



ELSON VITOR ESPERANÇA JUNIOR

**EXPERIMENTAÇÃO DE IMAGENS *RAPIDEYE* PARA O
MAPEAMENTO DE ARAUCÁRIA NO MUNICÍPIO DE BUENO
BRANDÃO - MG**

INCONFIDENTES-MG

2015

ELSON VITOR ESPERANÇA JUNIOR

**EXPERIMENTAÇÃO DE IMAGENS *RAPIDEYE* PARA O
MAPEAMENTO DE ARAUCÁRIA NO MUNICÍPIO DE BUENO
BRANDÃO - MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônômica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas – Câmpus Inconfidentes, para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Agrônômica. Área de concentração: Ciências Agrárias.

Orientador: Dsc. Angelo Marcos Santos Oliveira

Coorientador: Dsc. Mosar Faria Botelho

INCONFIDENTES - MG

2015

ELSON VITOR ESPERANÇA JUNIOR

**EXPERIMENTAÇÃO DE IMAGENS *RAPIDEYE* PARA O
MAPEAMENTO DE ARAUCÁRIA NO MUNICÍPIO DE BUENO
BRANDÃO - MG**

Data da aprovação: 17 de Novembro de 2015

**Orientador: Prof.º Dsc. Angelo Marcos Santos Oliveira
IFSULDEMINAS, *Campus Inconfidentes***

**Membro 1: Prof.º Dsc. Mosar Faria Botelho
IFSULDEMINAS, *Campus Inconfidentes***

**Membro 2: Msc. Laercio Loures
IFSULDEMINAS, *Campus Inconfidentes***

Dedicatória

Com muito amor, respeito e admiração,

Dedico...

À minha família que sempre me apoiou. Em especial para minha mãe Maria Aparecida Rodrigues Cardoso Vitor, guerreira a meu favor, pois se cheguei até aqui foi, principalmente, por tudo que fazes por mim. Amo-te incondicionalmente!

Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao Deus maravilhoso que me proporcionou o privilégio dessa experiência. – Sei que se não por Tua vontade, nada disso teria acontecido.

Agradeço à minha família, por tudo o que fizeram e ainda fazem por mim, pois sem esse apoio (financeiro, sentimental, emocional e psicológico) eu não teria conseguido!

Agradeço (com lágrimas nos olhos) em especial você minha mãe, que sempre esteve à postos para me ajudar em tudo que precisava, que se preocupou a cada dia desses cinco anos em como eu estava, em o que eu precisava, que fez o que podia e até mesmo o que não podia para que eu me mantivesse aqui, e hoje lhe digo, OBRIGADO por ter exercido um papel tão determinante nessa minha conquista, saiba que ela também é muito sua!

Agradeço ao meu pai Elson Vitor Esperança por toda ajuda por cada vez que se dispôs a me buscar, e aos meus irmãos Fernando Vitor Cardoso e Lucas Vitor Esperança Cardoso por terem contribuído como puderam para que eu alcançasse essa conquista. – Vocês também têm parte nisso!

Agradeço ao corpo docente, em especial, meu professor, orientador e amigo Angelo Marcos Santos Oliveira, por toda dedicação e doação de seu tão escasso tempo. – Por ter feito muito mais do que simplesmente me orientado eu lhe agradeço!

Agradeço aos meus colegas de sala e amigos Douglas dos Santos Gomes, Elaine Cristina Batista, Fidelys Borges Maia, Lucas Moura Cavalcanti, Laís Teles de Sousa, Tamires Teles de Sousa e Willian Marçal Brandão e os demais e ainda meus companheiros de quarto Rafael Francisco Fernandes, Adeilson Silvério de Almeida (Loko Abreu) e Gabriel Teófilo Guedes por toda amizade e ajuda que ofereceram durante esses cinco anos, por muitas vezes “salvando minha pele”!

Agradeço à minha linda, até o momento, noiva Michelle K. Pereira por toda a paciência e apoio durante todo esse tempo em que está comigo. – Por tudo que é e fazes por mim eu divido com você essa “nossa” conquista. Te Amo Princesa!

Agradeço à família Sara Nossa Terra tanto de Inconfidentes (em especial os pastores Valter e Isabel Prisco e ainda meu grande amigo Tiago Bruschi) quanto de Bueno Brandão por tudo que fizeram por mim, por cada ajuda, cada momento de alegria que me proporcionaram. – Saibam que vocês aliviaram muito a minha carga desses cinco longos anos.

Agradeço aos meus tios Eduardo e Adriana por, sempre que precisei, independentemente da hora (por muitas vezes muito cedo), terem me recebido em sua casa na grande Belo Horizonte – MG (por muitas vezes até me buscado e levado à rodoviária).

Agradeço ao pessoal da “lojinha da Ana” (Ana, Ingled, “Jão” e Paulão) por toda confiança, amizade e paciência comigo.

– E por último, mas não menos importante... agradeço a todo aquele que direta ou indiretamente, de alguma maneira contribuiu para minha permanência aqui, que deixou sua marca na minha história, é com o coração preenchido pelo sentimento chamado gratidão que eu deixo a vocês o meu MUITO OBRIGADO!!!

Epígrafe

“E disse-me Deus: a Minha graça te basta, porque o Meu poder se aperfeiçoa na sua fraqueza”.
(2 Coríntios 12:9)

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO..... | VII |
| ABSTRACT..... | VIII |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 3 |
| 2.1. ARAUCÁRIA (<i>Araucaria angustifolia</i> (Bert.) O. Kuntze)..... | 3 |
| 2.2. SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS..... | 5 |
| 2.3. CARACTERÍSTICAS DO SENSOR REIS..... | 8 |
| 2.4. PROCESSAMENTO DIGITAL..... | 8 |
| 2.4.1. Correção Radiométrica..... | 9 |
| 2.4.2. Realce de Contraste..... | 10 |
| 2.4.3. Transformação por Componentes Principais (CP) | 11 |
| 2.4.4. Operações Aritméticas | 14 |
| 2.4.5. Segmentação de imagens..... | 17 |
| 2.4.6. Classificação | 18 |
| 2.4.6.1. Classificação Supervisionada Máxima Verossimilhança (Pixel a Pixel)..... | 18 |
| 2.4.6.2. Classificação Supervisionada <i>Bhattacharya</i> (Por Regiões)..... | 19 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 21 |
| 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 21 |
| 3.2. IMAGENS E <i>SOFTWARE</i> UTILIZADOS..... | 22 |
| 3.3. BASE CARTOGRÁFICA..... | 24 |
| 3.4. COLETA DE PONTOS AMOSTRAIS..... | 25 |
| 3.5. PROCESSAMENTO DIGITAL..... | 25 |
| 3.5.1. Correção Radiométrica..... | 25 |
| 3.5.2. Análise de Componentes Principais (CP) | 27 |
| 3.5.3. Realce de Contraste..... | 29 |
| 3.5.6. Operação Aritméticas entre bandas (IVDN) | 30 |
| 3.5.7. Segmentação..... | 31 |
| 3.5.8. Classificação da imagem segmentada..... | 31 |
| 3.5.8.1 Classificação MAXVER..... | 31 |
| 3.5.8.2. Classificação <i>Bhattacharya</i> | 32 |
| 3.5.9. Análise Visual e Interpretação dos Produtos Gerados..... | 33 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 35 |
| 4.1. SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS..... | 35 |
| 4.2. CLASSIFICAÇÃO..... | 36 |
| 4.2.1. Classificação MAXVER..... | 36 |
| 4.2.2. Classificação <i>Bhattacharya</i> | 37 |
| 4. CONCLUSÕES..... | 42 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 43 |

RESUMO

A espécie *Araucaria angustifolia* predomina na Floresta Ombrófila Mista, mas devido a sua intensa exploração é considerada como vulnerável à extinção. No Sul de Minas Gerais, em altitudes acima de 900 m, ainda podem ser encontrados fragmentos de matas com Araucárias nativas e em reflorestamento. O presente trabalho teve como objetivo realizar o mapeamento da ocorrência da espécie no município de Bueno Brandão-MG – cuja sua sede encontra-se nas coordenadas de 22° 26' 27" de latitude Sul e 46° 21' 03" de longitude Oeste, a 1200 m de altitude (partes deste município estão acima de 1600 m de altitude) com área total de aproximadamente 370 km², inseridos na cadeia montanhosa da Serra da Mantiqueira, onde, apresenta clima tropical de altitude, com média anual de 16,5 °C, com máxima, no verão de até 32 °C e mínimas de até - 4 °C, nos invernos mais rigorosos – identificando fragmentos florestais da espécie por meio de imagens espaciais dos satélites *RapidEye*, bem como confeccionar o mapa discriminatório das áreas de ocorrência da espécie no município, utilizando-se do *software* livre SPRING (INPE) versão 5.3.1. quantificando a área coberta pela espécie (ha), para suporte a trabalhos futuros na região. Foram adquiridas 4 cenas do sensor *RapidEye* que, para melhoria da qualidade das mesmas, foram previamente processadas, realizando-se correções e realces antes da composição do mosaico com três bandas (Vermelho, Infravermelho-próximo e uma banda resultante da Análise de Componentes Principais) para, então, proceder com a segmentação pelo método “crescimento de regiões” e posteriormente classificação supervisionada pelos métodos “Máxima Verossimilhança (MAXVER)” (por *pixels*) e “Distância de *Bhattacharya*” (por regiões). Devido ao padrão de distribuição de ocorrência da espécie na área estudada e à resolução espectral e espacial apresentada pelo sensor, o produto gerado pela classificação, contendo apenas uma classe temática, não apresentou bons resultados mediante análise visual, uma vez que devido ao fato da opção pela geração de apenas uma classe temática não foi possível realizar verificação estatística pela matriz de confusão e índice Kappa. Foi concluído, portanto que, para o padrão de ocorrência e distribuição da espécie no município, não foi possível realizar a classificação e produção de mapas temáticos usando cenas do sensor REIS pelo métodos classificadores MAXVER e *Bhattacharya*, pois suas resoluções espectral e espacial se mostraram insuficientes para alcançar o objetivo proposto, logo, para realização de trabalhos futuros visando o mapeamento da espécie no município, deverá utilizar-se cenas de sensores que apresentem maior resolução espectral e espacial.

ABSTRACT

The angustifolia *Araucaria* species predominates in Araucaria Forest, but due to its intense exploration is considered vulnerable to extinction. In south Minas Gerais above 900 meters altitude, it can still be found native araucaria forest fragments and reforestation. This study is aimed to mapping of occurrence of the specie in the city of BuenoBradao-MG - whose the geographic position is at south latitude 22° 26' 27" and west longitude 46° 21' 03", and it is at 1200 m of height of the sea level (parts of this city are above of 1600m of height). This area approximately comprehend 370km² inserted in the mountain range of Serra da Mantiqueira where it has highly tropical weather with annual average of 16,5 °C which it has in the summer maximum of 32 °C and in the rigorous winter minimum of at least - 4 °C. Identifying forest fragments of the specie using space of RapidEye satellite images; in addition, making the identifying map of the areas which it has occurrence of the specie at city using SPRING (INPE) software version 5.3.1 quantifying the cover area per the specie for helping futures works on this area. It has been acquired 4 scenes of RapidEye sensor that improve the quality of the same, and it was preview processed performing up the corrections and highlights before of the three band mosaic composition (Red, Infrared-next and one resultant band of mainly components of analysis). For then behave with the segmentation for the method "growing's region", and after that supervised qualify per region by Bhattacharya's method. Due to the standard occurrence distribution of the specie in the study area and the spectral resolution. Moreover, it has shown showed special by the sensor, and the product generate by the classification with just one thematic class does not show good results according to the visual analyses. Once due to the fact of the option for the generation of just one thematic class, it could not make the statistical verification by the confusion matrix and Kappa index. Thus, it has been concluded that for the occurrence standard and specie distribution in the city, therefore, it could not perform the classification and production of thematic maps using scenes REIS sensor by classifiers methods MAXVER and *Bhattacharya*, because their spectral and spatial resolutions are insufficient to achieve the proposed objective, therefore, for future work aimed at mapping the species in the municipality should be used sensors scenes that have higher spectral and spatial resolution.

1. INTRODUÇÃO

A *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Kuntze é a espécie predominante da Floresta Ombrófila Mista, conhecida como Pinheiro-brasileiro, Pinheiro-do-Paraná. A presença da Araucária foi destaque, cobrindo grandes áreas, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, embora com menores formações em São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

A intensa exploração ocorrida com a Araucária, principalmente devido a qualidade de sua madeira resultou na inclusão desta espécie em lista de vulnerável a extinção.

Atualmente há uma forte demanda de madeira como matéria prima para papel e celulose, convertendo áreas de matas naturais em reflorestamentos com Pinus e Eucalipto, ocupando áreas anteriormente com Araucárias.

Infelizmente mesmo mediante à situação em que se encontra o Pinheiro-brasileiro, muitos produtores de culturas agrícolas do estado do Paraná, não permitem que indivíduos da espécie se desenvolvam em suas propriedades para evitar problemas futuros com a legislação, que se encontra mais rigorosa quanto à proteção desta espécie no estado.

Além da redução da cobertura vegetal com Araucária, ocorre uma forte fragmentação desta devido a atividade agropecuária. Nesse sentido, ocorre um agravamento da conservação da Araucária porque o isolamento reduz o fluxo gênico e a biodiversidade, além de intensificar o efeito de bordadura

A redução das áreas com Araucária afeta toda a biodiversidade associada a essa espécie, tais como micro-organismos e invertebrados de solo, megafauna (roedores) e aves, como a gralha azul (*Cyanocorax caeruleus*) que se encontra igualmente em situação de vulnerabilidade à extinção.

Ainda que em menor ocorrência, a araucária encontra condições que lhe permitam desenvolver-se em estados como São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro.

No Sul de Minas Gerais, o pouco que restou de áreas de mata com Araucária nativa e em reflorestamentos são encontradas, em altitudes elevadas, acima de 1000 m, sujeitas a serem substituídas por atividades agropecuárias. No município de Bueno, ainda há fragmentos esparsos de mata com Araucária e outras isoladas compondo a paisagem de pastagens e áreas de divisas de propriedades rurais.

No município de Bueno Brandão no sul do estado de Minas Gerais observa-se um destaque especial na paisagem proporcionado por indivíduos da espécie, evidenciando ocorrência considerável da mesma.

Como importantes ferramentas de monitoração e planejamento de utilização e proteção de recursos naturais, o sensoriamento remoto (SR) e os sistemas de informações geográficas (SIGs), vem contribuindo, de maneira cada vez mais expressiva, para que haja agilidade e eficiência no processo de aquisição e utilização de informações. Nesse sentido a utilização de imagens espaciais aparece como peça fundamental a este sistema, trazendo características como precisão, agilidade e custo reduzido no processo de aquisição de informações. Mediante esses pontos o presente trabalho objetivou realizar o mapeamento da ocorrência de araucária (*Araucariaangustifolia*) na área limítrofe do município de Bueno Brandão – MG utilizando cenas do sensor REIS que cubram, em totalidade, o município identificando locais de ocorrência da espécie através de técnicas de processamento digital de imagens (PDI) como a segmentação e classificação das imagens, confeccionando um mapa discriminatório das áreas com ocorrência da espécie no município, utilizando-se do *software* livre SPRING versão 5.3.1. mensurando a área coberta pela espécie (ha), para suporte a futuros trabalhos envolvendo a espécie na região.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Item destinado a uma breve descrição da fundamentação teórica e dos conceitos gerais relacionados ao objeto de estudo e instrumentos necessários para pesquisa.

2.1. ARAUCÁRIA (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze)

O bioma Floresta Atlântica, o mais extenso dentre os cinco biomas brasileiros – ocorria originalmente em 17 dos 26 estados brasileiros, do sul até o nordeste – encontra-se sob rigorosa proteção legal através de dispositivos como o Decreto 750/1993, a Resolução 278/2001, a Lei 11.428, de 22 de dezembro de 2006 e o Decreto 6.660, de 21 de novembro de 2008 (CONAMA) em função da intensa exploração a que fora submetida. Contudo, mesmo sob proteção de legislação bastante restritiva, o avanço da agricultura, urbanização, pecuária, além de outras formas de conversão do uso da terra, sob a Mata Atlântica não foi contido e, o estado atual é de muita atenção devido à intensa fragmentação (ROSOT, 2007).

As florestas com araucárias (Floresta Ombrófila Mista) constituem uma fisionomia do Bioma da Mata Atlântica (MEDEIROS, 2005), característico da região sul do Brasil e de algumas áreas da região Sudeste, abrigando uma grande variedade de espécies, muitas endêmicas desse ecossistema. Na floresta Ombrófila Mista há o predomínio da *Araucaria angustifolia*, uma árvore de grande porte popularmente conhecida como pinheiro-brasileiro. A araucária concentra-se formando agrupamentos densos, sobretudo na parte leste e central do planalto sul brasileiro, cobrindo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, embora também ocorra em ilhas esparsas no sul e nordeste do Estado de São Paulo e, mais raramente, em algumas partes de Minas Gerais e Rio de Janeiro (RIBEIRO et al.,

2009). Essa espécie também ocorre na Província de Misiones, na Argentina (SANQUETTA e NETTO, 2000).

A floresta Ombrófila Mista se estende naturalmente no espaço geográfico compreendido entre as latitudes de 19° 15' S a 31° 30' S e longitudes de 41° 30' W a 54° 30' W, em locais de altitudes que variam de 500 a 800 m (MAACK, 1968; MATTOS, 1972; TROPPEMAIR, 1990).

Essa floresta é considerada, na América Latina, como sendo uma das regiões mais afetadas pela ação antrópica, resultando em elevada fragmentação e alteração da paisagem, além do isolamento desta espécie, perda de habitat, redução de biodiversidade, alteração de regime de corpos d'água, erosão de solos, dentre outros (BRITZ, 2007). A cobertura natural desse ecossistema no território nacional era de aproximadamente 185.000 a 200.000 km², sendo que, a maior parte encontrava-se inserida no estado do Paraná (73.780 km²), em seguida a maior ocorrência era no estado de Santa Catarina (56.693 km²), seguida do Rio Grande do Sul (46.843 km²) e, por final, uma pequena parte distribuída em pequenas e esparsas manchas nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (7.684 km²) (MACHADO e SIQUEIRA, 1980 apud BUZZI JUNIOR et al., 2011).

A araucária é uma espécie arbórea de porte elevado, tronco reto, uniforme e cilíndrico, sua altura varia de 30 a 50 m e o diâmetro do seu tronco a altura do peito (1,5 m) na planta adulta (LORENZI, 1992, WEHR e TOMAZELLO FILHO, 2000).

Em seus estudos, Puchalski et al. (2006) verificaram que a profundidade do solo é o atributo que mais limita o desenvolvimento da araucária, podendo limitar o seu ciclo de vida, principalmente pelo contato lítico ou hídrico das raízes das plantas em profundidades inferiores a três metros.

A exploração da madeira da araucária, especialmente por sua qualidade, nas décadas de 30 e 90, elevaram as exportações madeireiras, mas a perda de árvores foi estimado em 100 milhões (PROCHNOW, 2009).

Atualmente, o aumento da atividade econômica e expansão das fronteiras agrícolas, vem reduzindo drasticamente a área de floresta coberta com araucária, permanecendo a floresta com suas características originais apenas em parques naturais e áreas de mata atlântica de difícil acesso (CLEMENT, 2004; RIBEIRO et al., 2009).

2.2. SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O termo “Sensoriamento Remoto” (SR) que, segundo Barret e Curtis (1999; LUZ, 2009), foi usado inicialmente para designar uma nova ciência, conota a idéia de captação de informação à distância, sendo resumido pelos mesmos autores como “ciência da observação à distância”.

Mais tarde, de maneira mais elaborada, Meneses et al. (2001) conceituaram o SR como sendo um conjunto de técnicas de aquisição de informações de alvos da superfície terrestre através da captação de fluxos de radiação eletromagnética (REM) que, após serem refletidas pelo(s) alvo(s), incidem sobre o captador (sensor), dispensando o contato físico direto entre os mesmos.

Após a utilização das primeiras formas de SR, através de imagens obtidas de locais altos como torres e montanhas, por volta do ano de 1830, essa ciência sofreu avanços consideráveis, acarretando em, cada vez mais emprego de tecnologias para aquisição de imagens aéreas, como nos primeiros casos o emprego de balões (1859) e posteriormente aviões (1909) (CENTENO, 2003). Paralelamente surgia o conceito de sistematização do processo de geração de produtos de sensoriamento remoto, sendo este dividido nas etapas de: observação, captação e, por fim, armazenamento das informações obtidas (HOWARD, 1991; BARRET e CURTIS, 1999).

Porém as maiores contribuições para a “nova ciência de observação à distância” vieram a partir das guerras que acometeram a humanidade na era moderna (com ênfase na 2ª guerra mundial e guerra fria), onde que, por maior exigência e demanda militar, em destaque Estados Unidos e antiga União Soviética (atual Rússia), muito se foi investido em pesquisas para a criação de novas tecnologias, principalmente nas áreas da informática e exploração espacial (BARRET e CURTIS, 1999). Foi esse período que antecedeu o lançamento da missão *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS) pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) que, em 1972 originou a série *Landsat* (CENTENO, 2003 apud LUZ, 2009).

A própria criação da série *Landsat* foi um marco no que diz respeito à utilização de sensoriamento remoto para a observação da superfície terrestre, com finalidade de aquisição de dados sobre recursos naturais (CENTENO, 2003).

Desde o entendimento da participação direta da radiação eletromagnética oriunda do sol no processo fotossintético, principalmente dos vegetais, essa interação passou a ser estudada de maneira, cada vez mais aprofundada, abrangendo desse modo o comportamento

apresentado pelos vegetais não somente referente à absorção da fração utilizada da REM no processo fotossintético, mas também no que diz respeito ao restante dispensado pelos mesmos na forma de energia refletida (reflectância) (MENESES et al., 2001).

A partir da década de 60, foram iniciadas pesquisas na área dos “Sistemas de Informações Geográficas (SIGs)” e desde então, sua utilização vem crescendo de forma considerável em todo o mundo dado que, sua utilização proporciona benefícios no gerenciamento de informações, refletindo em melhoria, eficiência e maior agilidade a processos complexos como planejamento urbano (nível municipal, regional, estadual e federal), planejamento ambiental, planejamento agrícola, redes de utilidades públicas, dentre outros (LISBOA FILHO e IOCHPE, 1996).

A produção de mapas com precisão se deu a partir da segunda metade do século XVIII com o desenvolvimento da cartografia, porém os SIGs só vieram mais tarde, tendo sido desenvolvidos de maneira independente e paralela inicialmente pelos países Canadá, Inglaterra e EUA (ANTENUCCI et al. 1991 apud LISBOA FILHO e IOCHPE, 1996).

Com o crescente avanço das tecnologias espaciais, aliado a fatores como melhoria de capacidade de processamento e armazenamento dos computadores e redução de custo de aquisição de *hardwares* em geral e, posteriormente, o surgimento do *Global Positioning System* (GPS) desenvolvido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos (DoD – *Department of Defense*), inicialmente utilizados para fins principalmente militares, os SIGs têm sido cada vez mais empregados no gerenciamento de dados geográficos (MENESES et al., 2001).

No Brasil a utilização de técnicas SR já se tornou prática comum e até mesmo indispensável para estudos e avaliações de cobertura vegetal em território nacional, mesmo no que diz respeito à distinção de vegetação ou ainda de diferentes estágios sucessionais dentro de uma mesma espécie (CARREIRAS et al. 2006; VIEIRA et al. 2003).

No intuito de mapear formações de Mata Atlântica e formações de floresta ombrófila mista, Kux e Pinheiro (2005) e Venancio (2009), respectivamente, utilizaram cenas do satélite *QuickBird* e *QuickBird-2* para produção de mapas que discriminassem a ocorrência dessas formações florestais no Paraná e no Rio Grande do Sul, respectivamente.

Também no Rio Grande do Sul, ainda para o mapeamento de araucária, Diverio et al. (2001) utilizaram cenas do sensor *Landsat* que, após classificadas pelo, mais popular algoritmo classificador *pixel a pixel*, Máxima Verossimilhança (MAXVER) (INPE, 2008), resultaram em mapas discriminatórios de diferentes usos e cobertura do solo, em caráter

quantitativo e qualitativo, úteis para o monitoramento e gerenciamento do Parque Nacional da Floresta Nacional (FLONA) em São Francisco de Paula – RS.

Imagens espaciais têm sido utilizadas no Brasil com intuito de discriminação de classes de vegetação. Nesse intuito, Celinski e Zimback (2009), utilizaram imagens do sensor CCD/CBERS-2 classificadas pelo algoritmo MAXVER, para discriminação das diferentes classes de vegetação da região dos Campos Gerais, no estado do Paraná. O estudo apresentou resultados que se mostraram promissores referentes à utilização de imagens espaciais para esse tipo de utilização, porém apresentando insatisfações quanto à discriminação de determinadas culturas presentes na região.

Utilizando técnicas de fusão de imagens, a partir de imagens HRC-CCD/CBERS-2B e um algoritmo classificador por regiões, o ISOSEG, Silva et al. (2009) realizaram uma análise da distribuição de copas de araucária na parte central da FLONA de Irati no estado do Paraná. Sua área de estudos compreendeu uma Unidade de Conservação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) que totaliza cerca de 3.495 ha, sendo que desses, aproximadamente 1.300 ha são de floresta ombrófila mista. Seus resultados foram favoráveis quanto à identificação e distinção dos alvos, porém os autores salientaram a necessidade do conhecimento prévio da área. Recomendaram ainda a utilização de aplicativos que utilizem outros parâmetros, como textura e forma, a fim de obtenção de melhores resultados.

Comparando a eficácia de diferentes algoritmos classificadores com a finalidade de mapeamento da vegetação arbórea e outros usos do solo em uma área de floresta ombrófila mista, Luz (2009) utilizou imagens ALOS e técnica de fusão de imagens para proceder com classificação através dos métodos “Árvore de Decisão” e “Distância de *Bhattacharya*” (por regiões).

Para mapeamento de fragmentos florestais de Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) em Tumiritinga – MG, Oliveira et al. (2013) utilizaram imagens *RapidEye* (*RapidEye Earth Imaging System* – sensor REIS), submetidas aos métodos de classificação supervisionada MAXVER e Redes Neurais (RN). Os resultados obtidos apontaram superioridade na classificação realizada utilizando-se MAXVER para a situação, porém, não obteve êxito na distinção e retratação do quadro de espécies ameaçadas de extinção na região de estudo, inclusive a aroeira.

2.3. CARACTERÍSTICAS DO SENSOR REIS

Os sensores REIS (*RapidEye Earth Imaging System*) são dispositivos imageadores à bordo da constelação de microssatélites (satélites artificiais com uma massa entre 100 e 500 kg) *RapidEye*, sendo esta, constituída pelos satélites *Tachys*, *Mati*, *Trochia*, *Choros* e *Choma*. Lançados em agosto de 2008 através do foguete russo DNEPR-1. Os satélites *RapidEye* se destacam pela capacidade de produzir conjuntos de imagens de qualquer ponto da Terra em pouco tempo, fazendo com que ele possa ser utilizado para monitoramento de eventos em agricultura, cartografia, florestas, governos, seguradoras e em outros que necessitem de uma atualização de dados mais rápida (EMBRAPA, 2013).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) adquiriu a cobertura completa do Brasil em imagens dos satélites *RapidEye*. A partir da assinatura de acordos de cooperação técnica com o MMA, a Embrapa e outros órgãos públicos podem utilizá-las em ações e pesquisas.

Os sensores REIS foram instalados nos cinco satélites *RapidEye* e produzem imagens da superfície terrestre em cinco faixas espectrais, sendo estas: Azul (440–510 nm), Verde (520-590 nm), Vermelho (630-685 nm), *Red-Edge* (690-730 nm), sensível a alterações do teor de clorofila das plantas, e Infravermelho Próximo (760-850 nm), com uma área imageada de 77,25 km² (EMBRAPA, 2013). As imagens são disponibilizadas já ortorretificadas e submetidas à correção atmosférica através do modelo ATCOR3 (FELIX, 2009).

O período de revisita dos satélites é de 24 horas (*off-nadir*) e 5,5 dias (*nadir*). A resolução espacial oferecida pelo sensor é de 6,5 m e 5 m nas imagens ortorretificadas (EMBRAPA, 2013).

2.4. PROCESSAMENTO DIGITAL

Durante a aquisição de imagens espaciais vários são os tipos de interferências à que estão sujeitos os sensores imageadores, tais como espalhamento das ondas eletromagnéticas, absorção por gases componentes da atmosfera terrestre, curvatura da Terra dentre outros (POLIDORIO et al. 2005). Consequentemente, as imagens originais possuem erros que podem atrapalhar ou mesmo comprometer sua utilização para os SIGs (NOVO, 2008). Visando a redução dessa interferência, as imagens obtidas através do sensoriamento remoto passam por um pré-processamento para aumentar sua qualidade a fim de que essas possuam condições mais favoráveis aos devidos fins (VIEIRA JUNIOR, 2011).

O processamento digital de imagens (PDI) consiste na utilização de algoritmos específicos para cada tipo de operação desejada, sendo assim, os dados componentes das imagens são submetidos a diferentes modelos e equações matemáticas, visando resultados diferentes para cada condição e produtos desejados (MENESES e ALMEIDA et al., 2012).

2.4.1. Correção Radiométrica

A radiometria consiste na medida de intensidade da radiação eletromagnética (REM) refletida ou mesmo emitida pelos alvos (radiância). Como os sensores, inclusive os orbitais, captam a radiação refletida e/ou emitida pelos alvos na superfície terrestre, se faz importante conhecer o comportamento dessa radiação após sua interação com os alvos da superfície (ROSA, 2009).

Essa porção que, outrora, fora refletida e/ou emitida pelos alvos, antes de ser captada pelos sensores, atravessa e interage com a atmosfera (CHEN e HERZ, 1996). Sendo assim, imagens adquiridas por meio de dispositivos sensores remotos contêm erros de caráter radiométrico inerentes ao processo aquisitivo (NOVO, 2010).

Em função da influência que a atmosfera exerce sobre os produtos gerados pelos sensores podem-se citar alguns efeitos indesejáveis como a redução do contraste entre os objetos de uma dada cena, redução da possibilidade de detecção de pequenos objetos dentro de uma cena, ou de diferenciação entre objetos que apresentem pequenas variações na intensidade de sinal (NOVO, 2010).

O método de correção radiométrica consiste, num primeiro momento, na detecção de regiões com valores acima (saturação) ou abaixo (ausência de sinal) do padrão do restante da imagem e posteriormente utilização de modelos matemáticos específicos para a calibração do valor radiométrico captado pelo sensor (POLIDORIO et al. 2005).

A técnica de correção radiométrica, também chamada “Restauração de Imagem”, é um processo realizado através de um filtro linear, onde se dá a obtenção de pesos a partir de características pertinentes ao sensor, sendo assim, há filtros específicos para cada tipo de sensor (LOPES, 2010).

São diversas as equações propostas vários autores disponíveis em aplicativos para finalidade de correção radiométrica (NOVO, 2010). Dentre esses modelos pode-se citar o modelo proposto por Zullo Junior (1994), o Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite (SCORADIS) que apresenta a seguinte equação:

$$NC(R_{SAT}^{-1}) = NC(R_{SAT}) + \frac{t_{dif}(\theta_v)}{T(\theta_v)} \left[NC(R_{SAT}) - \left(\frac{F(\bar{r})}{\sum_{r \leq \bar{r}} F^1(r)} \right) * \sum_{r \leq \bar{r}} \left(NC(R_{SAT}) F^1(r) + NC(R_{VIZ}) * (1 - F(\bar{r})) \right) \right]$$

onde:

$NC(R_{SAT}^{-1})$ = é o nível de cinza original após a remoção dos efeitos provocados pela heterogeneidade da superfície terrestre;

$T(\theta_v)$ = é a transmitância total da radiação solar na atmosfera difusora, para o ângulo zenital solar (θ_v) obtido das imagens;

$F(r)$ = é a função atmosférica devida aos gases e aerossóis;

(r) = é a distância de um ponto qualquer ao centro da imagem;

$NC(R_{VIZ})$ = é o nível de cinza médio da vizinhança homogênea, situa além da vizinhança heterogênea do *pixel* de interesse;

$t_{dif}(\theta_v)$ = é o fator total de transmissão difusa na atmosfera para o ângulo zenital (θ_v) do satélite;

(\bar{r}) = é o raio da vizinhança heterogênea situada ao redor do *pixel* de interesse.

2.4.2. Realce de Contraste

A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. Isso é feito através de equações matemáticas que visam o reescalamento da amplitude de cada pixel para expansão do histograma (MENESES, 2011).

Considere que o realce linear é aplicado em imagens que exibem histogramas com formas simétricas e unimodais. Para isso, o programa adquire o histograma de cada banda, determinando os valores (inferiores e superiores) dos níveis de cinza ou brilho, que são fixados como valores de corte. Como o processo é interativo, o analista pode, ao seu critério, redefinir os valores de corte, a fim de controlar o realce desejado (MENESES, 2011).

A equação linear é dada pela seguinte expressão matemática:

$$y = f(x) = ax + b \quad (1)$$

Os softwares a realizam especificamente como:

$$V_s = \frac{255}{Max - Min} (VB_e - Min) \quad (2)$$

Onde:

V_s = valor de brilho de saída

VB_e = valor de brilho de entrada

Max = valor de brilho máximo

Min = valor de brilho mínimo

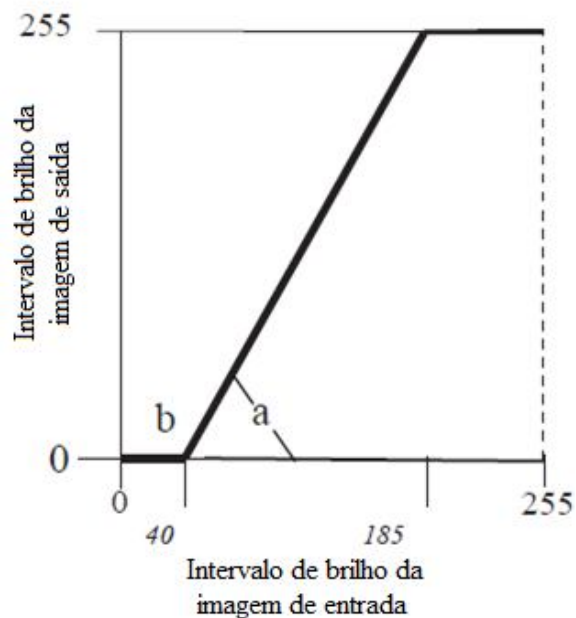


Figura 01:Gráfico de representação trigonométrica da expansão linear do contraste por saturação dos valores de brilho.

2.4.3. Transformação por Componentes Principais

Geralmente cenas multiespectrais apresentam “redundância espectral” ou correlação entre bandas adjacentes. Quando se trabalha com composições coloridas esse fato

diminui a eficiência de exposição das cores, fato este indesejável (WATRIN et al., 1996). Esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos. A análise das bandas espectrais individuais pode ser então ineficiente devido à informação redundante presente em cada uma dessas bandas (INPE, 2006).

Para mitigar esse fato, frequentemente tem-se utilizado a aplicação da “Transformação por Componentes Principais”. Criada por Pearson (1901) e aprimorada por Hotelling (1933), compreende, em linhas gerais, uma técnica que primeiramente, determina a extensão da correlação existente entre as bandas de uma mesma imagem e, através de uma transformação matemática apropriada a remove (WATRIN et al., 1996) gerando um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-disponíveis em outras bandas (INPE, 2006).

A geração de componentes principais consiste num realce que reduz ou remove esta redundância espectral, ou seja, Esta transformação considera que os componentes tem distribuição normal, e apenas 0,4% de cada lado da curva é eliminado ou saturado para os níveis 0 e 225. Todas as componentes terão a mesma variância e os valores de nível digital estarão distribuídos entre 0 e 255 (INPE, 2006). Por tanto, à medida que são geradas novas imagens sem nenhuma correlação entre si, as feições espectrais serão progressivamente menos significantes (SCHOWENGERDT, 1983; RICHARDS, 1986; WATRIN et al., 1996).

Sendo assim, as análises por Componentes Principais foram empregadas como um meio de reduzir o volume de dados e, ao mesmo tempo, melhorar o contraste das imagens. Pode-se concentrar a maior parte das informações de um conjunto de imagens, em apenas uma imagem sintética: a primeira componente, a qual também tem alto poder de contraste das feições. O método da fusão de imagens por componente principal baseia-se na substituição da primeira componente pela imagem de resolução maior, a qual pode ser contrastada de forma a ter média e variância próximas às da primeira componente.

Napoleão et al. (2001), resumiu o método dos Componentes Principais nas seguintes etapas:

a) Inicialmente é efetuada uma transformação do espaço RGB para o das Principais Componentes. São introduzidas três ou mais bandas da imagem multispectral, que são transformadas em três ou mais novas imagens do espaço das componentes principais, cada componente possuindo quantidades distintas de informações;

b) Em seguida são calculadas as estatísticas variância e média, e com base no histograma, é aplicado o contraste na imagem de resolução espacial maior, de forma a ter o mesmo colorido que a imagem da primeira componente (PC1), entretanto com uma resolução espacial maior;

c) A primeira componente é substituída pela imagem que foi contrastada, de resolução mais alta. Isso pode ser feito porque assume-se que ambas as imagens tem agora características espectrais semelhantes;

d) Com a "nova" componente colocada em conjunto com as demais componentes (CP2, CP3 e etc.) procede-se com a inversão do espaço das principais componentes para o espaço RGB. Pela aplicação de uma transformação inversa volta-se às coordenadas do espaço RGB, no qual todas as bandas híbridas possuem a resolução espacial da banda de maior resolução.

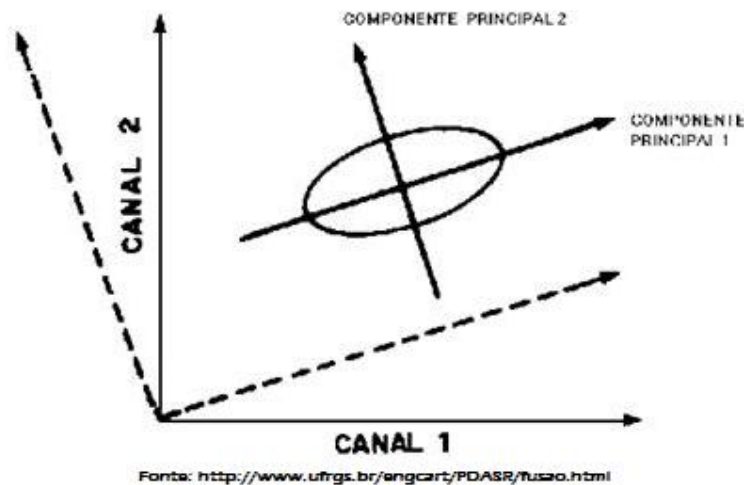


Figura 02: Representação da rotação dos eixos na transformação RGB - Componentes Principais.

A Figura 02 mostra que a transformação de componente principal em duas dimensões corresponde à rotação do eixo original da coordenada para coincidir com as direções de máxima e mínima variância no dado. Neste processo utiliza-se o coeficiente de correlação, ou da covariância, para se determinar um conjunto de quantidades chamadas de autovalores.

Os autovalores representam o comprimento dos eixos das componentes principais de uma imagem e são medidos em unidade de variância. Associados à cada autovalor, existe um vetor de módulo unitário chamado autovetor. Os autovetores representam as direções dos eixos das componentes principais. São fatores de ponderação que definem a contribuição de cada banda original para uma componente principal, numa combinação aditiva e linear (SPRING, 1996)

Apresentando resultados satisfatórios referentes ao processamento digital de imagens, a técnica de Transformação por Componentes Principais vem sendo cada vez mais empregada suporte à trabalhos que visem a distinção de alvos (WATRIN et al., 1996). Já na década de 80 Ringrose e Large (1983) utilizaram esse recurso como suporte para levantamentos ecológicos de florestas tropicais úmidas em Serra Leoa, África ocidental.

Na década seguinte, Lee et al. (1990) e Shimabukuro et al. (1991) também alcançaram bons resultados utilizando a Transformação por Componentes Principais para monitoramento de reflorestamentos de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. em Mogi Guaçu, estado de São Paulo e monitoramento e avaliação de áreas de vegetação nativa submetidas à queimada no Parque Nacional das Emas no estado de Goiás, respectivamente.

Mais recentemente, para mapeamento digital de classes de solo, Caten et al. (2011) utilizaram, como recurso, a Transformação por Componentes Principais associada a dados do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) para geração de mapas digitais de classificação de solos.

2.4.4. Operações Aritméticas

As operações aritméticas entre bandas são operações "*pixel*" a "*pixel*" entre imagens de diferentes bandas, através de uma expressão matemática definida (INPE, 2006).

As expressões mais comuns são: subtração, soma, razão entre bandas e a multiplicação de uma banda por uma constante (realce linear) (MENESES et al. 2001).

Estas operações geram compressão dos dados, e assim, diminuindo o número de bandas. Porém, há de salientar a ocorrência de perda da informação original quando os resultados das operações ultrapassam o intervalo de 0-255. Quando isso ocorre, os resultados são "normalizados", saturando os valores abaixo de 0 em 0, e os valores acima de 255, em 255, causando perda de informação espectral (INPE, 2006).

Dentre as operações aritméticas entre os valores de cinza de diferentes bandas, a subtração e a razão de bandas são as mais empregadas, respectivamente (RICHARDS, 1993 apud SCHRAMM e VIBRANS, 2007). Pode-se destacar como uma das equações matemáticas mais utilizadas para cálculo de índices de vegetação a IVDN – índice de vegetação por diferença normalizada criada por Rouse et al. (1974; AFONSO, 2002).

Pode-se salientar dentre as equações de operações aritméticas mais empregadas para índices de vegetação, estão aquelas utilizam informações de reflectância, a partir dos dosséis, referentes às regiões do vermelho e do infravermelho próximo, e posteriormente combinadas sob a forma de razões (MENESES et al. 2001).

- Subtração de bandas: tem como principal utilização o realce de diferenças espectrais, conhecendo-se o comportamento espectral dos alvos de interesse e o intervalo espectral das bandas dos sensores, pode-se definir as bandas utilizadas para realçar as diferenças espectrais (INPE, 2006).

Exemplos de aplicação da subtração de bandas:

- Identificação de diferentes tipologias de cobertura vegetal;
- Identificação de minerais formados a partir de óxido de ferro;
- Detecção do padrão de mudança de cobertura, como uso do solo, expansão urbana, desmatamento e etc.

A expressão matemática dessa operação é configurada como (INPE, 2006):

$$C = G \cdot (A - B) + O$$

Onde:

C: produto realçado

G: ganho

A: banda do Infravermelho Próximo

B: banda do vermelho

O: offset

- Soma de bandas: Utilizada para a obtenção da média aritmética entre as imagens, minimizando a presença de ruído. O valor de ganho deve ser $1/n$, onde n é o número de bandas utilizadas na operação. Pode ser utilizada para a integração de imagens resultantes de diferentes processamentos. (INPE, 2006).

A expressão matemática dessa operação é configurada como (INPE, 2006):

$$C = G \cdot (A + B) + O$$

Onde:

C: produto realçado

G: ganho

A: banda do Infravermelho Próximo

B: banda do vermelho

O: offset

- Razão entre bandas: utilizada para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, caracterizando determinadas feições da curva de assinatura espectral de alguns alvos (INPE, 2006).

Suas principais aplicações são (INPE,2006):

- Remoção de efeitos de ganho provenientes de variações espaciais ou temporais, quando ocorrem em bandas de uma mesma imagem;
- Diminuições de variações de radiância da imagem, provenientes de efeito de topografia, declividade e aspecto.
- Aumento de diferenças de radiância entre solo e vegetação.
- Aumento do contraste entre solo e vegetação, utilizando a razão entre as bandas referentes ao vermelho e infravermelho próximo, gerando os chamados índices de vegetação.

Porém essa operação pode apresentar resultados incorretos devido à (INPE,2006):

- Bandas que apresentam ruídos (pois esses serão realçados).
- Presença do espalhamento atmosférico, seletivo em relação às bandas espectrais, gerando valores de nível de cinza que não representam a diferença de reflectância entre os alvos.
- Presença de objetos distintos nas bandas originais com características espectrais semelhantes, porém de diferentes intensidades. Na imagem resultante, estes objetos não serão distintos.

A exemplo desse tipo de operação tem-se como uma das mais utilizadas o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e sua expressão matemática é configurada como (INPE, 2006):

$$C = G \cdot \frac{(A - B)}{(A + B)} + O$$

Onde:

C: produto realçado
G: ganho
A: banda do Infravermelho Próximo
B: banda do vermelho
O: offset

- Multiplicação: utilizada na implementação de algoritmos na qual deseja-se aplicar sobre a imagem (INPE, 2006).

A expressão matemática dessa operação é configurada como (INPE, 2006):

$$C = (G \cdot A) + O$$

Onde:

C: produto realçado
G: ganho
A: banda do Infravermelho Próximo
O: offset

2.4.5. Segmentação de Imagens

A segmentação de imagens consiste em uma técnica de processamento digital de imagens que separa a imagem em regiões homogêneas, tomando como base as características espectrais e espaciais da mesma. Posteriormente essas regiões podem ser utilizadas como amostras de treinamento para proceder com a classificação digital, gerando áreas com aspecto uniforme e de características espectrais bem distintas em relação às demais, gerando imagens decompostas (GAO, 2009; NEUBERT et al. 2006; MENESSES et al. 2012). Consequentemente o algoritmo classificador a ser empregado é o de regiões, possuindo como vantagem o fato de simulação do comportamento do fotointérprete ao analisar uma cena, considerando, além da informação espectral (cores), outras variáveis como a textura, a distribuição espacial das feições ou as bordas formadas naturalmente entre regiões distintas (VENTURIERI e SANTOS, 1998; LUZ, 2009).

Para proceder com este método, se faz necessário estipular o valor de “Limiar de Similaridade” (limiar mínimo) que, nada mais é, do que definir a diferença mínima existente no valor do pixel e o valor da região para que este pixel seja alocado ou não nesta região. Caso a diferença exceda o valor de limiar mínimo estipulado este pixel será agrupado em uma região vizinha que possua uma diferença de valores de pixels que se enquadre no limite do

limiar de similaridade (BARBOSA et al. 2000; VASCONCELOS e NOVO, 2004; LUZ, 2009).

2.4.6. Classificação

Classificação segundo Richards (1993) é o processo de extração de informação em imagens digitais com o objetivo de reconhecer padrões e objetos homogêneos. Processo este, dividido em dois passos:

- 1) Definição de padrões pertencentes a atributos de uma quantidade de classes, preferencialmente espectralmente homogêneas e discerníveis entre si. Passo este chamado de “Treinamento”.
- 2) Análise dos pixels de uma cena a ser classificada aplicando-se distintas equações matemáticas (específicas para cada situação e produto esperado) para decidir se podem ou não ser atribuídos às classes estabelecidas.

Os métodos de classificação podem ser divididos em dois grupos quanto ao tipo de treinamento, onde, para cada um desses, existem diversos algoritmos e suas equações. São esses grupos: classificação supervisionada e classificação não-supervisionada (RICHARDS, 1993).

2.4.6.1. Classificação Supervisionada “Máxima Verossimilhança (MAXVER)” (*Pixel a Pixel*)

Sendo este o método de classificação mais popular, visa a associação de *pixels* a categoriais previamente determinadas a partir de critérios pré-estabelecidos (INPE, 2008), considerando ponderações entre médias dos valores dos pixels de cada classe, onde a classificação de um ponto x é realizada através de parâmetros estatísticos através da seguinte equação (RICHARD e JIA, 2006):

$$x \in \omega_i \text{ se } p(x|\omega_i)p(\omega_i) > p(x|\omega_j)p(\omega_j)$$

Onde: a probabilidade $p(x|\omega_i)$ dá a possibilidade de x pertencer à classe ω_i e $p(\omega_i)$ é a probabilidade de a classe ocorrer na imagem que de fato é conhecida das áreas de

treinamento. Tantas quanto forem selecionadas as classes de treinamento, as mesmas serão $P(x|\omega_i)$. Assim todos os pixels serão classificados, a menos que um valor limiar seja definido. Dessa forma tem-se que:

$$p(x|\omega_i)p(\omega_i) > p(x|\omega_j)p(\omega_j) \text{ e } p(x|\omega_i)p(\omega_i) > \text{limiar}$$

Necessita-se utilizar valor limiar, quando ocorrem situações ruins de classificação, podendo comprometer a qualidade dos produtos gerados (MENESES et al. 2012).

Segundo Ribeiro e Centeno (2001) para que se obtenha uma classificação de qualidade através desse classificador alguns fatores são determinantes, dentre eles destacam-se: o grande volume de dados amostrais a serem fornecidos no processo de treinamento (grande quantidade de pixels fornecidos como amostras) e a homogeneidade que essas amostras apresentam.

Wagner e Ducati (2005), estudando formações florestais artificiais de Pinus (*Pinus* spp) no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, submeteram imagens do sensor ASTER à classificação pelo algoritmo MAXVER para produção de mapas discriminatórios a fim de quantificar o avanço das ações antrópicas sobre a área estudada. Seus resultados foram satisfatórios, inclusive quanto à distinção de diferentes estágios de desenvolvimento das formações florestais de pinus por meio das imagens do sensor orbital.

2.4.6.2. Classificação Supervisionada “Distância de *Bhattacharya*” (Por Regiões)

Classificador com base na separabilidade estatísticas ou “distância” entre um par de classes espectrais. O princípio é a “distância de *Bhattacharya*” onde o classificador utiliza as amostras de treinamento para estimar a função “densidade de probabilidade” para cada classe apontada durante a etapa de treinamento e então avalia, para cada região, a distância de *Bhattacharya* entre as classes (MOREIRA, 2001). Segundo Moreira (2001) o cálculo da distância de *Bhattacharya* é feito através da seguinte equação:

$$B_{(pi,pj)} = \frac{1}{2}(m_1 - m_2)^T \Sigma(m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\Sigma(m_i - m_j)|}{|\Sigma_i|^{\frac{1}{2}} |\Sigma_j|^{\frac{1}{2}}}$$

Onde:

m_i é a média da classe i ;

m_j é a média da classe j ;

T é a matriz transposta;

\ln é o logaritmo neperiano;

i e j são as classes dentro do contexto.

Para mapeamento de unidades de conservação (com a presença da *Araucaria angustifolia*) em áreas da “Rota do Sol”, Rio Grande do Sul, Oliveira e Verdum (2011) submeteram imagens do sensor HRG, do satélite SPOT 5 à classificação supervisionada por regiões através do algoritmo “Distância de *Bhattacharya*”. No trabalho, os autores obtiveram resultados satisfatórios quanto à produção de mapas temáticos do local de estudos, inclusive quanto à distinção de tipologias de vegetação (Floresta Ombrófila Densa e Mista e Floresta Secundária).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Item destinado à descrição detalhada da metodologia adotada para a condução da pesquisa, abrangendo os principais aspectos necessários à reprodução do trabalho.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudos compreende a área total do município de Bueno Brandão, pertencente ao estado de Minas Gerais. A sede de Bueno Brandão, cuja localização geográfica encontra-se nas coordenadas de 22° 26' 27" de latitude Sul e 46° 21' 03" de longitude Oeste, situa-se a 1200 m de altitude (partes deste município estão acima de 1600 m de altitude). Sua área total compreende aproximadamente 357 km², inseridos na cadeia montanhosa da Serra da Mantiqueira, onde, apresenta clima tropical de altitude, com média anual de 24,3 °C, com máxima, no verão de até 32 °C e mínimas de até - 4 °C, nos invernos mais rigorosos.

Apresenta clima temperado úmido com verão temperado (Cfb) segundo a classificação de Köppen, com pluviosidade média anual em torno dos 1605 mm (IDIN-MG, 2006).

A classe de solo predominante no município segundo dados do IBGE (1992; BOULOMYTIS, 2008) é o latossolo vermelho-escuro.

Os municípios limítrofes são Ouro Fino e Inconfidentes a norte, Bom Repouso e Senador Amaral a leste, Munhoz a sul, Socorro (São Paulo) a sudoeste e Monte Sião a noroeste.

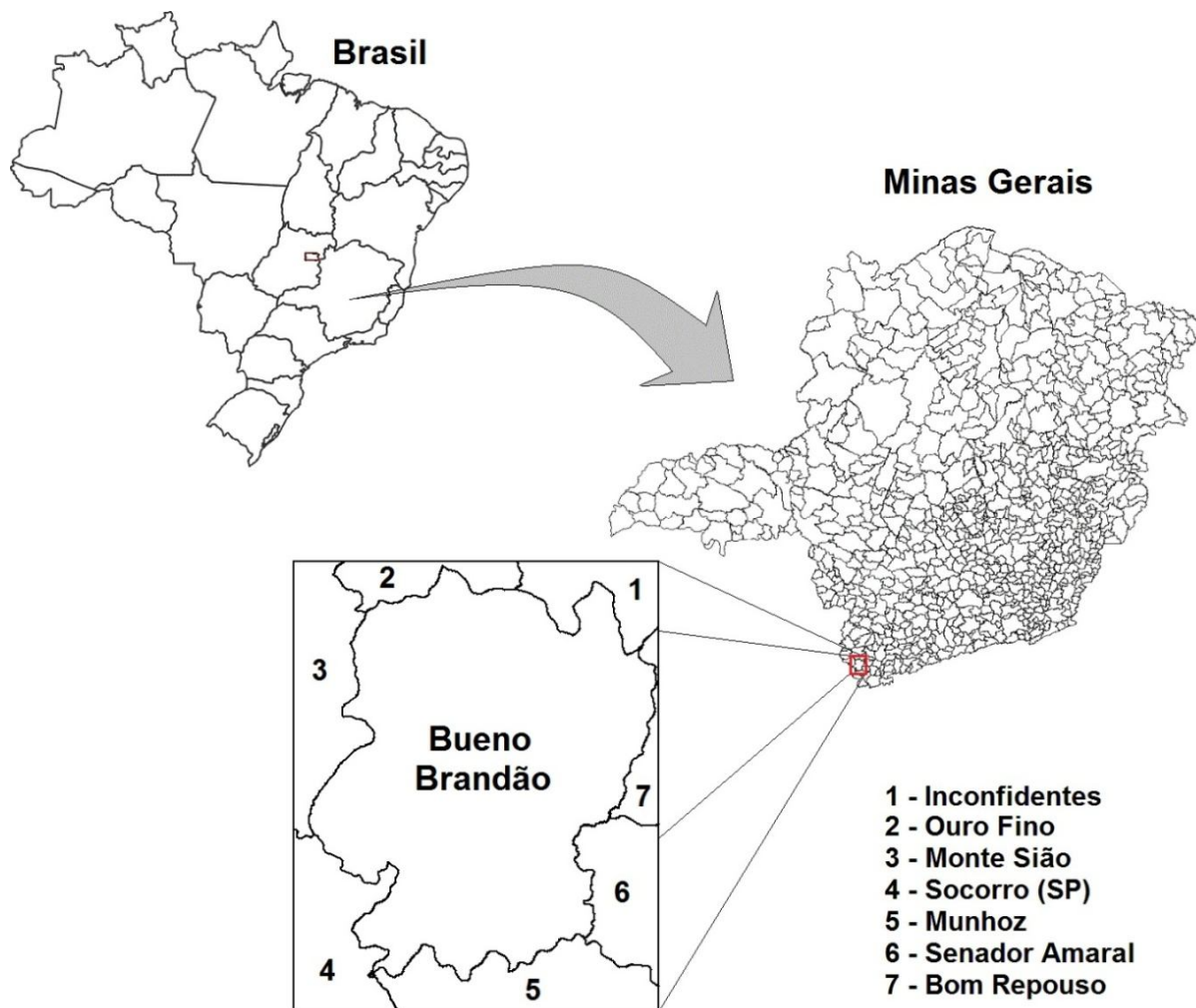


Figura 03: Esquema de representação da localização do município (área de estudo do presente trabalho).

A vegetação típica é, em boa parte, de mata perenifólia e subcaducifólia (mata atlântica), com pequenos trechos de vegetação rupícola (sobre os matacões de granito) e de cerrado (LEMOS e SOUZA, 2010).

3.2. IMAGENS E SOFTWARE UTILIZADOS

Foram utilizadas quatro cenas do sensor REIS para composição de mosaico que abrangeu a área total do município (Figura 03). As características das mesmas estão descritas na tabela a seguir.

| Características | Informações |
|------------------------------------|---|
| Bandas Espectrais | Azul, Verde, Vermelho, “Red Edge” e Infravermelho-próximo |
| Espaçamento de Pixel | 6,5 m no nadir |
| Tamanho do Pixel (ortorretificada) | 5,0 m |
| Tamanho da Imagem | Aproximadamente 77 km de largura com comprimento entre 50 e 300 km, 462 Mbytes/25 km ao longo da órbita para 5 bandas |
| Datum Horizontal | WGS84 |
| Bits de quantização | 12 bits |

Tabela 01: Características dos produtos de imagem gerados pelos sensores REIS.

Foram utilizadas as bandas multiespectrais “Vermelho” e “Red Edge” pertencentes à faixa do visível, sendo a “Red Edge” intermediária entre campo do visível e Infravermelho-próximo (0,69 a 0,73 μm) e ainda a “Infravermelho Próximo”.

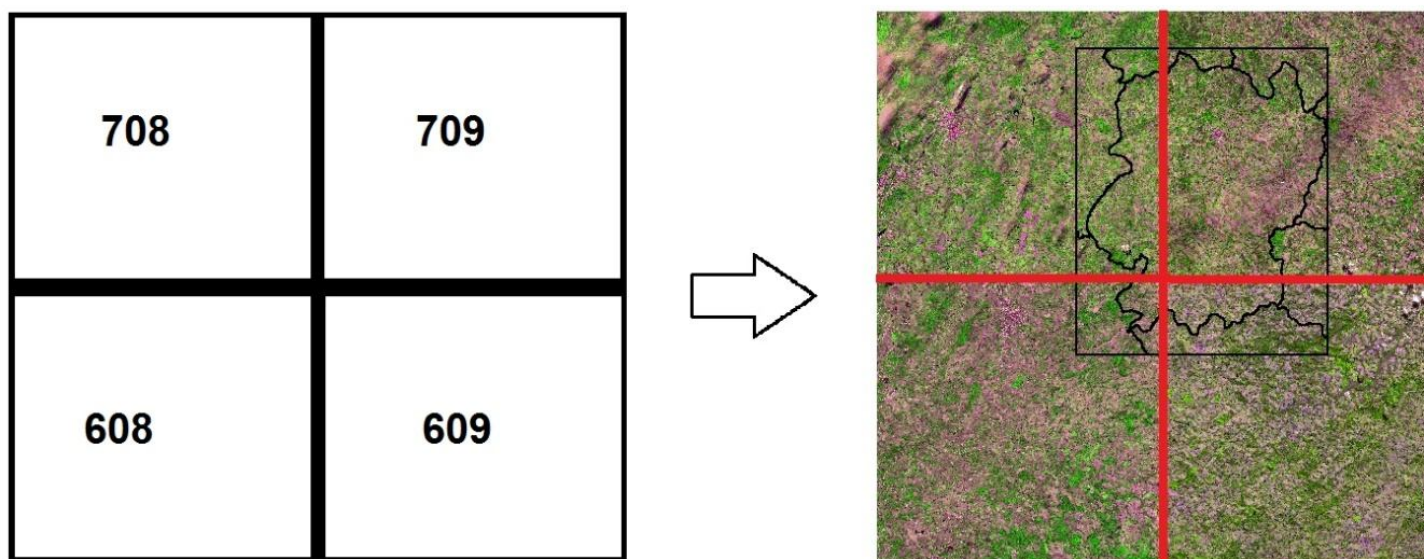


Figura 04: Esquema utilizado para composição do mosaico em quatro quadrantes.

As cenas utilizadas foram:

- Quadrante 608

2328608_2011-10-01T141607_RE2_3A-NAC_10916193_148316 (01 - 10 - 2011);

- Quadrante 609

2328609_2012-08-17T140923_RE4_3A-NAC_14467816_171820 (17 - 08 - 2012);

- Quadrante 708

2328708_2013-10-13T141206_RE2_3A-NAC_18111596_241547 (13 - 10 - 2013);

- Quadrante 709

2328709_2012-10-10T142208_RE5_3A-NAC_14471056_171824 (10 - 10 - 2012).

As cenas são disponibilizadas a instituições federais de maneira gratuita pelo Ministério do Meio Ambiente, mediante cadastro prévio.

O software utilizado para o processamento dos dados foi o SPRING (INPE) versão 5.3.1 onde a composição das bandas foi R4 G5 B3 (R: Banda *Red-Edge*, G: Banda Infravermelho Próximo e B: Banda do Vermelho).

3.3. BASE CARTOGRÁFICA

A base cartográfica do presente trabalho foi confeccionada utilizando as cartas topográficas oficiais dos municípios de Ouro Fino e de Munhoz, ambos pertencentes ao estado de Minas Gerais, uma vez que parte da área do município de Bueno Brandão encontra-se descrita em uma, e o restante está descrita em outra, ambas disponíveis no site do IBGE.

Foi realizada a importação direta como “vetor” da carta “Ouro Fino” no *software* SPRING, porém houve a necessidade de realizar a vetorização manual da carta “Munhoz”, no mesmo software, para que se completasse o limite do município em estudo.

3.4. COLETA DE PONTOS AMOSTRAIS

Utilizando um aparelho GPS de navegação – MAGELLAN® Triton™ 400 – cedido pelo IFSULDEMINAS – Câmpus Inconfidentes, foram realizadas visitas a campo para a coleta de coordenadas de áreas de ocorrência da espécie. Foram coletados dados para posterior utilização como amostras durante o processo de “Treinamento” que antecede a “Classificação” e também como pontos de verificação da acuracidade da classificação (pontos diferentes dos utilizados como amostras).

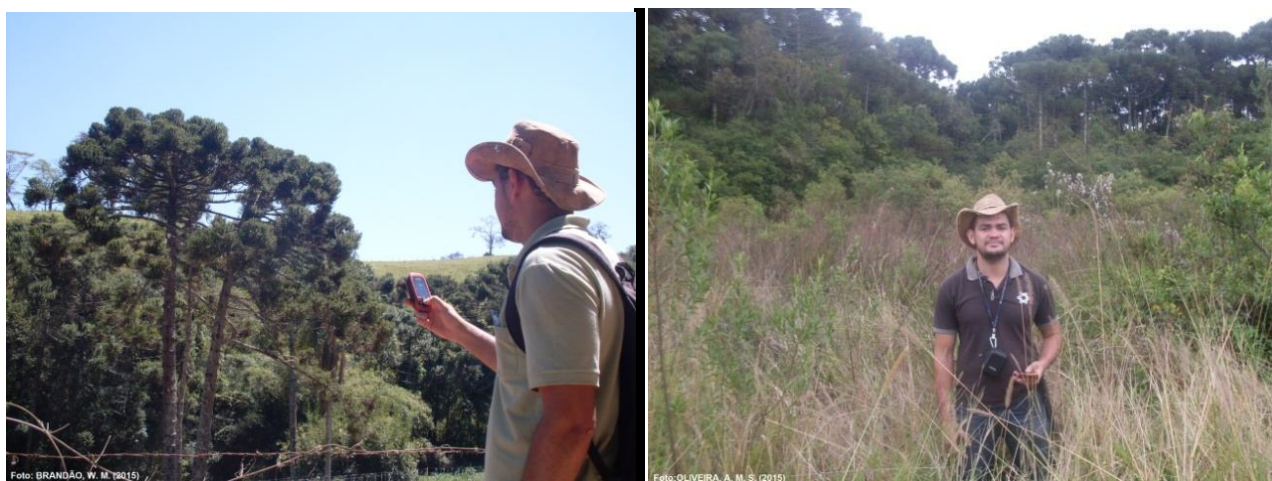


Figura 05: Procedimento de coleta pontos em locais contendo indivíduos da espécie de interesse no município de Bueno Brandão – MG

3.5. PROCESSAMENTO DIGITAL

Etapa realizada com a utilização do *software* livre SPRING 5.3.1.

3.5.1. Correção Radiométrica

Correção aplicada de maneira individual para cada imagem e para cada uma das três bandas utilizadas por imagem. Correção aplicada pelo modelo proposto por Zullo Junior (1994), o Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite (SCORADIS) que apresenta a seguinte equação:

$$NC(R_{SAT}^{-1}) = NC(R_{SAT}) + \frac{t_{dif}(\theta_v)}{T(\theta_v)} \left[NC(R_{SAT}) - \frac{F(\bar{r})}{\sum_{r \leq \bar{r}} F^1(r)} * \sum_{r \leq \bar{r}} \left(NC(R_{SAT}) F^1(r) \right) + NC(R_{VIZ}) * (1 - F(\bar{r})) \right]$$

onde:

$NC(R_{SAT}^{-1})$ = é o nível de cinza original após a remoção dos efeitos provocados pela heterogeneidade da superfície terrestre;

$T(\theta_v)$ = é a transmitância total da radiação solar na atmosfera difusora, para o ângulo zenital solar (θ_v) obtido das imagens;

$F(r)$ = é a função atmosférica devida aos gases e aerossóis;

(r) = é a distância de um ponto qualquer ao centro da imagem;

$NC(R_{VIZ})$ = é o nível de cinza médio da vizinhança homogênea, situa além da vizinhança heterogênea do *pixel* de interesse;

$t_{dif}(\theta_v)$ = é o fator total de transmissão difusa na atmosfera para o ângulo zenital (θ_v) do satélite;

(\bar{r}) = é o raio da vizinhança heterogênea situada ao redor do *pixel* de interesse.

Nas Figuras 06 e 07 pode-se observar que não houveram alterações no histograma da imagem após o procedimento de correção radiométrica.

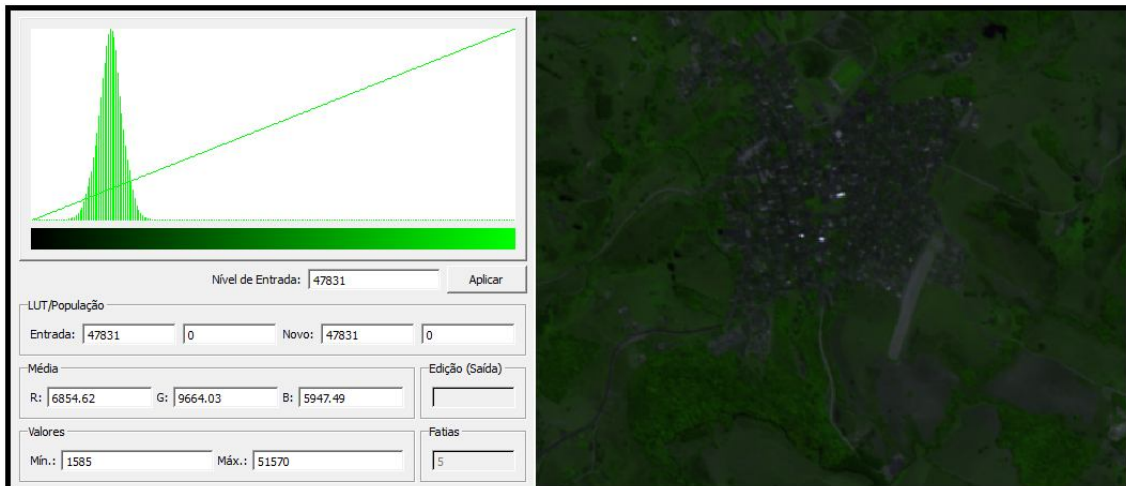


Figura 06: Imagem e seu respectivo histograma antes da aplicação da Correção Radiométrica.

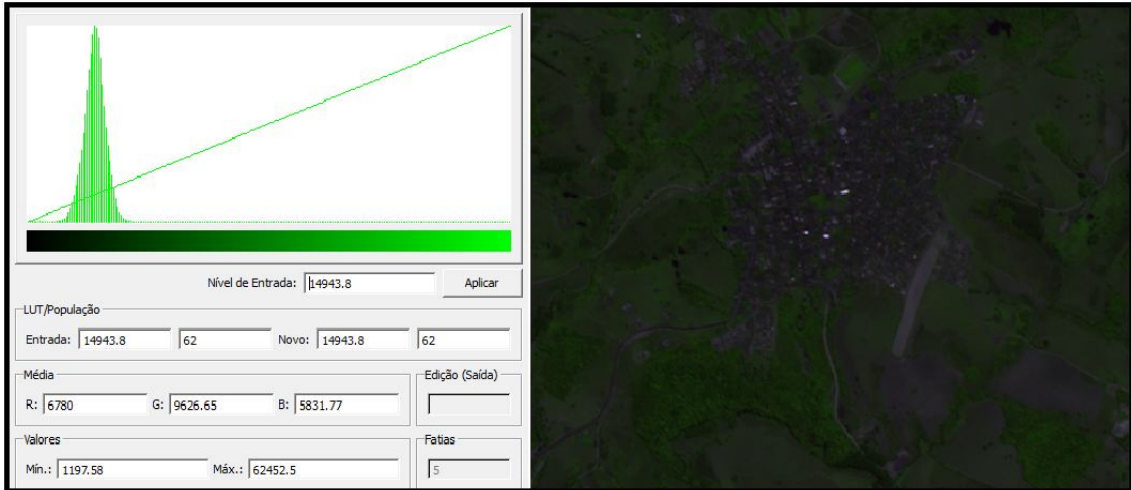


Figura 07: Imagem e seu respectivo histograma depois da aplicação da Correção Radiométrica.

3.5.2. Análise de Componentes Principais (CP)

Procedimento realizado de maneira individual para cada imagem.

- a) Inicialmente é efetuada uma transformação do espaço RGB para o das Principais Componentes. São introduzidas três ou mais bandas da imagem multiespectral, que são transformadas em três ou mais novas imagens do espaço das componentes principais, cada componente possuindo quantidades distintas de informações;
- b) Em seguida são calculadas as estatísticas variância e média, e com base no histograma, é aplicado o contraste na imagem de resolução espacial maior, de forma a ter o mesmo colorido que a imagem da primeira componente (PC1), entretanto com uma resolução espacial maior;
- c) A primeira componente é substituída pela imagem que foi contrastada, de resolução mais alta. Isso pode ser feito porque assume-se que ambas as imagens tem agora características espectrais semelhantes;
- d) Com a "nova" componente colocada em conjunto com as demais componentes (CP2, CP3 e etc.) procede-se com a inversão do espaço das principais componentes para o espaço RGB. Pela aplicação de uma transformação inversa volta-se às coordenadas do espaço RGB, no qual todas as bandas híbridas possuem a resolução espacial da banda de maior resolução.

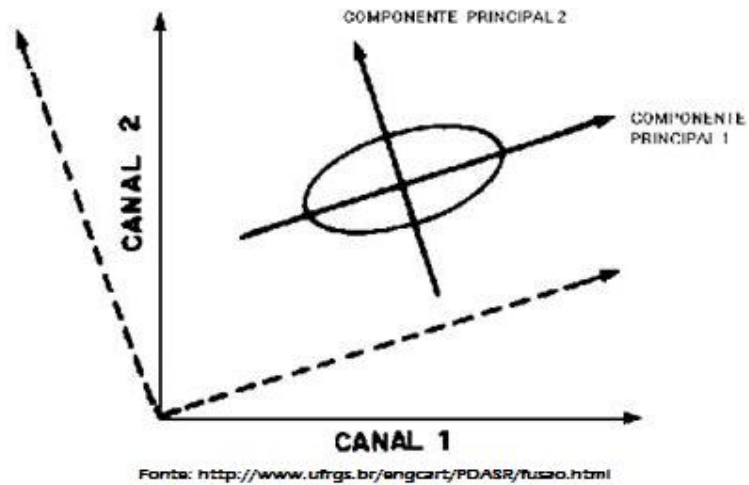


Figura 08: Rotação dos eixos na transformação RGB - Componentes Principais.

Utilizando as cinco bandas para a realização desse procedimento, originou-se uma nova banda (diferente de qualquer uma das 5 anteriores) para cada uma das quatro imagens, chamada neste trabalho de Banda_CP, vindo essa substituir a utilização da Banda 4 (*Red Edge*) na composição de cada uma das imagens, por proporcionar maior qualidade (visual) às imagens. Podemos observar nas figuras 09 e 10 a diferença entre os histogramas da Banda 4 (*Red Edge*) e a nova banda gerada (Banda_CP).

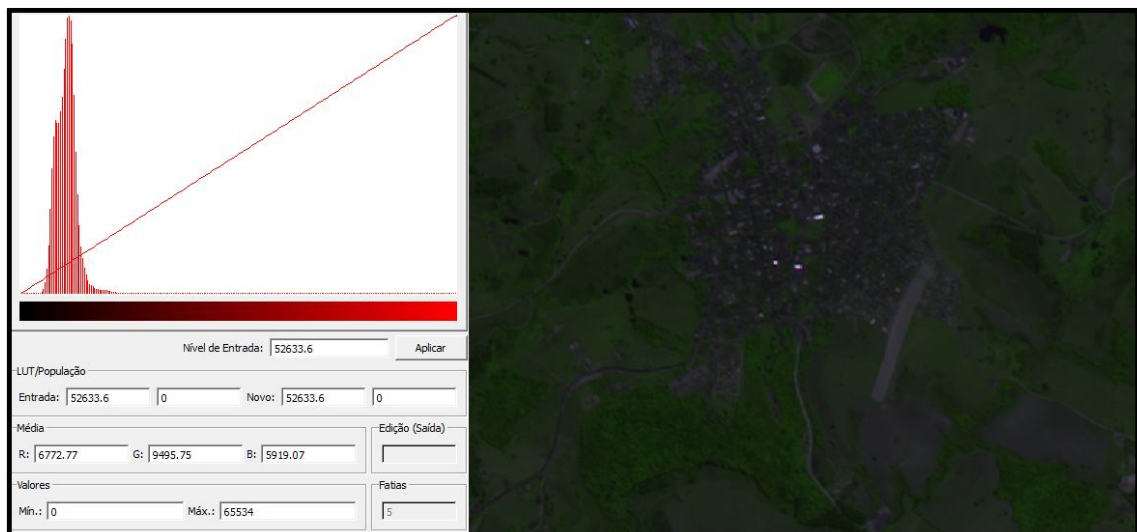


Figura 09: Composição utilizando Banda 4 (Red Edge) e seu respectivo histograma.

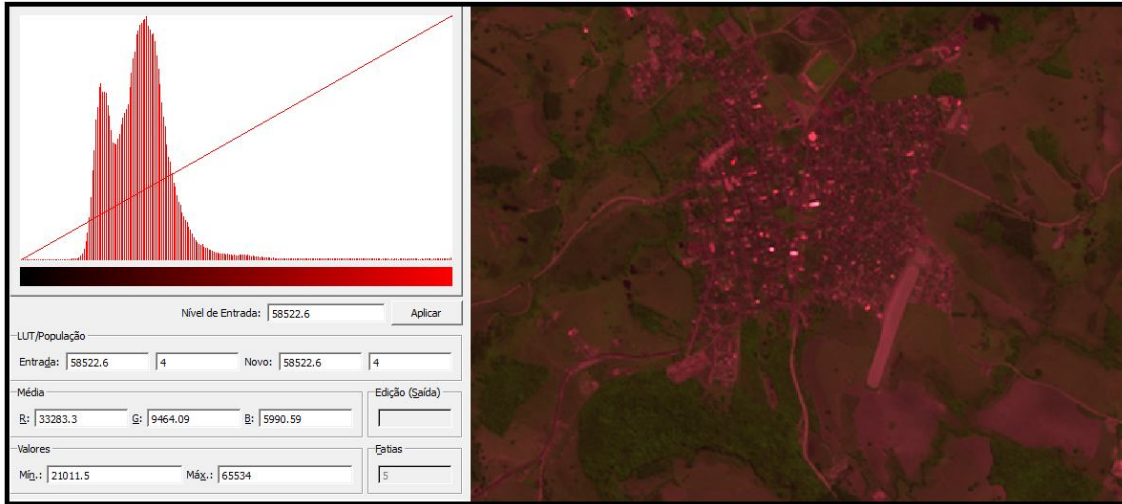


Figura 10: Composição utilizando nova banda (Banda_CP) e seu respectivo histograma.

3.5.3. Realce de Contraste

O realce de contraste é realizado pelos softwares, no caso o SPRING 5.3.1, aplicando-se da seguinte expressão sobre os dados originais:

$$V_s = \frac{255}{Max - Min} (VB_e - Min)$$

Onde:

- V_s = valor de brilho de saída
- VB_e = valor de brilho de entrada
- Max = valor de brilho máximo
- Min = valor de brilho mínimo

Por alterar drasticamente o histograma das imagens, interferindo assim no processo de classificação, esse realce fora aplicado apenas para uma melhor visualização dos alvos contidos na imagem, principalmente para etapa de “Treinamento”, que antecede a classificação, e posteriormente para análise visual dos produtos gerados e comparação com verdade terrestre, tendo sido dispensado para o processo de classificação propriamente dito.

3.5.6. Operações Aritméticas entre Bandas

Realce realizado após a composição do mosaico das quatro imagens. Foram aplicadas as operações de “Soma de bandas”, “Subtração de bandas” e “Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)”. No SPRING 5.3.1 encontram-se, respectivamente, as expressões: $[C=Ganho*(A-B)+Offset]$, $[C=Ganho*(A-B)+Offset]$ e $[C=Ganho*((A-B)/(A+B))+Offset]$, contida na lista de operações no menu “Operações Aritméticas”, dando origem a uma nova classe com a vegetação realçada.

Onde:

Ganho = 1

Offset = 0

A = Banda 5 (Infravermelho-próximo)

B = Banda 3 (Vermelho)

Porém, por proporcionar uma maior homogeneização entre as vegetações, o produto desse passo não foi utilizado, pois poderia dificultar o objetivo de distinção da araucária das demais.

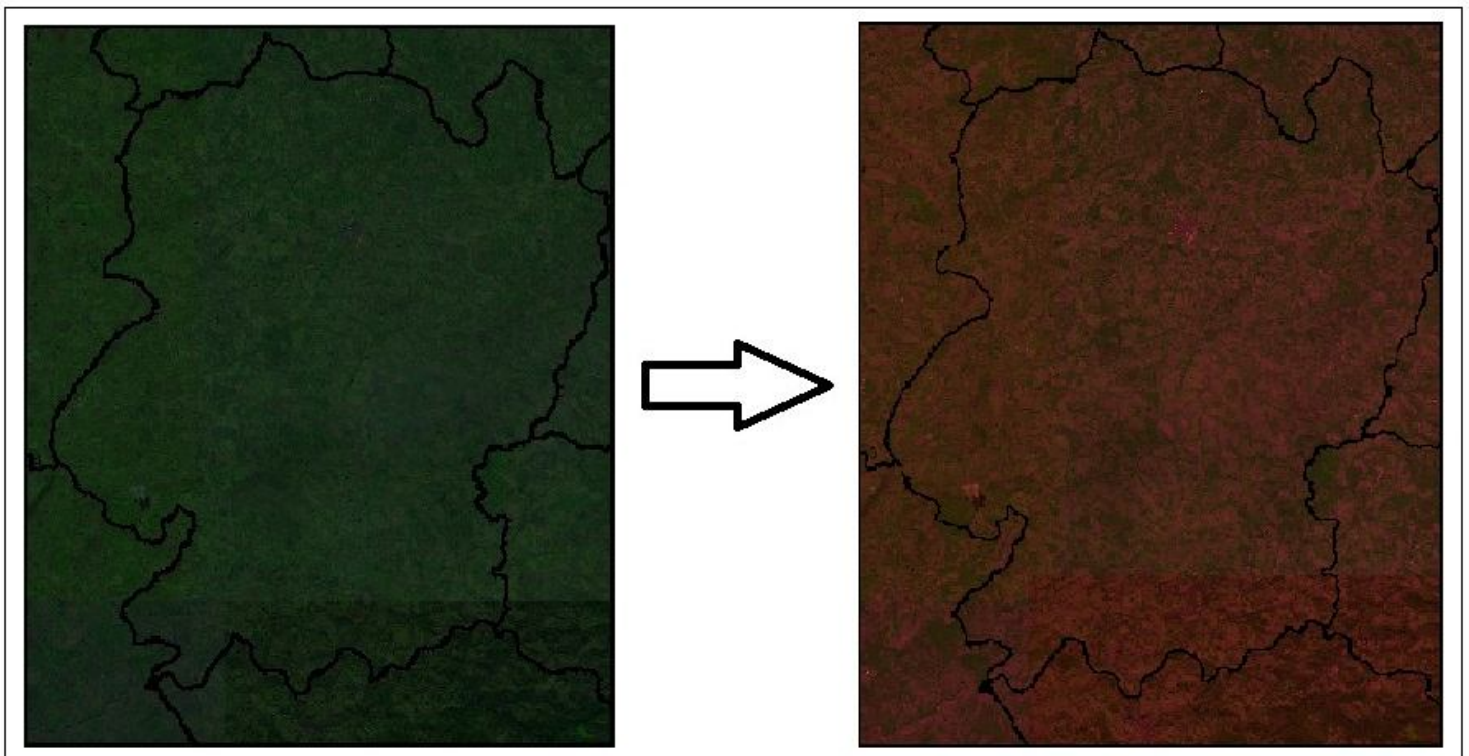


Figura 11: Mosaicos compostos “antes e depois” de as imagens passarem pelo pré-processamento descrito acima.

3.5.7. Segmentação

Etapa realizada após composição do mosaico com as imagens pré-processadas (imagem da direita na figura anterior).

Este procedimento foi realizado através do método “Crescimento de Regiões” e utilizando as bandas espectrais Banda 3 (vermelho), Banda_PC (banda oriunda da análise de Componentes Principais) e Banda 5 (Infravermelho-próximo) .

Foram testados quatro valores de similaridade (20, 10, 15 e 13 respectivamente) e para a variável “Área (Pixel)” foi utilizado o valor 25 (área de cada pixel da imagem).

3.5.8. Classificação da Imagem Segmentada

Para realização deste procedimento foi adotada a tipologia de classificação “Supervisionada” através dos classificadores “MAXVER” (*pixels*) e “Distância de *Bhattacharya*” (regiões) adotando-se o valor mínimo (75%) para a variável “Limiar de Aceitação” para ambos classificadores.

Foi atribuída uma classe temática apenas no momento da classificação, sendo essa “ARAUCARIA”. As demais informações espectrais contidas nas imagens foram chamadas de “OUTROS” não tendo sido classificadas.

3.5.8.1 Classificação MAXVER

A classificação pelo método da “Máxima Verossimilhança”, comumente chamado apenas MAXVER. A aplicação desse o algoritmo foi realizada através do software SPRING 5.3.1 (INPE, 2008). Esse algoritmo executa a seguinte expressão:

$$x \in \omega_i \text{ se } p(x|\omega_i)p(\omega_i) > p(x|\omega_j)p(\omega_j)$$

Onde: a probabilidade $p(x|\omega_i)$ dá a possibilidade de x pertencer à classe ω_i e $p(\omega_i)$ é a probabilidade de a classe ocorrer na imagem que de fato é conhecida das áreas de treinamento. Tantas quanto forem selecionadas as classes de treinamento, as mesmas serão

$p(x|\omega_i)$. Assim todos os pixels serão classificados, a menos que um valor limiar seja definido. Dessa forma tem-se que:

$$p(x|\omega_i)p(\omega_i) > p(x|\omega_j)p(\omega_j) \text{ e } p(x|\omega_i)p(\omega_i) > \text{limiar}$$

Para realização da classificação, a etapa de “Treinamento” (que antecede a classificação propriamente dita) deve ser realizada da maneira mais criteriosa possível, exigindo acurácia e precisão na aquisição das amostras. O processo de treinamento pode ser observado na Figura 12.

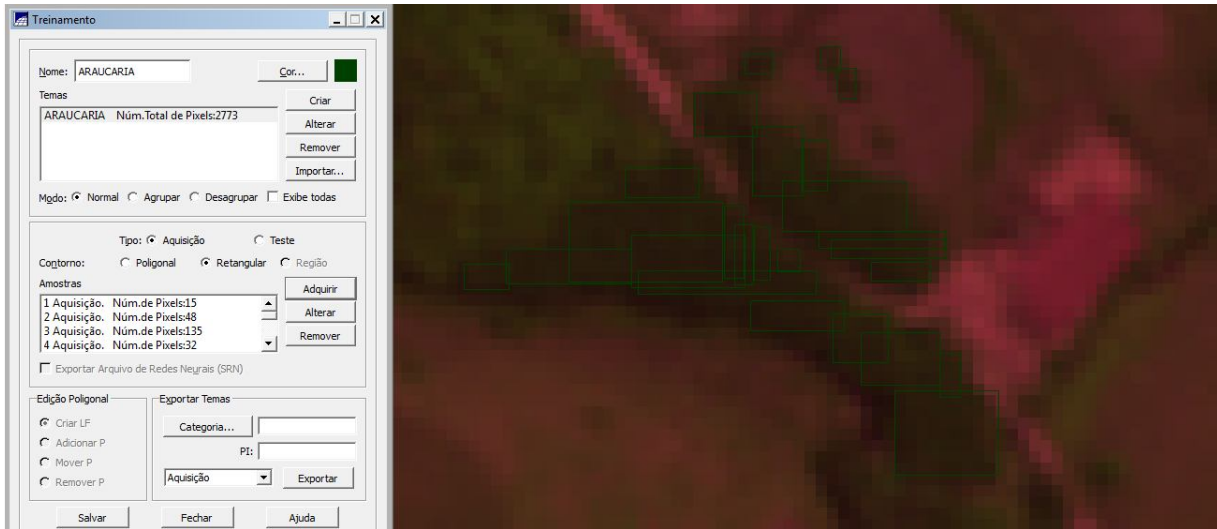


Figura 12: Coleta de amostras na etapa de treinamento para a classificação MAXVER.

3.5.8.2. Classificação *Bhattacharya*

A classificação pelo método da “Distância de *Bhattacharya*”, comumente chamado apenas *Bhattacharya*, foi realizada aplicando-se o algoritmo através do software SPRING 5.3.1 (INPE, 2008). Esse algoritmo executa a seguinte expressão (MOREIRA, 2001):

$$B_{(p_i, p_j)} = \frac{1}{2} (m_1 - m_2)^T \Sigma (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\Sigma (m_i - m_j)|}{|\Sigma_i|^{\frac{1}{2}} |\Sigma_j|^{\frac{1}{2}}}$$

Onde:

m_i é a média da classe i ;

m_j é a média da classe j ;

T é a matriz transposta;

\ln é o logaritmo neperiano;

i e j são as classes dentro do contexto.

Para realização da classificação, a etapa de “Treinamento” (que antecede a classificação propriamente dita) deve ser realizada da maneira mais criteriosa possível, exigindo acurácia e precisão na aquisição das amostras. O processo de treinamento pode ser observado na Figura 13.

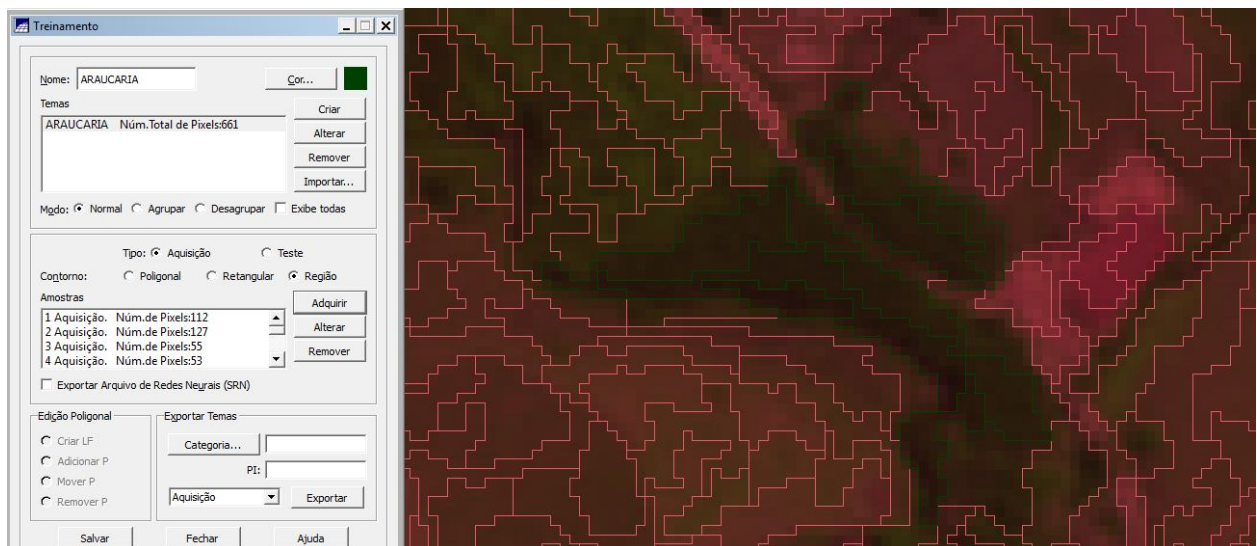


Figura 13: Coleta de amostras na etapa de treinamento para a classificação *Bhattacharya*.

3.5.9. Análise Visual e Interpretação dos Produtos Gerados

Etapa que consistiu na verificação (visual) da eficiência obtida, tanto no processo de segmentação quanto no de classificação.

Novo (2010) relata a validade da extração de informações em imagens digitais através da análise humana, que em um processo de inspeção visual, pode interpretar cores, padrões, formas e etc.

Como Marte et al. (2011) salienta, a matriz de confusão, formada a partir da disposição das classes em colunas para a obtenção de uma “diagonal principal” após procedimento da comparação com a “verdade terrestre”, resume erros de comissão (quando pixels atribuídos a determinada classe não pertencem a ela) e omissão (quando pixels pertencentes a uma determinada classe não são atribuídos a ela). Portanto é a partir dela que pode se calcular índices de exatidão (ou precisão) da classificação total, como Índice Kappa, Índice Tau e o Índice de Erro Global.

Como foi atribuída, no momento da classificação (MAXVER e *Bhattacharya*), apenas uma classe temática, todo o restante de informações, espectrais contidas na imagem, não foram classificadas, sendo chamadas de “Outros”, inviabilizando assim a possibilidade de utilização dos índices citados acima.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Item destinado à apresentação dos resultados obtidos e discussão pertinente aos mesmos.

4.1. SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS

O mosaico composto pelas quatro cenas utilizadas foi submetido ao processo de segmentação através do algoritmo “Crescente de Regiões” utilizando o *software* SPRING.

Utilizando o valor de similaridade 10, o segmentador não obteve êxito onde, durante todas as tentativas, a segmentação era encerrada antes de ser concluída.

Procedeu-se análise para verificação da qualidade da segmentação. Após realização da análise visual, optou-se pela segmentação com valor de similaridade 13, onde é clara uma maior decomposição da imagem em regiões menores e mais homogêneas (BARBOSA et al. 2000; VASCONCELOS e NOVO, 2004; LUZ, 2009).

O produto da segmentação pode ser observado na Figura 14.

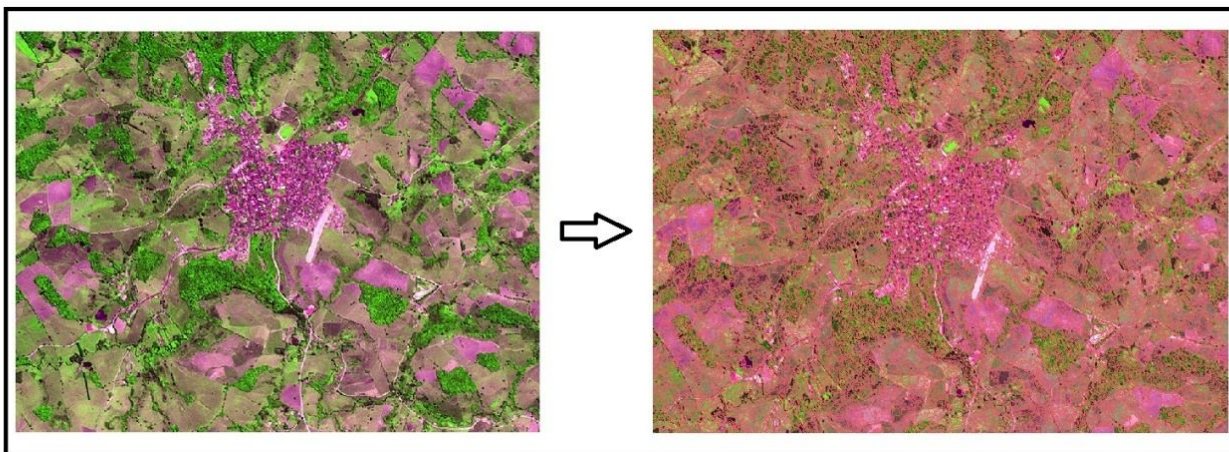


Figura 14: Imagem não segmentada à esquerda e sobreposição de sua respectiva imagem rotulada à direita.

4.2. CLASSIFICAÇÃO

4.2.1. Classificação MAXVER

O mapa obtido através da classificação supervisionada pelo método *pixel a pixel*, algoritmo MAXVER utilizando 3 bandas (em composição falsa cor) para composição do mosaico das 4 imagens, pode ser visualizado na Figura 15.

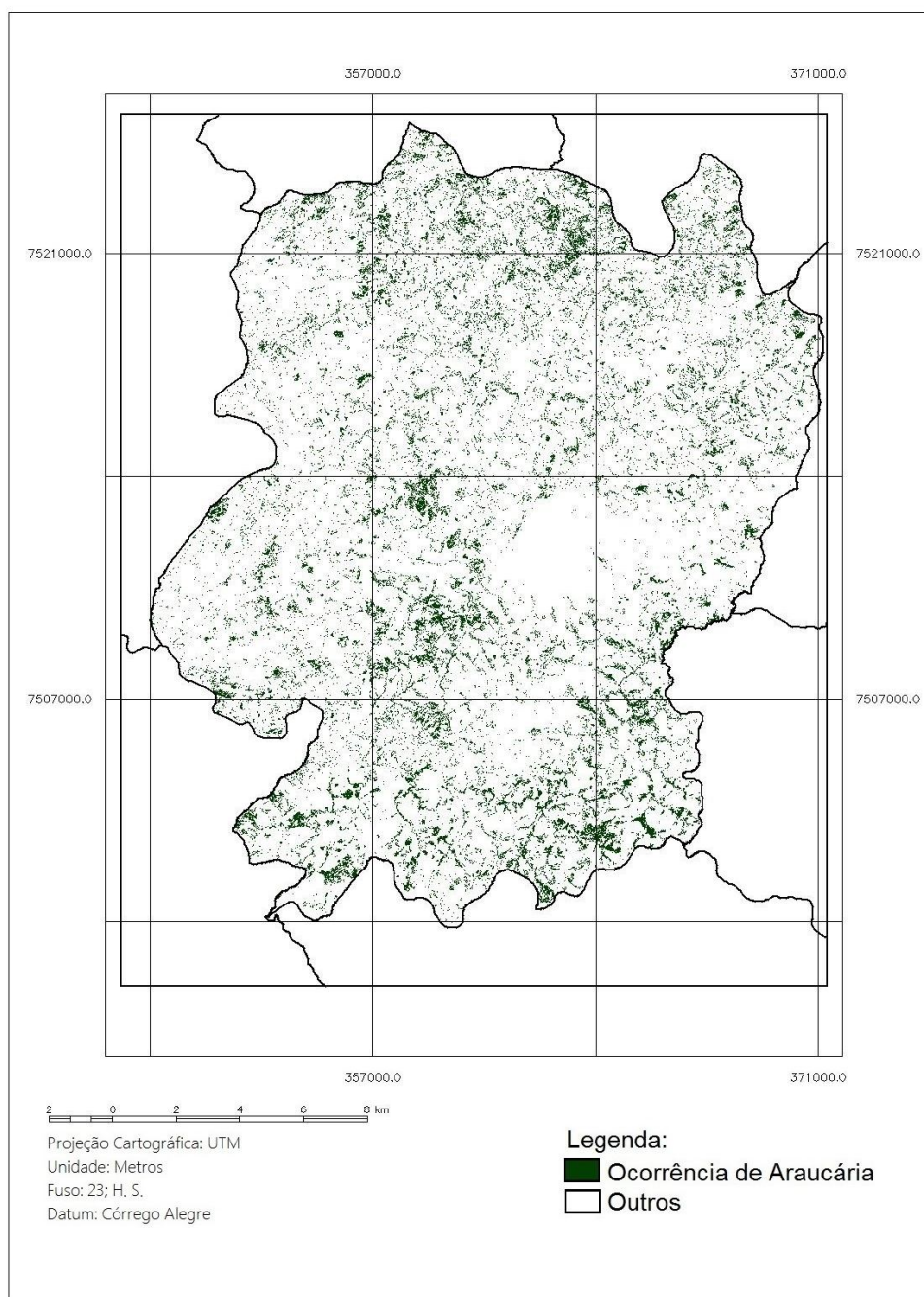


Figura 15: Mapa gerado a partir da classificação por *pixels* "MAXVER"

A classificação não se mostrou insatisfatória segundo análise visual em comparação com a “verdade terrestre” como mostra a Figura 16.

Ribeiro e Centeno (2001) trouxeram recomendações referentes à quantidade e homogeneidade do volume amostral necessário para que se obtenha uma classificação de qualidade através desse classificador, recomendações essas, cujo presente trabalho não teve condições de se enquadrar, em função do padrão de ocorrência e distribuição da espécie no município.

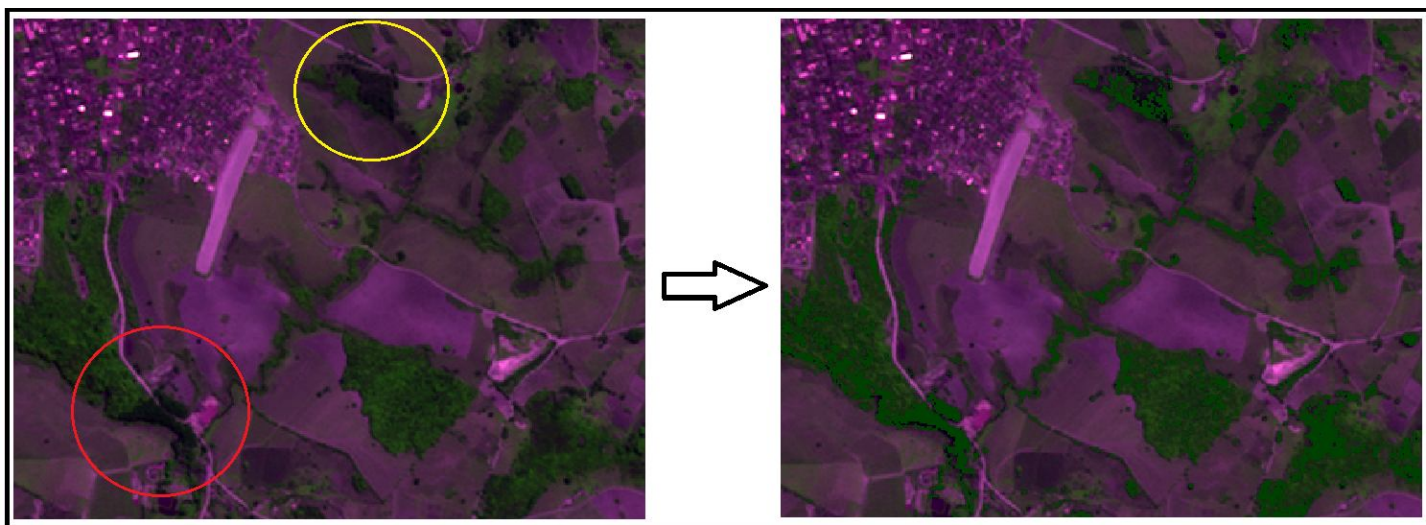


Figura 16: Imagem comparativa para áreas classificadas por MAXVER e “verdade terrestre”.

Na figura anterior (Figura 16) após a sobreposição da imagem classificada pelo algoritmo “Máxima Verossimilhança” (imagem da direita) sobre a imagem real em falsa cor (imagem da esquerda) pôde-se observar que, tanto uma área com ocorrência de araucária (circulada em vermelho) quanto uma área com ocorrência de eucalipto (circulada em amarelo) e ainda várias outras áreas foram atribuídas à classe temática “ARAUCARIA”.

4.2.2. Classificação *Bhattacharya*

O mapa obtido através da classificação supervisionada pelo método das regiões, algoritmo “Distância de *Bhattacharya*”, utilizando 3 bandas (em composição falsa cor) para composição do mosaico das 4 imagens, pode ser visualizado na Figura 17.

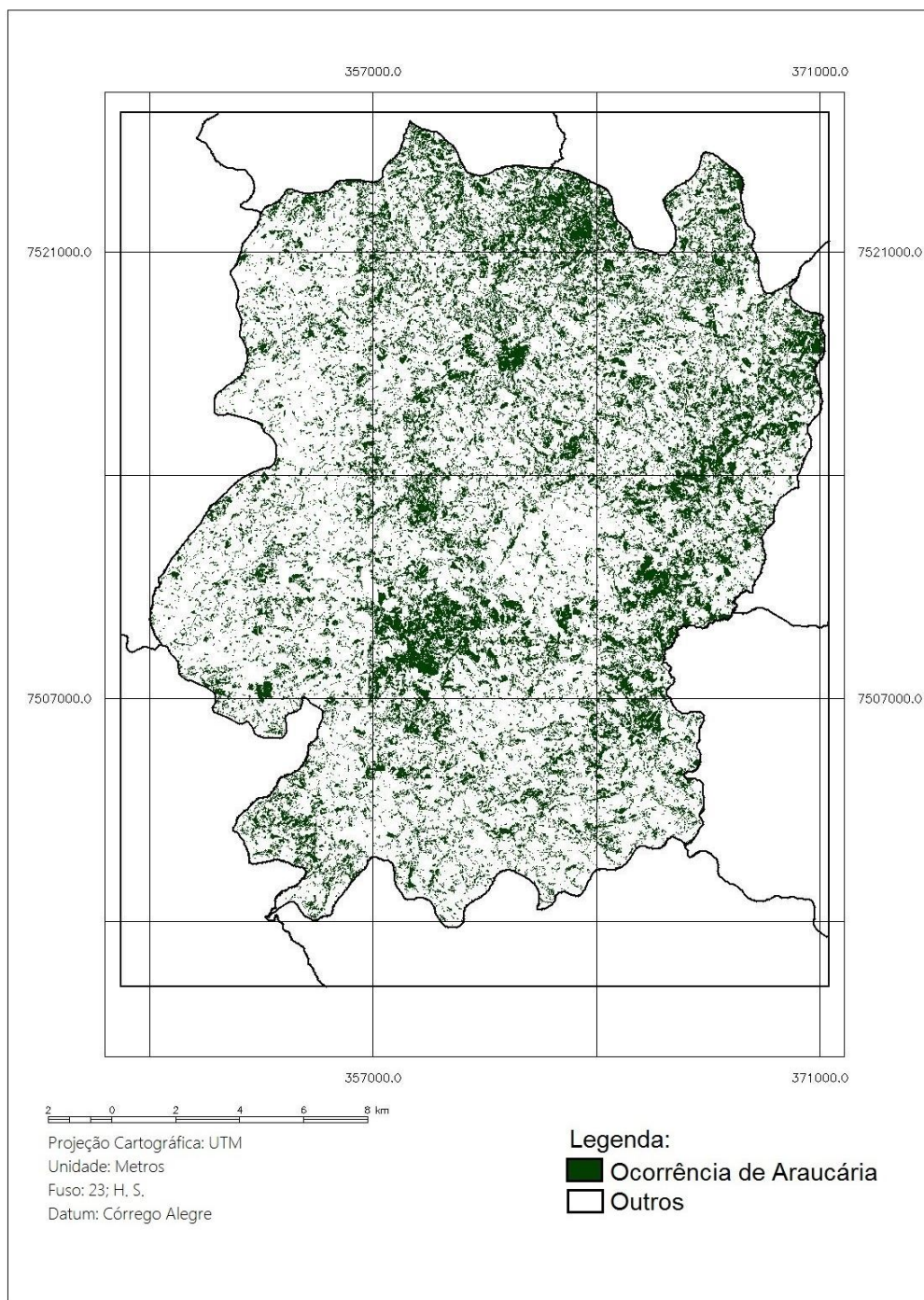


Figura 17: Mapa gerado a partir da classificação por regiões “Distância de *Bhattacharya*”

Após análise visual do mapa gerado, constatou-se a ineficiência da classificação aplicada, pois houve muito erro de comissão e muitas áreas foram atribuídas à classe temática “ARAUCARIA” sem que essas possuam indivíduos da espécie (verificação realizada tomando como referência pontos coletados, em campo, anteriormente, a partir de diferentes formações vegetais, algumas sendo de Eucalipto (*Eucalyptus spp.*)).

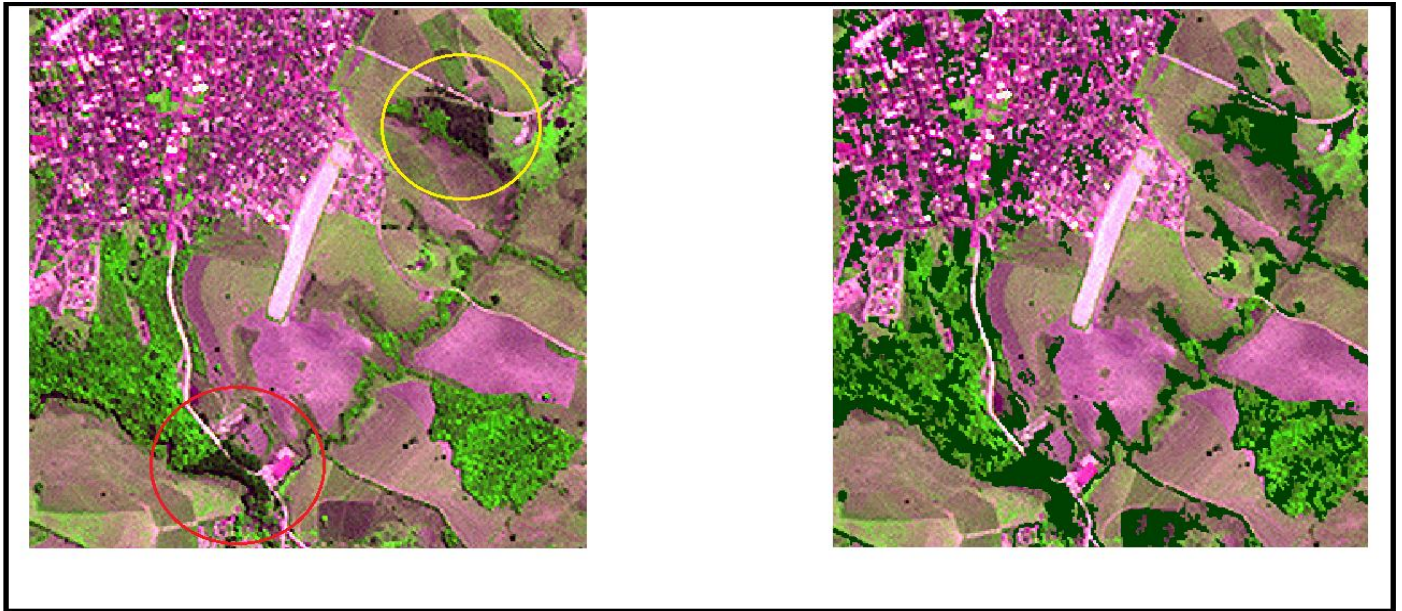


Figura 18: Imagem comparativa para áreas classificadas por *Bhattacharya* e “verdade terrestre”.

Na figura anterior (Figura 18) após a sobreposição da imagem classificada pelo algoritmo “Distância de *Bhattacharya*” (imagem da direita) sobre a imagem real em falsa cor (imagem da esquerda) pôde-se observar que, tanto uma área com ocorrência de araucária (circulada em vermelho) quanto uma área com ocorrência de eucalipto (circulada em amarelo) e ainda várias outras áreas foram atribuídas à classe temática “ARAUCARIA”.

No processo de classificação uma série de fatores interfere na qualidade final do produto gerado (MENESES et al. 2001). O mesmo autor salienta que um fator determinante para a qualidade final é a incapacidade, de um sensor com baixa resolução espectral, de fazer distinção entre respostas de alvos que possuam um intervalo espectral muito estreito.

Uma solução para esse problema são os sensores hiperespectrais, como por exemplo, o sensor *Hyperion* a bordo do satélite EO-1 (do inglês *Earth Observing – 1*) que decompõe o espectro eletromagnético num número maior de bandas (262 no caso do *Hyperion*), tornando possível a distinção de respostas espectrais de alvos espectralmente similares (SCHRAMM e VIBRANS, 2007). Porém esses autores relatam uma dificuldade de se trabalhar com este sensor quanto à sua resolução espacial de 30 m. Em seu trabalho eles constataram a ineficiência da realização da separação espectral para os alvos determinados (incluindo distinção de tipologias de vegetação e até mesmo distinção de estágios de vida para indivíduos de mesma espécie) uma vez que havia muita mistura espectral, dada a baixa resolução espacial. Esse fato tornou inviável a opção pelo sensor *Hyperion* para o presente

trabalho, uma vez que a ocorrência da espécie no município em estudo ocorre de maneira bastante esparsa ou ainda misturada a outras tipologias de vegetação, raramente ocorrendo em pequenos fragmentos como mostra a Figura 19.



Figura 19: Imagens elucidativas quanto ao modo de ocorrência da espécie no município em estudo.

Segundo Marte et al. (2011) tais condições vão contra as recomendações para realização de uma classificação, aumentando assim a dificuldade e a imprecisão da mesma, pois faz-se importante que as amostras usadas como conjunto de treinamento sejam o mais homogêneas possíveis e que representem toda a variação possível dentro da classe. As amostras de treinamento devem ainda ser grandes o suficiente para que possa ser feita estimativa das características espectrais da classe de interesse. A qualidade do processo de treinamento determina o sucesso do processo de classificação supervisionada (MARTE et al., 2011).

Outro fator contribuinte ao insucesso da classificação pelo método *Bhattacharya* é a presença de efeito de borda no produto da segmentação (Figura 20). Isso faz com que *pixels* que possuam valores correspondentes à outras tipologias de alvos (ex: sombras, transição de vegetações e etc.) sejam utilizados pelo algoritmo para o cálculo da “Distância de *Bhattacharya*”, influenciando assim diretamente na qualidade final da classificação.



Figura 20: Produto da segmentação apresentando efeito de borda.

4. CONCLUSÕES

Para o padrão de ocorrência e distribuição da espécie no município, não foi possível realizar a produção de mapas temáticos confiáveis utilizando imagens *RapidEye* e os métodos classificadores MAXVER (por *pixels*) e *Bhattacharya* (por regiões), pois suas resoluções espectral e espacial se mostraram insuficientes para alcançar o objetivo proposto.

Apesar de também não atingir o objetivo proposto no trabalho, o classificador MAXVER mostrou-se mais eficiente (em específico para as condições do presente trabalho) para distinção de vegetações do que o classificador *Bhattacharya*.

Recomenda-se para realização de trabalhos futuros visando o mapeamento da espécie no município, utilizar cenas de sensores que apresentem maior resolução espectral e espacial.

Recomenda-se também realizar o levantamento da assinatura espectral dessa espécie e então realizar a comparação com as espécies que apontam confusão.

Em função porte elevado da espécie e conseqüente sobreposição do seu dossel às demais espécies, recomenda-se a utilização de dados *Lazer Scan* no intuito de realização do mapeamento da espécie.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, A. **Aplicações Práticas de Processamento de Imagens em Sensoriamento Remoto**. Taubaté – SP: UNITAU, 2002. Estágio Docência (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Programa de Pós-Graduação no INPE, Universidade de Taubaté, São Paulo, 2002. p.19.

ANTENUCCI, J. C.; BROWN, K.; CROSWELL, P. L.; et al. **Geographic Information System: A guide to the technology**. Van Nostrand Reinhold, 1991. 275.p.

BARRET, E. C., CURTIS, L.F. **Introduction to Environmental Remote Sensing**: 4 ed. Cheltenham: Stanley Thornes Ltd. 1999. 457.p.

BOULOMYTIS, V. T. G. **Utilização de geotecnologias para a avaliação do potencial de degradação hídrica das águas superficiais por agroquímicos: caso da sub-bacia do Rio das Antas, Bueno Brandão, MG**. Campinas, SP. Agosto-2008. 141.p.

BRITEZ, R. M. **Aspectos ambientais a serem considerados na restauração da Floresta de Araucária no Estado do Paraná**. Pesquisa Florestal Brasileira. n. 55, 2007. p. 37-43.

BUZZI JUNIOR, F.; NEGRINI, M.; SPIAZZI, F. R.; VEFAGO, M. B.; SILVA, A. C. da.; HIGUCHI, P. **Estrutura populacional de *Araucaria angustifolia* (BERT.) KUNTZE**

(ARAUCARIACEAE) em um sistema de quatro fragmentos de floresta ombrófila mista Montana em Lages, SC. X Congresso de Ecologia do Brasil, 16 a 22. Setembro-2011, São Lourenço, MG.

CARREIRAS, J. M. B.; PEREIRA, J. M. C.; CAMPAGNOLO, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Assessing the extent of agriculture/pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using SPOT VEGETATION data. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, n. 3, April 2006, p.283-298.

CATEN, A ten.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F de. A.; SANTOS, M de. L. M. **Componentes Principais como Preditores no Mapeamento Digital de Casses de Solos.** Ciência Rural, Santa Maria, v.41, n.7, jul, 2011, p.1170-1176.

CELINSKI, T. M.; ZIMBACK, C. R. L. **Utilização de dados do sensor CCD/CBERS-2 na discriminação de classes de vegetação da região dos Campos Gerais – PR.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.6829-6836.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais.** Departamento de Geomática - UFPR. Curitiba-PR. 2003. 210.p.

CHEN, S. C.; HERZ, R. **Estudos Quantitativos e Calibração Radiométrica de Dados Digitais do Landsat-5.** Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p.499-506.

CLEMENT, C. R.; FERREIRA, E. J. L.; NETO, J. T de. F.; SANTOS, R. P. Ministério do Meio Ambiente. **PROBIO: Unidades de Conservação.** Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. 2004.

DIVERIO, V. T.; STRANZ, A.; DUTRA, T. L. **Uso de imagens Landsat no mapeamento de Araucaria angustifolia no Estado do Rio Grande do Sul.** Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10 (SBSR). Foz do Iguaçu - PR, INPE, aril-2001. p.1579-1581.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 2 dez. 2015.

FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; ESPINDOLA, G. M de. **RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.7619-7622.

GAO, J. **Digital analysis of remotely sensed imagery**. New York, NY, USA: McGraw-Hill Professional Publishing, 2009. 439.p.

HOTELLING, H. **Analysis of a complex of statistical variables into principal components**. Journal of Educational Psychology, vol. 24(6), Sep 1933, p.417-441. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1037/h0071325>>. Acesso em: 03/12/2015 às 04:15 h.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha da Carta do Brasil – Munhoz e Ouro Fino**. 1. ed. São Paulo: IBGE, 1972.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE MINAS GERAIS. 2006. Disponível em:< <http://www.indi.mg.gov.br/municipios/municipios.asp>>. Acesso em: 03/12/2015 às 16:43 h.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) - **Manuais: tutorial de geoprocessamento SPRING**. 2008.

KUX, H. J.; PINHEIRO, E. S. **Dados do satélite QUICKBIRD para o mapeamento do uso e cobertura da terra numa seção da Mata Atlântica no estado do Rio Grande do Sul**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p.4509-4516.

LEE, D. C. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; HERNANDEZ FILHO, P. **Análise de Componentes Principais para o Monitoramento de Áreas Reflorestadas**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 24-29 jun., 1990. Anais. São José dos Campos, INPE, 1990, v.1, p.48-60.

LEMOS, C. C de.; SOUZA, M. P de. **Avaliação Ambiental Estratégica para Gestão Municipal do Turismo: um estudo no município de Bueno Brandão, MG.** Turismo em Análise, vol.21, n.3. dez-2010. p.621-643. Disponível em: <<http://www.turismoemanalise.org.br/turismoemanalise/issue/view/14>>. Acesso em: 03/12/2015 às 16:30 h.

LISBOA FILHO, J.; IOCHPE, C. **Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados.** XV JAI – Jornada de Atualização em Informática, XVI Congresso da SBC, Recife-PE, 4 a 9 agosto de 1996.

LOPES, E. S. S. **Tutorial 10 aulas – SPRING 5.2. SPRING Básico.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Nov, 2010. Aula 04. p. 16. Disponível: < <http://www.inpe.br/> >.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. São Paulo: Plantarum, 1992. 351.p.

LUZ, J da. **Imagens ALOS para o mapeamento da vegetação arbórea e outros usos do solo em área de floresta ombrófila mista.** Curitiba – PR: UFPR, 2009. p.122. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. p.122.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** Curitiba: M. Roesner, 1968. 350.p.

MACHADO, S. A.; SIQUEIRA, J. D. P. 1980. Distribuição natural da Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. In:_____ **Iufro meeting on forestry problems of the genus Araucaria,1.**, 1979, Curitiba. Forestry problems of the genus Araucaria. Curitiba, FUPEF, p.4 - 9.

MARTE, C. L.; QUINTANILHA, J. A.; RODRIGUES, M.; et al. **Atividade Prática: Laboratório de Classificação Supervisionada de Imagens de Sensoriamento Remoto.**

Exercício: Aeroporto de Guarulhos. PTR 2355 – Princípios de Geoprocessamento. São Paulo-SP. julho-dezembro de 2011. Universidade de São Paulo.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro.** Curitiba: Grêmio Politécnico, 1972. 68.p.

MEDEIROS, R. **Evolução das Tipologias e Categorias de Áreas Protegidas no Brasil.** Ambiente & Sociedade. vol.9, n.1, jan./jun. 2006, p. 41-64.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de.; ROSA, A. N de. C. S.; SANO, E. E. SOUZA, E. B de.; BAPTISTA, G. M de. M.; BRITES, R. S. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** UnB, CNPQ. Brasília – BR, 2012. Cap. 6. Distorções e Correções dos Dados da Imagem, 6.1. O que é Processamento de Imagens. 92.p.

MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262.p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** São José dos Campos-SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2001. 250.p.

NAPOLEÃO, M. C.; LINGNAU, C.; ANTUNES, A. F. B. **A Influência dos Métodos de Reamostragem na Fusão de Imagens Landsat-5 TM e SPOT Pancromática.** Universidade Federal do Paraná - UFPR, 2001. Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/GeoColoq_2001/cbcg2053.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2015.

NEUBERT, M.; HEROLD, H.; MEINEL, G. **Evaluation of remote sensing image segmentation quality – further results and concepts.** 2006. Disponível em: <http://www2.ioer.de/recherche/pdf/2006_neubert_obia.pdf>. Acesso em: 02/10/2015.

NOVO, E. M. L de. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** 4. ed., rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 7-8; p.291-300.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 3. ed., rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 1-10; p.256-289.

OLIVEIRA, F. P.; FILHO, E. I. F.; SOARES, V. P.; SOUZA, A. L. **Mapeamento de fragmentos florestais com monodominância de aroeira a partir da classificação supervisionada de imagens *RapidEye***. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.37, n.1, 2013. p.151-161.

OLIVEIRA, G de.; VERDUM, R. **Processamento de dados orbitais para o mapeamento de unidades de conservação na área de influência da rodovia RST/453/RS486 (Rota do Sol), RS**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7517-7524.

PEARSON, K. **On lines and planes of closest fit to systems of points in space**. *Philosophical Magazine*. vol.2, 1901, p.559-572. Disponível em: <<http://stat.smmu.edu.cn/history/pearson1901.pdf>>. Acesso em: 03/12/2015 às 03:25 h.

POLIDORIO, A. M.; FRANCO, C.; IMAI, N. N.; TOMASSELLI, A. M. G.; GALO, M. L. B. T. **Correção radiométrica de imagens multiespectrais CBERS e Landsat ETM usando atributos de reflectância e de cor**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p.4241-4248.

PROCHNOW, M. **O parque nacional das araucárias e a estação ecológica da Mata Preta**. Unidades de Conservação da Mata Atlântica. APREMAVI. 1.ed, Rio do Sul, Santa Catarina, 2009. Disponível em: <www.apremavi.org.br/download.php?codigoArquivo=263>. Visualizado em: 15/06/2015.

PUCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S. dos. **Variação em população naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze associada a condições edafo-climáticas**. *Scientia Forestalis*, n.70, Santa Catarina, Brasil, abril 2006. p.137-148.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F.; HIROTA, M.; **Brazilian Atlantic Forest: how much is left and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation**. *Biological and Conservation*, Oxford, v.142, 2009. p.1141-1153.

RIBEIRO, S. R. A.; CENTENO, J. S. **Classificação do Uso do Solo Utilizando Redes Neurais e o Algoritmo MAXVER**. Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p.1341-1348.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 340.p.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. Berlin, Springer-Verlag, 1986. 281.p. Disponível em: <https://uqu.edu.sa/files2/tiny_mce/plugins/filemanager/files/4260086/8/RS%20Digital%20Image%20Analysis.pdf>. Acesso em: 04/12/2015 às 11:35 h.

ROSA, R. A da. S. **Correção Radiométrica de Imagens de Radar e Abertura Sintética Aerotransportado**. 2009. Tese de Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 86.p.

ROSOT, M. A. D.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; DLUGOSZ, F. L.; ROSOT, N. C. **Discriminação de sub- tipologias em florestas com Araucária no Brasil: uma comparação entre o sensoriamento remoto e abordagens fitossociológicas**. Simpósio Internacional de Sensoriamento Remoto do Ambiente, San Jose, n . 32, de 2007. 190.p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371.p.

SANQUETTA, C. R.; NETTO, A. F. **Pinheiro-do-paraná: lendas & realidades**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2000. 112.p.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**. Orlando, FL, Academic Press, 1983. 249.p. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/book/9780126289800>>. Acesso em: 04/12/2015 às 12:50 h.

SCHRAMM, V. F.; VIBRANS, A. C. **Uso de imagens hiperespectrais (EO-1 *Hyperion*) para detalhamento da detecção das formações florestais na bacia do Itajaí.** Dynamis revista tecno-científica, out-dez. 2007, vol.13, n.1, p.59-69.

SHIMABUKURO, Y. E.; SANTOS, J. R.; LEE, D. C. L.; PEREIRA, M. C. **Dados sensoriados no monitoramento e avaliação de áreas queimadas: o caso do Parque Nacional das Emas.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 26, n. 10, 1991. p.1589-1598.

SILVA, F. F.; SERVELLO, E. L.; FONSECA, L. M. G.; SANTOS, J. R.; KUPLICH, T. M. **Análise da distribuição de copas de Araucária (*Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktz.) a partir da fusão de imagens HRC-CCD/CBERS-2B.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal-RN, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.2217-2223.

SPRING: **Integração sensoriamento remoto e SIG por modelagem de dados orientada a objetos.** In:_____CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. Computers & Graphics, v.20: ed.3, Maio-Junho, 1996. p.395-403.

TROPMAIR, H. **Perfil fitoecológico do estado do Paraná.** Boletim de Geografia – UEM. nº.01, Ed.08, set/1990. Paraná, Brasil.

VENANCIO, D. L. **Mapeamento de Araucaria angustifolia utilizando DGPS e imagem de satélite QuickBird-2.** Irati, PR : UNICENTRO, 2009. p.80. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2009. 80.p.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. Técnicas de Classificação de Imagens para Análise de Cobertura Vegetal. In: (Ed.). ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas.** Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC. Capítulo 18, 1998. p.351-371.

VIEIRA JUNIOR, J. A. **Análise comparativa dos métodos de classificação de imagem de alta resolução para mapeamento da cobertura do solo.** Belo Horizonte, MG: UFMG, 2011. p.32. Monografia (Especialização em Geoprocessamento). XIII Curso de Especialização em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

VIEIRA, I. C. G.; ALMEIDA, A. S.; DAVIDSON, E. A.; STONE, T. A.; CARVALHO, C. J. R.; GUERRERO, J. B. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. **Remote Sensing of Environment**. v. 87, n. 4, November 2003. p.470-481.

WAGNER, A. P. L.; DUCATI, J. R. **Estudo de Florestas de Pinus no Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul com imagens do sensor ASTER**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p.4361-4368.

WATRIN, O dos. S.; FILHO, M. V.; SANTOS, J. R dos. **Transformação por Componentes Principais e por Decorrelação de Bandas Aplicadas à Caracterização de Feições da Paisagem do Nordeste Paraense**. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p.435-441.

WEHR, N. J.; TOMAZELLO FILHO, M. **Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, através da microdensitometria de raios X**. Scientia forestalis. n.58, dez.2000. p.161-170.

ZULLO JUNIOR, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. 204.p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.