente, desenvolvidos a partir dos mais diversos tipos de rochas (material de origem) e encontrados nas mais diversas condições de relevo e drenagem.

Conforme Martins e Verdum (2003) na área de estudo os Neossolos estão ligados às Unidades de Mapeamento de Guassupi e Pedregal estando assentados sobre substrato de rocha vulcânica. Segundo Trentin (2007) na área de estudo os Neossolos Litólicos apresentam um horizonte A ou O assentados diretamente sobre rocha totalmente alterada (horizonte C ou Cr) ou sobre material com 90% ou mais da sua massa constituída por fragmentos de rochas com diâmetro > 2 mm (cascalhos, matacões). Já os Neossolos Quartzênicos apresentam o horizonte A situado sobre sedimentos muito arenosos constituídos por grãos soltos de quartzo.

Os Planossolos são solos imperfeitamente ou mal drenados, encontrados em áreas de várzea de rios e lagoas, e assim bastante influenciados pela presença de água, condicionado ao relevo plano a suave ondulado e com o desenvolvimento no perfil de cores cinzentas, características de gleização (TRENTIN, 2007; Streck et al,

2008). Na área de estudo os Planossolos estão localizados próximo aos canais, sobretudo ao longo de parte do canal principal.

O sudoeste do estado do Rio Grande do Sul desde os primórdios de sua colonização tem uma economia baseada na exploração da bovinocultura extensiva. A cobertura vegetal natural composta de gramíneas, que apresentam bom valor forrageiro, justifica a criação de bovinos e ovinos em sistema extensivo, compondo grandes rebanhos.

Apesar do clima úmido em áreas caracterizadas pela ocorrência de areais há a presença de inúmeras espécies com características xeromorfas que estão relacionadas a locais com pouca presença de água, semiáridos, sendo que a palmeira anã, denominada Butiazeiro-anão, e os cactáceos são algumas das plantas com ocorrências mais significativas (MARCHIORI, 1995).

Nas porções mais altas, em áreas com declividades mais acentuadas e nas margens ao longo dos canais predomina a vegetação alta e cerrada compondo matas nativas com árvores de maior porte.

A partir das décadas de 1960 e 1970 com a modernização da agricultura ocorreram mudanças na dinâmica do uso da terra com a exploração excessiva da mesma com uso intensivo dos solos. A partir disso, os cultivos da soja e do arroz, principalmente irrigado, juntamente com a pecuária compõem a base da economia na região. Conforme Suertegaray, Guasselli e Verdum (2001) a expansão de atividades agrícolas em solos frágeis relacionados à intensa mecanização e aos processos erosivos nessa região está associada à intensificação de processos de arenização e ao surgimento de manchas arenosas.

Atualmente a porção Sudoeste do Estado vem sofrendo intensa ocupação pela de silvicultura, mudando a paisagem da Campanha, com o cultivo principalmente de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*, buscando o abastecimento de indústrias de celulose e de investimentos de empresas multinacionais com grande poder de investimento. As atividade de silvicultura e florestamento de espécies exóticas com crescente implantação sobre áreas de arenização representam grandes transformações na paisagem e vem impondo um cenário homogêneo em termos ecológicos (Robaina e Trentin, 2012).

### 1.5.2 Caracterização dos aspectos socioeconômicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã

A bacia do Arroio Puitã banha porções de terras pertencentes aos municípios de Itaqui, Maçambará e São Borja. Esses municípios como outros da porção oeste do Estado do RS tiveram o desenvolvimento de sua economia calcado na pecuária extensiva. Atualmente em termos econômicos os municípios de Itaqui e São Borja tem a maior arrecadação do seu PIB baseado nos serviços, seguido pela agropecuária e com a menor contribuição oriunda da indústria. Maçambará mantém o setor agropecuário como o maior contribuidor do PIB municipal, com o setor dos serviços em segundo e o setor industrial como o menor contribuinte (IBGE, 2014).

A modernização da agricultura estimulada pelo governo em âmbito nacional se desenvolveu a partir das décadas de 1960 e 1970 (SOUTO, 1985) e afetou também o oeste do RS. As principais implicações desse processo que visou priorizar a agricultura para a exportação foram o aumento da concentração fundiária, aumento na produção agrícola, uso intensivo de agrotóxicos, uso intensivo das áreas agricultáveis e de maquinário agrícola que conseqüentemente ocasionaram impactos tanto sociais quanto ambientais como o êxodo rural e a degradação do solo (TEIXEIRA, 2005; BALSAN, 2006).

No oeste do RS se deu então a expansão das lavouras principalmente de arroz e soja. Conforme dados do IBGE (2014) atualmente os principais produtos agrícolas oriundos das lavouras temporárias dos municípios de Itaqui, Maçambará e São Borja são arroz, soja, milho e trigo, respectivamente em quantidade produzida. As áreas destinadas aos cultivos agrícolas vem aumentando também, significando menos áreas destinadas à pecuária nesse caso.

Atualmente, segundo dados do IBGE (2014) para os três municípios citados a pecuária está calcada na criação de bovinos, ovinos, equinos e bubalinos, respectivamente, e com número de cabeças decrescentes em todos os setores da pecuária citados aqui a cada ano. Essas preferências nas criações se dão devido às grandes extensões de terra cobertas por gramíneas, os campos, que permitem a criação de gado solto, como já dito anteriormente.

Outro setor crescente da agropecuária atualmente é a extração vegetal de lenha e madeira em tora oriunda das extensas lavouras de Eucalipto e Pinus (IBGE,



2014) cada vez mais comuns na área. Esse crescimento de áreas de silvicultura no sudoeste do RS está associado desde a década de 1980 com áreas com ocorrência o processo de arenização com a proposta de alternativa econômica para essas áreas (MORELLI e SUERTEGARAY, 2012; ROBAINA e TRENTIN, 2012).

Itaqui e São Borja são municípios que possuem fronteira fluvial através do Rio Uruguai com a Argentina, devido a esse fator a pesca também é atividade importante sendo praticada principalmente por populações ribeirinhas.

No referente ao setor industrial e de prestação de serviços conforme dados do IBGE (2014) Maçambará possui um número de empresas atuantes no município em 2012 de 1.252 unidades todas locais, empregando 5.190 com salário médio mensal de 2,3 salários mínimos. Maçambará contava com 66 unidades no mesmo ano sendo todas elas locais, empregando 325 pessoas e com salário médio mensal de 2,2 salários mínimos. Já São Borja para o mesmo ano de 2012 o número era maior, 1.794 unidades sendo todas elas locais, empregando 9.218 pessoas e com salário médio mensal de 2,3 salários mínimos.

No que diz respeito à população, Itaqui, município fundado em 1858, possuía um contingente populacional de 38.159 habitantes no ano de 2010, sendo que para o ano de 2014 foi estimado que o número de habitantes seria de 39.129 hab. Estes distribuídos por sua área territorial de 3.404,037 km<sup>2</sup> garantindo uma densidade demográfica de 11,21 hab/km<sup>2</sup>. Sua população em maior parte era residente em área urbana correspondendo à 33.311 pessoas, estando dispostas 4.848 mil pessoas em área rural.

Em Maçambará no ano de 2010 o número de habitantes era de 4.738, e para o ano de 2014 foi estimado que o número de habitantes seria de 4.834, dispostos em área territorial de 1.682,820 km<sup>2</sup> gerando uma densidade demográfica baixa de 2.82 hab/km<sup>2</sup>. O número de residentes em área rural no município é de 1.310 pessoas, já na área urbana esse número passa a ser de 3.428 pessoas. O contingente populacional residente em área rural elevado desse município, cerca de 40%, é devido a sua economia estar voltada principalmente para a produção agropecuária. E o pequeno contingente populacional como um todo se deve ao fato de o município apenas ter se emancipado no ano de 1993.

Já o município de São Borja foi fundado por Alvará de outubro 1987 com a denominação de São Francisco de Borja instalado apenas em 1834. O distrito sede era chamado São Borja e, o município assim passou a se chamar a partir de 1850.

Sua população no ano de 2010 contava com o número de 61.671 habitantes, e para o ano de 2014 foi estimado que o número de habitantes seria de 63.089. Sua área territorial é de 3.616,019 km<sup>2</sup> garantindo uma densidade demográfica de 17,05 hab/km<sup>2</sup>. Dessa população 6.533 pessoas são residentes em área rural, já em área urbana, esse número de residentes é de 55.138 pessoas.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos seguiram algumas etapas que estão descritas a seguir e demonstradas no fluxograma a seguir (Figura 16).

Primeiramente se deu a coleta de dados a serem utilizados na pesquisa e posteriormente a etapa de geoprocessamento e a etapa de trabalho de campo que ocorreu concomitantemente com a etapa de geoprocessamento uma vez que estas se complementam.

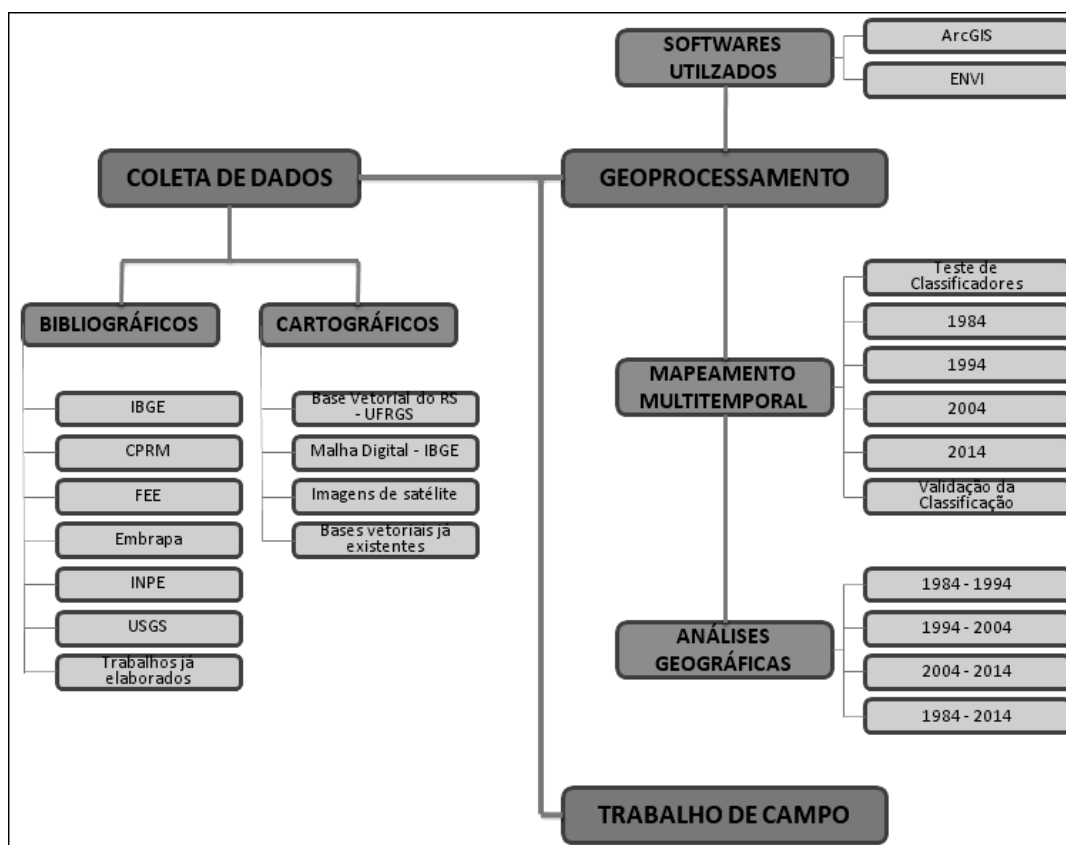


Figura 16 – Fluxograma metodológico

### 2.1 Coleta de dados

Os dados coletados para a realização da pesquisa podem ser subdivididos em dois grupos, os bibliográficos e os cartográficos. Os dados bibliográficos foram

utilizados principalmente para fundamentar teoricamente a pesquisa e os dados cartográficos foram utilizados principalmente na etapa de geoprocessamento na compilação de outros dados e geração de informações.

### 2.1.1 Dados Bibliográficos

O presente estudo foi fundamentado principalmente em artigos, livros, capítulos, teses, dissertações e demais trabalhos científicos que tratam dos assuntos abordados, tais como, arenização, SIG, geoprocessamento, sensoriamento remoto e mapeamento do uso e cobertura da terra.

Os principais órgãos e institutos consultados para o embasamento da pesquisa foram o Instituto Brasileiro de Economia e Estatística (IBGE) e a Fundação de Economia e Estatística (FEE) com dados socioeconômicos, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) com dados geológicos, a Embrapa onde se obtiveram dados de solos, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com dados atmosféricos e, este último juntamente com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), dados de sensoriamento remoto.

### 2.1.2 Dados Cartográficos

Dentre os dados cartográficos coletados está a base vetorial do Rio Grande do Sul, a malha municipal digital do Rio Grande do Sul, quatro imagens de satélite LANDSAT e outras bases vetoriais já existentes.

#### 2.1.2.1 Base vetorial do Rio Grande do Sul

A base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul foi elaborada por Hasenack e Weber (2010), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Essa base contém, em formato *shapefile*, elementos de altimetria, hidrografia, sistema viário, manchas urbanizadas e limites do Estado, resultantes da vetorização de 462 cartas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:50.000 do estado do Rio Grande do Sul. Os dados utilizados possuem coordenadas UTM, pertencentes ao fuso 21, e datum SIRGAS2000.

Essa base vetorial encontra-se disponível para *download* através do site do Centro de Ecologia da UFRGS (<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>) em três diferentes sistemas de coordenadas: coordenadas geodésicas (latitude e longitude), projeção conforme cônica de Lambert e projeção UTM. Os dados estão georreferenciados ao datum SIRGAS2000 e armazenados no formato *shapefile*.

A base utilizada possui dados com projeção UTM, pertencentes ao fuso 21. Dessa base foram extraídos os elementos espaciais contidos no interior da área de estudo, utilizando o *software* ArcGIS, sendo que alguns elementos, como a rede de drenagem, sofreram algumas adaptações para melhor representar a realidade a campo.

#### 2.1.2.2 Malha municipal do Rio Grande do Sul

A Malha Municipal digital do Rio Grande do Sul (IBGE, 2010) possui escala 1:250.000, sistema de coordenadas geográficas Lat/Long e datum SIRGAS2000. A Malha Municipal do Rio Grande do Sul foi obtida por meio de *download* através do site do IBGE (<http://www.ibge.gov.br>).

As bases cartográficas que compõem essa Malha apresentam as seguintes unidades territoriais: Municípios, Microrregiões, Mesorregiões e Unidade da Federação. No presente estudo foram utilizadas as bases cartográficas dos municípios e da Unidade da Federação, onde foram extraídos os limites dos municípios banhados pela BH do Arroio Puitã.

### 2.1.2.3 Imagens de satélite

A partir do período do estudo multitemporal correspondente a 30 anos (1984 à 2014) foi estabelecida a análise do uso da terra com intervalos correspondentes a 10 anos, compreendendo um total de 4 imagens referentes aos anos de 1984, 1994, 2004 e 2014.

As imagens adquiridas têm como fonte o USGS, órgão responsável pela distribuição dos dados do LANDSAT, que as disponibiliza de maneira gratuita através do portal do GLOVIS<sup>1</sup> (<http://glovis.usgs.gov>). O USGS é o órgão oficial responsável pela atividade de distribuição dos dados dos satélites LANDSAT. Mediante solicitação através do portal as imagens foram disponibilizadas para *download* corrigidas geometricamente. Dentre os critérios de seleção das imagens estão a coerência entre si quanto ao período do ano em que foram adquiridas e a melhor qualidade possível buscando o mínimo percentual de interferência de nuvens.

As imagens selecionadas estão descritas abaixo:

- Três imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)* do satélite Landsat 5 em formato digital, órbita-ponto 224-080, de 2 de Julho de 1984, 12 de Junho de 1994 e 09 de Julho de 2004, respectivamente.
- Uma imagem do sensor *Operational Terra Imager (OLI)* e *Thermal Infrared Sensor (TIRS)* do satélite Landsat 8. A imagem foi captada em 06 de Agosto de 2014, com órbita-ponto 224-080.

Das quatro imagens usadas nesse trabalho três foram obtidas através do sensor TM do Landsat 5. Dessas imagens foram consideradas apenas as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. A última imagem a ser utilizada foi captada pelo sensor OLI do Landsat 8 com a utilização das bandas 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Apesar do Landsat 8 possuir dois sensores de captação (OLI e TIRS), apenas algumas bandas do sensor OLI foram utilizadas.

As bandas utilizadas das imagens provenientes dos sensores LANDSAT possuem resolução espacial de 30 metros, ou seja, no terreno 1 pixel equivale a

---

<sup>1</sup> The USGS Global Visualization Viewer

900m<sup>2</sup>. Como as bandas das imagens já são disponibilizadas corrigidas geometricamente, não necessitam georreferenciamento.

As resoluções radiométricas dos sensores do LANDSAT 8 e do LANDSAT 5 são diferentes, 16 bits e 8 bits por pixel respectivamente, ou seja, os sensores OLI e TIRS possuem uma melhor capacidade em detectar as variações de radiância espectral recebida. Com melhor resolução radiométrica a imagem do LANDSAT 8 apresenta maior número de níveis de cinza o que facilita o processo de reconhecimento de alvos podendo ser vantajosa em relação as imagens oriundas do LANDSAT 5 nesse aspectos apesar de apresentarem mesma resolução espacial.

## 2.2 Geoprocessamento

A etapa de geoprocessamento correspondeu ao processamento e análise das informações georreferenciadas com a geração dos mapeamentos e uso e cobertura do solo e realização das análises a partir da integração de dados já existentes e informações geradas a partir da utilização de aplicativos computacionais e técnicas matemáticas que estão descritas a seguir.

### 2.2.1 Softwares utilizados

Os aplicativos computacionais ou *softwares* utilizados na etapa de Geoprocessamento para o processamento das imagens digitais, geração e cruzamento das informações foram o ArcGIS 10 e o ENVI 4.8. Os mapeamentos de uso e cobertura do solo, teste de algoritmos classificadores e validação das classificações foram realizados utilizando-se o aplicativo ENVI, já as análises geográficas e criação de layouts foram realizadas por meio do software ArcGIS.

O ArcGIS (Figura 17) é produzido pelo *Environmental Systems Research Institute (ESRI)* e constituído por um pacote de *softwares* de SIG's, que dispõe uma grande diversidade de ferramentas de forma integrada e de fácil utilização. Fornece informações baseadas em padrões para a realização de análise espacial,

armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento.

Como um SIG nele a aquisição de dados pode-se dar em meio digital, por meio de dados alfanuméricos ou espaciais, de planilhas de dados, pelo uso de sistemas de posicionamento por satélite (GPS) e por processos de digitalização ou vetorização.

Os dados alfanuméricos são armazenados em forma de planilhas e tabelas e possuem atributos referentes aos dados espaciais e vem complementá-los, estes devem ser passíveis de edição. Já os dados gráficos são armazenados na forma de vetores ou na forma de matrizes.

O ArcGis é constituído principalmente pelo ArcCatalog, ArcMap e ArcToolBox. O ArcCatalog é destinado ao gerenciamento dos dados a serem trabalhados (conectar, pré-visualizar, criar arquivos, modificar, etc). No ArcMap se dá a aplicação mais central do SIG, onde é possível se trabalhar com os dados e informações geográficas, gerar mapas e trabalhar com diversas questões relacionadas com análise espacial. E, no ArcToolBox, tem-se as diversas ferramentas do ArcGis, extensões do ArcMap, que permitem a realização de operações com os dados geográficos.

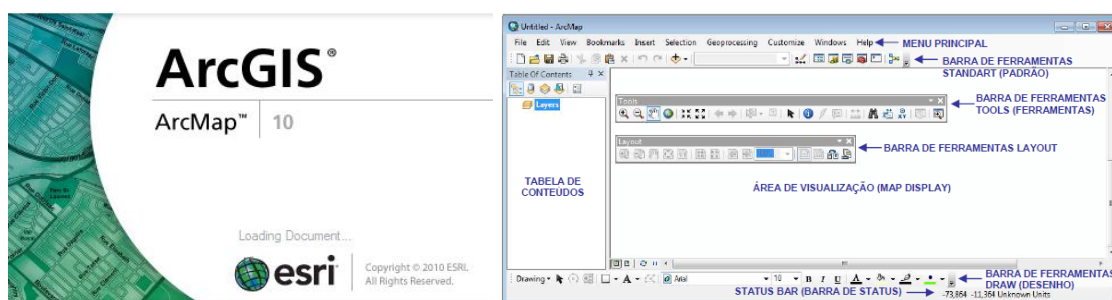


Figura 17 – Interface do aplicativo ArcMap componente do ArcGIS.

Fonte: Santos et al, 2014, adaptado pela autora.

Por sua vez o *software* denominado *Environment for Visualizing Images* (ENVI) (Figura 18) é um *software* de processamento de imagens espectrais, exploração, análise geoespacial, e apresentação de dados na área de sensoriamento remoto/SIG. O ENVI alia ferramentas de elevado desempenho e facilidade de análise e processamento espectral. No ENVI a interface ao carregar



uma banda ou imagem apresenta três janelas com diferentes *zooms* facilitando muito principalmente a coleta de amostras.

Sua utilização aqui foi principalmente para o processamento digital das imagens, com a composição RGB de bandas das imagens utilizadas, aplicação de realce, coleta de amostras das classes de uso e cobertura da terra, geração de classificações supervisionadas, realização de pós-classificação.



Figura 18 – Interface do Software ENVI

Fonte: SulSoft, 2014.

### 2.2.2 Mapeamento Multitemporal

Para que sejam perceptivas e comparativas mudanças no uso e cobertura da terra de determinado ambiente se faz necessário o acompanhamento e a comparação entre imagens de diferentes épocas do local em estudo, neste caso imagens dos anos de 1984, 1994, 2004 e 2014.

Para a presente pesquisa foi escolhido o método de classificação supervisionada, pois este permite um “controle” por parte do analista da classificação. Porém para tal foram testados algoritmos classificadores para verificar qual seria o mais adequado para o correto reconhecimento e rotulamento, a correta classificação dos pixels das imagens de acordo com os padrões espectrais dos alvos reconhecidos.

Primeiramente então se testou classificadores para verificar o melhor método classificador, posteriormente foram gerados os mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1984, 1994, 2004 e 2014 e por fim foram geradas as matrizes de confusão para cada imagem classificada a fim de validar as classificações.

### 2.2.2.1 Teste de classificadores

Para a confecção dos mapas de uso e cobertura da terra foram testados cinco métodos classificadores: Mínima Distância ou Distância Euclidiana; Paralelepípedo; Máxima Verossimilhança (MAXVER), Mahalanobis e Spectral Angle Mapper (SAM).

Os métodos classificadores foram testados somente na imagem captada pelo LANDSAT 8, imagem mais atual (2014), pois somente para a mesma houve a possibilidade de levantamento à campo de dados para posterior validação das classificações e avaliação dos classificadores.

A eficácia e escolha dos algoritmos classificadores testados foi avaliada através da análise da matriz de confusão gerada para cada classificação oriunda de um diferente classificador, considerando os valores de índice Kappa com base no que foi proposto por Landis e Koch (1977). Assim, primeiramente foram considerados os melhores resultados de classificação para o tema dos areais. Como houve mais de um classificador com classificação excelente para o tema areais, foi avaliado o melhor coeficiente kappa para a classificação como um todo, ou seja, todos os temas e píxeis corretamente ou não corretamente classificados.

### 2.2.2.2 Classificação das imagens

Para a classificação das imagens algumas etapas foram processadas, como: o reconhecimento dos padrões espectrais dos alvos e determinação das classes; a coleta de amostras de treinamento nas imagens; verificação do grau de separabilidade das amostras; aplicação do método classificador pré-escolhido. O processo de classificação das imagens foi realizado por meio da utilização do software ENVI.

Para realizar a classificação supervisionada foi necessária primeiramente a coleta de amostras (pixels) de treinamento nas imagens, para cada classe de uso e cobertura da terra com base nos padrões identificados em cada imagem. As classes de uso e cobertura da terra definidas no estudo de acordo com os alvos presentes

na área imageada. Foram 7: agricultura, areal, água, campo, floresta nativa, silvicultura e solo exposto.

Nessa etapa coletaram-se também amostras para serem utilizadas posteriormente na validação das classificações para os anos de 1984, 1994 e 2004.

Na figura a seguir encontram-se descritas as classes temáticas consideradas na pesquisa, sua representação real no terreno a partir de fotografias e sua representação na imagem composição falsa cor R5G4B3 para imagens dos LANDSAT 5 e R6G5B4 para o LANDSAT 8 exemplificando características das amostras de treinamento representativas dos padrões de cada classe (Figura 19). Houve aplicação de realce por contraste linear apenas em uma imagem auxiliar para o melhor reconhecimento das áreas arenosas, porém as amostras foram coletadas sobre imagem sem aplicação de contraste.

No momento da escolha das amostras de interesse foram definidas cores para cada classe que foram posteriormente expostas na imagem classificada de acordo com a classe correspondente.

Após a coleta das amostras foi verificado o grau de separabilidade entre as mesmas para as classes definidas, para grandes problemas de confusão entre as classes durante a classificação.

Após a coleta das amostras de treinamento realizou-se a classificação das imagens propriamente dita com a aplicação do algoritmo classificador escolhido, denominado MAXVER.

Por fim as classes de uso e cobertura a terra de cada ano foram quantificadas para análise e os layouts dos mapas de uso e cobertura foram editados para apresenta apresentação final dos mesmos.















Descrição das classes temáticas	Fotografia	Composição R5G4B3
ÁGUA: representada pelos cursos d'água da bacia e também pelos açudes e represas existentes na área		
AGRICULTURA: compreendem áreas com presença de cultivos agrícolas principalmente soja, arroz. Também engloba áreas com cultivo de pastagens.		
AREAL: caracterizada por áreas com acelerado processo erosivo e com presença de areia exposta.		
CAMPO: representado por campo nativo limpo ou sujo.		
FLORESTA: representada por espécies florestais nativas em estágio de formação inicial ou espécies já adultas.		
SILVICULTURA: marcada por locais onde há cultivo de espécies florestais exóticas como Pinus e Eucalipto.		
SOLO EXPOSTO: representada principalmente por áreas em que o solo está em preparo para a agricultura ou em que há plantios recentes de cultivos temporários.		

Figura 19 – Descrição das classes temáticas sua representação real no terreno e sua representação na imagem composição RGB.

### 2.2.2.3 Validação das classificações

Após a obtenção de cada classificação deu-se o processo validação das mesmas, para avaliar se o resultado foi satisfatório e condizente com a realidade de campo.

Na pesquisa primeiramente foram realizados testes para avaliar a eficácia de cinco algoritmos classificadores frente ao mapeamento dos areas. Para avaliar cada algoritmo classificador testado utilizaram-se as mesmas amostras de verdade do terreno. Foram cruzados então os dados gerados nas classificações para cada algoritmo com os dados coletados a campo.

A matriz de confusão expôs a acurácia das classificações e o número de pixels corretamente classificados para cada classe correspondente e também os pixels atribuídos erroneamente à outra classe, podendo-se assim verificar a eficácia dos classificadores em reconhecer às áreas correspondentes aos areas.

Após o teste e escolha do algoritmo classificador sobre a imagem de 2014 foram realizadas as demais classificações, ou seja, para os anos de 1984, 1994 e 2004. Para avaliar essas classificações, incluindo a correspondente ao ano de 2014, foram utilizados os índices ou coeficientes kappa, gerados a partir das matrizes de confusão.

Para validar a classificação do ano de 2014 foram utilizadas amostras coletadas na etapa de campo para a comparação, já para as demais imagens (1984, 1994 e 2004) foram utilizadas amostras puras coletadas das imagens bem características dos temas e que não foram utilizadas nas classificações.

Na avaliação da qualidade da classificação foi utilizada a tabela (Tabela 1) proposta por Landis e Koch (1977). Esta contém valores que relacionam a qualidade da classificação conforme o Coeficiente Kappa.

TABELA 1 – QUALIDADE DA CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO INTERVALOS DO COEFICIENTE KAPPA

<b>Valor Kappa</b>	<b>Qualidade da classificação</b>
<b>&lt; 0,00</b>	Péssima
<b>0,00 – 0,20</b>	Ruim
<b>0,20 – 0,40</b>	Razoável
<b>0,40 – 0,60</b>	Boa
<b>0,60 – 0,80</b>	Muito Boa
<b>0,80 – 1,00</b>	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

### 2.2.3 Análises geográficas

Após a validação, as classes referentes a cada imagem classificada foram transformadas de *raster* para *vetor*, transformadas para o formato *shapefile* e as áreas quantificadas. Com as áreas definidas e com as informações vetorizadas foi possível fazer o cruzamento das informações entre as diferentes datas e fazer as análises geográficas.

Foi realizada a comparação e o cruzamento das áreas de areais das imagens a fim verificar se houve retração, estagnação ou expansão dessas áreas de 1984 até 2014, e, se houveram, onde ocorreram e quais foram as principais mudanças no uso e ocupação do solo nessas áreas. Foi realizado o cruzamento das classificações de 1984 – 1994, 1994 – 2004, 2004 – 2014 e 1984 – 2014.

As demais classes foram quantificadas e analisadas as principais mudanças no uso e cobertura da terra e se as mesmas influíram ou não mudanças no uso do solo nas áreas arenosas.

Posterior ao cruzamento das informações trabalhou-se com a apresentação dos dados analisados e das informações geradas onde estes foram expostos por meio de tabelas, gráficos e mapas principalmente.

As análises geográficas e formatação final dos mapas temáticos foram processadas utilizando o software ArcGIS 10.0.

## 2.3 Trabalho de campo

A etapa de campo teve como umas das finalidades efetuar a reambulação temática. O processo de reambulação constituiu na verificação *in loco* dos alvos reconhecidos nas imagens de satélite que correspondem ao uso e cobertura da terra a fim de esclarecimentos de dúvidas quanto à identificação e localização dos mesmos.

Outras finalidades foram a coleta de pontos representativos dos alvos em estudo para posterior validação das classificações e coleta de imagens referentes a esses alvos, principalmente dos areais.

O trabalho de campo foi realizado utilizando veículo próprio para deslocamento. A saída e chegada à área de interesse se deram no dia 17 de setembro e o retorno no dia 18 de setembro do ano de 2014, totalizando dois dias, onde o pernoite se deu na cidade de Manoel Viana/RS.

Os materiais utilizados a campo (Figura 20) foram: 2 equipamentos de posicionamento global via satélite (GPS) modelo GARMIN 62s, imagem com composição colorida, mapa de localização, croquis, câmeras fotográficas e planilhas para preenchimento com dados de campo contendo os pontos, as coordenadas, número de fotografia (para posterior verificação) e a descrição do uso e cobertura da terra nos locais e veículo para deslocamento a campo.

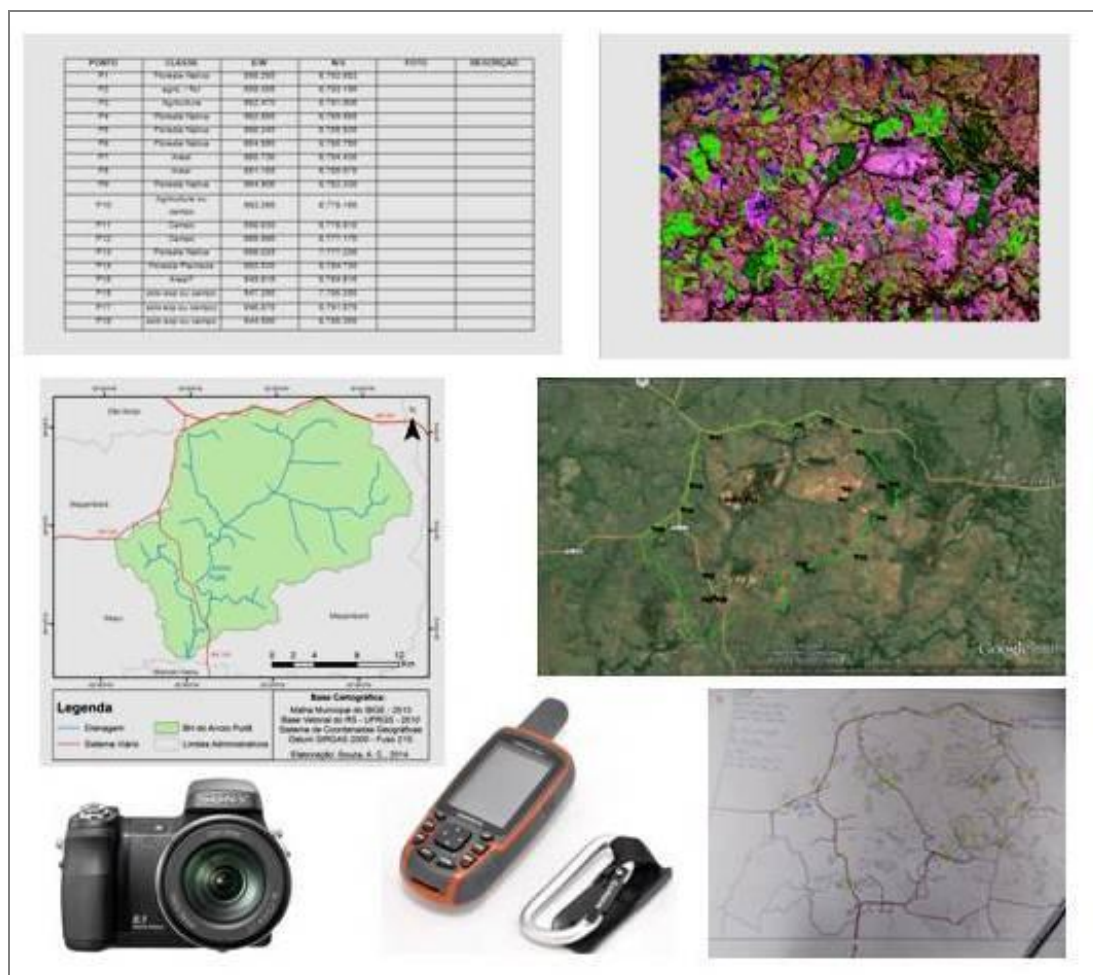


Figura 20 – Representação de alguns materiais utilizados a campo.

Com o uso dos aparelhos GPS se deu a coleta de pontos amostrais bem característicos de cada tema ou classe de uso e cobertura do solo considerado no estudo, onde, posteriormente, foi realizada a comparação desses pontos coletados a campo com os mesmos locais nas imagens classificadas com a extinção de possíveis dúvidas, bem como a geração da matriz de confusão.

Foram verificados 64 pontos “in loco” referentes aos seguintes temas agricultura, areal, água, campo, floresta nativa, silvicultura e solo exposto. Destas, 8 amostras para cada tema exceto para os areais que foram coletadas 16 amostras devido a ser o tema de maior interesse na presente pesquisa. Foram registradas imagens referentes a esses temas correspondem às classes temáticas de uso e ocupação da terra.

A etapa de campo foi realizada no período próximo à data de captação da imagem referente ao ano de 2014, adquirida em 06 de Agosto de 2014, devido à necessidade de os alvos a campo serem compatíveis a aqueles reconhecidos na imagem e também à impossibilidade de conferir *in loco* alvos das demais imagens capturadas em data anterior ao início do estudo.

A realização do campo não se deu de imediato à aquisição da imagem devido a imprevistos principalmente meteorológicos, porém isso não atrapalhou no reconhecimento dos alvos, visto que apenas algumas áreas onde havia solo exposto no momento de coleta da imagem agora apresentavam áreas recém plantadas com a presença de pequenos cultivares.

Também foram verificados os principais agentes e processos da dinâmica superficial presentes na área de estudo, principalmente nos locais com presença e areais.



### 3 RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados os resultados referentes ao teste de classificadores, ao mapeamento multitemporal 1984 a 2014 e ao trabalho de campo, e ao mapeamento e análise da evolução dos areas de 1984 a 2014.

#### 3.1 Teste de Classificadores

O objetivo de se realizar um teste de algoritmos classificadores foi de fazer a determinação de qual o algoritmo mais eficiente na classificação, mapeamento de areas. A partir do teste de cinco algoritmos classificadores sobre a imagem de 2014, captada pelo sensor OLI, foram obtidos cinco mapas e a partir delas cinco matrizes de confusão a fim de verificar qual obteve melhores resultados.

A seguir estão apresentados os mapas e as matrizes de confusão gerados a partir dos classificadores *Mínima Distância*, *Mahalanobis*, *Paralelepípedo*, *SAM* e *Maxver*.

O mapa a seguir (Figura 21) foi gerado a partir do algoritmo classificador denominado *Mínima Distância* que calcula a distância entre um pixel e as médias das classes e atribui este pixel à classe que for mais próxima.

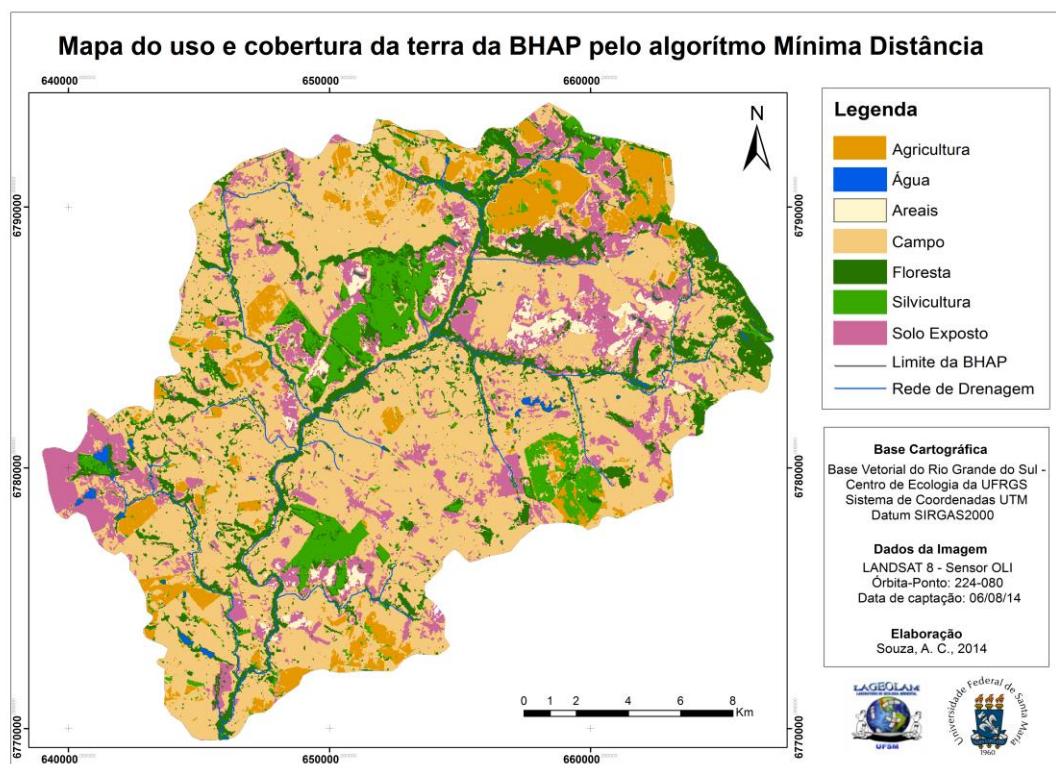


Figura 21 – Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por Mínima Distância

A matriz de confusão (Tabela 2) gerada a partir da classificação utilizando o algoritmo *Mínima Distância* revela uma Acurácia Global de 95,48% e um Coeficiente Kappa de 0,9466 o que qualifica a classificação como excelente numa análise geral.

TABELA 2 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR MÍNIMA DISTÂNCIA

		MATRIZ DE CONFUSÃO*							TOTAL	
		VERDADE DE CAMPO (%)**								
CLASSIFICAÇÃO (%)	CLASSES	Agricultura	Água	Areais	Campo	Floresta	Silvicultura	Solo Exposto		
	Não classificados	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Agricultura	73,02	0,00	0,00	6,54	0,00	0,00	0,00	8,88	
	Água	0,00	100,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	7,71	
	Areais	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,92	
	Campo	12,70	0,00	0,00	93,46	0,00	0,00	0,00	18,09	
	Floresta	3,17	0,00	0,00	0,00	98,10	1,10	0,00	17,76	
	Silvicultura	11,11	0,00	0,00	0,00	0,95	98,90	0,00	16,42	
	Solo Exposto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	13,23	
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>		
<b>Acurácia Global</b>		95,48%								
<b>Coeficiente Kappa</b>		0,9466								

\*A matriz de confusão correlaciona os dados gerados pela classificação com os dados levantados a campo. Na diagonal principal estão apresentados os pixels (%) corretamente classificados e fora dessa diagonal estão os pixels não corretamente classificados. \*\*Dados correspondes ao que existe realmente no terreno. \*\*\*Dados gerados a partir da classificação digital.

O mapa de uso e cobertura da terra gerado por *Distância Mahalanobis* (Figura 22) está exposto a seguir e foi obtido por meio da utilização de estatísticas para cada classe, assumindo que a covariância de todas amostras são iguais.

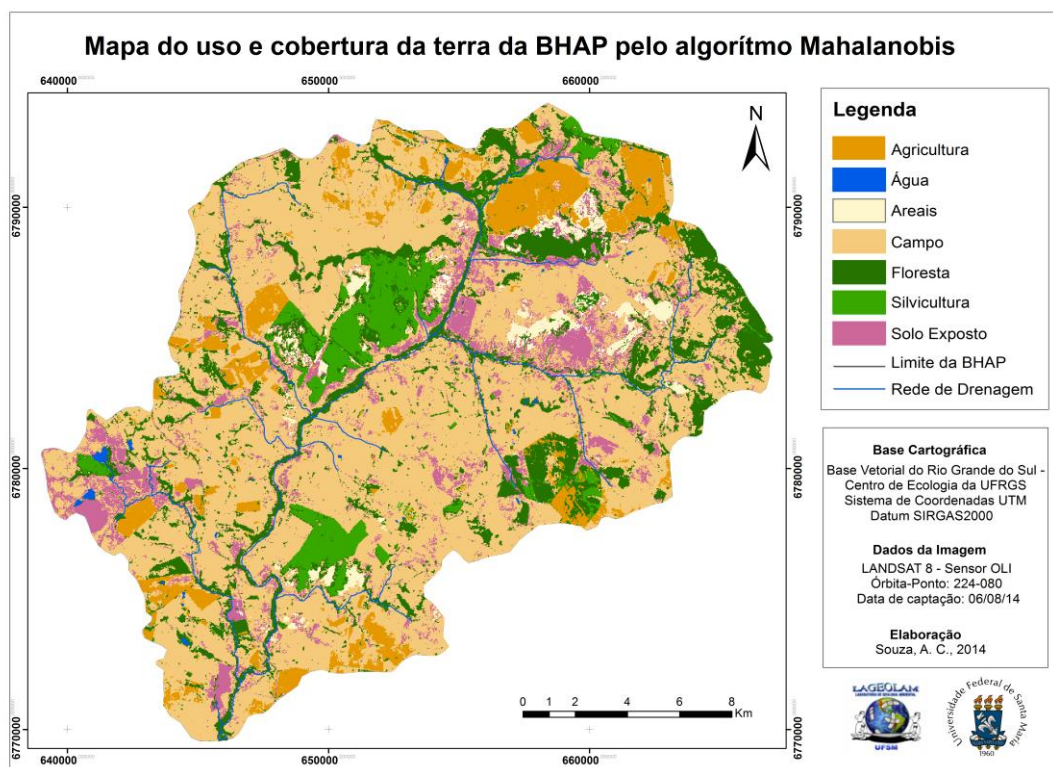


Figura 22 - Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por Mahalanobis

A matriz de confusão (Tabela 3) gerada através desse classificador mostra que a Acurácia Global da classificação é 87.6% e o Coeficiente Kappa 0.8528 também qualificando a classificação como excelente.

TABELA 3 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR MAHALANOBIS

		MATRIZ DE CONFUSÃO							
		VERDADE DE CAMPO (%)							
	CLASSES	Agricultura	Água	Areais	Campo	Floresta	Silvicultura	Solo Exposto	TOTAL
CLASSIFICAÇÃO (%)	Não classificados	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Agricultura	61,90	0,00	0,93	5,61	0,00	0,00	0,00	7,71
	Água	0,00	73,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,53
	Areais	0,00	0,00	96,26	0,00	0,00	0,00	0,00	17,25
	Campo	3,17	0,00	0,00	94,39	0,00	0,00	3,80	17,76
	Floresta	17,46	26,67	0,00	0,00	100,00	0,00	31,65	25,63
	Silvicultura	17,46	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	17,09
	Solo Exposto	0,00	0,00	2,80	0,00	0,00	0,00	64,56	9,05
	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Acurácia Global		87,60%							
Coeficiente Kappa		0,8528							

O mapa a seguir (Figura 23) foi gerado pelo algoritmo classificador denominado *Máxima Verossimilhança* ou *Maxver* que considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, assumindo que todas as bandas têm distribuição normal e calculando a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica.

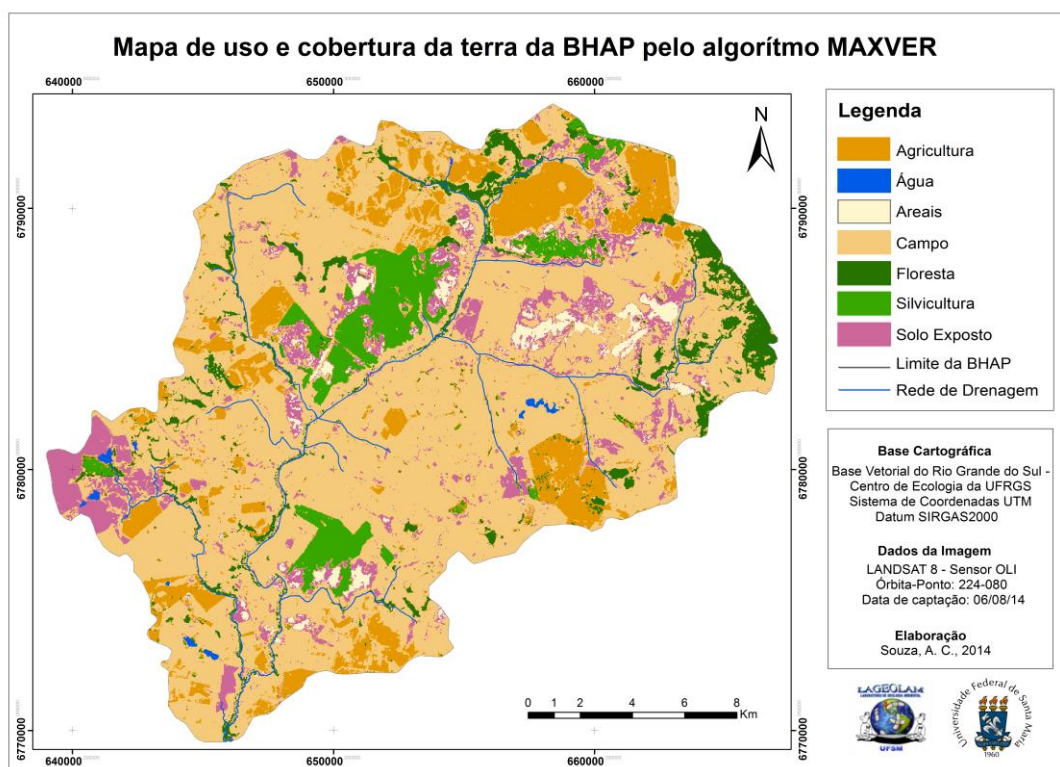


Figura 23 – Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por Maxver

TABELA 4 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR MAXVER

		MATRIZ DE CONFUSÃO							TOTAL	
		VERDADE DE CAMPO (%)								
CLASSIFICAÇÃO (%)	CLASSES	Agricultura	Água	Areais	Campo	Floresta	Silvicultura	Solo Exposto		
	Não classificados	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0
	Agricultura	84,13	0,00	0,00	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	60
	Água	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45
	Areais	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	107
	Campo	15,87	0,00	0,00	99,07	0,00	0,00	0,00	0,00	110
	Floresta	0,00	0,00	0,00	0,00	99,05	0,00	0,00	0,00	105
	Silvicultura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	100,00	0,00	0,00	91
	Solo Exposto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	79
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
Acurácia Global		97,15%								
Coeficiente Kappa		0,9664								



Os valores de Coeficiente Kappa e Acurácia Global obtidos pela classificação utilizando *Maxver* validaram a classificação como excelente, sendo os mesmos 0,9664 e 97,15%, respectivamente (Tabela 4).

No método do *Paralelepípedo* é considerada uma área no espaço de atributos ao redor do conjunto de treinamento, sendo que essa área tem a forma de um paralelepípedo. Aqui o pixel pode “cair” dentro de apenas um paralelepípedo, dentro de mais de um onde a distância do centro do paralelepípedo é considerada no cálculo, ou fora de qualquer paralelepípedo configurando assim a situação de pixel não classificado como ocorreu nessa classificação e exposto no mapa a seguir (Figura 24).

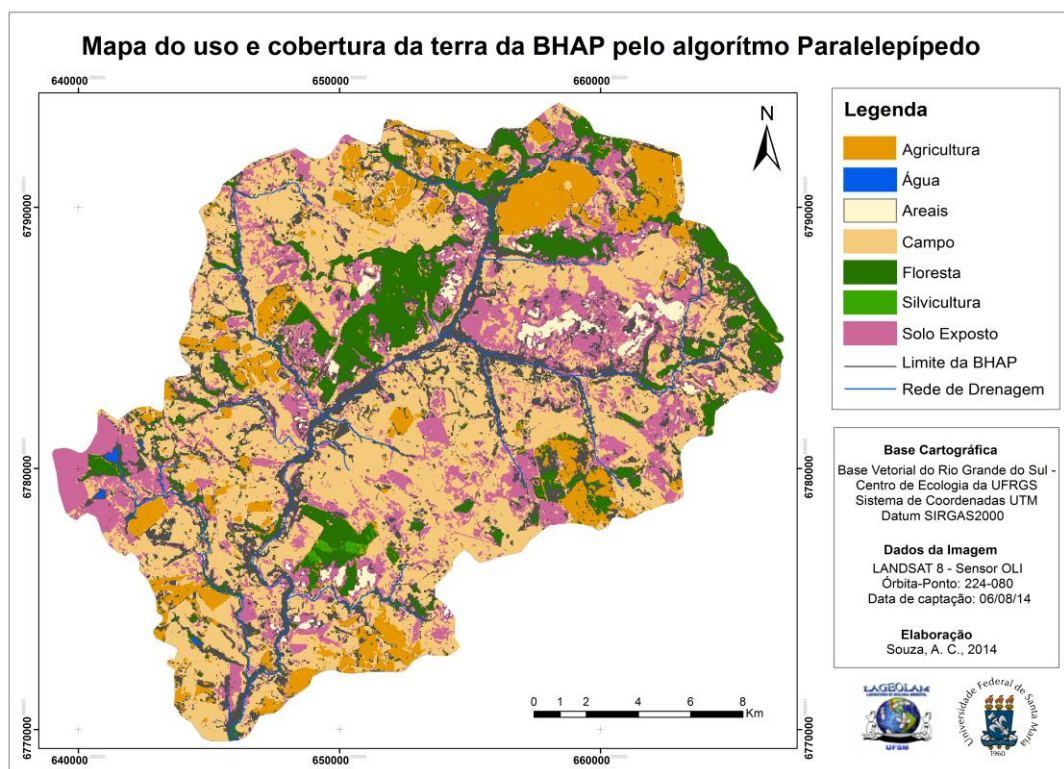


Figura 24 – Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por Paralelepípedo

Para esse o mapa gerado a partir desse classificador a matriz de confusão (Tabela 5) nos revela uma Acurácia Global de 76,72% e um Coeficiente Kappa de 0,7264 correspondendo assim a uma classificação dita muito boa, porém não excelente, segundo Landis e Koch (1977).

TABELA 5 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR PARALELEPÍPEDO

		MATRIZ DE CONFUSÃO							
		VERDADE DE CAMPO (%)							
CLASSIFICAÇÃO (%)	CLASSES	Agricultura	Água	Areais	Campo	Floresta	Silvicultura	Solo Exposto	TOTAL
	Não classificados	14,29	48,89	3,74	4,67	0,00	0,00	0,00	6,70
	Agricultura	80,95	0,00	0,00	4,67	0,00	0,00	0,00	9,38
	Água	0,00	51,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,85
	Areais	0,00	0,00	96,26	0,00	0,00	0,00	0,00	17,25
	Campo	3,17	0,00	0,00	90,65	0,00	0,00	0,00	16,58
	Floresta	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	32,83
	Silvicultura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Solo Exposto	1,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	13,40
	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Acurácia Global</b>		76,72%							
<b>Coefficiente Kappa</b>		0,7264							

O mapa obtido através do classificador *Mapeador de Ângulo Espectral –SAM* (Figura 25) foi gerado a partir da utilização do ângulo entre as amostras de treinamento no espaço de  $n$  dimensões para determinar os pixels para uma tal classe, onde ângulos menores representam relações mais próximas com a dada classe em questão e pixels fora do ângulo máximo não são classificados.

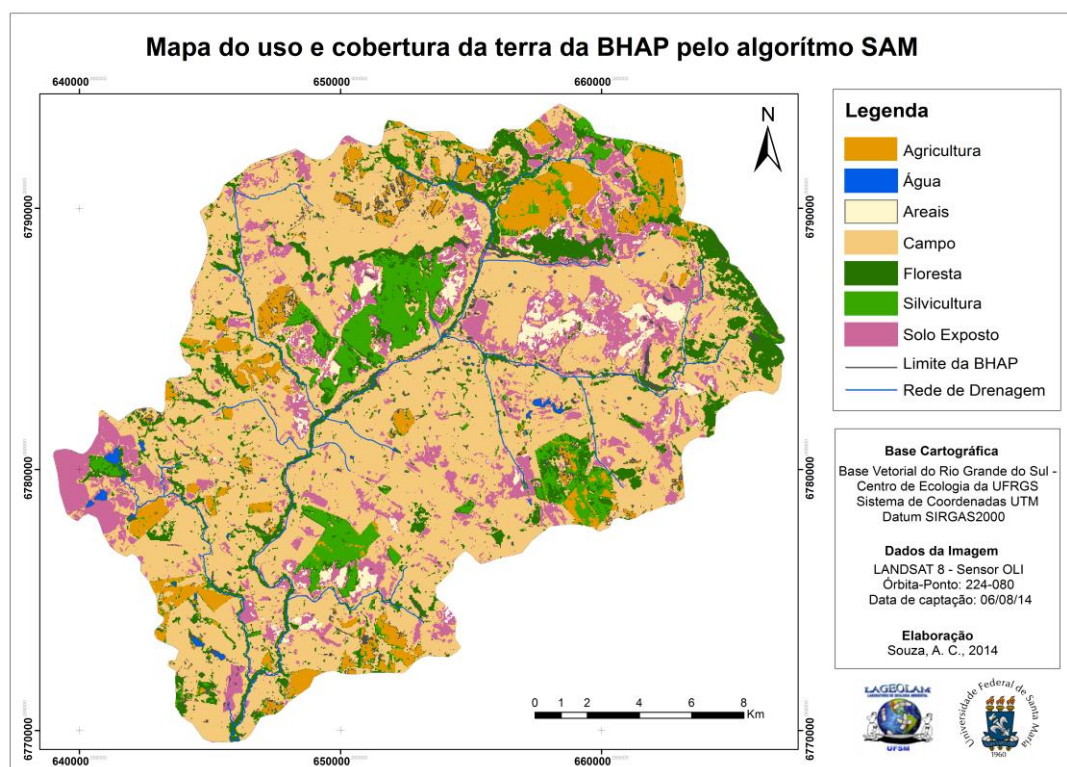


Figura 25 – Mapa do uso e cobertura da terra da BHAP por SAM

O Coeficiente Kappa obtido para a classificação pelo algoritmo SAM foi igual a 0,937 e a Acurácia Geral de 94,64% definindo a classificação como excelente, conforme exposto na matriz de confusão (Tabela 6).

TABELA 6 – MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA POR SAM

		MATRIZ DE CONFUSÃO							TOTAL
		VERDADE DE CAMPO (%)							
CLASSIFICAÇÃO (%)	CLASSES	Agricultura	Água	Areais	Campo	Floresta	Silvicultura	Solo Exposto	
	Não classificados	11,11	0,00	0,00	3,74	5,71	0,00	0,00	2,85
	Agricultura	73,02	0,00	0,00	3,74	0,00	0,00	0,00	8,38
	Água	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,54
	Areais	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,92
	Campo	11,11	0,00	0,00	92,52	0,00	0,00	0,00	17,76
	Floresta	4,76	0,00	0,00	0,00	93,33	0,00	0,00	16,92
	Silvicultura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	100,00	0,00	15,41
	Solo Exposto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	13,23
	TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Acurácia Global		94,64%							
Coeficiente Kappa		0,937							

A fim de decidir qual o método ou algoritmo classificador que foi mais eficiente que os demais foram considerados primeiramente a melhor classificação da classe areais e posteriormente melhor Acurácia Global e Coeficiente Kappa. Na tabela a seguir (Tabela 7) estão expostos os resultados de cada classificador utilizado para cada um dos itens considerados na avaliação descritos anteriormente.

TABELA 7 – AVALIAÇÃO DOS ALGORÍTMOS CLASSIFICADORES

	Mínima Distância	Mahalanobis	MAXVER	Paralelepípedo	SAM
Areais	100,00%	96,26%	100,00%	96,26%	100,00%
Acurácia Global	95,48%	87,60%	97,15%	76,72%	94,64%
Coeficiente Kappa	0,9466	0,8528	0,9664	0,7264	0,937

Com resultados 100% de acurácia no principal quesito considerado a classificação dos areais, estão os classificadores *Mínima Distância*, *Maxver* e *SAM*. Esse resultado significa que a verdade de campo do tema areais condiz totalmente com o que foi classificado automaticamente como pertencente ao tema areais.

Assim, se descarta os demais classificadores denominados *Mahalanobis* e *Paralelepípedo*, ambos com 96,26% de acerto na classificação da classe áreas.

Assim a fim de escolher o classificador a ser utilizado para a elaboração dos demais mapas de uso e cobertura da terra, para os anos de 2004, 1994 e 1984, além de 2014, foram considerados o melhor Coeficiente Kappa e Acurácias Global das classificações.

Com os melhores resultados na classificação como um todo, considerando todas as classes, o algoritmo classificador denominado *Maxver* foi o que obteve melhores resultados sendo assim considerado o mais eficiente e adequado a ser utilizado nas demais classificações.

O valor de Acurácia Global considera em seu cálculo os pixels da diagonal principal da matriz de confusão, ou seja, apenas os pixels corretamente classificados, e para a classificação a partir do *Maxver* esse valor foi de 97,15%.

No Coeficiente Kappa considera-se no cálculo toda a matriz gerada considerando os pixels corretamente classificados e também os não corretamente classificados, dando assim maior confiabilidade ao resultado. Esse valor corresponde a 0,9664 para a classificação utilizando o *Maxver* caracterizando a classificação como excelente de acordo com Landis e Koch (1977).

### **3.2 Mapeamento multitemporal do uso e cobertura da terra**

O mapeamento multitemporal de dada porção da superfície terrestre permite o reconhecimento dos usos e coberturas nela existentes, bem como suas mudanças, o monitoramento de recursos naturais, assim como a possibilidade de um adequado planejamento seja urbano, rural ou ambiental dessas áreas.

O mapeamento multitemporal da BHAP num período de 30 anos (1984-2014), utilizando imagens com intervalos de dez em dez anos, possibilitou o conhecimento dos usos e coberturas da terra que se faziam no início do período estudado e também sua evolução, ou seja, como estava a situação dez, vinte e trinta anos depois.

Como resultado desses mapeamentos obteve-se quatro mapas de uso e cobertura da terra da bacia referentes às quatro datas estudadas, ou seja, dos anos



de 1984, 1994, 2004 e 2014, considerando as seguintes classes temáticas: *Água, Agricultura, Areais, Campos, Florestas, Silvicultura e Solo Exposto*.

A análise da evolução do uso e cobertura da terra da BHAP primeiramente foi realizada por ano de mapeamento e posteriormente em separado por classes, para que se torne visível a evolução das mesmas. Vale destacar que a análise da classe *Areais*, em destaque nessa pesquisa, foi trabalhada separadamente e mais detalhadamente.

O mapeamento do uso e cobertura da terra da imagem de Julho de 1984 (Figura 26) revela que nessa data a Bacia do Arroio Puitã tinha a predominância de *campos* em seu interior compondo cerca de 70% da área total conforme pode ser evidenciado no gráfico a seguir. O percentual de *florestas* recobria áreas de encosta com relevo mais acidentado e também áreas próximas às drenagens somando 14% (278,02 km<sup>2</sup>) da área total.

Conforme podemos ver a seguir (Figura 27) as áreas de *solo exposto* representavam 10% (39,32 km<sup>2</sup>) da área, e eram compostas basicamente por áreas de preparo para a agricultura, áreas em que o solo ficava exposto, mas também por locais onde havia ausência de vegetação por condições naturais. Áreas de *agricultura* encobriam 1,76% (6,91 km<sup>2</sup>) da área e marcavam porções onde o plantio já havia sido realizado.

A *silvicultura* já se pronunciava em 1,43% (5,6 km<sup>2</sup>) da área sendo compondo desde pequenos capões de Eucalipto e de Pinus até extensas lavouras voltadas à utilização industrial. As porções de *água* compunham apenas 0,33 km<sup>2</sup> (0,08%) de área estando representadas além dos canais de drenagem por barragens e açudes. Os *areais* por sua vez recobriam cerca de 2% (7,29 km<sup>2</sup>) da área total da bacia.

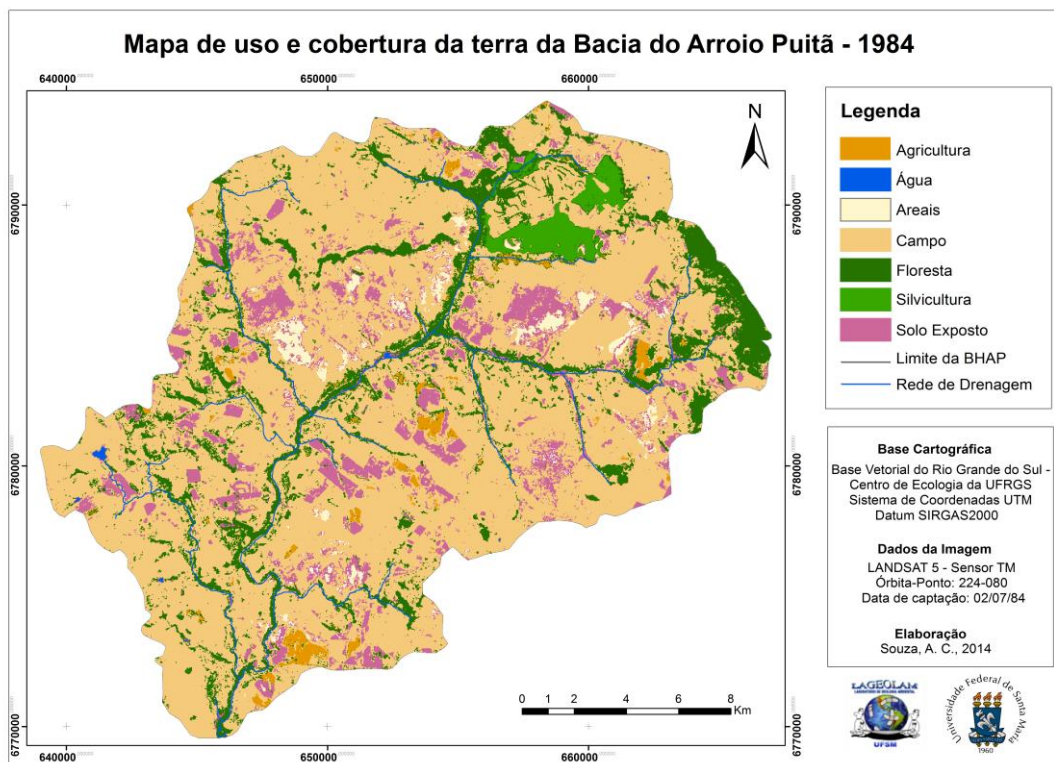


Figura 26 – Mapa de uso e cobertura da terra da BHAP em 1984

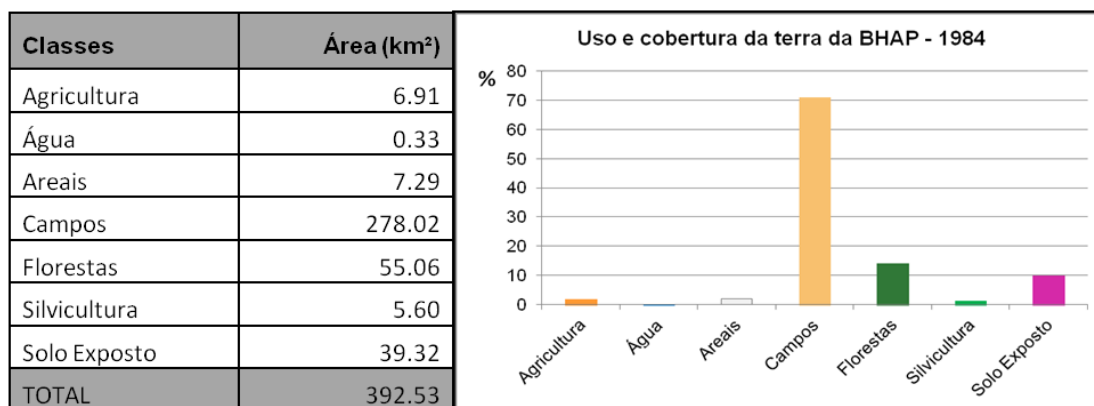


Figura 27 – Quadro de áreas e gráfico representativo das classes de uso e cobertura da terra da BHAP em 1984

O mapa de uso e cobertura da terra da BHAP da data Junho de 1994 (Figura 28) nos revela visivelmente que há o predomínio de *campos* no interior da mesma somando 308,51 km<sup>2</sup> de área, ou seja, 78,59% da área total. A quantificação das áreas está exposta na figura a seguir (Figura 29).

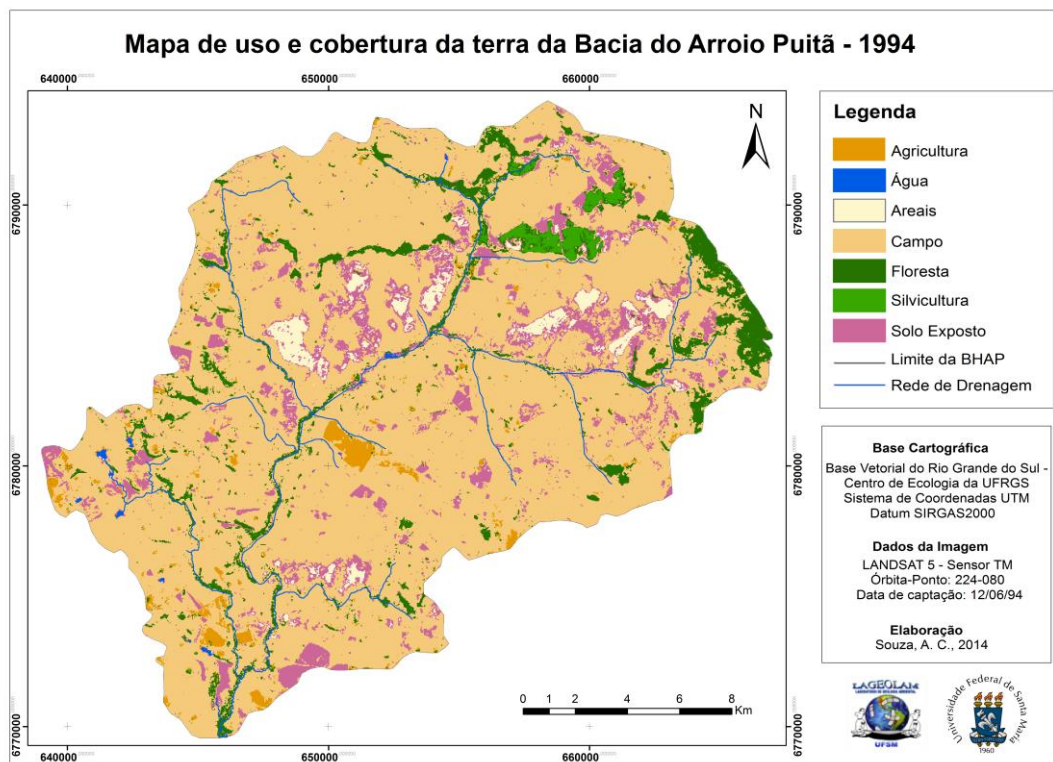


Figura 28 – Mapa de uso e cobertura da terra da BHAP em 1994

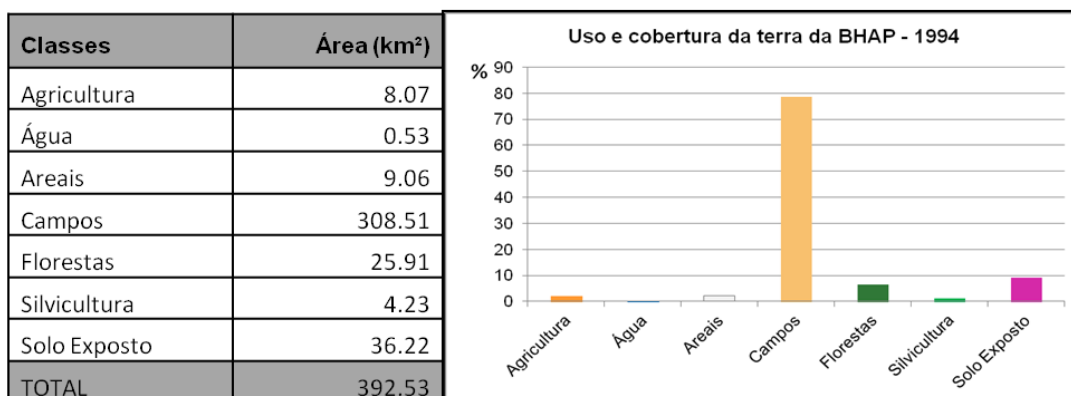


Figura 29 – Quadro de áreas e gráfico representativo das classes de uso e cobertura da terra da BHAP em 1994.

A segunda classe mais expressiva era *solo exposto* recobrendo 9,23% da área total da bacia caracterizando principalmente áreas de preparo para cultivo. Já áreas em que já havia presença de cultivos agrícolas somavam 2,06% da área total.

Quanto à vegetação de grande porte, da área total da bacia 6,6% estava recobertas por áreas de *florestas* e 1,08% estavam recobertas por *silvicultura*. A

porção da superfície recoberta por água computava 0,53 km<sup>2</sup> de área e os *areais* estavam presentes em 2,31% da área total da bacia.

Para o ano de 2004 o mapa de uso e cobertura do solo da bacia (Figura 30) nos revela que há também o predomínio de áreas de *campos* no interior da bacia do Puitã, computando 284,12 km<sup>2</sup> de área, 72,38% da área total (Figura 31).

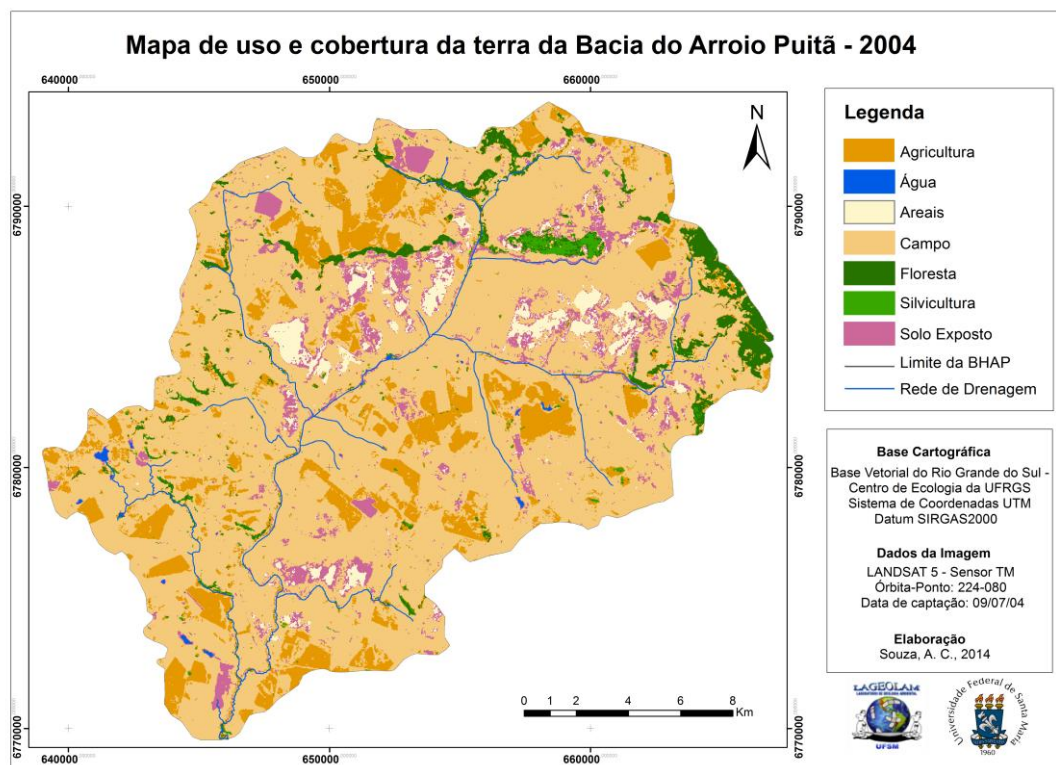


Figura 30 – Mapa de uso e cobertura da terra da BHAP em 2004

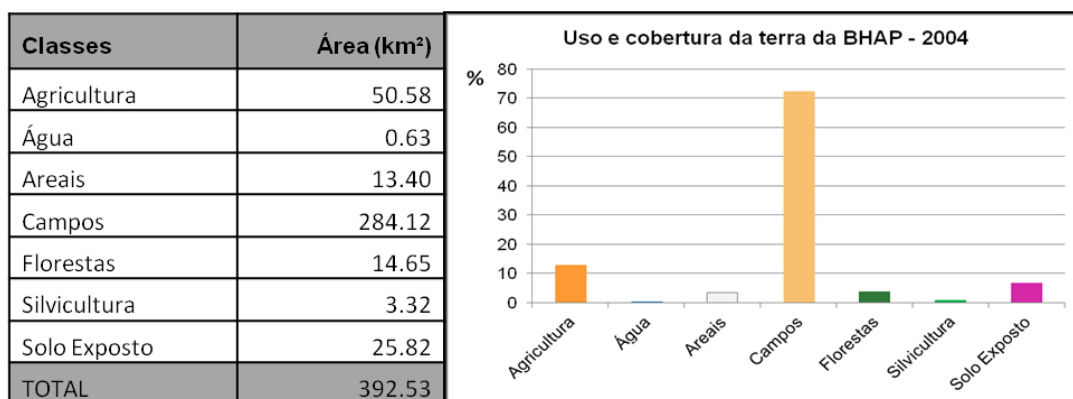


Figura 31 – Quadro de áreas e gráfico representativo das classes de uso e cobertura da terra da BHAP em 2004.



As áreas com presença de *agricultura* somavam 50,58 km<sup>2</sup> de área, correspondendo a 12,89% da área total. Por sua vez as áreas com presença de *solo exposto* representavam 6,58% (25,82 km<sup>2</sup>) da área total da bacia.

As áreas com presença de *florestas* computavam 14,65 km<sup>2</sup> (3,73%) e as áreas com *silvicultura* correspondiam a 3,32 km<sup>2</sup> (0,85%) da área total. Os *areais* somavam 13,4 km<sup>2</sup> de área (3,41%) e o restante, 0,63 km<sup>2</sup> (0,16%) correspondia à *água*.

O mapa de uso e cobertura da terra da Bacia do Arroio Puitã de 2014 (Figura 32) apresentou a predominância de *campos* compondo mais da metade do total da área da bacia, somando 253,12 km<sup>2</sup> de área (64,48%), conforme pode-se observar a seguir (Figura 33). Áreas com *agricultura* aparecem como a segunda mais significativa compondo 13,99% (54,93km<sup>2</sup>) do total da bacia seguida por *solo exposto* somando 36,73km<sup>2</sup> de área (9,36%).

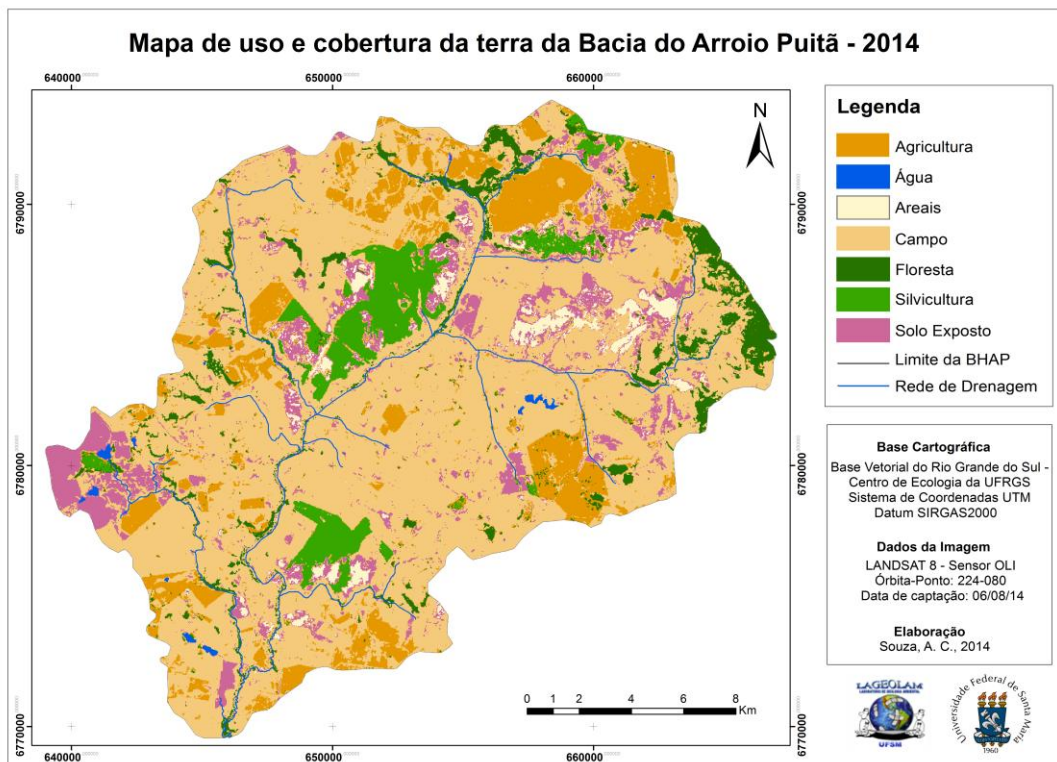


Figura 32 – Mapa de uso e cobertura da terra da BHAP em 2014

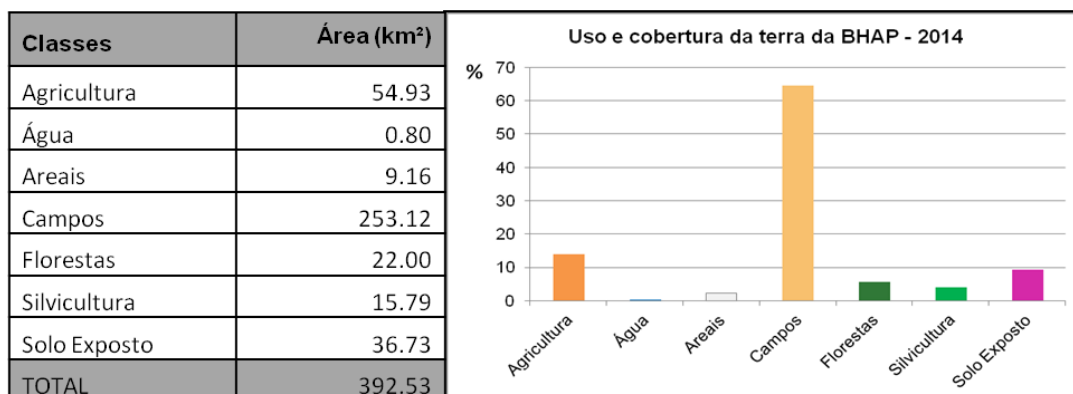


Figura 33 – Quadro de áreas e gráfico representativo das classes de uso e cobertura da terra da BHAP em 2014.

As *florestas* compunham 22 km<sup>2</sup> (5,6%) de área, já as áreas com *silvicultura* somavam 15,79 km<sup>2</sup> (4,02%) da área total. Os *areais* por sua vez se estendiam por 9,16 km<sup>2</sup> (2,33%) e o restante, 0,8km<sup>2</sup> (0,2%) de área eram ocupados por *água*.

Em análise geral sobre o período estudado verifica-se que as classes *Agricultura*, *Silvicultura*, *Água* e *Areais* registraram aumento de área. Já as classes referentes a *Florestas*, *Campos* e *Solo Exposto* apresentara redução em suas áreas no final do período analisado se comparadas ao início desse período. A tabela (Tabela 8) e o gráfico (Figura 34) a seguir expõem as alterações ocorridas nos usos e coberturas da terra da BHAP no período de 1984 a 2014.

TABELA 8 – ALTERAÇÕES NOS USOS E COBERTURAS DA TERRA DA BHAP DE 1984 A 2014

CLASSES	PERÍODO			
	1984 – 1994	1994 – 2004	2004 - 2014	1984 - 2014
<b>Agricultura</b>	+1,16	+42,51	+4,35	+48,02
<b>Água</b>	+0,20	+0,10	+0,17	+0,47
<b>Areais</b>	+1,78	+4,33	-4,24	+1,87
<b>Campos</b>	+30,49	-24,39	-31,01	-24,90
<b>Florestas</b>	-29,16	-11,25	+7,34	-33,06
<b>Silvicultura</b>	-1,38	-0,91	+12,47	+10,19
<b>Solo Exposto</b>	-3,10	-10,40	+10,91	-2,59

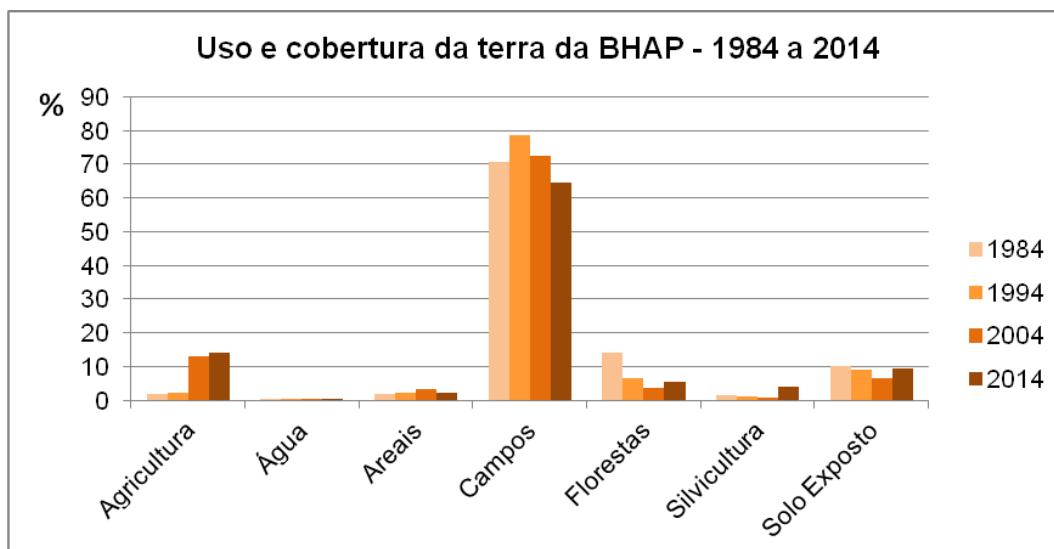


Figura 34 – Gráfico ilustrativo das alterações nos usos e coberturas da terra da BHAP no período de 1984 – 2014

Durante todo o período analisado houve a predominância da classe *Campos* em mais da metade da área da bacia, como fica visível no gráfico acima. Essa predominância se deve às características naturais da área inserida no Bioma Pampa com vegetação característica de gramíneas (Figura 35).



Figura 35 – Campos: A) Campo limpo; B) Campos sujos; C) Butiá anão

Essa vegetação nativa por possuir um bom valor nutritivo, desde o início da colonização dessa área até os dias de hoje, foi utilizada na pecuária como planta forrageira base na alimentação dos rebanhos principalmente bovinos. A vegetação natural da região do Pampa garantiu a implementação da pecuária extensiva que por sua vez reflete na manutenção de áreas de campo em mais de 50% da área total da bacia do Puitã.

Porém no período estudado, apesar de ser predominante na bacia, as áreas de campos diminuíram consideravelmente no período entre 1994 a 2014. Do início do período analisado ao fim, ou seja 1984 a 2014 essas áreas de campo passaram

278,2 km<sup>2</sup> para 253,12, ou seja, tiveram uma redução de 24,9 km<sup>2</sup> de área (Figura 36). Ao analisar o uso e ocupação da terra de 1984 e 2014 percebe-se que essas áreas de campos cederam espaço principalmente para a agricultura e silvicultura.

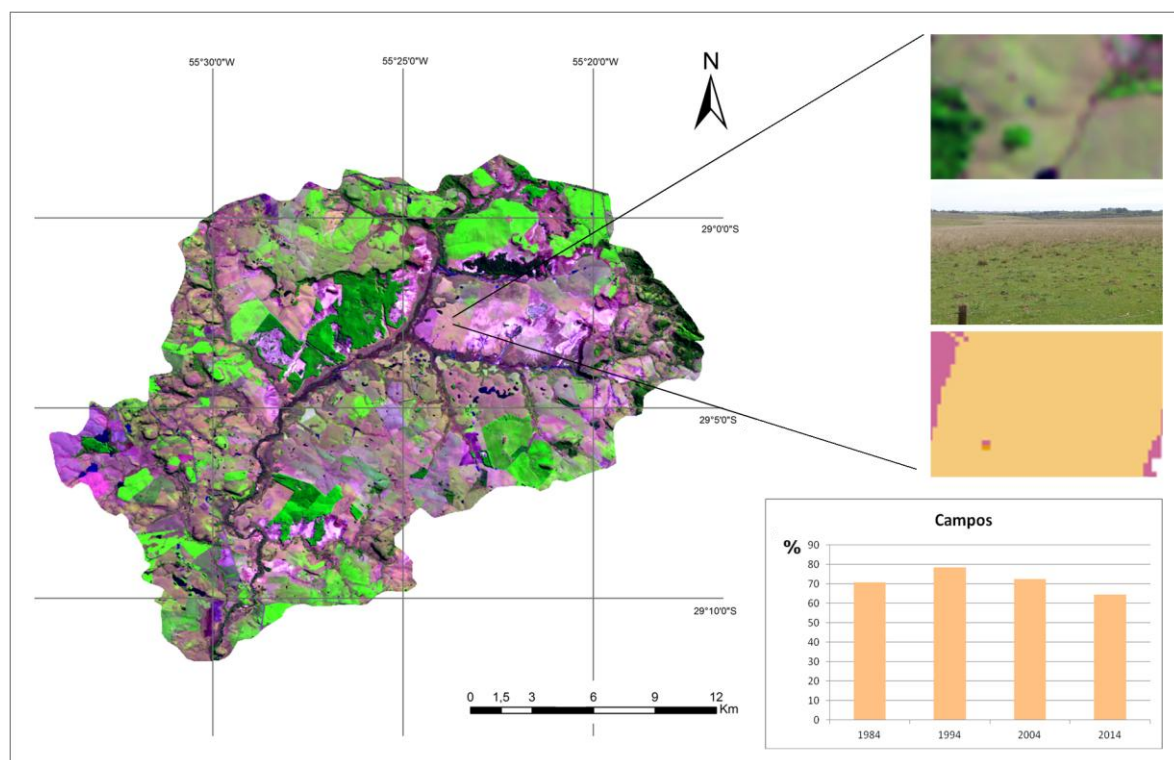


Figura 36 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de campos na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014

As áreas de agricultura contêm nessa época em sua maioria cultivos de invernos como trigo, sorgo ou aveia, ou pastagens cultivadas em intermediário e avançado de desenvolvimento (Figura 37).



Figura 37 – Agricultura: A) plantação de aveia; B) plantação de azevém; C) plantação de trigo



As porções de área ocupadas pela classe *Agricultura* aumentaram 48.02 km<sup>2</sup> no período, passando de 6.91 km<sup>2</sup> em 1984 para 50,58 km<sup>2</sup> em 2014 (Figura 38). O aumento das áreas de agricultura na bacia do Puitã é devido principalmente à expansão da lavoura de soja, vindo de encontro com a redução das áreas de campo já citadas e também redução na pecuária, conforme dados do IBGE (2014).

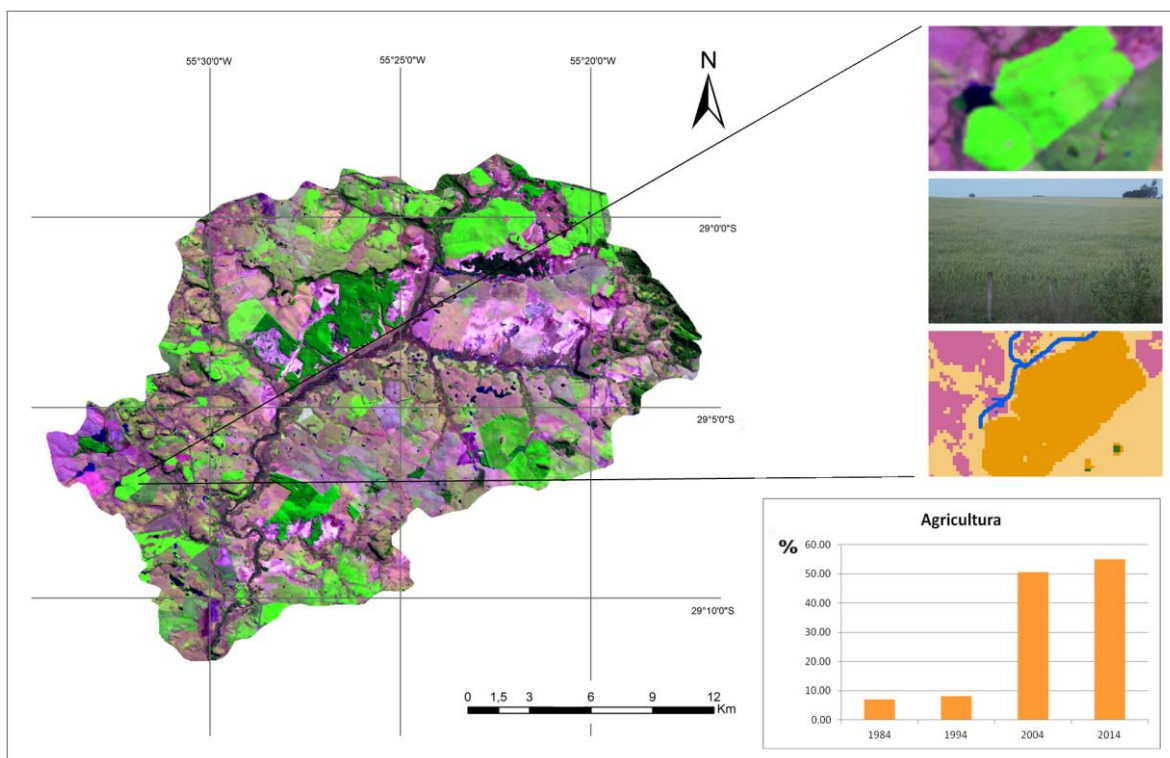


Figura 38 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de agricultura na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014

A classe *Solo Exposto* (Figura 39) corresponde principalmente à solos descobertos, ou seja, com ausência de vegetação que estão sendo preparados para a implementação de cultivos agrícolas. Também compreende a solos em que há presença de vegetação, porém rala, podendo corresponder a áreas onde os cultivos agrícolas estão em estágio inicial de desenvolvimento.

Outra possibilidade é que sejam áreas de campo onde, geralmente em períodos mais secos e de invernos rigorosos, a cobertura vegetal seca apresenta-se pouco densa deixando partes do solo descoberto. Essa última situação ocorre principalmente em áreas próximas à areais onde apesar do substrato arenoso que classificaria essas áreas como pertencentes aos areais, a umidade, mesmo que

pouca, e a presença de matéria orgânica no solo conferem a essas áreas características de solo exposto.



Figura 39 – Solo exposto: A e B) solo sem cobertura vegetal recém-revolvido; C) solo com presença de cultivares em fase inicial

As áreas com presença da classe *Solo Exposto* apresentaram redução em 2,59 km<sup>2</sup> de área passando de 39,32 km<sup>2</sup> para 36,73 km<sup>2</sup> (Figura 40). Essa redução condiz em grande parte com a data das imagens, ou seja, devido ao fato de a imagem de 1984 ter sido captada no mês de Julho e a imagem de 2014 ter sido captada no mês de Agosto conferindo assim um mês de diferença entre as datas, considerando que em Agosto parte dos cultivos de verão já foram implementados.

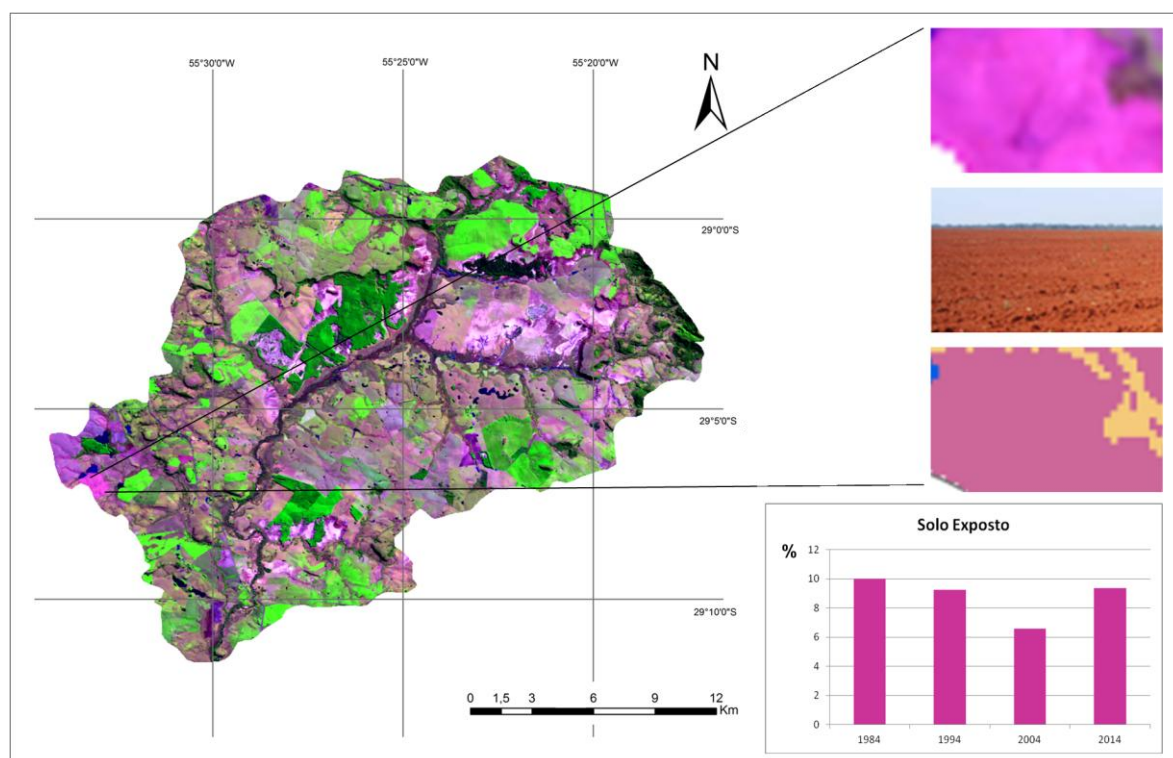


Figura 40 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de solo exposto na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014

As áreas da classe *Florestas* (Figura 41) compreendem vegetação natural de grande porte, em geral árvores de médio a grande porte e arbustos de grande porte. Estas compreendem em parte matas galeria dispostas ao longo de cursos d'água, mas em maior proporção estão localizadas em área declivosas como encostas.



Figura 41 – Florestas: A) capões de mato de pequeno a médio porte; B) mata galeria; C) vegetação de médio e grande porte

As áreas florestadas compreendiam um total de 55,6 km<sup>2</sup> de área em 1984 e apenas 22,0 km<sup>2</sup> em 2014 representando uma diminuição de 33,06 Km<sup>2</sup> de área (Figura 42).

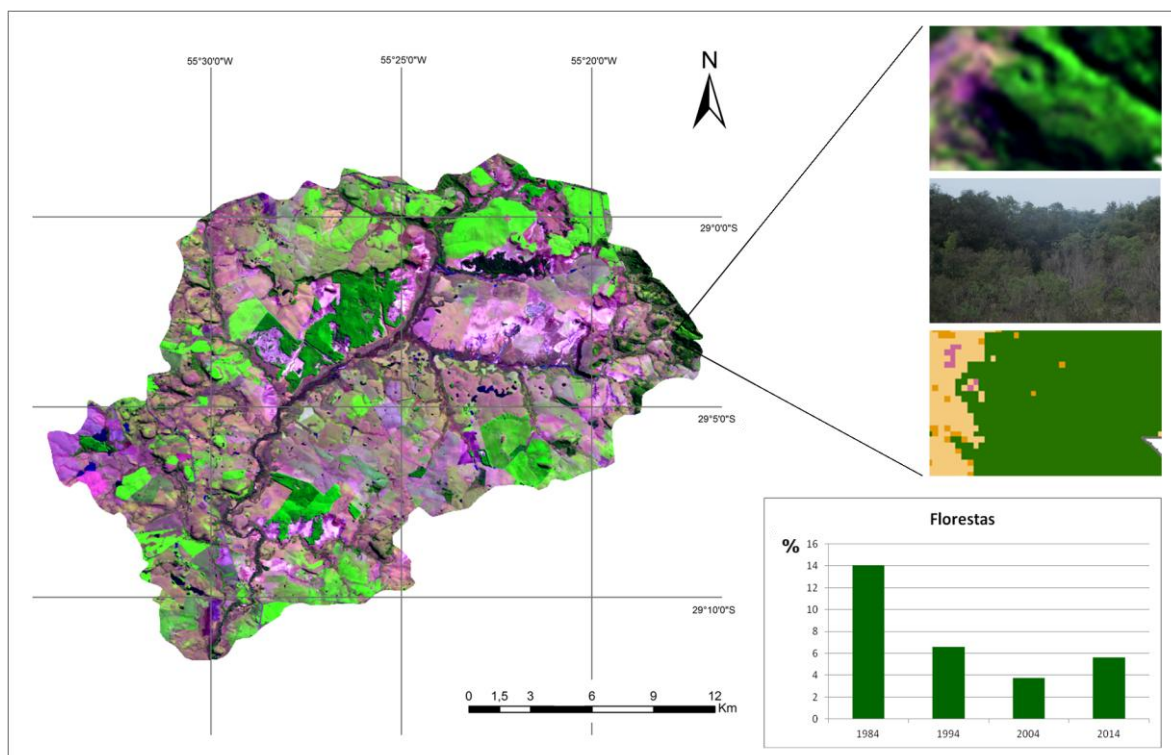


Figura 42 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de floresta na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014



Essa diminuição na área florestal se deve a dois fatores principais, o aumento das áreas agrícolas e o desmatamento. Esse casos podem estar associados onde a retirada da vegetação arbórea seria em prol do da abertura de novas lavouras e assim com o aumento de áreas cultiváveis, ou também simplesmente com a retirada da vegetação nativa para uso.

Ao analisar os dados de área de floresta se percebe que no período de 2004 a 2014 não há redução como em outros períodos mas sim um aumento dessas áreas podendo ser fruto da fiscalização da legislação ambiental.

A classe *Silvicultura* é representada por palntações de Pinus e principalmente de Eucalipto (Figura 43).



Figura 43 – Silvicultura: A, B e C) plantações de eucaliptos sobre áreas arenosas

Essa classe em 1984 recobria 5,6 km<sup>2</sup> de área da bacia e em 2014 recobria 15,79 km<sup>2</sup> de área, cerca de 4% do total da área da bacia, representando um aumento de 10,19 km<sup>2</sup> de área (Figura 44). Esse aumento se dá principalmente no período de 2004 a 2014 onde o investimento de empresas multinacionais de celulose é o principal responsável.

Vale lembrar que em muitos casos a silvicultura é empregada em áreas em processo de arenização representando assim uma alternativa econômica para essas áreas.

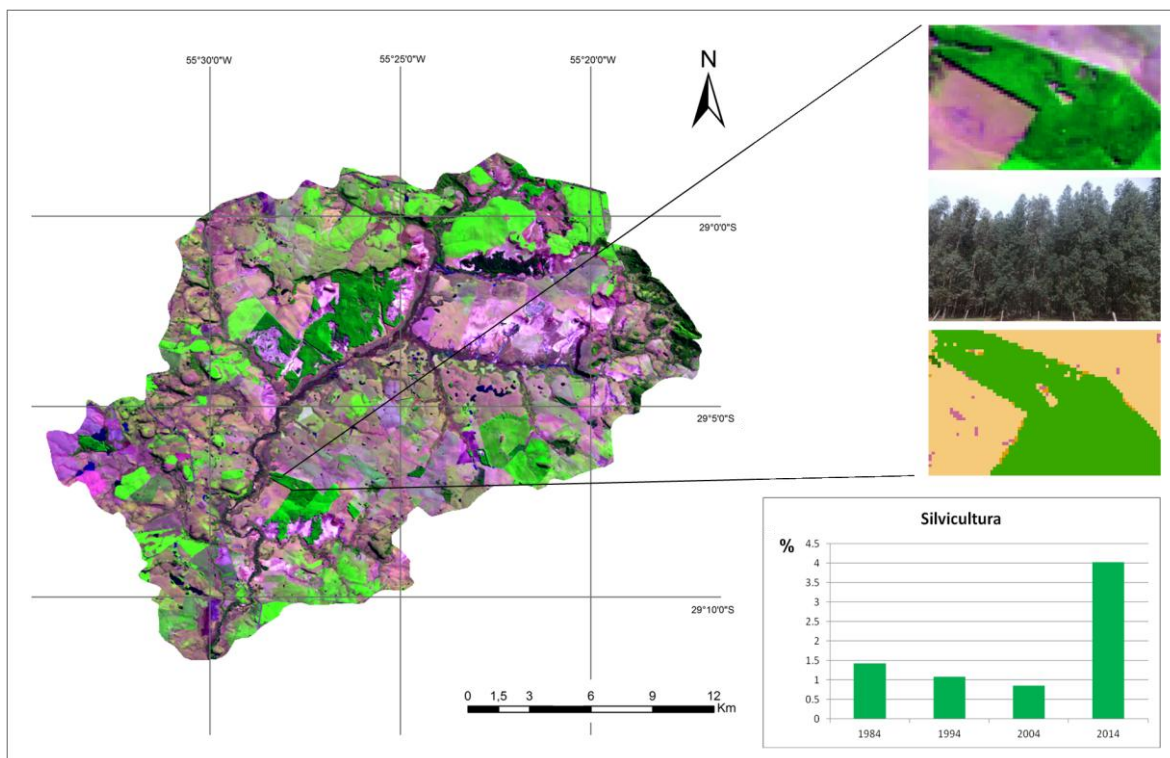


Figura 44 – Recorte da BHAP com composição colorida R6G5B4, representação de áreas de silvicultura na imagem, no terreno e na classificação, e mapa evolutivo de áreas no período de 1984 - 2014

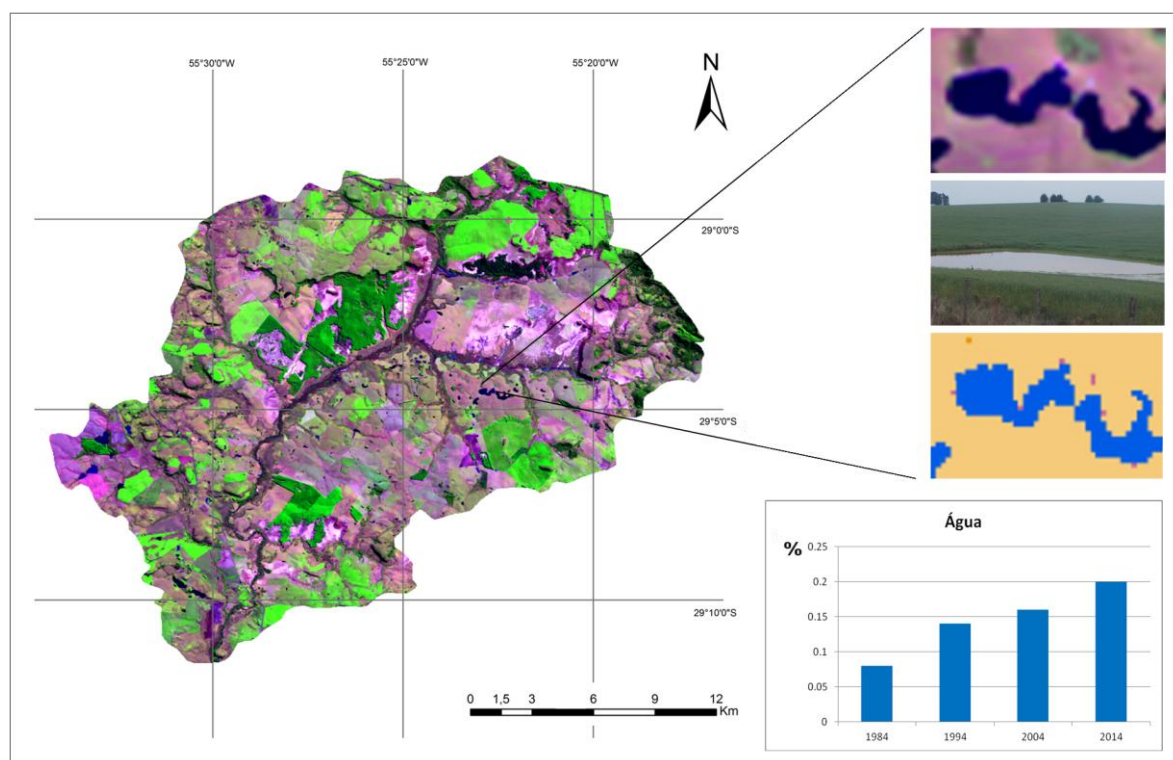
A classe *Água* (Figura 45) é representada por cursos d'água e por açudes e represas. Essa classe apresenta pequenas porções de área se comparadas ao total da bacia devendo-se principalmente ao não elevado número de corpos d'água existentes no interior da bacia.



Figura 45 – Água: A e B) represas e açudes; C) curso d'água

Outro fator é o tamanho dos corpos d'água e a largura dos cursos d'água muitas vezes inferiores a 900m<sup>2</sup> de área e a 30 m de largura o que impossibilita a identificação dos mesmos nas imagens de satélite (LANDSAT) utilizadas visto que possuem resolução espacial de 30 x 30.

Porém analisando as áreas mapeadas através das imagens verifica-se que há um aumento gradual nesse período onde em 1984 tinha-se apenas 0,33 km<sup>2</sup> e já em 2014 0,80 km<sup>2</sup>, representando assim um aumento de 0,47 km<sup>2</sup> de área (Figura 46). Esse aumento se deve principalmente ao aumento no número de açudes e represas durante o período na área de estudo.



Quanto à validação das classificações geradas para 1984, 1994, 2004 e 2014 ressalta-se que as mesmas apresentaram índice Kappa correspondentes a 0,976, 0,9604, 0,9384 e 0,9762, respectivamente, validando as classificações e aferindo-lhes grau de eficiência segundo o proposto por Landis e Koch (1977) como excelente.

### 3.3 Evolução dos areais da BHAP de 1984 a 2014

Os areais ou campos de areia da BHAP se caracterizam por extensos depósitos arenosos com origem principalmente devido à ação hídrica e eólica sobre arenitos pouco coesos da Formação Guará e solos arenosos comuns na área (Figura 47).

A água, principalmente oriunda de chuvas torrenciais, tem papel importante sobre os processos da dinâmica superficial uma vez que se torna responsável pela lavagem dos nutrientes do solo, pelo transporte de grãos arenosos e principalmente pela formação de ravinas e voçorocas devido ao escoamento superficial concentrado. Estando assim os areais ligados principalmente a processos de ravinamento e voçorocamento em toda bacia.

Já o vento constante que sopra na região atua como agente erosivo e também na deflação, com o transporte de desagregados de solo e rocha, gerando depósitos arenosos e mantendo os depósitos já existentes em constante mobilidade.



Figura 47 – A) ação da água; B) ação do vento; C) processos de ravinamento e voçorocamento.

Em sua maioria esses areais estão localizados em declividades baixas de até 5% e nas mais baixas elevações dentro da bacia que variam dos 87 m a 215 m de altitude. Estão associados em sua maioria a cabeceiras de drenagem, à meia encosta de vertentes geralmente côncavas e a morrotes de arenito comuns na área (Figura 48).

A relação com cabeceiras de drenagem se dá principalmente em locais onde há pouca ou inexistência de cobertura vegetal que possa fixar ou manter os



agregados do solo coesos ocorrendo a lavagem dos nutrientes do mesmo e o transporte desses sedimentos e dos agregados.

No caso da ocorrência em meia encosta e em vertentes côncavas se dá devido à declividade e à ação do clima com o escoamento superficial concentrado como principal desencadeador de ravinas e voçorocas. Também nesse caso a ação do vento é marcante tanto na erosão como na deflação.

Os morrotes de arenito comuns na região estão associados à Formação Guará e à Formação Botucatu. Nesses locais o arenito aflora à superfície e, devido à ação erosiva, vai se desagregando e suas partículas agregadoras se dispersando formando assim extensos depósitos areníticos inconsolidados.



Figura 48 – A) areal em meia encosta de vertente côncava; B) blocos inconsolidados de arenitos sob ação do intemperismo; C) morrote de arenito.

De maneira geral a ocorrência de areais em dado local limita a realização de atividades econômicas, porém o que se observa a campo é a tentativa constante da implantação da silvicultura sobre áreas arenosas. Há também na maioria dos casos a presença de bovinos soltos em áreas arenosas devido ao fato dessas áreas encontrarem-se geralmente no interior de campos destinados à bovinocultura comum na região (Figura 49).



Figura 49 – A) silvicultura sobre áreas arenosas; B) cerca enterrada pela areia e reconstruída sobre areais; C) presença de bovinos soltos em areais



Os areais da bacia do Arroio Puitã possuem semelhanças quanto ao seu comportamento (expansão e retração) devido ao fato de serem regido pelo mesmo tipo de clima e, portanto, por um regime de chuvas e ventos semelhantes. Esse fato condiciona processos da dinâmica superficial parecidos neste ou naquele areal dentro da bacia.

Porém há diferenças marcantes quanto ao substrato geológico e também quanto à localização desses areais no relevo. Os areais que tem origem de rochas da Formação Guará diferem dos que tem origem de rochas da Formação Botucatu apesar de ambos derivarem do mesmo tipo de rocha, o arenito.

Os areais da Formação Guará possuem coloração bege a mais esbranquiçada além de granulometria grossa a média e esta formação é predominante nas áreas onde se encontram os principais areais dentro da bacia. Já as areais da Formação Botucatu, são mais avermelhados e são encontrados em áreas mais rebaixadas e setores médios das vertentes.

Na figura a seguir (Figura 50) estão representados os principais areais e áreas em processo de arenização dentro da bacia aos quais se teve acesso<sup>2</sup>. Na figura verifica-se que a localização de determinado areal dentro da área de estudo condiz com uma imagem do terreno estando estes referenciados pela mesma numeração.

No número 1 tem-se a visível ocorrência de processos erosivos relacionados à dinâmica superficial, devido principalmente à ação da água, e a presença de silvicultura sobre áreas arenosas.

As numerações 2 e 3 se referem-se a um grande areal localizado em uma área rebaixada, em nível de base, estando associado à rede de drenagem. Este areal apresenta em boa parte contato com a rede de drenagem e, nesses locais, apresenta coloração mais esbranquiçada e granulometria mais grossa características marcantes dos areais oriundos da Formação Guará.

No número 4 tem-se uma área arenosa próxima aos locais 2 e 3 onde aparentemente houve a implantação de silvicultura, através do eucalipto, de modo a tornar a área produtiva economicamente. Supõe-se isso devido a terra estar em parte coberta por de resíduos indicativos dessa situação no local além de pequenas brotações em locais esparsos. Verifica-se que não resta matéria orgânica recobrimdo

---

<sup>2</sup> Algumas áreas com presença de areais não puderam ser visitadas devido à falta de acesso por inexistência de estradas ou devido à localizarem-se em propriedades particulares fechadas.

a terra após a retirada da vegetação, apenas algumas folhas e galhos que não se incorporam ao substrato arenoso.

Na numeração 5 tem-se uma área de arenização em encosta, com declividade leve à moderada, com presença de processos erosivos associados à dinâmica superficial, como ravinamento e voçorocamento.

Na figura 6 tem-se parte de um grande areal com a presença marcante de butiazeiro anão, vegetação típica desses locais.

Na figura 7 tem o inicialmente uma área de campo e o começo de um areal. Nota-se a vegetação campestre se torna mais rala a medida que o areal vai começando. Possivelmente nesses locais devido há existência de vegetação e, nesses casos, de matéria orgânica no solo, porém rala deixando à mostra o substrato dá ao local característica de solo exposto quando se mapeia essas áreas, devido às respostas espectrais deste caso serem semelhantes às de um solo que está coberto com um cultivo em estágio inicial, como mostrado na Figura 41.

No número 8 tem-se um grande areal, com a presença de gramíneas ralas e esparsas, deixando visíveis marcas da ação do vento um dos maiores responsáveis pela remoção e transporte dos grãos de areia nesses locais.

Em 9 tem-se a presença de parte de morrotes com blocos de arenitos sob ação do intemperismo em sua base. Aqui são marcantes os processos erosivos com voçorocas e ravinas, com vegetação em parte das bordas, associados à rede de drenagem seguindo interligando duas áreas arenosas.

No número 10 tem-se a vista, mesmo que à uma certa distância, de uma das maiores áreas de silvicultura dentro da bacia implementadas sobre áreas arenosas.

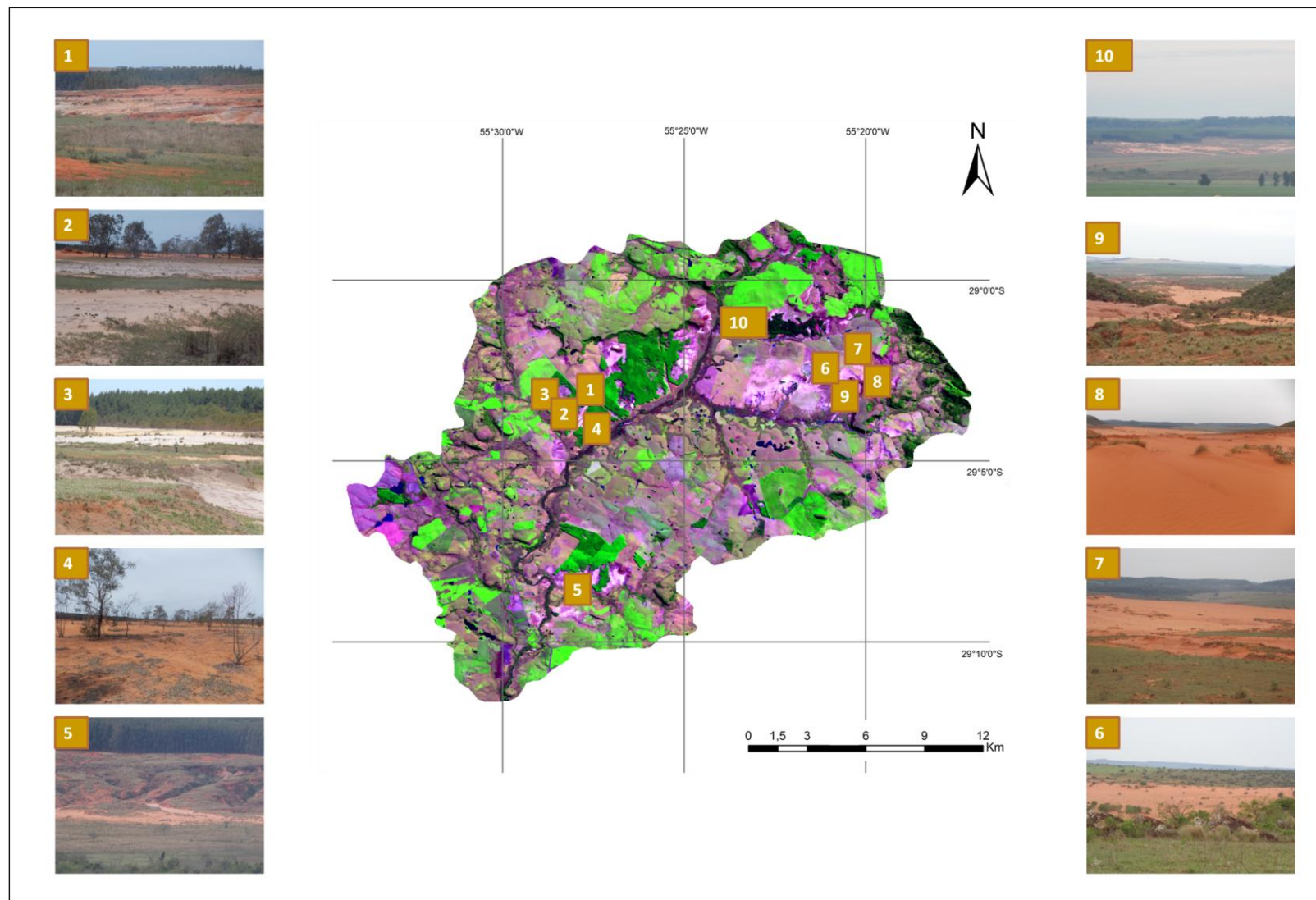


Figura 50 – Principais areais e áreas em processo de arenização na BHAP

Partindo para uma análise quantitativa, verifica-se que durante os 30 anos em estudo as áreas recobertas pelos areais nos revelam em um primeiro e segundo momento uma expansão e num terceiro momento a retração (Figura 51).

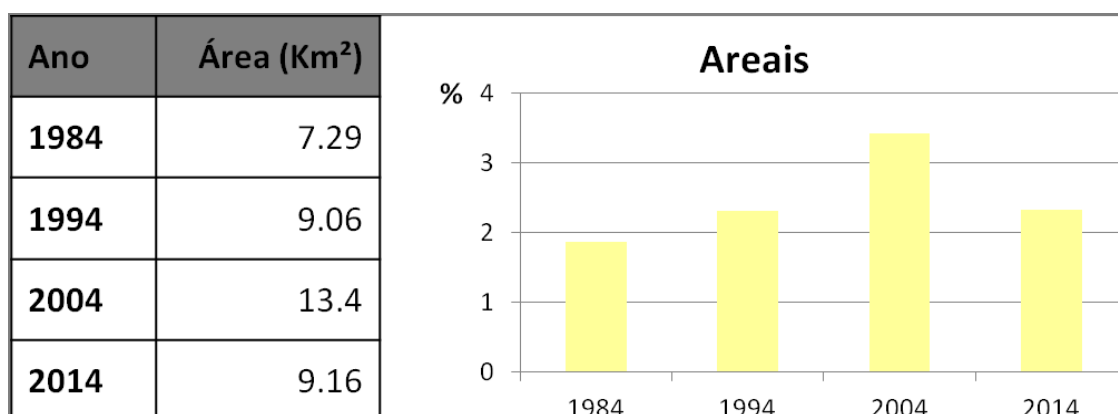


Figura 51 – Quadro de áreas e gráfico representativo dos areais da BHAP em 1984, 1994, 2004 e 2014

Em 1984 os areais da BHAP computavam 7,29 km<sup>2</sup> de área correspondendo a 1,9 % da área total de estudo, em 1994 as áreas somavam 9,06 km<sup>2</sup>, 2,3 % da área total e em 2004 a área correspondia quase que ao dobro do primeiro ano analisado correspondendo a 13,4 km<sup>2</sup> de área, ou seja, 3,4 % do total da área de estudo.

Porém em 2014 a área era menor em relação ao ano anterior considerado, somando 9,16 km<sup>2</sup> de área, 2,3% do total (Figura 52).

Considerando os mapeamentos realizados da BHAP em quatro diferentes datas com intervalo de 10 anos entre cada, realizou-se a análise considerando três períodos de igual intervalo de tempo correspondendo o primeiro de 1984 a 1994, o segundo de 1994 a 2004 e o terceiro de 2004 a 2014. Finalmente fez-se uma análise considerando o período todo, ou seja, o período de Julho de 1984 a Agosto de 2014 completando 30 anos.

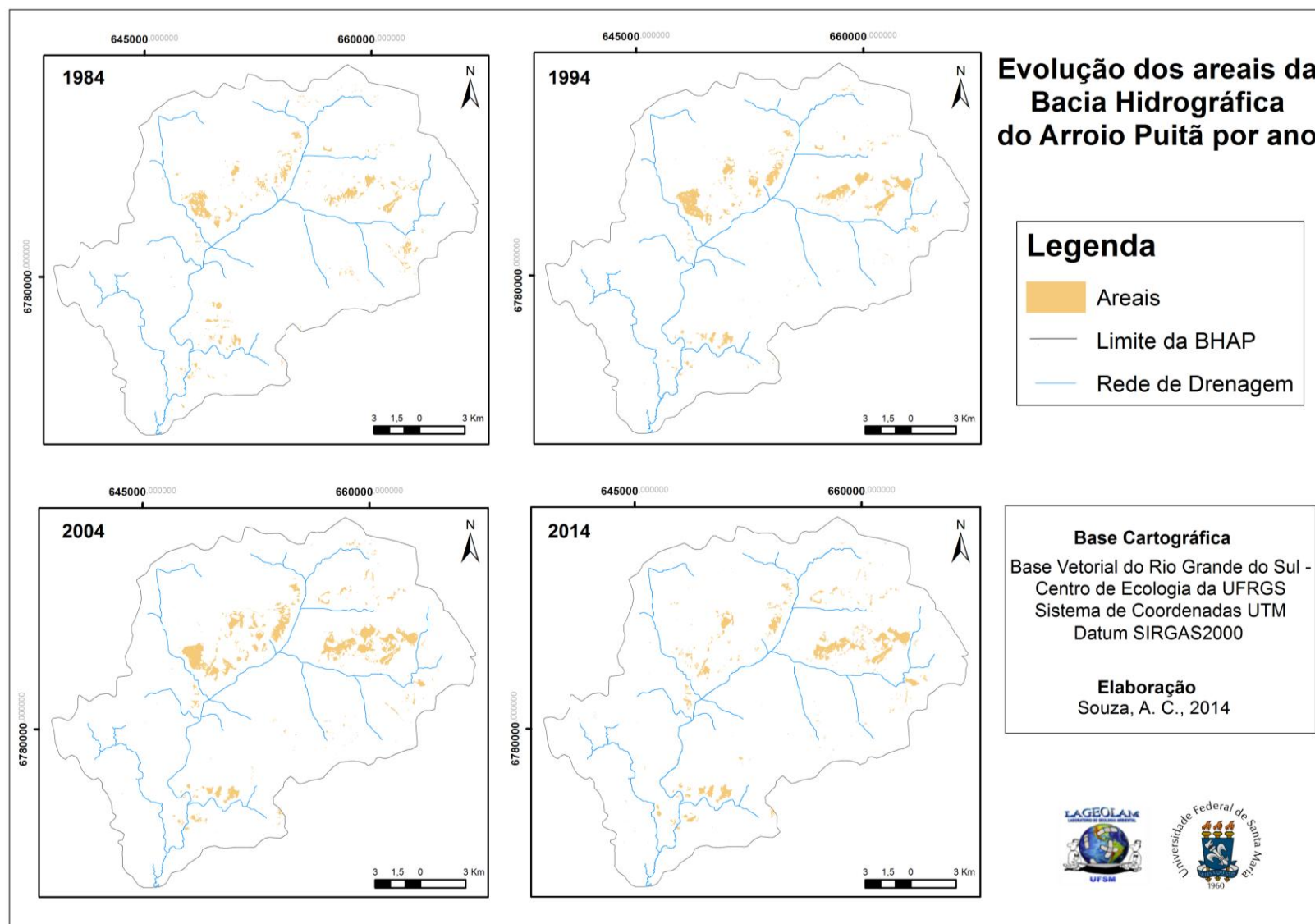


Figura 52 – Mapa da evolução dos areais da BHAP por anos, 1984, 1994, 2004 e 2014

Nos dois primeiros períodos considerados ocorreu um incremento na área dos areais que somavam em 2004 o equivalente a 6,11 km<sup>2</sup> a mais de área em relação ao que havia em 1984, porém no terceiro período, de 2004 a 2014 houve uma significativa redução nessas áreas (Tabela 9)

TABELA 9 – EVOLUÇÃO DOS AREAIS NA BHAP POR PERÍODOS

PERÍODO	1984 – 1994	1994 – 2004	2004 – 2014	1984 – 2014
EVOLUÇÃO (km <sup>2</sup> )	+1.78	+4.33	-4.24	+1.87

No primeiro período os areais que somavam 7,29 km<sup>2</sup> em 1984 passaram a somar 9,06 km<sup>2</sup> de área em 1994, ou seja, um aumento de 1,78 km<sup>2</sup> correspondendo a um aumento no período em cerca de 20% em relação à área existente anteriormente anterior. Aqui a expansão de áreas arenosas se deu principalmente sobre áreas anteriormente recobertas por solo exposto e campo.

No segundo período, de 1994 a 2004, os areais compreendiam num primeiro momento 9,06 km<sup>2</sup> e num segundo momento 13,4 km<sup>2</sup> de área. Verificou-se que nesse caso o aumento foi relativo a 4,33 km<sup>2</sup> o que corresponde a um aumento em 32,4 % em relação à área anterior. Essa expansão de área se deu principalmente sobre áreas de campo e em que havia solo exposto.

No terceiro período considerado de 2004 a 2014 houve uma redução de 31,6% nas áreas dos areais correspondendo a 4,24 km<sup>2</sup>. Nesse período os areais que somavam 13,4 km<sup>2</sup> de área na BHAP em 2004 passaram a se estender por 9,16 km<sup>2</sup>. Nesse caso essa redução é marcada principalmente pelo avanço da silvicultura sobre áreas arenosas, bem como uma possível restituição de áreas de campo e de solo exposto, anteriormente areais.

Considerando todo o período de estudo houve identificou-se uma expansão de 1,87 km<sup>2</sup> nas áreas recobertas por areais dentro da bacia. Essa expansão de certa forma é mascarada visto que considera apenas as datas final e inicial de mapeamento do período em estudo deixando à margem o comportamento dos areais ao longo do período analisado (30 anos). Porém essa expansão se torna explicável se somarmos com as informações obtidas nos demais períodos (10 em 10 anos) (Figura 53).

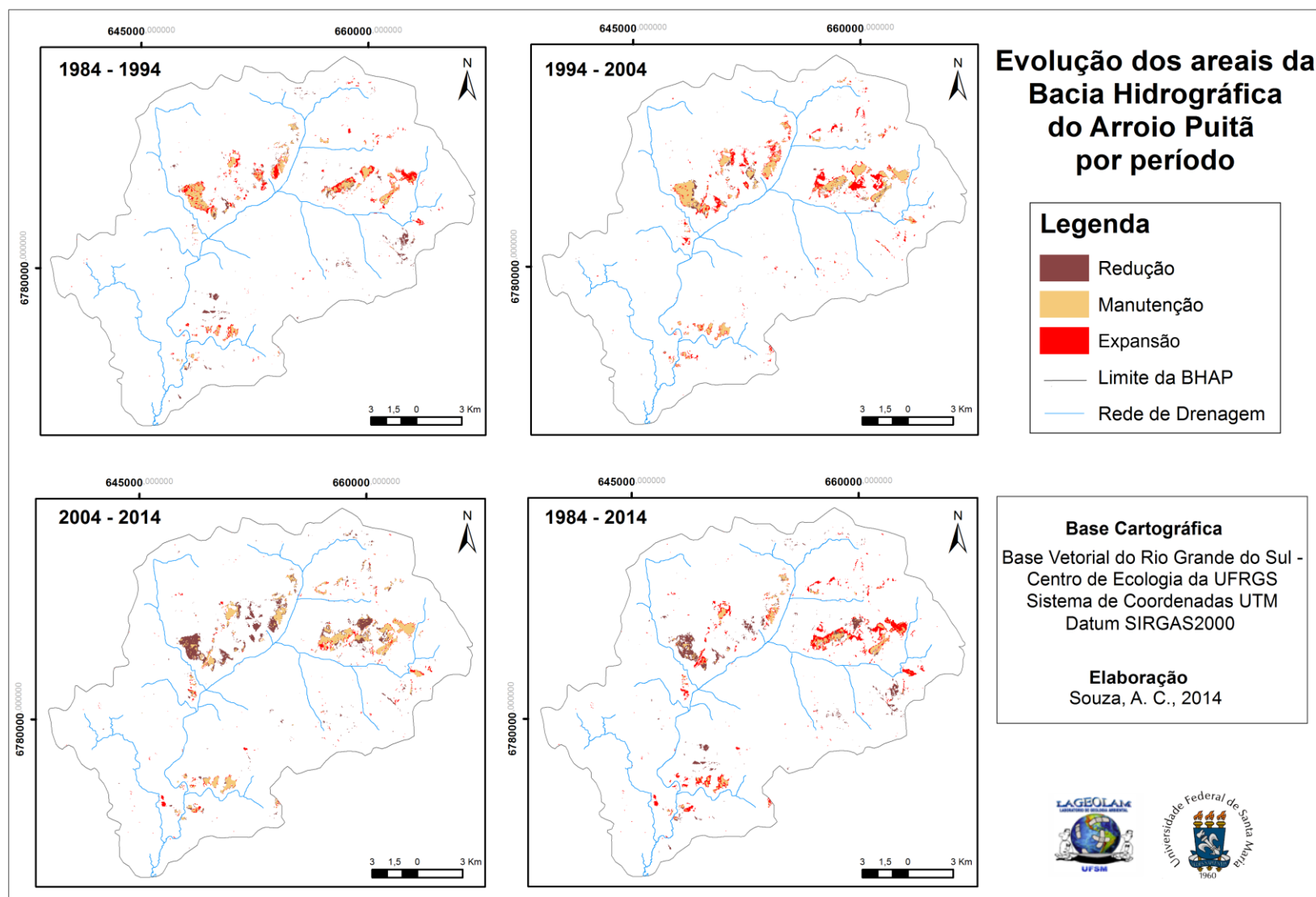


Figura 53 – Mapa da evolução dos areas da BHAP por períodos, 1984-1994, 1994-2004, 2004-2014 e 1984-2014

Aqui a expansão se dá em relação ao período inicial principalmente sobre áreas de solo exposto e campo, explicadas devido às mesmas encontrarem-se no entorno das áreas arenosas e assim estarem mais suscetíveis aos processos de expansão dessas áreas. Essa expansão ainda se dá sobre uma porção de área composta por silvicultura em 1984, esta possivelmente já empregada sobre áreas em processo de arenização.

Apesar da expansão dos areais nos dois primeiros períodos analisados (1984-1994 e 1994-2004), e, também da expansão constatada compreendendo todo o período de estudo (1984-2014) verifica-se a manutenção dos areais em grandes áreas, e também, para todos os casos, uma redução de área em alguns locais cedendo lugar a uma diferente cobertura da terra. O mesmo ocorre no sentido inverso onde no período de 2004 a 2014, marcado pela redução das áreas, onde ocorre o incremento de áreas antes ocupadas por anteriormente por outras classes. Independente dos casos os usos e coberturas da terra que mais sofrem alteração em decorrência da expansão ou redução dos areais são solo exposto e campo.

Como pode-se observar na figura anterior as maiores mudanças, seja expansão ou redução de áreas, ocorrem no entorno dos maiores areais. Isso ocorre justamente devido ao fato dessas áreas serem grandes, pois devido à ação da água ou do vento a expansão ou retração ocorrem nas extremidades dos grandes areais. E ainda os usos e cobertura da terra mais afetados com essas alterações são solo exposto e campos, havendo alteração em áreas de silvicultura nos últimos anos visto que há a tentativa de implementação dessa atividade sobre áreas em processo de arenização com fins basicamente econômicos.

Essas expansões e retrações de área nos períodos analisados estão relacionadas diretamente com as condições climáticas predominantes na região onde estão inseridas. Sabe-se que a água e o vento são os principais agentes responsáveis pela manutenção dos processos de expansão e retração dos areais. Assim vale destacar que durante o período analisado houve a ocorrência de alguns fenômenos climáticos, os chamados fenômenos ENOS, que puderam influenciar nesses processos.

No primeiro período analisado, de 1984 a 1994, houve a ocorrência de dois episódios de El Niño, um moderado (1986-1988) e um forte (1990-1993), responsáveis por chuvas excessivas. Também ocorreu um episódio de La Niña forte



dentre esse período (1988-1989), fenômeno caracterizado por trazer seca e estiagem ao estado.

O segundo período, de 1994 a 2004, foi marcado pela ocorrência de um episódio de La Niña moderado (1998-2001) trazendo seca e estiagem à alguns pontos do estado e três ocorrências de El Niño, duas em caráter moderado (1994-1995 e 2002-2003) e uma de caráter forte (1997-1998) trazendo muita chuva ao estado.

Já o período de 2004 a 2014 é marcado por apenas um episódio de La Niña forte (2007-2008) ocasionando seca e situação crítica em boa parte do estado.

Ambos os eventos, La Niña e El Niño, seja com muita chuva ou com seca contribuem para a expansão dos areais seja por meio de secas prolongadas ou de chuvas excessivas, por vezes torrenciais.

Infere-se, portanto que essas condições de maior frequência de ocorrências desses fenômenos nos dois primeiros períodos podem ter sido condicionantes dos resultados de expansão condicionadas às áreas dos areais, bem como uma redução num terceiro período devido à maior incidência desses eventos.

Para tanto exclui-se aqui outros possíveis motivos, tais como mudanças no uso e cobertura da terra, principalmente da implantação de silvicultura sobre áreas arenosas uma das responsáveis pela redução de áreas dos areais.

## 4 CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do mapeamento multitemporal dos areas da Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã pode-se perceber uma dinâmica muito grande nos mesmos durante as fases estabelecidas para o estudo. Essa dinâmica se dá principalmente em decorrência de fatores ligados ao clima na região.

Registrou-se assim um pequeno aumento de área no período de 1984 a 1994, um aumento consideravelmente maior no período de 1994 a 2004 e uma redução considerável, quase que de mesma proporção a este último aumento, no período que vai de 2004 a 2014.

Porém ao analisar o período como um todo considerando apenas as datas inicial e final do estudo, ou seja, o período entre 1984 e 2014, tem-se que os areas sofrem pequeno aumento de área considerando o período de 30 anos, mascarando o comportamento do mesmo ao longo do período estudado.

Assim o mapeamento de uma mesma área considerando apenas duas datas de estudo buscando a análise de um período de tempo longo, como no caso da presente pesquisa (período de 30 anos), pode mascarar o resultado obtido a respeito de determinados alvos em estudo, uma vez que o comportamento desses alvos ao longo do período analisado pode ter sido absolutamente diferente dos dados encontrados nos períodos inicial e final do estudo.

Dessa forma pode-se inferir que o mapeamento multitemporal de alvos da superfície terrestre com a utilização de mais de duas datas de mapeamento, reduzindo o intervalo de obtenção de dados, possibilita maior eficiência e confiabilidade ao monitoramento do comportamento desses alvos.

Para que o mapeamento da superfície terrestre a partir de imagens oriundas de sensores remotos seja fiel com o que existe no terreno é necessário que haja a escolha correta de um método de classificação que melhor corresponda aos interesses do classificador, ou seja, o método que classifique determinado alvo em foco de maneira mais semelhante àquela existente realmente no terreno.

Porém para tal, é necessário que haja o conhecimento prévio da área de estudo permitindo que os dados da classificação sejam validados. É necessário que se conheça a verdade do terreno para que os dados gerados a partir da classificação possam ser equiparados com a mesma de maneira a dar confiabilidade à classificação.

Nesse estudo, a partir dos testes realizados com vários algoritmos classificadores pixel a pixel conclui-se que o Maxver foi o mais adequado no mapeamento de areais. Porém ao analisar a classificação como um todo considerando a diversidade de temas o classificador não foi tão eficiente, para tal indica-se a utilização de classificadores mais adequados ao(s) diferente(s) alvo(s) em foco para determinada pesquisa.

Assim pode-se considerar essa metodologia adequada e eficiente frente ao mapeamento de areais e recomenda-se sua utilização para avaliar o comportamento dos areais ao longo de toda sua faixa de ocorrência, mais especificamente no Sudoeste do RS.

Considera-se que os objetivos colocados no início dessa pesquisa foram alcançados e espera-se ainda o aprimoramento de alguns tópicos que não tiveram o resultado esperado.

## REFERÊNCIAS

ANDRADES FILHO, C. O.; SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A. Atualização do mapeamento dos areais do sudoeste do RS, através de imagens Landsat TM. In: SIG-SUL 2005 Simpósio Integrado de geotecnologias do Cone Sul, 2005, Canoas. **Anais...** 2005.

\_\_\_\_\_. Mapeamento e quantificação dos areais nas bacias hidrográficas do sudoeste do RS e investigação sobre a relação entre areais, drenagem e orientação do relevo. In: XVIII Salão de iniciação Científica, 2006, Porto Alegre. **Anais...** 2006. p. 22-22.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística.** São Leopoldo: Ed. UISINOS, 2003.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas.** Aplicações na agricultura. Brasília: Embrapa – SPI, 1998. 2 ed.

ARAGÃO, R. de; ALMEIDA, J. A. P. de. Avaliação espaço temporal do uso do solo na área da bacia do rio Japarutuba – Sergipe, através de imagens landsat. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 1231-1238. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.53.31/doc/1231-1238.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2013.

BALSAN, R. Impactos Decorrentes da Modernização da Agricultura Brasileira. **CAMPO TERRITÓRIO: Revista de Geografia Agrária**, Francisco Beltrão, v. 1, n. 2, p. 123-151, 2006.

BARATTO, D. da S.; TRENTIN, R. Análise das unidades de relevo da bacia hidrográfica do Arroio Puitã (RS). **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 4, p. 543-555, 2012.

BENEDETTI, A. C. P. **Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul.** 2010. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 5 ed. Rio de Janeiro: B. Brasil, 2010.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: B. Brasil, 2004.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches**. In: Regional Research Institute. West Virginia University, 1999. Disponível em: < <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em: 29 nov. 2013.

BURROUGH, P.; McDONNELL, R. **Principles of Geographical Information Systems**. New York: Oxford University Press, 1998.

CARVALHO, C. M. de; ALMEIDA-FILHO, R. Uso de imagens Landsat-TM para avaliar a extensão da desertificação na região de Gilbués, sul do estado do Piauí. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 4365-4372. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.08.22.52/doc/4365-4372.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2013.

CAVALHEIRO, A. P.; RASSIER, W. T. **Uma aplicação de SIG/IDRISI num estudo ambiental da zona sul do RS**. 1998. Monografia de conclusão de curso (Análise de Sistemas) - Universidade Católica de Pelotas, Pelotas, 2008.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **Enos**. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br>> Acesso em: 20 nov. 2014.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remote sensed data. **Remote Sensing of Environment**. v.37, n.1, p.35-46, 1991. Disponível em: <<http://www.snr.arizona.edu/rnr/rnr419/publications/Congalton1991.pdf>> Acesso em: 30 mar. 2014.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992.

DALMOLIN, R. S. D. et al. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.35, n.2, p. 481-489, mar/abr, 2005.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L. E. de S. Zoneamento geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas em processo de arenização. **Sociedade & Natureza**. Uberlândia, v.22, n.3, p. 487-502, dez 2010.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. **Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Brasília: CONAB, 2005.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo, Oficina de Textos, 2008a.

\_\_\_\_\_. **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo, Oficina de Textos, 2008b.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Ed. de Textos, 2002.

GUASSELLI, L. A. O mapeamento de areais a partir de Sensoriamento Remoto In: SUERTEGARAY, D. M. A; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Orgs.) **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-cultura: Imprensa Livre. 2012. 1 ed. p. 97 – 123.

HASENACK, H. WEBER, E. (Org.) Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010, 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014.

\_\_\_\_\_. Primeira Divisão de Geociências do Nordeste. **Introdução ao processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro : IBGE, 2000.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos, 2005. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/cursos/sere/sr\\_aula2/arquivos/frame.htm](http://www.dpi.inpe.br/cursos/sere/sr_aula2/arquivos/frame.htm)>. Acesso em: 29 nov. 2013.

\_\_\_\_\_. Divisão de Geração de Imagens. **Os satélites LANDSAT 5 e 7**. Disponível em: <[http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57\\_PT.php](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php)>. Acesso em: 25 ou. 2013.

\_\_\_\_\_. Manuais. **Tutorial de Geoprocessamento**. Spring. 2008.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. New Jersey: Prentice-Hall, 1995. 2 ed.

\_\_\_\_\_. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KELLER, E. C. de S. Mapeamento da utilização da terra. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 31, n.3, p. 151-160, jul/set, 1969.

KLAMT, E. Solos arenosos da região da Campanha no Rio Grande do Sul. In: PEREIRA, V. P. et al. (Orgs.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: Unesp, 1994.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image interpretation**. Nova York: John Wiley & Sons, 1994.

LIMA, S. C.; ROSA, R.; FELTRAN FILHO, A. Mapeamento do uso do solo no município de Uberlândia–MG, através de imagens TM/LANDSAT. **Rev. Sociedade e Natureza**, Uberlândia, n. 2, p.127-145, 1989.

LISSNER, J. B.; GUASSELLI, L. A. Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada na lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de análise de séries temporais. **Sociedade & Natureza** (UFU. Online), v. 25, p. 427-440, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v25n2/a16v25n2.pdf>> Acesso em: 10 set. 2015.

MARCHIORI, J. N. C. Areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul: Elementos para uma História Natural. **Revista Ciência & Ambiente**. Santa Maria: Editora da Universidade Federal de Santa Maria, n. 5, p. 65-89, jul./dez. 1992.

\_\_\_\_\_. Vegetação e areais no Sudoeste Rio-Grandense. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.11, p. 81-92, 1995.

MARTINS, R. L.; VERDUM, R. Compartimentos Ambientais em Formações Superficiais Quaternárias – análise e mapeamento na Bacia Hidrográfica do Arroio Puitã; Rio Grande do Sul. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2003, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.cibergeo.org/XSBGFA/eixo3/3.4/126/126.htm>. Acesso em: 8 ago. 2014.

MEDEIROS, E. R.; et al. Filiação entre arenitos da Formação Guará e sua cobertura pedológica no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 37 n. 3, p. 555-564, maio/jun 2013.

MENESES, P. R; ALMEIDA, T. de (Orgs.). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB/CNPq, 2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: Ed. UFV, 2005.

MORELLI, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. Arenização e monocultura do Eucalipto no Sudoeste do Rio Grande do Sul. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2012.

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

OLIVEIRA, G. S. de. **O El Niño e você** – o fenômeno climático. São José dos Campos: Transtec, 2000.



ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento**: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2002.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**. [S.l.: s.n.], v.16, p. 81-90, 2005.

\_\_\_\_\_. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: Edefu, 1995.

RIBEIRO, J. C. C.; VERDUM, R. Arenização, silvicultura e políticas ambientais no sudoeste do Rio Grande do Sul. **GEOgraphia**, Niterói, v. 15, n.29, p. 77 – 98, 2013.

RICHADS, J. A. **Remote sensing digital image analysis**: an introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1986.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Campos de areia na Bacia do Rio Ibicuí – Oeste do RS. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org). **Arenização**: natureza socializada. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2012.

ROBAINA, L. E. S et al. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande Do Sul, Brasil: proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 11-23, 2010.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 253 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RUDORFF, B F. T. **Produtos do Sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 19 nov. 2013.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. C. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guará Formation, southern Brazil. **Sedimentology**. v. 52, p. 1323-1341, 2005.

SILVA, D. A. da. **Sistemas Sensores Orbitais**. São José dos Campos: INPE – CTA, 1995.

SILVA M. K. A.; BRITO J. L S.; ROSA R. Mapeamento do uso do solo no município de Pedrinpolis – MG. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO; 2005; Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 285-291.

SILVA, A. M. et al. Análise multitemporal e atualizao do mapa de uso e ocupao do solo do município de Monteiro - PB. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 1548 – 1555. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1013.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2013.

SOUTO, J. J. P. **Deserto, uma ameaça?** Estudo dos núcleos de desertificao na fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura-DRNR, 1985.

SOUZA, A. C. de; et al. Mapeamento da dinâmica do uso e cobertura da terra no município de Pinhal Grande – RS. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2014, Gramado. **Anais eletrônicos...** Gramado: SBC, 2014, p. 1-7. Disponível em: <[http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/238/CT04-15\\_1404418728.pdf](http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/238/CT04-15_1404418728.pdf)> Acesso em: 22 out. 2014.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008.

SUERTEGARAY, D. M. A. Erosão nos Campos Sulinos: Arenizao no Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 61-74, 2011.

\_\_\_\_\_. Desertificao: recuperao e desenvolvimento sustentável. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Orgs.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: B. Brasil, 1996.

\_\_\_\_\_. **Deserto Grande do Sul: Controvérsia**. 2 ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1998.

\_\_\_\_\_. **A trajetória da natureza um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí/RS**. 1987. Tese (Geografia Física) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo – SP.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; MARTINS, G.. Mapeamento e Cálculo de Área dos Areais (SW do RS) através de imagens Landsat TM5, para fins de monitoramento. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1993, Curitiba. **Anais...** 1993. v. 3. p. 323-331.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; WEBER, M.. Land Use and expansion/retraction of desertified areas in the southwest of Rio Grande do Sul, Brasil. In: International Symposium on Resource and Environmental Monitoring - ECO RIO'94, 1994, Rio de Janeiro, **Anais...** 1994.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R. (Org.). **Atlas da Arenização**: sudoeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento do Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2001.

SUERTEGARAY, D. M. A.; VERDUM, R. Desertification in the tropics. In: UNESCO. (Org.). **Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)**. Paris: UNESCO Publishing, v.1, p. 1-17., 2008.

SUERTEGARAY, D. M. A. et al. Projeto Arenização no Rio Grande do Sul, Brasil: gênese, dinâmica e espacialização. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 349-356. Disponível em: <<http://martem.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.14.12.00/doc/0349.356.234.pdf>>. Acesso em: 08 maio 2014.

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, p. 21-42, 2005.

TRENTIN, R. **Definição de Unidades Geoambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do RS**. 2007. 142f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

TRENTIN, R; SANTOS, L. J. C.; ROBAINA, L. E. S. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul –

Brasil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 127-142, jan/abr. 2012.

UNITED NATIONS. **International Convention to Combat Desertification**. New York: United Nations, 1994.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Global Visualization Viewer**. Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov>>. Acesso em: 25 nov. 2013.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat Missions**. Disponível em: <[http://landsat.usgs.gov/about\\_ldcm.php](http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php)>. Acesso em: 25 nov. 2013.

## APÊNDICES

---

## Apêndice A – Matriz de confusão gerada pelo método classificador Mínima Distância para a imagem de 2014

Confusion Matrix: E:\MESTRADO\DISSERTAÇÃO\PROJETO\_DISSERTAÇÃO\Teste\_classificadores\_final\  
Minima\_distancia

Overall Accuracy = (570/597) 95.4774%  
Kappa coefficient = 0.9466

Class	Ground Truth (Pixels)				
	agricultura_v	agua_v	areas_v	campo_v	floresta_v
Unclassified	0	0	0	0	0
agricultura [	46	0	0	7	0
agua [Blue] 1	0	45	0	0	1
areas [white	0	0	107	0	0
campo [Yellow	8	0	0	100	0
floresta [Gre	2	0	0	0	103
silvicultura	7	0	0	0	1
solo_exposto	0	0	0	0	0
Total	63	45	107	107	105

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0	0	0
agricultura [	0	0	53
agua [Blue] 1	0	0	46
areas [white	0	0	107
campo [Yellow	0	0	108
floresta [Gre	1	0	106
silvicultura	90	0	98
solo_exposto	0	79	79
Total	91	79	597

Class	Ground Truth (Percent)				
	agricultura_v	agua_v	areas_v	campo_v	floresta_v
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
agricultura [	73.02	0.00	0.00	6.54	0.00
agua [Blue] 1	0.00	100.00	0.00	0.00	0.95
areas [white	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
campo [Yellow	12.70	0.00	0.00	93.46	0.00
floresta [Gre	3.17	0.00	0.00	0.00	98.10
silvicultura	11.11	0.00	0.00	0.00	0.95
solo_exposto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0.00	0.00	0.00
agricultura [	0.00	0.00	8.88
agua [Blue] 1	0.00	0.00	7.71
areas [white	0.00	0.00	17.92
campo [Yellow	0.00	0.00	18.09
floresta [Gre	1.10	0.00	17.76
silvicultura	98.90	0.00	16.42
solo_exposto	0.00	100.00	13.23
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Percent)	
	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
agricultura [	13.21	26.98	7/53	17/63
agua [Blue] 1	2.17	0.00	1/46	0/45
areas [white	0.00	0.00	0/107	0/107
campo [Yellow	7.41	6.54	8/108	7/107
floresta [Gre	2.83	1.90	3/106	2/105
silvicultura	8.16	1.10	8/98	1/91
solo_exposto	0.00	0.00	0/79	0/79

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Percent)	
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
agricultura [	73.02	86.79	46/63	46/53
agua [Blue] 1	100.00	97.83	45/45	45/46
areas [white	100.00	100.00	107/107	107/107
campo [Yellow	93.46	92.59	100/107	100/108
floresta [Gre	98.10	97.17	103/105	103/106
silvicultura	98.90	91.84	90/91	90/98
solo_exposto	100.00	100.00	79/79	79/79

## Apêndice B – Matriz de confusão gerada pelo método classificador Mahalanobis para a imagem de 2014

Confusion Matrix: E:\MESTRADO\DISSERTAÇÃO\PROJETO\_DISSERTAÇÃO\Teste\_classificadores\_final\Mahalanobis

Overall Accuracy = (523/597) 87.6047%  
Kappa coefficient = 0.8528

Class	Ground Truth (Pixels)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	0	0	0	0	0
agricultura [	39	0	1	6	0
agua [Blue] 1	0	33	0	0	0
areas [white	0	0	103	0	0
campo [Yellow	2	0	0	101	0
floresta [Gre	11	12	0	0	105
silvicultura	11	0	0	0	0
solo_exposto	0	0	3	0	0
Total	63	45	107	107	105

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0	0	0
agricultura [	0	0	46
agua [Blue] 1	0	0	33
areas [white	0	0	103
campo [Yellow	0	3	106
floresta [Gre	0	25	153
silvicultura	91	0	102
solo_exposto	0	51	54
Total	91	79	597

Class	Ground Truth (Percent)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
agricultura [	61.90	0.00	0.93	5.61	0.00
agua [Blue] 1	0.00	73.33	0.00	0.00	0.00
areas [white	0.00	0.00	96.26	0.00	0.00
campo [Yellow	3.17	0.00	0.00	94.39	0.00
floresta [Gre	17.46	26.67	0.00	0.00	100.00
silvicultura	17.46	0.00	0.00	0.00	0.00
solo_exposto	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0.00	0.00	0.00
agricultura [	0.00	0.00	7.71
agua [Blue] 1	0.00	0.00	5.53
areas [white	0.00	0.00	17.25
campo [Yellow	0.00	3.80	17.76
floresta [Gre	0.00	31.65	25.63
silvicultura	100.00	0.00	17.09
solo_exposto	0.00	64.56	9.05
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Percent)	
	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
agricultura [	15.22	38.10	7/46	24/63
agua [Blue] 1	0.00	26.67	0/33	12/45
areas [white	0.00	3.74	0/103	4/107
campo [Yellow	4.72	5.61	5/106	6/107
floresta [Gre	31.37	0.00	48/153	0/105
silvicultura	10.78	0.00	11/102	0/91
solo_exposto	5.56	35.44	3/54	28/79

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Percent)	
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
agricultura [	61.90	84.78	39/63	39/46
agua [Blue] 1	73.33	100.00	33/45	33/33
areas [white	96.26	100.00	103/107	103/103
campo [Yellow	94.39	95.28	101/107	101/106
floresta [Gre	100.00	68.63	105/105	105/153
silvicultura	100.00	89.22	91/91	91/102
solo_exposto	64.56	94.44	51/79	51/54

## Apêndice C – Matriz de confusão gerada pelo método classificador Paralelepípedo para a imagem de 2014

Confusion Matrix: E:\MESTRADO\DISSERTAÇÃO\PROJETO\_DISSERTAÇÃO\Teste\_classificadores\_final\Paralelepipedo

Overall Accuracy = (458/597) 76.7169%  
Kappa Coefficient = 0.7264

Class	Ground Truth (Pixels)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	9	22	4	5	0
agricultura [	51	0	0	5	0
agua [Blue] 1	0	23	0	0	0
areas [white	0	0	103	0	0
campo [Yellow	2	0	0	97	0
floresta [Gre	0	0	0	0	105
silvicultura	0	0	0	0	0
solo_exposto	1	0	0	0	0
Total	63	45	107	107	105

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0	0	40
agricultura [	0	0	56
agua [Blue] 1	0	0	23
areas [white	0	0	103
campo [Yellow	0	0	99
floresta [Gre	91	0	196
silvicultura	0	0	0
solo_exposto	0	79	80
Total	91	79	597

Class	Ground Truth (Percent)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	14.29	48.89	3.74	4.67	0.00
agricultura [	80.95	0.00	0.00	4.67	0.00
agua [Blue] 1	0.00	51.11	0.00	0.00	0.00
areas [white	0.00	0.00	96.26	0.00	0.00
campo [Yellow	3.17	0.00	0.00	90.65	0.00
floresta [Gre	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
silvicultura	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
solo_exposto	1.59	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0.00	0.00	6.70
agricultura [	0.00	0.00	9.38
agua [Blue] 1	0.00	0.00	3.85
areas [white	0.00	0.00	17.25
campo [Yellow	0.00	0.00	16.58
floresta [Gre	100.00	0.00	32.83
silvicultura	0.00	0.00	0.00
solo_exposto	0.00	100.00	13.40
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Percent)	
	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
agricultura [	8.93	19.05	5/56	12/63
agua [Blue] 1	0.00	48.89	0/23	22/45
areas [white	0.00	3.74	0/103	4/107
campo [Yellow	2.02	9.35	2/99	10/107
floresta [Gre	46.43	0.00	91/196	0/105
silvicultura	0.00	100.00	0/0	91/91
solo_exposto	1.25	0.00	1/80	0/79

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Percent)	
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
agricultura [	80.95	91.07	51/63	51/56
agua [Blue] 1	51.11	100.00	23/45	23/23
areas [white	96.26	100.00	103/107	103/103
campo [Yellow	90.65	97.98	97/107	97/99
floresta [Gre	100.00	53.57	105/105	105/196
silvicultura	0.00	0.00	0/91	0/0
solo_exposto	100.00	98.75	79/79	79/80



## Apêndice D – Matriz de confusão gerada pelo método classificador SAM

Confusion Matrix: E:\MESTRADO\DISSERTAÇÃO\PROJETO\_DISSERTAÇÃO\Teste\_classificadores\_final\SAM

Overall Accuracy = (565/597) 94.6399%  
Kappa Coefficient = 0.9370

Class	Ground Truth (Pixels)				
	agricultura_v	agua_v	areas_v	campo_v	floresta_v
Unclassified	7	0	0	4	6
agricultura [	46	0	0	4	0
agua [Blue] 1	0	45	0	0	0
areas [white	0	0	107	0	0
campo [Yellow	7	0	0	99	0
floresta [Gre	3	0	0	0	98
silvicultura	0	0	0	0	1
solo_exposto	0	0	0	0	0
Total	63	45	107	107	105

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0	0	17
agricultura [	0	0	50
agua [Blue] 1	0	0	45
areas [white	0	0	107
campo [Yellow	0	0	106
floresta [Gre	0	0	101
silvicultura	91	0	92
solo_exposto	0	79	79
Total	91	79	597

Class	Ground Truth (Percent)				
	agricultura_v	agua_v	areas_v	campo_v	floresta_v
Unclassified	11.11	0.00	0.00	3.74	5.71
agricultura [	73.02	0.00	0.00	3.74	0.00
agua [Blue] 1	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
areas [white	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
campo [Yellow	11.11	0.00	0.00	92.52	0.00
floresta [Gre	4.76	0.00	0.00	0.00	93.33
silvicultura	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
solo_exposto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0.00	0.00	2.85
agricultura [	0.00	0.00	8.38
agua [Blue] 1	0.00	0.00	7.54
areas [white	0.00	0.00	17.92
campo [Yellow	0.00	0.00	17.76
floresta [Gre	0.00	0.00	16.92
silvicultura	100.00	0.00	15.41
solo_exposto	0.00	100.00	13.23
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Percent)	
	agricultura [	8.00	0.00	26.98
agua [Blue] 1	0.00	0.00	0.00	0.00
areas [white	0.00	0.00	0.00	0.00
campo [Yellow	6.60	0.00	7.48	0.00
floresta [Gre	2.97	0.00	6.67	0.00
silvicultura	1.09	0.00	0.00	0.00
solo_exposto	0.00	0.00	0.00	0.00

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Percent)	
	agricultura [	73.02	92.00	46/63
agua [Blue] 1	100.00	100.00	45/45	45/45
areas [white	100.00	100.00	107/107	107/107
campo [Yellow	92.52	93.40	99/107	99/106
floresta [Gre	93.33	97.03	98/105	98/101
silvicultura	100.00	98.91	91/91	91/92
solo_exposto	100.00	100.00	79/79	79/79

## Apêndice E – Matriz de confusão gerada pelo método classificador MAXVER para a imagem de 2014

Confusion Matrix: E:\MESTRADO\DISSERTAÇÃO\PROJETO\_DISSERTAÇÃO\Teste\_classificadores\_final\MAXVER

Overall Accuracy = (585/597) 97.9899%  
Kappa Coefficient = 0.9762

Class	Ground Truth (Pixels)				
	agricultura_v	agua_v	areas_v	campo_v	floresta_v
unclassified	0	0	0	0	0
agricultura [	53	0	0	1	0
agua [Blue] 1	0	45	0	0	0
areas [white	0	0	107	0	0
campo [Yellow	10	0	0	106	0
floresta [Gre	0	0	0	0	104
silvicultura	0	0	0	0	1
solo_exposto	0	0	0	0	0
Total	63	45	107	107	105

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0	0	0
agricultura [	0	0	54
agua [Blue] 1	0	0	45
areas [white	0	0	107
campo [Yellow	0	0	116
floresta [Gre	0	0	104
silvicultura	91	0	92
solo_exposto	0	79	79
Total	91	79	597

Class	Ground Truth (Percent)				
	agricultura_v	agua_v	areas_v	campo_v	floresta_v
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
agricultura [	84.13	0.00	0.00	0.93	0.00
agua [Blue] 1	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
areas [white	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
campo [Yellow	15.87	0.00	0.00	99.07	0.00
floresta [Gre	0.00	0.00	0.00	0.00	99.05
silvicultura	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95
solo_exposto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0.00	0.00	0.00
agricultura [	0.00	0.00	9.05
agua [Blue] 1	0.00	0.00	7.54
areas [white	0.00	0.00	17.92
campo [Yellow	0.00	0.00	19.43
floresta [Gre	0.00	0.00	17.42
silvicultura	100.00	0.00	15.41
solo_exposto	0.00	100.00	13.23
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)		Omission (Pixels)	
agricultura [	1.85	15.87	1/54		10/63	
agua [Blue] 1	0.00	0.00	0/45		0/45	
areas [white	0.00	0.00	0/107		0/107	
campo [Yellow	8.62	0.93	10/116		1/107	
floresta [Gre	0.00	0.95	0/104		1/105	
silvicultura	1.09	0.00	1/92		0/91	
solo_exposto	0.00	0.00	0/79		0/79	

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)		User Acc. (Pixels)	
agricultura [	84.13	98.15	53/63		53/54	
agua [Blue] 1	100.00	100.00	45/45		45/45	
areas [white	100.00	100.00	107/107		107/107	
campo [Yellow	99.07	91.38	106/107		106/116	
floresta [Gre	99.05	100.00	104/105		104/104	
silvicultura	100.00	98.91	91/91		91/92	
solo_exposto	100.00	100.00	79/79		79/79	

## Apêndice F – Matriz de confusão gerada pelo método classificador MAXVER para a imagem de 1984

Confusion Matrix: E:\MESTRADO\DISSERTAÇÃO\PROJETO\_DISSERTAÇÃO\Imagens classificadas\CLASSIF\_DISSERT\MAXVER\_84

Overall Accuracy = (668/682) 97.9472%  
Kappa Coefficient = 0.9760

Class	Ground Truth (Pixels)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	0	0	0	0	0
agricultura [	102	0	0	0	0
agua [Blue] 1	0	64	0	0	0
areas [white	0	0	91	0	0
campo [Yellow	0	0	0	108	0
floresta [Gre	0	1	0	4	97
silvicultura	0	0	0	0	7
solo_exposto	0	0	0	0	0
Total	102	65	91	112	104

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0	0	0
agricultura [	0	0	102
agua [Blue] 1	0	0	64
areas [white	0	0	91
campo [Yellow	0	1	109
floresta [Gre	1	0	103
silvicultura	100	0	107
solo_exposto	0	106	106
Total	101	107	682

Class	Ground Truth (Percent)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
agricultura [	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
agua [Blue] 1	0.00	98.46	0.00	0.00	0.00
areas [white	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
campo [Yellow	0.00	0.00	0.00	96.43	0.00
floresta [Gre	0.00	1.54	0.00	3.57	93.27
silvicultura	0.00	0.00	0.00	0.00	6.73
solo_exposto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0.00	0.00	0.00
agricultura [	0.00	0.00	14.96
agua [Blue] 1	0.00	0.00	9.38
areas [white	0.00	0.00	13.34
campo [Yellow	0.00	0.93	15.98
floresta [Gre	0.99	0.00	15.10
silvicultura	99.01	0.00	15.69
solo_exposto	0.00	99.07	15.54
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)		Omission (Pixels)	
agricultura [	0.00	0.00	0/102	0/102	0/102	0/102
agua [Blue] 1	0.00	1.54	0/64	1/65	1/65	1/65
areas [white	0.00	0.00	0/91	0/91	0/91	0/91
campo [Yellow	0.92	3.57	1/109	4/112	4/112	4/112
floresta [Gre	5.83	6.73	6/103	7/104	7/104	7/104
silvicultura	6.54	0.99	7/107	1/101	1/101	1/101
solo_exposto	0.00	0.93	0/106	1/107	1/107	1/107

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)		User Acc. (Pixels)	
agricultura [	100.00	100.00	102/102	102/102	102/102	102/102
agua [Blue] 1	98.46	100.00	64/65	64/64	64/64	64/64
areas [white	100.00	100.00	91/91	91/91	91/91	91/91
campo [Yellow	96.43	99.08	108/112	108/109	108/109	108/109
floresta [Gre	93.27	94.17	97/104	97/103	97/103	97/103
silvicultura	99.01	93.46	100/101	100/107	100/107	100/107
solo_exposto	99.07	100.00	106/107	106/106	106/106	106/106

## Apêndice G – Matriz de confusão gerada pelo método classificador MAXVER para a imagem de 1994

Confusion Matrix: E:\MESTRADO\DISSERTAÇÃO\PROJETO\_DISSERTAÇÃO\Imagens classificadas\CLASSIF\_DISSERT\MAXVER\_94

Overall Accuracy = (656/679) 96.6127%  
Kappa Coefficient = 0.9604

Class	Ground Truth (Pixels)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	0	0	0	0	0
agricultura [	81	0	0	0	0
agua [Blue] 1	0	76	0	0	0
areas [white	0	0	107	0	0
campo [Yellow	0	0	0	103	0
floresta [Gre	0	0	0	0	85
silvicultura	0	0	0	0	20
solo_exposto	0	0	0	0	0
Total	81	76	107	103	105

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0	0	0
agricultura [	0	0	81
agua [Blue] 1	0	0	76
areas [white	0	0	107
campo [Yellow	0	0	103
floresta [Gre	3	0	88
silvicultura	109	0	129
solo_exposto	0	95	95
Total	112	95	679

Class	Ground Truth (Percent)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
agricultura [	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
agua [Blue] 1	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
areas [white	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
campo [Yellow	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
floresta [Gre	0.00	0.00	0.00	0.00	80.95
silvicultura	0.00	0.00	0.00	0.00	19.05
solo_exposto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0.00	0.00	0.00
agricultura [	0.00	0.00	11.93
agua [Blue] 1	0.00	0.00	11.19
areas [white	0.00	0.00	15.76
campo [Yellow	0.00	0.00	15.17
floresta [Gre	2.68	0.00	12.96
silvicultura	97.32	0.00	19.00
solo_exposto	0.00	100.00	13.99
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)		Omission (Pixels)	
agricultura [	0.00	0.00	0/81	0/81	0/81	0/81
agua [Blue] 1	0.00	0.00	0/76	0/76	0/76	0/76
areas [white	0.00	0.00	0/107	0/107	0/107	0/107
campo [Yellow	0.00	0.00	0/103	0/103	0/103	0/103
floresta [Gre	3.41	19.05	3/88	20/105	3/88	20/105
silvicultura	15.50	2.68	20/129	3/112	20/129	3/112
solo_exposto	0.00	0.00	0/95	0/95	0/95	0/95

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)		User Acc. (Pixels)	
agricultura [	100.00	100.00	81/81	81/81	81/81	81/81
agua [Blue] 1	100.00	100.00	76/76	76/76	76/76	76/76
areas [white	100.00	100.00	107/107	107/107	107/107	107/107
campo [Yellow	100.00	100.00	103/103	103/103	103/103	103/103
floresta [Gre	80.95	96.59	85/105	85/105	85/88	85/88
silvicultura	97.32	84.50	109/112	109/129	109/112	109/129
solo_exposto	100.00	100.00	95/95	95/95	95/95	95/95

## Apêndice H – Matriz de confusão gerada pelo método classificador MAXVER para a imagem de 2004

Confusion Matrix: E:\MESTRADO\DISSERTAÇÃO\PROJETO\_DISSERTAÇÃO\Imagens classificadas\CLASSIF\_DISSERT\MAXVER\_04

Overall Accuracy = (386/407) 94.8403%  
Kappa Coefficient = 0.9384

Class	Ground Truth (Pixels)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	0	0	0	0	0
agricultura [	66	0	0	0	0
agua [Blue] 1	0	26	0	0	0
areas [white	0	0	75	0	0
campo [Yellow	0	0	0	77	0
floresta [Gre	0	0	0	0	74
silvicultura	0	0	0	0	5
solo_exposto	0	0	0	0	0
Total	66	26	75	77	79

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0	0	0
agricultura [	0	0	66
agua [Blue] 1	0	0	26
areas [white	0	0	75
campo [Yellow	0	0	77
floresta [Gre	16	0	90
silvicultura	38	0	43
solo_exposto	0	30	30
Total	54	30	407

Class	Ground Truth (Percent)		areas_v	campo_v	floresta_v
	agricultura_v	agua_v			
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
agricultura [	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
agua [Blue] 1	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
areas [white	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
campo [Yellow	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
floresta [Gre	0.00	0.00	0.00	0.00	93.67
silvicultura	0.00	0.00	0.00	0.00	6.33
solo_exposto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	silvicultura_solo_exposto_		
Unclassified	0.00	0.00	0.00
agricultura [	0.00	0.00	16.22
agua [Blue] 1	0.00	0.00	6.39
areas [white	0.00	0.00	18.43
campo [Yellow	0.00	0.00	18.92
floresta [Gre	29.63	0.00	22.11
silvicultura	70.37	0.00	10.57
solo_exposto	0.00	100.00	7.37
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Percent)	
	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
agricultura [	0.00	0.00	0/66	0/66
agua [Blue] 1	0.00	0.00	0/26	0/26
areas [white	0.00	0.00	0/75	0/75
campo [Yellow	0.00	0.00	0/77	0/77
floresta [Gre	17.78	6.33	16/90	5/79
silvicultura	11.63	29.63	5/43	16/54
solo_exposto	0.00	0.00	0/30	0/30

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Percent)	
	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
agricultura [	100.00	100.00	66/66	66/66
agua [Blue] 1	100.00	100.00	26/26	26/26
areas [white	100.00	100.00	75/75	75/75
campo [Yellow	100.00	100.00	77/77	77/77
floresta [Gre	93.67	82.22	74/79	74/90
silvicultura	70.37	88.37	38/54	38/43
solo_exposto	100.00	100.00	30/30	30/30