



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DO PONTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO PONTAL



LAÍZA CASTRO BRUMANO VIÇOSO

**MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL PARA MAPEAMENTO DOS
ESTÁGIOS DE DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS**

**ITUIUTABA – MG
FEVEREIRO/2018**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DO PONTAL

LAÍZA CASTRO BRUMANO VIÇOSO

**MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL PARA MAPEAMENTO DOS
ESTÁGIOS DE DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós graduação em Geografia do Pontal – Área de Concentração: Produção do espaço e dinâmicas ambientais, da Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, da Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geografia

Linha de Pesquisa: Dinâmicas Ambientais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Jussara dos Santos Rosendo

**ITUIUTABA – MG
FEVEREIRO/2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

V639m Viçoso, Laíza Castro Brumano, 1989-
2018 Modelo linear de mistura espectral para mapeamento dos estágios de
degradação das pastagens / Laíza Castro Brumano Viçoso. - 2018.
118 f. : il.

Orientadora: Jussara dos Santos Rosendo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.928>
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Sensoriamento remoto - Teses. 3. Pastagens
- Mapeamento - Ituiutaba (MG) - Teses. 4. Pastagens - Degradação -
Ituiutaba (MG) - Teses. I. Rosendo, Jussara dos Santos. II. Universidade
Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Geografia do
Pontal. III. Título.

CDU: 910.1

Gerlaine Araújo Silva - CRB-6/1408

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DO PONTAL

LAÍZA CASTRO BRUMANO VIÇOSO

**MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL PARA MAPEAMENTO DOS
ESTÁGIOS DE DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS**

Dissertação aprovada para a obtenção do título de Mestre em Geografia no Programa de Pós Graduação em Geografia do Pontal – Área de Concentração: Produção do espaço e dinâmicas ambientais – Linha de Pesquisa: _Dinâmicas Ambientais, da Faculdade de Ciências Integradas do Pontal, da Universidade Federal de Uberlândia, pela banca examinadora formada por:

Prof^a. Dr^a. Jussara dos Santos Rosendo (Orientadora)
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Faculdade de Ciências Integradas do Pontal – FACIP

Prof. Dr. Roberto Barboza Castanho (Membro)
Universidade Federal de Uberlândia – UFU
Faculdade de Ciências Integradas do Pontal - FACIP

Prof^a. Dr^a. Amanda Fialho (Membro)
Universidade do Estado de Minas Gerais
Campus Ituiutaba

Ituiutaba, 23 de fevereiro de 2018

“Lembre-se de que você mesmo é o melhor secretário de sua tarefa, o mais eficiente propagandista de seus ideais, a mais clara demonstração de seus princípios, o mais alto padrão do ensino superior que seu espírito abraça e a mensagem viva das elevadas noções que você transmite aos outros. Não se esqueça, igualmente, de que o maior inimigo de suas realizações mais nobres, a completa ou incompleta negação do idealismo sublime que você apregoa, a nota discordante da sinfonia do bem que pretende executar, o arquiteto de suas aflições e o destruidor de suas oportunidades de elevação - é você mesmo.”

Francisco Cândido Xavier

Aos meus pais Ilzanete (in memorian) e Luiz, e à minha avó Santa (in memorian).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus por permitir que eu fosse capaz de chegar até este momento e não desistir.

Aos meus pais, Ilzanete (*in memorian*) e Luiz, por me incentivarem todos esses anos.

À minha avó Santa (*in memorian*) que, mesmo no fim, me mostrou o quanto acreditava em mim e o quanto eu podia ser forte para seguir em frente.

Às minhas irmãs, Luiza e Laiz, por serem meu alicerce e mostrarem que os bons momentos sempre prevalecem.

Ao meu sobrinho, João Marcelo, e à minha tia Ildinéa, por seus exemplos de docura, ternura e amor ao próximo.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Jussara Rosendo, pelos ensinamentos, “puxões de orelha” e por despertar em mim o amor à pesquisa geográfica, ao Sensoriamento Remoto e ao Geoprocessamento.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Roberto Barboza Castanho e Prof.^a Dr.^a Amanda Fialho, pela disponibilidade, ajuda e pelas valiosas contribuições.

Ao Prof. Dr. Yosio Edemir Shimabukuro pelos ensinamentos no estágio realizado no Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), os quais sem eles esta pesquisa não seria possível.

Ao Prof. Dr. Egidio Arai, que também contribuiu de forma bastante significativa para a pesquisa durante o estágio no INPE.

Ao professor Roberto Rosa pelas colaborações no que diz respeito ao bom andamento da pesquisa.

Aos amigos de pesquisa, Bruna Dias e Acácio Neto, pelos momentos compartilhados no Laboratório de Geotecnologias.

Aos membros da República da Luz Vermelha, não somente aos que hoje residem, mas por todos os que passaram pela minha trajetória em Ituiutaba.

Aos grandes amigos que fiz em Ituiutaba que, de alguma forma, me ajudaram a trilhar esse caminho: Deicy Araújo (minha irmã de alma), Ana Beatriz Santos, Wattson Ferreira, Kleber Rezende, José Victor Silva, Thiago Almeida, Evandro Teodoro, João Paulo Rezende, Vanessa Costa, Otávio César, William Castro, Kelly Silva, Laura Vencio, Eduardo Marques, Leonardo Vitalino e Rafael Capucho; vocês foram a minha base em meu trajeto em Ituiutaba.

Ao Leonardo Remiggi Burgos, pela correção ortográfica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**CAPES**), pela concessão da bolsa durante o período cursado de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (**CNPq**) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (**FAPEMIG**), pelo apoio à pesquisa por meio do financiamento de projetos que foram auxiliares ao desenvolvimento da presente dissertação.

Por fim, agradeço a todos os professores de graduação em Geografia e de Mestrado em Geografia da FACIP que, de alguma forma, ajudaram em minha formação acadêmica durante a minha permanência na cidade de Ituiutaba, durante esses sete anos (Graduação e Mestrado), muito obrigada.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização desta pesquisa, muitíssimo obrigada.

LISTA DE SIGLAS

BRDF	Bidirecional Reflectante Distribution Function
CAD	Computer Aided Design
CAMPO	Companhia de Promoção Agrícola
CPs	Componentes Puros
EMATER	Empresa de Assistência Técnica de Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESA	Europion Space Agency
EVI	Enhanced Vegetation Index
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPS	Global Positioning Siystem
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IFOV	Instantaneous Field of View
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
LAPIG	Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente
MDE	Modelo Digital de Elevação
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
MRG	Microrregião Geográfica
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NPP	Net Primary Productivity
NPV	Non-Fotossintetic Vegetation
OLI	Operational Land Imager
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
POLOCENTRO	Programa de Desenvolvimento dos Cerrados
PRODECER	Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento do Cerrado
SIGs	Sistema de Informação Geográfica

TIRS	Thermal Infrared Sensor
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
USGS	United States Geological Survey

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da Microrregião Geográfica de Ituiutaba/MG.....	21
Figura 2: Mapa dos tipos de solos da microrregião de Ituiutaba/MG	22
Figura 3: Representação gráfica simplificada do processo de degradação de pastagens cultivadas em suas diferentes etapas no tempo.....	28
Figura 4: Assinatura espectral de vários tipos de objetos na superfície terrestre	37
Figura 5:Três tipos de assinatura angular típica: a assinatura de reflectância bidirecional; b) pico de reflexão peculiar ou reflexão do espelho (Sun Glint) e c) ponto quente (Hot Sept).	38
Figura 6: Curva de fator de reflectância direcional-hemisférica típica de uma folha verde	41
Figura 7: Imagens fração derivada do modelo linear de mistura espectral (MLME). As proporções de mistura foram estimadas das bandas 1 a 5 e 7 do satélite Landsat 5 TM, de 2008, órbita ponto 225/64-65.	47
Figura 8: Componentes solo, sombra e vegetação, obtidos a partir do modelo linear de mistura espectral.....	48
Figura 9: Resultados obtidos a partir da digitalização das cartas topográficas em: a) curvas de nível, b) hidrografia, c) lagos e lagoas e d) pontos cotados.....	52
Figura 10: Espaço amostral vermelho – infravermelho, com a localização dos componentes vegetação, solo e sombra	53
Figura 11: (A) composição colorida (R -vegetação, G - solo, B - sombra); (B) solo; (C) sombra (água); e (D) vegetação.....	54
Figura 12: Diagrama de dispersão dos componentes principais 1 e 2, sendo Δ os componentes puros localizados no vértice desse (64.000 pixels correspondente ao projeto).	56
Figura 13: Diagrama de reflectâncias de superfície referente aos componentes puros vegetação, solo e sombra, selecionados a partir do diagrama dos componentes principais 1 e 2.	
.....	57
Figura 14: a) Cobertura das imagens MODIS e b) Landsat TM na área de estudo.....	58
Figura 15: Localização de ponto sobre uma imagem TM, matriz de pontos (nove) com amostras selecionadas àquele ponto (Fonte: Lapig/UFG)	59
Figura 16: Somatório dos compostos EVI ao longo de cada ano	61
Figura 17: Mapa da média produtividade primária líquida por município.....	62

Figura 18: Análise de Mann-Kendall para as áreas de pastagem do Brasil, considerando uma série temporal de valores GPP (MOD17A2H) de 2000 a 2015. Valores de "tau" negativos (manchas em tons amarelo-avermelhados no mapa da esquerda) sugerem perda de produtividade	64
Figura 19: Fazendas Vitoria (Paragominas, Pará) e Nova Vida (Rondonia). Composição falsa-cor	66
Figura 20: Diagrama ternário dos valores PV, NPV e S para cada unidade de manejo de pastagem na Fazenda Vitória (círculos), Fazenda Nova Vida (quadrados) e várias fazendas perto de Santarém (triângulos) (Asner, et al. 2004) de Imagens da estação seca.....	68
Figura 21: Diagrama ternário de valores PV, NPV e S para estação seca (quadrados) e estação úmida (diamantes) na Fazenda Nova Vida, Rondônia.	69
Figura 22: Correlações entre o número de tratamentos (1998-2001) registrados em cada unidade de gerenciamento de pastagem na Fazenda Nova Vida, Rondônia e valores de PV (círculos), NPV (quadrados) e S (triângulos). As linhas de regressão são: $NPV = 0,022 x + 0,431$	69
Figura 23: Composição colorida 4R5G6B da microrregião geográfica de Ituiutaba/MG para o mês de Julho/2016.	73
Figura 24: Curva espectral do mês de julho de 2016.....	75
Figura 25: Composição das imagens-fração mês de julho Solo (R) e Vegetação (G).....	76
Figura 26: Imagens-fração mês de julho geradas através da aplicação do MLME na área de interesse	76
Figura 27: Mapa das pastagens da microrregião de Ituiutaba/MG - Terraclass	79
Figura 28: Mapeamento das Pastagens da microrregião de Ituiutaba realizado pelo IESA (2016)	80
Figura 29: Pontos aleatórios de extração de informações – julho (2016).....	82
Figura 30: Mapeamento de classificação das pastagens da microrregião de Ituiutaba – Julho de 2016.	88
Figura 31: Pontos GPS coletados em campo para verificação dos dados.	91
Figura 32: Imagens coletadas em campo de pastagens melhoradas.	92
Figura 33: Imagens coletadas em campo de pastagens moderadas.	92
Figura 34: Imagens coletadas em campo de pastagens degradadas.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 :Uso da terra do Domínio Cerrado (2013).....	26
Tabela 2: Características técnicas dos sensores TM, ETM+ e OLI.....	40
Tabela 3: Área em ha das pastagens da microrregião de Ituiutaba/MG, no ano de 2016 e 2006, por meio de dados do IESA e IBGE.....	81
Tabela 4: índices de coeficiente de correlação entre reflectância da imagem fração solo e vegetação das pastagens da MRG.	84
Tabela 5: Áreas ocupadas pelas pastagens degradadas, moderadas e melhoradas na microrregião de Ituiutaba no ano de 2016.....	87
Tabela 6: Características do índice Kappa.....	90
Tabela 7: Pontos coletados em campo na microrregião de Ituiutaba/MG no dia 29/09/2017...	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais causas de degradação de pastagens e possíveis estratégias de recuperação	29
Quadro 2: Chave de fotointerpretação dos <i>pixels</i> puros para a geração do MLME sombra/água, solo e vegetação.	75
Quadro 3: Valores das respostas espectrais dos <i>endmembers</i>	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico de dispersão e correlação das pastagens melhoradas de julho de 2016	85
Gráfico 2: Gráfico de dispersão e correlação das pastagens moderadas de julho de 2016.	85
Gráfico 3: Gráfico de dispersão e correlação das pastagens degradadas de julho de 2016.....	86
Gráfico 4: Porcentagem da ocupação das pastagens na microrregião de Ituiutaba/MG para o mês de julho.....	89

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 Caracterização da área de Estudo	21
2.2 Pastagens Degradas.....	27
2.3 O sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento	31
2.4 Satélite OLI/Landsat8.....	39
2.5 O Modelo Linear de Mistura Espectral	44
2.6 Propostas de Metodologias Aplicadas à Classificação de Pastagens	50
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	72
3.1 Materiais e métodos.....	72
4 RESULTADOS.....	80
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
6 REFERÊNCIAS	96
7 ANEXOS.....	101

RESUMO

Atualmente, cerca de 70% das pastagens no Brasil encontram-se em algum estágio de degradação, de modo que a maior concentração dessas áreas está presente nas regiões de fronteiras agrícolas como, por exemplo, o norte, o nordeste e o centro-oeste, segundo a EMBRAPA (2014). Esses dados mostram a falta de políticas públicas voltadas para a recuperação e ordenamento dessas áreas. As pastagens são consideradas degradadas quando o seu vigor, produtividade e capacidade de recuperação não são mais possíveis. A qualidade da pastagem, exigida pelos animais, bem como a superação dos efeitos nocivos como pragas, doenças e invasoras, acabam favorecendo a degradação avançada dos recursos naturais em razão de manejos inadequados. Desse modo, mostrar a importância de tornar as pastagens mais produtivas e, também, de contribuir para a qualidade e o vigor delas, sem haver a necessidade da abertura de novas áreas de pastagens. Tal fato evita a substituição dessas áreas desgastadas por outros usos, como a agricultura e a degradação das pastagens, além de tornar as áreas mais produtivas para a pecuária, setor de relevância econômica e social na microrregião geográfica de Ituiutaba (MRG). O principal objetivo desta pesquisa é mapear os estágios de degradação das pastagens da MRG de Ituiutaba/MG, por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Para tal, os objetivos específicos incluíram: realizar o mapeamento das pastagens da MRG de Ituiutaba/MG; apontar as técnicas mais adequadas para a classificação de pastagens melhoradas e degradadas; separar os estágios de degradação das pastagens da MRG de Ituiutaba e quantificá-las. Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia da pesquisa contou com as seguintes etapas: realização de revisão bibliográfica, que estruturou os conceitos norteadores desta pesquisa; aquisição de imagens do satélite OLI/Landsat 8 no banco de dados da USGS (United States Geological Survey) já com a correção atmosférica; aplicação do modelo linear de mistura espectral (MLME) por meio do software *Spring 5.5* para geração das imagens fração solo, sombra/água e vegetação; aplicação do algoritmo de classificação IsoSeg, também no *Spring 5.5*, para extrair informações dos componentes solo e vegetação, já que estes correspondem às áreas destinadas às pastagens; trabalho de campo na MRG de Ituiutaba para a averiguação dos dados; validação dos resultados; mapeamento final das pastagens da MRG de Ituiutaba e classificação quanto ao seu estágio de degradação. Os resultados alcançados mostraram, por meio do MLME, que a microrregião de Ituiutaba possui 207.090 ha de pastagens degradadas, o que corresponde a 51,8 % do total das pastagens mapeadas, tal dado é muito semelhante aos apontados pela EMBRAPA para as estimativas nacionais. As pastagens consideradas moderadas somaram 111.619 ha, o que equivale a 28% do total, enquanto as pastagens melhoradas ocuparam 80.651 ha das áreas destinadas às pastagens, representando 20,1%. Considera-se que a metodologia aplicada foi satisfatória, pois o MLME como técnica de realce da reflectância dos alvos permitiu que as áreas destinadas às pastagens fossem mais bem identificadas, já que as imagens-fração solo e vegetação realçaram os alvos, permitindo a interpretação destes para a geração do mapeamento como também dos gráficos e dos cálculos matemáticos.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; mapeamento de pastagens; MLME (modelo linear de mistura espectral); microrregião de Ituiutaba.

ABSTRACT

Currently, about 70% of the pastures in Brazil are at some stage of degradation, so that the highest concentration of these areas is present in the agricultural border regions such as the north, northeast and center-west according to EMBRAPA (2014). These data show the lack of public policies aimed at the recovery and ordering of these areas. Pastures are considered degraded when their vigor, productivity and recovery capacity are no longer possible. The quality of pasture demanded by animals, as well as the overcoming of harmful effects such as pests, diseases and invasives, end up favoring the advanced degradation of natural resources due to inadequate management. Thus, this research has the purpose of showing the importance of making pastures more productive and also of contributing to their quality and vigor, without the need to open new pasture areas. This fact avoids the substitution of these areas for other uses, such as agriculture and pasture degradation, in addition to making the areas more productive for livestock, an area of economic and social relevance in the Ituiutaba microregion (MRG). The main objective of this research is to map the stages of degradation of MRG pastures of Ituiutaba / MG, through geoprocessing and remote sensing techniques. To this end, specific objectives included: mapping the MRG pastures of Ituiutaba / MG; to identify the most appropriate techniques for the classification of improved and degraded pastures; to separate the stages of degradation of the pastures of the MRG of Ituiutaba and to quantify them. In order to achieve the proposed objectives, the research methodology included the following steps: a bibliographic review that structured the guiding concepts of this research; the acquisition of OLI / Landsat 8 satellite images in the USGS (United States Geological Survey) database with the atmospheric correction; the application of the linear spectral mixing model (MLME) using the Spring 5.5 software to generate the images fraction soil, shade / water and vegetation; the application of classification algorithm IsoSeg, also in Spring 5.5 to extract information of the components soil and vegetation since these correspond the areas destined to the pastures; field work at MRG de Ituiutaba for data analysis; validation of results; final mapping of Ituiutaba MRG pastures and classification as to their stage of degradation. The results showed that the microregion of Ituiutaba has 207,090 hectares of degraded pastures, corresponding to 51.8% of the total of pastures mapped, which is very similar to those indicated by EMBRAPA for national estimates. Moderate pastures totaled 111,619 ha, equivalent to 28% of the total, while improved pastures occupied 80,651 ha of pastureland, accounting for 20.1%. It is considered that the applied methodology was satisfactory, since the MLME as a technique of enhancement of the target reflectance, allowed that the areas destined to the pastures were better identified, since the images fraction soil and vegetation highlighted the targets allowing the interpretation of these for the generation of mapping as well as mathematical graphs and calculations.

Key-words: remote sensing; mapping of pastures; MLME (linear spectral mixing model); microregion of Ituiutaba.

INTRODUÇÃO

Ao se tratar de conhecer determinada parte da superfície terrestre sem um contato direto entre o objeto de estudo e o pesquisador ou equipamento, as técnicas de sensoriamento remoto – informação obtida por meio de sensores e instrumentos em geral – são de fundamental importância. Elas são capazes de revelar dados geográficos e até históricos concernentes aos espaços naturais e também sociais, tal como a distribuição das áreas florestais, o avanço do desmatamento, o crescimento das áreas urbanas etc.

A utilização dessa técnica tem se apresentado muito útil, por exemplo, para o mapeamento e classificação das pastagens melhoradas e degradadas, contribuindo de forma considerável com a atividade pecuária, um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro por gerar renda, empregos diretos e indiretos, além da participação significativa no Produto Interno Bruto – PIB do país. Por conseguinte, o sensoriamento remoto tem chamado também a atenção de estudiosos acadêmicos, que o examina com o objetivo de verificar o seu grau de eficácia. De acordo com Fernandes (2012), o mapeamento do uso da terra é fundamental para direcionar o planejamento e a definição de prioridades por parte do poder público e privado, partes envolvidas na gestão de recursos naturais.

Essas informações são importantes para corroborar com este estudo, que visa propor o acompanhamento monitorado das pastagens da Microrregião Geográfica – MRG de Ituiutaba/MG, em detrimento das áreas de expansão de substituição por outros usos. Essa MRG é constituída por um total de seis municípios: Ituiutaba, Santa Vitória, Cachoeira Dourada, Capinópolis, Ipiaçu e Gurinhatã e, de acordo com estudos preliminares, trata-se de uma área que evidencia a necessidade desse monitoramento. Além disso, o estudo se torna relevante para os governantes da MRG de Ituiutaba no que se refere ao ordenamento terrestre desse uso para os pecuaristas que pretendem realizar o melhoramento das áreas de pastagens e, também, no que se refere à aplicação de programas governamentais.

Para a realização deste trabalho, inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica que estruturou os conceitos norteadores desta pesquisa, como exemplo da modernização e do manuseio das pastagens, do desenvolvimento rural/regional, da evolução histórica e socioespacial da MRG em questão, da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, da detecção das pastagens, entre outros conceitos que se fizerem necessários para o entendimento do atual cenário agropecuário da microrregião em estudo.

O próximo passo compreendeu a composição do mapeamento do uso da terra objetivando a análise dos usos que os norteiam e se apresentam relevantes na MRG de Ituiutaba para que, assim, possa-se realizar a separação daquilo que se apresenta nas imagens tratadas dos SIGs (Sistema de Informação Geográfica) como pastagens. Com esses dados em mãos, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto que se mostraram ser satisfatórias nos resultados apresentados para a classificação das pastagens melhoradas e degradadas utilizando o MLME. A aplicabilidade desse método foi comprovada através de amostras coletadas em campo.

Foi realizada a coleta e a tabulação de dados secundários pertinentes à MRG de Ituiutaba para analisar informações referentes ao censo agropecuário de 2006 (ano de último senso da pastagem), bem como os demais bancos de dados existentes, como por exemplo, os do IBGE, PROBIO, EMBRAPA e da Terraclass.

Com essas informações e com o resultado das análises foi possível realizar a espacialização, ou seja, o estágio de evolução das pastagens ocorridas na MRG de Ituiutaba. Nessa etapa, a composição se deu por meio de dois softwares livres, o *Quantum Gis* e o *Spring*. Vale registrar que o movimento do software livre é um meio de compartilhamento do conhecimento tecnológico, que teve início na década de 1980, tendo diversos adeptos pelo mundo. Seus maiores defensores são os *hackers*, um grande número de acadêmicos e cientistas, os mais diferentes combatentes pela causa da liberdade. Recentemente as forças político-culturais influentes mostraram-se apoiadoras da distribuição mais equitativa dos benefícios da chamada “era da informação” (SILVEIRA, 2004).

Cabe destacar que a degradação de pastagens ocorre através da perda de vigor da planta, o que, consequentemente, provoca uma menor produtividade e aproveitamento para o rebanho. Nesse sentido, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são bastante promissoras para a identificação e classificação dos estágios em que as pastagens se encontram, assim, é possível propor metodologias que possam avaliá-las e classificá-las.

A recuperação de áreas e pastagens degradadas consiste em transformar as terras degradadas (no caso específico de pastagens degradadas) em áreas produtivas para a produção de alimentos, fibras, biodiesel, florestas e carne, evitando assim a derrubada de novas áreas de florestas. No avanço do processo de degradação ocorre a perda de cobertura vegetal e a redução no teor de matéria orgânica do solo, emitindo gás carbônico (CO_2) para a atmosfera, além de tornar o local improdutivo. A recuperação e a manutenção da produtividade das pastagens contribuem para diminuir a emissão dos gases do efeito estufa.

De acordo com Oliveira e Corsi (2005), do ponto de vista ambiental, a recuperação das pastagens é muito interessante, porque, entre outras razões, evita o desmatamento de novas áreas para a formação de pastagens:

Somado a esse fato, a recuperação de pastagens adota princípios básicos imprescindíveis, como conservação, recomposição da fertilidade e cobertura do solo, preservação da matéria orgânica do sistema e retenção de água, fatores que vão ao encontro da preservação do ambiente, ou seja, a recuperação da infra-estrutura [sic] ambiental mínima para que funções ecológicas possam ser reativadas fazendo com que qualquer atividade agropecuária seja sustentável. (OLIVEIRA; CORSI, 2005, p. 2)

Os Sistemas de Informações Geográficas – SIGs são ferramentas que auxiliam muito no tratamento das imagens obtidas via satélite. Segundo Vettorazzi (1996, p.1), é o conjunto “das diversas técnicas empregadas na coleta, armazenamento, processamento, análise e representação de dados com expressão espacial, isto é, possíveis de serem referenciados geograficamente (georreferenciadas) ”, podendo ser aplicadas para identificar desastres naturais e antrópicos, mudanças de uso e ocupação do solo, na prevenção de áreas florestais e cursos d’água ou, até mesmo, para fins econômicos.

Durante o período da graduação em Geografia, entre os anos de 2011 e 2015, foram desenvolvidas pesquisas que abrangiam essa temática, cujos dados revelaram que o município de Ituiutaba é composto por 57% de pastagem (VIÇOSO; ROENDO, 2014, p. 9). Através desses dados e de leituras realizadas englobando a temática das pastagens, sentiu-se a necessidade de aprofundar os conhecimentos acerca do tema. Assim, de 2013 a 2015, foi desenvolvida a pesquisa de iniciação científica envolvendo as pastagens e a forma como elas vinham sendo tratadas no município de Ituiutaba. O programa Agricultura de Baixo Carbono¹

¹O Programa Agricultura de Baixo Carbono partiu da necessidade do governo em adotar medidas para a redução dos gases de efeito estufa através de tratados firmados na “Rio 92”. Nessa ocasião, foi debatida por diversos países a necessidade de redução desses gases. Com isso, o programa consiste em uma série de medidas adotadas pelos agricultores que, aliada à tecnologia, irá reduzir a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE) aliados a uma agricultura mais sustentável, preservando o meio ambiente. (Cf. VIÇOSO, Laíza Castro Brumano; ROENDO, Jussara dos Santos. **O Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) no Município de Ituiutaba – MG. 2014.**) Disponível em: <<http://docplayer.com.br/15579136-Professora-dra-jussara-dos-santos-rosendo-orientadora-e-professora-universidade-federal-de-uberlandia-ufu-e-mail-jussara-facip-ufu.html>>. Acesso em: 23 maio 2016.

acabou sendo abrangido nessa pesquisa por tratar-se de um projeto do governo que, em uma de suas linhas de crédito, visa à melhoria no vigor das pastagens com o propósito de reduzir as emissões de CO₂ na atmosfera e, através da sua aplicabilidade, reduzir também os índices de desmatamento para a abertura de novas pastagens.

Busca-se atender o objetivo geral, que consistiu em mapear os estágios de degradação das pastagens da MRG de Ituiutaba/MG, por meio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Para tal, os objetivos específicos são citados nos seguintes tópicos:

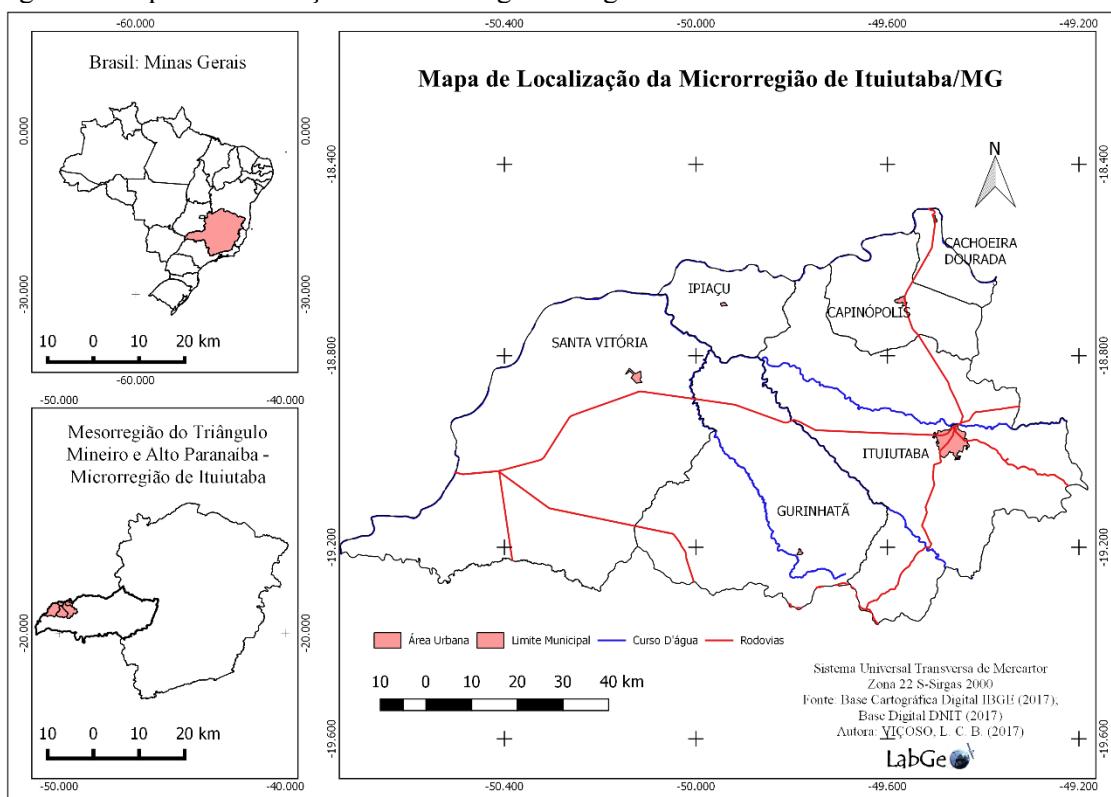
- Realizar o mapeamento das pastagens da MRG de Ituiutaba/MG;
- Apontar as técnicas mais adequadas para a classificação de pastagens melhoradas e degradadas;
- Separar os estágios de degradação das pastagens da MRG de Ituiutaba e quantificá-las.
- Identificar e caracterizar as áreas com pastagens degradadas na MRG de Ituiutaba/MG.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização da área de Estudo

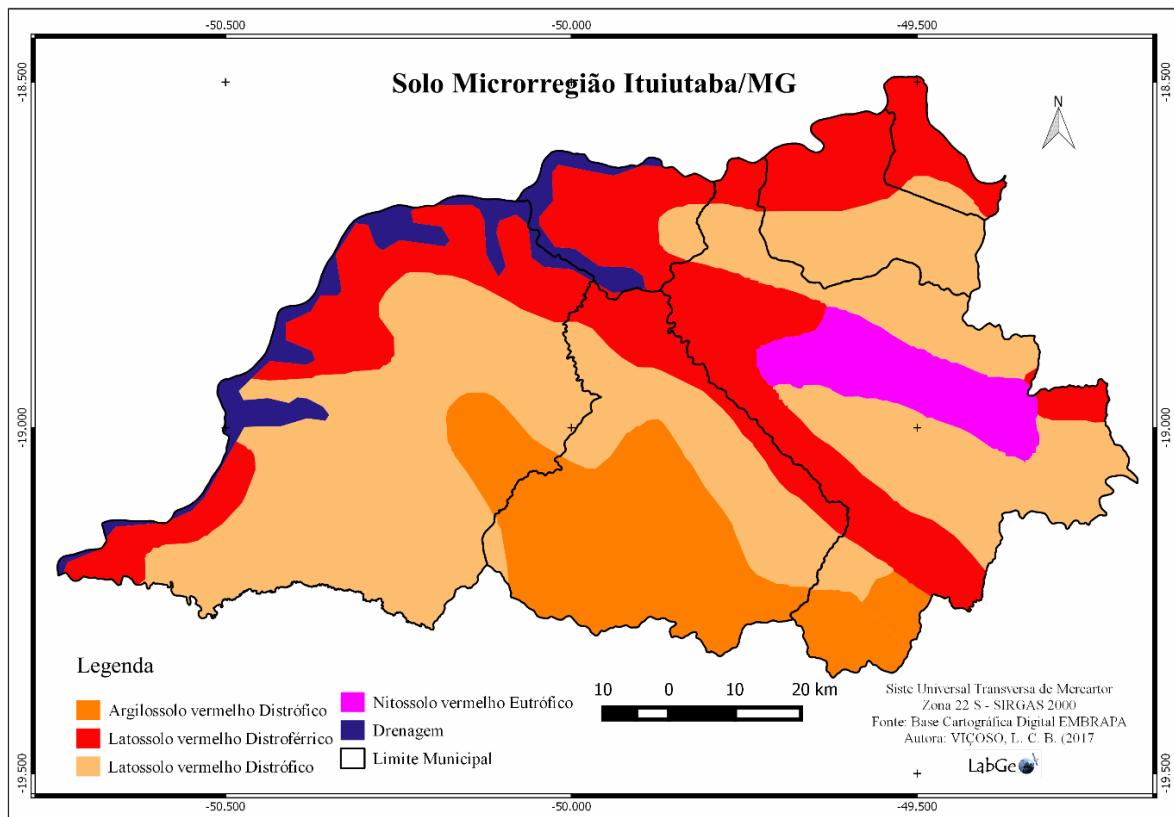
No que diz respeito à escala, a MRG de Ituiutaba é localizada na mesorregião Geográfica do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, ambas situadas a oeste do Estado de Minas Gerais, com uma extensão territorial de 8.736,204 km². Atualmente, segundo as projeções do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, estima-se que a área em estudo tem, no total, 150.977 habitantes, sendo que sua densidade demográfica é de 17,29 hab./km², dados de 2014.

Figura 1: Mapa de localização da Microrregião Geográfica de Ituiutaba/MG.



O solo predominante na região é o latossolo vermelho distrófico distroférrico com resquícios de nitossolo vermelho eutrófico e argissolo vermelho distrófico, conforme a figura 02:

Figura 2: Mapa dos tipos de solos da microrregião de Ituiutaba/MG



O latossolo vermelho distrófico e distroférrico aparecem como predominante na microrregião. Segundo a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006), esses tipos de solo apresentam cores vermelhas acentuadas devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados, e características de cor, textura e estrutura uniformes em profundidade. São identificados em extensas áreas nas regiões centro-oeste, sul e sudeste, sendo responsáveis por grande parte da produção de grãos do país, pois ocorrem predominantemente em áreas de relevo plano e suave ondulado, propiciando a mecanização agrícola. Por ser considerado distrófico, essa característica é denotada em solos de baixa fertilidade. Os solos distroférricos, em comparação aos solos distróficos, apresentam as mesmas características com exceção dos solos distroférricos, que possuem maior teor de ferro na sua composição.

Na porção sul da microrregião, nos municípios de Gurinhatã, Santa Vitória e Ituiutaba, percebe-se a presença do argissolo vermelho distrófico, que se caracteriza pelos mesmos elementos, contém cores vermelhas acentuadas devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário, em ambientes bem drenados. Apresenta uma fertilidade natural muito variável devido à diversidade de materiais de origem, porém, nesse caso, por ser considerado distrófico, apresenta baixa fertilidade. O teor de argila no horizonte

subsuperficial (de cor vermelha) é bem maior do que o no horizonte superficial, sendo esse incremento de argila percebido sem dificuldade quando se faz o exame de textura (EMBRAPA, 2006).

O nitossolo vermelho eutrófico aparece somente no município de Ituiutaba. Esse tipo de solo contém características de cores vermelhas e vermelho-escuras, argilosos e muito argilosos, estruturados em blocos fortemente desenvolvidos, derivados de rochas básicas e ultrabásicas, com diferenciação de horizontes pouco notável. Corresponde ao que se denominava anteriormente de “Terra Roxa Estruturada” (EMBRAPA, 2006). Quanto ao solo ser eutrófico, apresenta grande fertilidade sendo propício para áreas de agricultura.

Atualmente, diversos programas governamentais visam o monitoramento das áreas do cerrado e a verificação do seu uso antrópico. Dentre esses, destacam-se a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial), MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Meio Ambiente), IEF (Instituto Estadual de Florestas) e o EMATER (Empresa de Assistência Técnica de Extensão Rural), além de universidades públicas com destaque para a Universidade Federal de Goiás e a Universidade Federal de Uberlândia. O cerrado está localizado na porção centro-ocidental de Minas Gerais, ocupando 57% do estado, o equivalente a 335,378.7 km² (MACAHADO *et al.*, 2004).

A área de estudo está abrangida na porção central do país onde se predomina o domínio morfoclimático do cerrado. O cerrado é caracterizado como o segundo maior domínio morfoclimático brasileiro em área, apenas superado pelo domínio da Amazônia. Segundo Ab'Sáber (2012),

O domínio dos cerrados, em sua região nuclear, ocupa predominantemente maciços planaltos de estrutura complexa, dotados de superfícies aplainadas de cimeira, em um conjunto significativo de planaltos sedimentares compartimentados, situados em níveis que variam entre 300 e 1700 m de altitude. As formas de terrenos são, grosso modo, similares tantos nas áreas de terrenos cristalinos aplaninados como nas áreas sedimentares sobrelevadas e transformadas em planaltos típicos. No detalhe, entretanto, as feições morfológicas, são muito mais diversificadas, fato bem testemunhado pelo caráter compósito dos padrões de drenagem das sub-bacias hidrográficas, ainda que, em conjunto, chapadões sedimentares e chapadões de estrutura complexa de velhos terrenos tenham o mesmo comportamento na estruturação de paisagens físicas e ecológicas do domínio dos cerrados. No caso particular do domínio dos cerrados não existe a necessidade de pressupor a existência de um subdomínio de formas peculiares às áreas sedimentares, por oposição à maior tipicidade dos terrenos cristalinos, como acontece em todos os outros domínios morfoclimáticos brasileiros. (AB'SABER, 2012, p. 116)

Para Ab'Sáber (2012), o cerrado apresenta variedades na paisagem que podem ser definidas em escalas, tais quais:

Dentro da escala paisagística observável diretamente pelo homem, o domínio dos cerrados apresenta cerrados e cerradões predominantemente nos interflúvios e vertentes suaves dos diferentes tipos de planaltos regionais. Faixas de campos limpos ou campestres sublimam as áreas de cristas quartizíticas e xistos aplainados e mal pedogenetizados dos bordos de chapadões onde nascem bacias de captação de pequenas torrentes dotadas de forte capacidade de dissecação (centro-sul de Goiás). Por sua vez, as florestas-galeria permanecem amarradas rigidamente ao fundo aluvial dos vales de porte médio a grande. Os sulcos das cabeceiras dendritificadas das sub-bacias hidrográficas possuem apenas uma vegetação ciliar, disposta linearmente, em sistema de frágil implantação. As florestas-galerias verdadeiras às vezes ocupam apenas os diques marginais do centro das planícies de inundação, em forma de corredor contínuo de matas; outras vezes, quando o fundo aluvial é mais homogêneo e alongado, ocupam toda a calha aluvial, sob a forma de serpenteantes corredores florestais. (AB'SABER, 2012, p. 115)

O clima do cerrado é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos, em que Ab'Saber (2012) explica que esse clima comporta de cinco a seis meses secos, opondo-se aos seis ou sete meses relativamente chuvosos. As temperaturas médias anuais variam conforme a amplitude, podendo chegar às mínimas de 20 a 22 °C e máximas de 24 e 26 °C. No cerrado nenhum mês possui temperatura média inferior a 18 °C, contudo, a humidade relativa do ar varia aos níveis de 38 a 40 % no inverno seco, e de 95 a 97% no verão chuvoso.

Segundo Ab'Saber (2012), as chuvas no cerrado são constantes e apresentam grandes índices de precipitação entre os meses que perpassam a estação chuvosa:

O domínio dos cerrados possui drenagens perenes para os cursos d'água principais e secundários, envolvendo, porém, o desaparecimento temporário dos caminhos d'água de menor ordem de grandeza por ocasião do período seco do meio do ano. Dessa forma, coexiste uma perenidade geral para a drenagem dos cerrados, com um efeito descontínuo de intermitência sazonal para os caminhos d'água das vertentes e interflúvios, a par com uma atenuação dos fluxos d'água nos canais de escoamento das pequenas sub-bacias de posição interfluvial. O ritmo marcante da tropicalidade regional, com estações muito chuvosas alternadas com estações secas que inclui um total de precipitações anuais de três a quatro vezes aquele ocorrente no domínio das caatingas, implica uma preservação extensiva dos padrões de perenidade dos cursos d'água regionais. Mesmo nos canais de escoamento das laterais aos chapadões e de muita pequena extensão, permanece uma espécie de linha de molhamento d'água subsuperficial, durante toda a estação seca do meio do ano. O lençol d'água sofre variações ao longo do ano, desde um a 1,5 m até 3 a 4 m no subsolo superficial dos cerrados, continuando, porém, em posição subsuperficial à topografia, alimentando as raízes da vegetação lenhosa dos cerrados. (AB'SABER, 2012, p. 117)

A atividade pecuária é considerada um dos setores mais importantes do agronegócio brasileiro gerando renda, empregos diretos e indiretos, além da participação significativa no produto interno bruto (PIB) do país. A degradação de pastagens ocorre através da perda de vigor e, consequentemente, gera menor produtividade e aproveitamento para o rebanho. Técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são bastante promissoras para a identificação e classificação dos estágios em que as pastagens se encontram, assim, são levantadas propostas de metodologias que possam avaliar e classificar as pastagens.

Dentre as políticas públicas que interviram diretamente sobre as terras do Cerrado, merecem destaque o POLOCENTRO, Programa de Desenvolvimento dos Cerrados e o PRODECER, Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento do Cerrado. O PRODECER incorporou novos sistemas produtivos e a modernização agrícola sob a ótica de um conjunto de ações coletivas voltadas para a garantia de novos padrões produtivos (INOCÊNCIO E CALAÇA, 2009). O PRODECER tinha como principal função tornar a região do cerrado produtora de grãos, principalmente a soja, já que essa era uma das principais demandas de consumo do Japão, país que detinha as novas áreas de plantio para o seu consumo.

O POLOCENTRO, por sua vez, contribuiu com o desenvolvimento e com a modernização das atividades agropecuárias da região Centro-Oeste e do oeste do estado de Minas Gerais, mediante a ocupação racional de áreas com características de cerrados e seu aproveitamento em escala empresarial (INOCÊNCIO E CALAÇA, 2009). Entretanto, o PRODECER obteve maior destaque, segundo Inocêncio e Calaça (2009), pelo fato de que

Este programa foi criado em 1979, dentro do II PND (Plano Nacional de Desenvolvimento), visando fortalecer a ocupação do cerrado com bases técnicas e gerenciais modernas, através do acordo firmado entre o Brasil e o Japão para a produção de soja no cerrado.

[...] O PRODECER incorporou através de projetos de colonização, algumas áreas de cerrado, denominadas “Projeto Piloto”. Os produtores para participarem do projeto tinham que estar vinculados a cooperativas agrícolas ou associações de produtores rurais. A seleção dos beneficiários foi realizada pela CAMPO, (Companhia de Promoção Agrícola), entidade privada para o planejamento, assistência e coordenação do Programa, formada por capital subscrito por organismos públicos e empresas privadas do Brasil e do Japão e, Organismos Cooperativos. Este programa direcionou-se para a produção de grãos - soja, milho e sorgo, tendo sido efetivado em três etapas. (INOCÊNCIO E CALAÇA, 2009, p. 5).

Dentre os projetos que se destacam no monitoramento do domínio do Cerrado, separase o TerraClass Cerrado, que visa o mapeamento do Uso e Cobertura Vegetal do Cerrado. Esse projeto foi coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente em parceria com o IBAMA, EMBRAPA, INPE, UFG e UFU. Desse mapeamento surgiu o livro *Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra do Cerrado – Projeto TerraClass Cerrado 2013*, em que os dados coletados através do mapeamento foram apresentados. Desse estudo foram elaboradas tabelas que mostram os usos da terra do cerrado conforme a tabela 01:

Tabela 1: Uso da terra do Domínio Cerrado (2013)

Macro classe	Classe	Total (Km²)'	%Total	% Σ Classes antrópicas
<i>Antrópico</i>	Agricultura Anual	174/179	8,54	19,68
	Agricultura Perene	64.237	3,15	7,26
	Mosaico de Ocupação	2.344	0,11	0,26
	Pastagem Plantada	600.840	29,46	67,89
	Silvicultura	30.840	1,50	3,46
	Solo Exposto	3.609	0,18	0,41
	Área Urbana	8.852	0,43	1,00
	Outros	73	0,00	0,01
	Vegetação Natural	1.111.218	54,49	
	<i>Florestal*</i>	418.840	20,54	
<i>Natural</i>	<i>Não Florestal</i>	692.377	33,95	
	Área Natural não Vegetado	2.630	0,13	
	Corpo D'água	15.025	0,74	
	Não Observado	25.328	1,24	
	Total	2.039.243	100	

Fonte: Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra do Cerrado – Projeto TerraClass 2013.

*Os valores das classes natural florestal e natural não florestal poderão sofrer alterações entre elas, em função do processo de ajuste de bordas entre as imagens a ser realizado futuramente

Apesar da contínua abertura de novas áreas para pastagem e agricultura, estima-se que, aproximadamente, 54,5% do bioma ainda mantém sua vegetação natural (TerraClass, 2013). A análise mostra, ainda, que a agropecuária é a maior causa de conversão do cerrado: as áreas de pastagens ocupam 29,5% do bioma, a agricultura anual representa 8,5% e as culturas perenes 3,1%, totalizando 41,1% do uso total. Há, portanto, uma real necessidade de se estabelecer o monitoramento sistemático da vegetação, tendo como alternativa o uso operacional e efetivo dos diversos produtos de sensoriamento remoto atualmente disponíveis.

Em pesquisas anteriormente realizadas, constatou-se que a microrregião de Ituiutaba possui uma área de 8736,20 km² segundo dados do IBGE, sendo desse total 5992,89 km² de pastagens (VIÇOSO, 2016), o que corresponde a 69% da área total da microrregião. O monitoramento das pastagens propicia estudos voltados para o melhoramento do ordenamento e da ocupação das áreas destinadas à pecuária e, assim, propõe novas alternativas de conservação e preservação das pastagens para que se possa evitar a abertura de novas áreas e, dessa forma, propiciar a conservação do cerrado. Para tanto, a proposta é sugerir que as metodologias não somente de mapeamento, mas da classificação do estágio de degradação das pastagens na microrregião sejam elaboradas e aplicadas.

2.2 Pastagens Degradadas

Para Cypriano *et al.* (2012), pode-se definir pastagens em três categorias: natural, nativa e artificial. Pastagem natural pode ser definida como aquela em que a vegetação é original e composta principalmente por espécies herbáceas (gramíneas e não gramíneas) e arbustos. Pastagem nativa é a vegetação nativa espontânea de algum valor forrageiro, que surge após a destruição total ou parcial da vegetação original, como a savana, o campo cerrado, o agreste e a caatinga. Já as pastagens artificiais ou cultivadas – na qual a vegetação original foi excluída – são estabelecidas com espécies exóticas ou nativas e podem ser classificadas em permanentes, que duram cerca de 30 anos, e em temporárias, que duram seis meses.

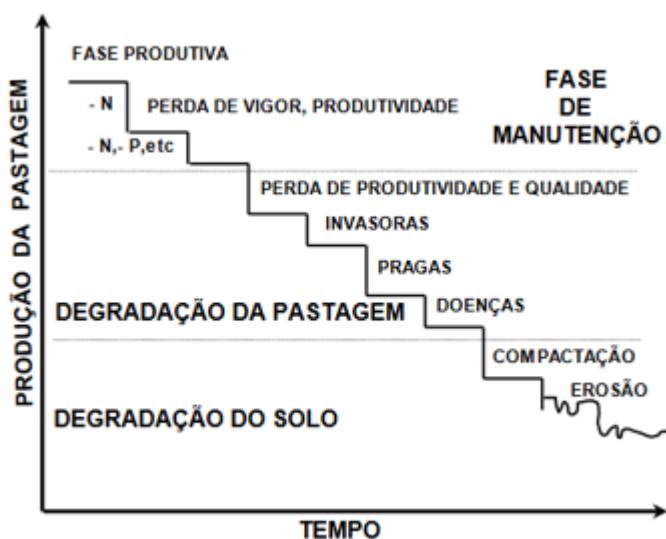
As pastagens são consideradas como degradadas quando o seu vigor, produtividade e sua capacidade de recuperação não são mais possíveis. Macedo e Zimmer (1993) explicam como a qualidade da pastagem, exigida pelos animais, bem como a superação dos efeitos nocivos como pragas, doenças e invasoras, acabam culminando com a degradação avançada dos recursos naturais em razão de manejos inadequados.

Macedo *et al.* (2013) explica de forma bastante didática (figura 3) que o processo de degradação de uma pastagem pode ser explicado através da metáfora de uma escada, em que cada degrau desciido representa um estágio no qual a pastagem encontra-se degradada. Para tal, o topo da escada consiste nas maiores produtividades e, na medida em que a pastagem é utilizada, o seu processo de degradação é avançado. Macedo *et al.* (2013) ressalta que

Até um determinado ponto, ou certo degrau, haveria condições de se conter a queda de produção e manter a produtividade através de ações mais simples, diretas e com menores custos operacionais. A partir desse ponto, passar-se-ia para o processo propriamente de degradação, onde somente ações de recuperação ou de renovação, muitas vezes mais drásticas e dispendiosas apresentariam respostas adequadas. O processo de degradação das pastagens tem início com a perda de vigor e queda na disponibilidade de forragem, com redução da capacidade de lotação e do ganho de peso animal. Em fases mais avançadas, ou concomitantemente, podem ocorrer infestação de plantas invasoras, ocorrência de pragas e a degradação do solo. O final do processo culminaria com a ruptura dos recursos naturais, representado pela degradação do solo com alterações em sua estrutura, evidenciadas pela compactação e a consequente diminuição das taxas de infiltração e capacidade de retenção de água, causando erosão e assoreamento de nascentes, lagos e rios. (MACEDO *et al.*, 2013, p. 5)

Macedo *et al.* (2013) representa esse esquema da escada da seguinte forma:

Figura 3: Representação gráfica simplificada do processo de degradação de pastagens cultivadas em suas diferentes etapas no tempo



Fonte: MACEDO *et al.* (2013), p.6.

Entende-se como recuperação de pastagens:

A utilização de práticas culturais e/ou agronômicas, visando ao restabelecimento da cobertura do solo e do vigor das plantas forrageiras na pastagem (adubações de manutenção, vedação de piquetes, controle de plantas invasoras, sobressemeadura da espécie existente). Por reforma entende-se a realização de um novo estabelecimento da pastagem, com a mesma espécie e, geralmente, com a entrada de máquinas (escarificação do solo, ressemeadura, correção da acidez do solo). A renovação consiste na utilização da área degradada para a formação de uma nova pastagem com outra espécie forrageira, geralmente mais produtiva, com a adoção de práticas mais eficientes de melhoria das condições edáficas, como a aplicação de calcário, adubo no estabelecimento e manutenção, e uso mais racional da pastagem (COSTA, 2004, p. 182).

O quadro 1 aponta as principais causas de degradação e as possíveis estratégias de recuperação das pastagens segundo Spain e Gualdrón (1991), que emerge através de melhoramentos que possam ser aplicados nelas para manejo e recuperação.

Quadro 1: Principais causas de degradação de pastagens e possíveis estratégias de recuperação

Causas	Estratégias
a) Perda de fertilidade no solo; b) Instabilidade leguminosa-gramínea; c) Plantas invasoras; d) Falta de cobertura, compactação do solo e erosão; e) Pragas.	– Germoplasma (para b, c, d, e). – Uso de leguminosas (para a, c, d). – Manejo do pastejo (para b, c, d, e). – Adubação de manutenção (para a, b, c, d). – Tratamento físico-mecânico do solo (para b, c, d). – Rotação agricultura versus pecuária (para a, c, d, e). – Implantação de sistemas silvipastoris (para a, b, c, d, e).

Fonte: Spain e Gualdrón (1991 p. 271)

* As letras entre parênteses indicam as causas de degradação da pastagem que se corrigem com determinada estratégia.

Já Macedo *et al.* (2013) salienta que existem outras causas para a degradação das pastagens, dentre as quais, destacam-se

- 1) germoplasma inadequado ao local;
- 2) má formação inicial da pastagem causada pela ausência ou mau uso de práticas de conservação do solo, preparo do solo, correção da acidez e/ou adubação, sistemas e métodos de plantio, manejo animal na fase de formação;

- 3) manejo e práticas culturais como uso de fogo como rotina, métodos, épocas e excesso de roçagens, ausência ou uso inadequado de adubação de manutenção;
- 4) ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras;
- 5) manejo animal impróprio com excesso de lotação, sistemas inadequados de pastejo;
- 6) ausência ou aplicação incorreta de práticas de conservação do solo após relativo tempo de uso de pastejo, etc. (MACEDO *et al.*, 2013. p. 7)

Os dois autores discorrem de fatores em comum quanto aos fatores que levam ao processo de degradação das pastagens. Macedo *et al.* (2013) reforça que as práticas ditas culturais, como o uso do fogo, o processo de roçagem e a ausência do uso inadequado de adubação, contribuem de forma impar na degradação das áreas. Atualmente sabe-se que técnicas, como o plantio direto, que dispensam o uso do arado, conservam as áreas de pastagem com mais vigor e impedem que processos erosivos possam ocorrer. Lembrando que a cobertura orgânica serve como uma manta protetora do solo que não somente nutre, como também impede o escoamento superficial linear e o gotejamento, que causa o efeito *splash*, aumentando a erosão do solo.

A pastagem tem como principal objetivo assegurar a produtividade animal, ou seja, a alimentação do rebanho para que ele tenha pouca necessidade de se alimentar de outras formas, tal como a ração. Três condições básicas são necessárias para se alcançar um bom sistema de manejo de pastagens, que são: a alta produtividade de forragem com bom valor nutritivo; proporcionar aos animais elevado consumo voluntário; e a eficiência de conversão alimentar dos animais deve ser alta (COSTA, 2004).

Um dos problemas que podem comprometer a produtividade da pastagem são os processos erosivos. Costa (1990, apud KICHEL; MIRANDA; ZIMMER, 1999, p. 206) apresenta as seguintes medidas recomendáveis para a manutenção da cobertura do solo e controle de erosão:

- *proteção dos topos de morros, cerca de um terço do declive cobertos com vegetação de mata para evitar formação de enxurradas;
- *revegetação de encostas já descobertas com espécies de valor madeireiro ou forrageiro recomendado para cada região;
- * melhor utilização de áreas de tabuleiros e baixadas, que em geral são mais férteis;
- *divisão das pastagens em piquetes, controlando melhor o pastejo de animais e utilizando sistema de manejo que permita a manutenção da cobertura do solo (contínuo, alternativo, rotativo ou diferido);

*lotação animal adequada evitando-se o super-pastejo, colocando-se cargas animais compatíveis com a forragem disponível no piquete com base no conhecimento da capacidade de suporte da pastagem;

* adubação e calagem; localização de cercas, bebedouros e cochos para evitar a concentração e a movimentação de bovinos em um só sentido, principalmente ladeira abaixo;

Em toda a área que apresentar susceptibilidade à erosão ou escorramento superficial de água devem ser construídos terraços e/ou curvas de nível e se evitar a queima. (COSTA, 1990, apud KICHEL; MIRANDA; ZIMMER, 1999, p. 206)

Uma das propostas de melhoria das pastagens e de melhor aproveitamento é a divisão delas. O número de divisões pode variar de acordo com as categorias de animais existentes e dos sistemas de manejo adotados (contínuo, alternado ou rotativo). Normalmente, são recomendados os módulos constituídos por 8 a 12 piquetes. O tamanho vai depender do rebanho e da capacidade de suporte das pastagens. A distribuição deve atender às necessidades naturais da pastagem e do rebanho, sempre visando à economia de cercas (COSTA, 2004).

Ao se ter uma pastagem com melhorias na sua conservação, é possível criar outros tipos de manejo que proporcionam benefícios ao agricultor e ao meio ambiente. Uma das técnicas utilizadas é a Silvipastoril, cuja classificação é a:

Associações de pastagens com espécies arbóreas. Estas associações podem ser planejadas ou naturais e as espécies arbóreas podem ser essências florestais, fruteiras, leguminosas (forrageiras ou não) e até espécies de interesse industrial. A existência de árvores em uma pastagem tem inúmeras vantagens para os animais, as forrageiras e o solo. Os animais encontram nas árvores a proteção contra o excesso de insolação, a chuva e o vento, proporcionando um maior conforto que irá finalmente refletir numa melhoria da produção do animal. As plantas forrageiras, principalmente nas regiões tropicais, têm seu desenvolvimento prejudicado pelo excesso de insolação nas horas mais quentes do dia. Na sombra das árvores, entretanto, estas forrageiras permanecem viçosas quando as que se encontram a pleno sol já se apresentam murchas. As árvores têm também um, efeito benéfico na manutenção da umidade do ambiente, favorecendo as forrageiras sob a sua influência. O solo é muito favorecido pelas árvores que, além de se constituírem em verdadeiras "bombas de adubação", retirando nutrientes de camadas mais profundas do solo e os depositando na superfície através das folhas e galhos que caem, protegem com sua sombra a micro e meso vida do solo, que por sua vez, usando como alimento os restos vegetais e os dejetos do gado, contribuem para a disponibilização de nutrientes antes indisponíveis às plantas, promovendo um verdadeiro "círculo virtuoso" que tende a aumentar a fertilidade do solo e a produtividade da pastagem. (MELADO, 2008, p. 15)

De acordo com Dias Filho (2006), os sistemas silvipastoris como prática agroflorestal caracterizam-se pela integração de árvores e arbustos, pastagens e gado, com a finalidade de auferir produtos ou serviços desses componentes.

Segundo Oliveira, Furtado e Andrade (2003), os sistemas silvipastoris são uma alternativa promissora por serem mais diversificados e potencialmente mais produtivos e sustentáveis. Como as árvores são mantidas juntamente com o pasto, ou plantadas junto a eles, esse consórcio pode oferecer alguns serviços, a exemplo da sobra para o gado, da fixação do nitrogênio, da melhoria na ciclagem de nutrientes, da redução na erosão dos solos, da proteção de nascentes etc. Também oferece produtos como madeiras, frutos, forragem, óleos, resinas, entre outros, fato que coopera para minimizar, juntamente com o aumento da sustentabilidade, implicações ecológicas negativas da implantação das pastagens homogêneas.

Outra forma de ganhos ao agricultor e benefícios ao meio ambiente é o consórcio de forrageiras (gramíneas com leguminosas), que

[...] são plantas complementares, ou seja, as gramíneas, de uma forma geral são pobres em proteína; as leguminosas são ricas neste nutriente. As gramíneas são grandes consumidoras de nitrogênio (o elemento que é o maior “combustível”, para o crescimento das plantas); já as leguminosas têm capacidade de fornecer este elemento nutritivo, fixando ao solo, dependendo da espécie e condições locais, de 80 a 300 kg por ha. Ao ano de nitrogênio atmosférico, através de uma simbiose com micro-organismos do gênero Rhizobium. (MELADO, 2008, p. 17)

Segundo Balbino *et al.* (2011), os sistemas de integração podem ser classificados e definidos em quatro grandes grupos, sendo esses:

Integração Lavoura-Pecuária – Agropastoril: Sistema que integra os componentes: lavoura e pecuária, em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área em um mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos.

Integração Lavoura-Pecuária-Floresta – Agrossilvipastoril: Sistema que integra os componentes lavoura, pecuária e floresta, em rotação consórcio ou sucessão, na mesma área. O componente lavoura pode ser utilizado na fase inicial de implantação do componente florestal ou em ciclos durante o desenvolvimento do sistema.

Integração Pecuária-Floresta – Silvipastoril: Sistema que integra os componentes pecuária e floresta em consórcio.

Integração Lavoura-Floresta – Silviagrícola: Sistema que integra os componentes floresta e lavoura, pela consorciação de espécies com cultivos agrícolas (anuais ou perenes) O componente lavoura pode ser utilizado na fase inicial de implantação do componente florestal ou em ciclos durante o desenvolvimento do sistema. (BALBINO *et al.*, 2011, p. 28)

Os sistemas de integração lavoura-pecuária são promissores para o bom andamento da produção agrícola e pecuarista. A integração lavoura-pecuária consiste na implantação de diferentes sistemas produtivos de grãos, fibras, carne, leite, agroenergia, entre outros, na mesma área, em plantio consorciado, sequencial ou rotacional. O objetivo é maximizar a utilização dos ciclos biológicos das plantas, animais, e seus respectivos resíduos, aproveitando os efeitos residuais de corretivos e fertilizantes, além de minimizar e aperfeiçoar a utilização de agroquímicos, aumentando a eficiência no uso de máquinas, equipamentos e mão-de-obra. Consequentemente isso gera emprego e renda, fato que melhora as condições sociais no meio rural e diminui os impactos ao meio ambiente, visando sempre a sustentabilidade (MACEDO, 2009). Vale ressaltar que esse sistema tem sido utilizado para a manutenção da produtividade e da recuperação/renovação por meio dos sistemas propostos.

A introdução de lavouras não é eventual, mas sim parte constante de um sistema de produção de grãos e de produção animal que interagem e se completam em aspectos como o do manejo, da fertilidade, da física e da biologia do solo, aumentando a renda dos produtores e trazendo progresso social ao campo. Esse sistema permite um uso mais racional de insumos, máquinas e mão-de-obra na propriedade agrícola, além de diversificar a produção e o fluxo de caixa dos produtores.

Portanto, ao integrar os sistemas para que possam evoluir harmonicamente sem danos ambientais e econômicos, é preciso colaborar para que haja um desenvolvimento mais sustentável e que retenha o carbono no solo, fazendo com que ele não venha a ser emitido na atmosfera.

2.3 O Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento

Para o mapeamento, a seleção do estágio de degradação e a quantificação das pastagens da MRG de Ituiutaba, serão utilizadas ferramentas de SIGs com o aprimoramento dos estudos voltados para o geoprocessamento e para o sensoriamento remoto.

De acordo com Rosa e Brito (1996), os sistemas de informação geográfica se definem como um caso específico do sistema de informação e o

Seu desenvolvimento começou em meados da década de 60. O primeiro sistema a reunir as características de um SIG foi implementado no Canadá, em 1964, sendo chamado de "*Canadian Geographic Information System*". Em seguida foram desenvolvidos outros sistemas. Dentre eles podemos destacar os sistemas de *New York Landuse Management Information System*

(1969). Nas décadas posteriores ocorreram consideráveis avanços em equipamentos e *software*, permitindo o desenvolvimento de sistemas mais potentes e novas aplicações, popularizando principalmente os CAD'S (*Computer Aided Design*), cujos objetivos são diferentes dos SIG's. No começo da década de 80, a evolução da tecnologia foi afetada pelos avanços em *hardware* e *software*, com o uso mais efetivo na manipulação das informações geográficas, como a ligação entre a base de dados gráfica e alfanumérica. (ROSA e BRITO, 1996, p. 8)

Assim, um SIG pode ser definido, segundo Rosa e Brito (1996), como

Um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre. Portanto, os sistemas de informação geográfica é uma particularidade do sistema de informação no sentido amplo. Essa tecnologia automatiza tarefas até então realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes. [...] O objetivo geral de um sistema de informação geográfica é, portanto, servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando: integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos do estudo de uma região; permitir a entrada de dados de diversas formas; combinar dados de diferentes fontes, gerando novos tipos de informações; gerar relatórios e documentos gráficos de diversos tipos, etc. (ROSA e BRITO, 1996, p. 9)

O sensoriamento remoto auxilia nesse tipo de pesquisa por não haver a necessidade de contato com o campo de estudo e por poder tratar de imagens de satélite em SIGs. De acordo com Antunes (2015),

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) que utiliza a tecnologia de geoprocessamento, dentre outros, é aplicado às mais diversas áreas do conhecimento como: meio ambiente, cadastro, planejamento urbano e regional. O SIG é uma ferramenta poderosa de suporte à tomada de decisões. Vem progressivamente angariando maior número de usuários. O mercado de SIG envolve milhares de profissionais em todo o mundo e movimenta milhões de dólares em software, hardware e desenvolvimento de aplicativos. (ANTUNES, 2015, p. 23)

Rosa (2003) define o sensoriamento remoto como

[...] a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo. As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais com o sol e a terra, ou por fontes artificiais com por exemplo o radar. (ROSA, 2003, p. 1)

O Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – Inpe – define o geoprocessamento como

Um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Assim as atividades que envolvem o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos para cada aplicação. Estes sistemas são mais comumente tratados como *Sistemas de Informação Geográfica* (SIG). Um sistema de geoprocessamento pode ser tratado como tal, destinado ao processamento de dados referenciados

geograficamente (ou georreferenciados), desde a sua coleta até a geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, etc; devendo prever recursos para sua estocagem, gerenciamento, manipulação e análise. (INPE, 2015, não paginado)

Rosa e Brito (1996) definem o geoprocessamento como um conjunto de tecnologias destinadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas de aplicações, com diferentes níveis de sofisticação.

A cerca desse tema, tem-se também o processamento digital de imagens e a cartografia digital, que pode ser definido, segundo Rosa e Brito (1996), como

O conjunto de procedimentos e técnicas destinadas a manipulação numérica de imagens digitais cuja finalidade é corrigir distorções das mesmas e melhorar o poder de discriminação dos alvos, como exemplo, podemos citar os softwares ERDAS, PCI, SITIM, etc. Já a cartografia digital pode ser entendida como sendo a tecnologia destinada a captação, organização e desenho de mapas (MICROSTATION, MAXICAD, AUTOCAD, etc.), enquanto os sistemas de informação geográfica são sistemas destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referenciados espacialmente (ARC-INFO, APIC, SGI, etc.). (ROSA e BRITO, 1996, p. 8)

A radiação eletromagnética (REM) é definida pela forma de energia que se move à velocidade da luz, sendo em forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas, não necessitando de um meio material para se propagar no espaço. A representação contínua da radiação eletromagnética, em termos de comprimento de onda, frequência ou energia, é denominada “espectro eletromagnético”. O espectro eletromagnético é subdividido em faixas que representam regiões com características próprias, em termos de processos físicos de detecção de energia, como pode ser observado a seguir:

- Raios Cósmicos, raios γ : ($< 0,003 - 0,4 \text{ }\mu\text{m}$);
- Raios X: ($0,03 - 3,0 \text{ nm}$);
- Ultravioleta: ($0,003 - 0,4 \text{ }\mu\text{m}$);
- Visível: ($0,4 - 0,72 \text{ }\mu\text{m}$), azul ($0,45 - 0,50 \text{ }\mu\text{m}$), verde ($0,50 - 0,54 \text{ }\mu\text{m}$), vermelho ($0,65 - 0,72 \text{ }\mu\text{m}$);
- Infravermelho Próximo: ($0,72 - 1,3 \text{ }\mu\text{m}$);
- Infravermelho Médio: ($1,3 - 4,0 \text{ }\mu\text{m}$);
- Infravermelho Distante: ($4,0 - 300 \text{ }\mu\text{m}$);
- Microondas: ($1,0 - 100 \text{ cm}$);
- Ondas de rádio: ($> 100 \text{ cm}$)

Dentre essas divisões do espectro eletromagnético, as mais utilizadas em sensoriamento remoto compreendem as faixas do visível, infravermelho próximo, infravermelho médio, infravermelho distante e micro-ondas. No entanto, as faixas mais

utilizadas nesta pesquisa compreendem o vermelho do espectro visível, infravermelho médio e o infravermelho próximo.

É por meio da quantificação da absorância que o especialista em sensoriamento remoto poderá tirar conclusões importantes a respeito das condições de determinada cultura agrícola ou vegetação (MOREIRA, 2003).

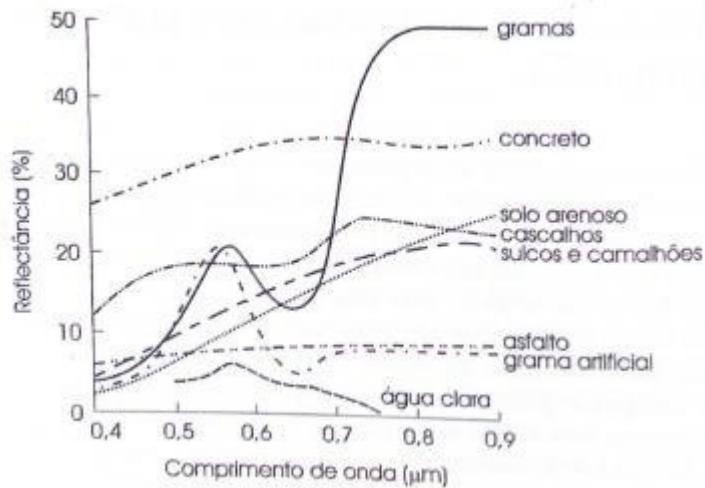
Segundo Liu (2006), quando se trata de aplicações de assinaturas do espectro da onda eletromagnética,

Qualquer objeto com temperatura acima de 0ºK se manifesta em uma energia singular no espectro da onda eletromagnética que pode ser detectado. Os sensores de satélite desenvolvidos para captar essa energia emitida ou refletida pelos diferentes objetos. Os sinais podem estar na faixa da radiação solar, que são energias refletidas ou emitidas pelo alvo e registradas pelos sensores de ótica, e na faixa da micro-onda, que são registrados como energias eletromagnéticas polarizadas pelos sensores de radar. Diferentes objetos emitem e refletem diferentes energias singulares no espectro eletromagnético. Portanto, as técnicas de sensoriamento remoto são desenvolvidas para captar e identificar as energias manifestadas pelos diferentes objetos. A singularidade de energia manifestada no espectro eletromagnético por um determinado objeto pode ser detectada por cinco assinaturas: espectral, espacial, angular, temporal e polarizada (GERSTL, 1990). A tendência atual é desenvolver as técnicas que exploram uma aplicação conjunta de ambos os sistemas, óticos e radar para monitorar a evolução da superfície terrestre, por que as informações fornecidas são complementares. (LIU, 2006)

Quanto à assinatura espectral, Liu (2006) descreve que

Cada objeto tem sua curva singular de energia no espectro eletromagnético, que é conhecida como assinatura espectral do objeto. Esse caráter pode ser aplicado para identificar os objetos com suas assinaturas espetrais singulares. Geralmente, um conjunto de valores de energia em certas bandas- chave em determinado objeto detectado pelos sensores de satélite é usado para identificar e separá-los de outros objetos. A figura 04, mostra as assinaturas espetrais de vários tipos de objetos na superfície terrestre. Comparando as curvas de assinatura espectral dos vários objetos, pode-se observar que as gramas têm alta reflectância nas faixas de 0,75 a 0,90um e baixa reflectância na faixa de 0,4 a 0,68um com ligeira alta ao redor de 0,55um. A superfície da água tem baixa reflectância, 5% na faixa de 0,4 a 0,9um. A reflectância de solo arenoso aumenta linearmente de 2,5% a 25% na faixa de 0,4 a 0,90um. A alta absorção da faixa do vivível nas gramas é por causa da absorção da radiação nessa faixa pelas plantas para fabricar as matérias secas por meio do processo fotossintético. A alta diferença da reflectância na faixa infravermelha próxima e na faixa vivível das gramas pode ser usada para distinguir gramas de outros objetos. Vários índices de vegetação que interferem no grau de verde são derivações baseadas nessas duas faixas. (LIU, 2006)

Figura 4: Assinatura espectral de vários tipos de objetos na superfície terrestre



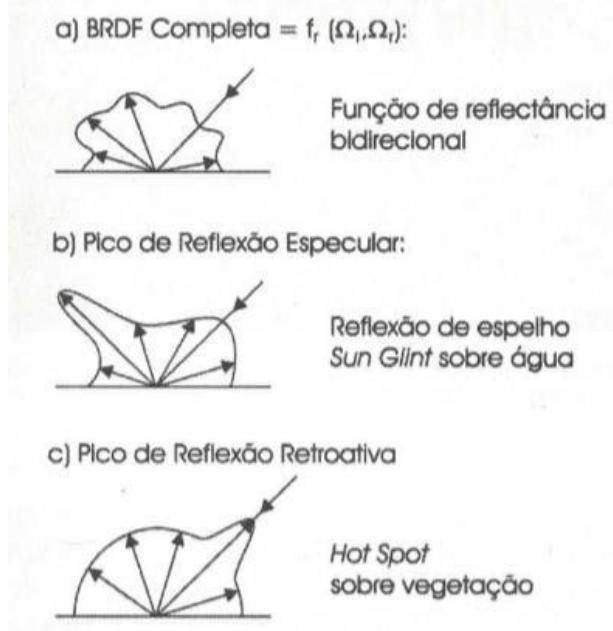
Fonte: LIU, 2006.

De acordo com Liu (2006), outro tipo de assinatura é a do tipo angular, na qual estas podem identificar diferentes objetos enquanto as diferentes reflectâncias podem ser obtidas pelas diferentes direções de observação.

Todas as superfícies de três dimensões, especialmente a vegetação, variam suas reflectâncias em relação às variações de ângulo de visada e de ângulo solar. Essa característica é chamada de função de distribuição de reflectância bidirecional, *Bidirectional Reflectance Distribution Function* (BRDF), que é a base de assinatura angular. A Figura 05 mostra os três tipos de assinatura angular típica:

- tipo a: assinatura angular completa. A função da distribuição de reflectância bidirecional;
- tipo b: pico de reflectância especular (reflectância de espelho, Sun Glint sobre água);
- tipo c: assinatura angular do pico de reflectância pelo retroespalhamento ou ponto quente (*Hot Spot*), que acontece enquanto a direção do ângulo de visada coincide com o do raio solar. A figura 05 mostra uma imagem de Hot Spot na região da África Central obtida pelos sensores MODIS do satélite TERRA (VERMOTE; ROY, 2002)

Figura 5: Três tipos de assinatura angular típica: a) assinatura de reflectância bidirecional; b) pico de reflexão peculiar ou reflexão do espelho (Sun Glint) e c) ponto quente (Hot Spot).



Fonte: LIU, 2006. p.39.

2.4 Satélite OLI/Landsat 8

O satélite Landsat teve o início do seu lançamento em 1972 como Landsat 1. A bordo estava o sensor *Multispectral Scanner System* (MSS), considerado o sensor mais bem sucedido de observação da terra. O sensor Thematic Mapper (TM) começou a ser utilizado dez anos mais tarde, no ano de 1982, e foi colocado a bordo do Landsat 4.

Dentre os satélites da família Landsat, o que mais permaneceu fornecendo imagens foi o Landsat 5, que também tinha a bordo o sensor TM. Esse satélite foi lançado no ano de 1984 e encerrou suas atividades no ano de 2013, gerando imagens de excelente qualidade até o ano de 2011. O satélite Landsat 7 foi lançado em 1999, levando a bordo o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), sendo adicionado a banda pancromática comparado ao seu antecessor, o TM/Landsat 5.

A tabela 2 apresenta as características técnicas dos sensores TM, ETM+ e OLI, do programa Landsat.

Tabela 2: Características técnicas dos sensores TM, ETM+ e OLI.

Bandas	TM (μm)	ETM+ (μm)	OLI (μm)	Resolução espacial (m)
Costeira/Aerossol			0,433-0,453	30
Azul	0,45-0,52	0,45-0,52	0,450-0,515	30
Verde	0,53-0,61	0,53-0,61	0,525-0,600	30
Vermelho	0,63-0,69	0,63-0,69	0,630-0,680	30
Infravermelho Próximo	0,78-0,90	0,78-0,90	0,845-0,885	30
Infravermelho Médio	1,55-1,75	1,55-1,75	1,560-1,660	30
Infravermelho Termal	10,4-12,5	10,4-12,5		120/60
Infravermelho Médio	2,09-2,35	2,09-2,35	2,100-2,300	30
Pancromático		0,52-0,90	1,360-1,390	15
Cirrus			0,52-0,90	30

A pesquisa utilizou imagens do Landsat 8 que substituiu o sensor TM pelo sensor Operacional Land Imager (OLI), com suas faixas mais estreitas e a inclusão das bandas costeira/aerossol, Termal e Cirrus. De acordo com o operador do Landsat 8, a USGS (United States Geological Survey – Pesquisa Geológica dos Estados Unidos), o sensor OLI (Operation Land Imager) serve para medir as porções do infravermelho visível próximo ao infravermelho, e de onda curta do espectro em que, de acordo com a USGS,

The Operational Land Imager (OLI), built by the Ball Aerospace & Technologies Corporation, will measure in the visible, near infrared, and short wave infrared portions of the spectrum. Its images will have 15-meter (49 ft.) panchromatic and 30-meter multi-spectral spatial resolutions along a 185 km (115 miles) wide swath, covering wide areas of the Earth's landscape while providing sufficient resolution to distinguish features like urban centers, farms, forests and other land uses. The entire Earth will fall within view once every 16 days due to LDCM's near-polar orbit. OLI's design is an advancement in Landsat sensor technology and uses an approach demonstrated by the Advanced Land Imager sensor flown on NASA's experimental EO-1 satellite. Instruments on earlier Landsat satellites employed scan mirrors to sweep the instrument fields of view across the

surface swath width and transmit light to a few detectors. The OLI will instead use long detector arrays, with over 7,000 detectors per spectral band, aligned across its focal plane to view across the swath. This “push-broom” design results in a more sensitive instrument providing improved land surface information with fewer moving parts. With an improved signal-to-noise ratio compared to past Landsat instruments, engineers expect this new OLI design to be more reliable and to provide improved performance.” (NASA, 2016, não paginado)

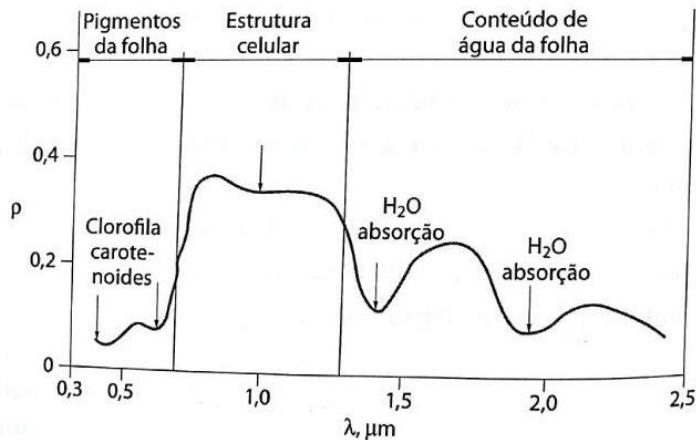
O Thermal Infrared Sensor (TIRS) mede a temperatura da superfície terrestre em duas faixas térmicas com uma nova tecnologia que aplica a física quântica para detectar calor. O TIRS, por captar ondas do infravermelho, foi implementado no sistema do Lansat 8 devido ao auto consumo de água nos Estados Unidos na porção oeste para a irrigação. A bordo desse sensor, o monitoramento do consumo da água se torna mais fácil. O TIRS, segundo a NASA (2016),

TIRS uses Quantum Well Infrared Photodetectors (QWIPs) to detect long wavelengths of light emitted by the Earth whose intensity depends on surface temperature. These wavelengths, called thermal infrared, are well beyond the range of human vision. QWIPs are a new, lower-cost alternative to conventional infrared technology and were developed at NASA’s Goddard Space Flight Center in Greenbelt, Maryland. The QWIPs TIRS uses are sensitive to two thermal infrared wavelength bands, helping it separate the temperature of the Earth’s surface from that of the atmosphere. Their design operates on the complex principles of quantum mechanics. Gallium arsenide semiconductor chips trap electrons in an energy state "well" until the electrons are elevated to a higher state by thermal infrared light of a certain wavelength. The elevated electrons create an electrical signal that can be read out and recorded to create a digital image. (NASA, 2016, não paginado)

As bandas espectrais, utilizadas para desenvolver a metodologia desta pesquisa, serão focadas nas faixas do vermelho, infravermelho médio e do infravermelho próximo em que, segundo Rosa (2007), são mais utilizadas por conter mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação; portanto, esses índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-o com os parâmetros biofísicos dela.

A reflectância de um objeto é uma propriedade espectral inferida por meio do cálculo de fatores de reflectância, que relacionam a intensidade da radiação refletida por um objeto com a intensidade de radiação incidente em uma dada região espectral (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012). A figura 6 mostra, através da curva, o fenômeno de interação de radiação eletromagnética com uma folha verde sadia, no que se refere ao fenômeno de reflexão.

Figura 6:Curva de fator de reflectância direcional-hemisférica típica de uma folha verde



Fonte: NOVO, 1989. p.15

Segundo Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), o intervalo espectral mostrado na figura 6 foi dividido nas três regiões espetrais sendo o visível ($0,4 \mu\text{m} - 0,72 \mu\text{m}$), o infravermelho próximo ($0,72 \mu\text{m} - 1,1 \mu\text{m}$) e o infravermelho médio ($1,1 \mu\text{m} - 3,2 \mu\text{m}$). Em cada uma dessas regiões, a forma da curva é definida por diferentes constituintes da folha que, de forma mais detalhada, Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) descrevem como sendo a

- Região do visível ($0,4 \mu\text{m} - 0,72 \mu\text{m}$): nessa região, os pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância (referimo-nos, vale lembrar a propriedade do objeto de refletir a radiação incidente, e não à sua estimativa quantitativa, feita mediante o emprego dos fatores de reflectância). São eles, portanto que definem a forma da curva dos fatores de reflectância nessa região espectral. Esses pigmentos, geralmente encontrados nos cloroplastos, são: clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%). Os valores percentuais desses pigmentos existentes nas folhas podem variar intensamente de espécie para espécie. A energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A energia é absorvida seletivamente pela clorofila e convertida em calor ou fluorescência, e também convertida fotoquimicamente em energia armazenada na forma de componentes orgânicos por meio da fotossíntese. Os pigmentos predominantes absorvem a radiação na região do azul (próximo a $0,455 \mu\text{m}$), mas somente a clorofila absorve na região do vermelho ($0,645 \mu\text{m}$). A maioria das plantas são moderadamente transparentes a região do verde ($0,540 \mu\text{m}$);

- b) Região do infravermelho próximo ($0,72 \mu\text{m} - 1,1 \mu\text{m}$): nessa região ocorre absorção pequena da radiação e considerável espalhamento interno da radiação na folha. A absorção da água é geralmente baixa nessa região, e a reflectância é quase constante. Gates et al. (1965) concluíram que a reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Fatores externo à folha, como disponibilidade de água, por exemplo, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, e, assim, alterar quantitativamente a reflectância de uma folha nessa região. De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente e, consequentemente, maiores serão também os valores dos fatores de reflectância;
- c) Região do infravermelho médio ($1,1 \mu\text{m} - 3,2 \mu\text{m}$): a absorção decorrente da água líquida afeta a reflectância das folhas na região do infravermelho médio. No caso da água líquida, esta apresenta, na região em torno de $2,0 \mu\text{m}$, fatores de reflectância geralmente pequenos, menores do que 10% para um ângulo de incidência de 65° e melhores do que 5% para um ângulo de incidência de 20° . A água absorve consideravelmente a radiação incidente na região espectral compreendida entre $1,3 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$. Em termos mais pontuais, a absorção de água se dá em $1,1 \mu\text{m}$; $1,45 \mu\text{m}$; $1,95 \mu\text{m}$ e $2,7 \mu\text{m}$. (PONZONI, SHIMABUKURO e KUPLICH, 2012, p. 25 e 26.)

As faixas do infravermelho são responsáveis pela melhor resposta espectral da vegetação, Moreira (2011) explica que

Na região do infravermelho próximo o comportamento da radiação eletromagnética quanto à reflexão, transmissão e absorção é dominado pelas propriedades ópticas da folha, que dependem das estruturas celulares internas. Além disso, há uma contribuição indireta do conteúdo de água da folha. Nessa região espectral, a absorção é muito baixa (menos de 15%) e a reflectância pode chegar até 50%, dependendo da estrutura anatômica das folhas. (MOREIRA, 2011, p. 82)

Quando se trata de analisar determinadas áreas, cabe ao pesquisador saber quais são os alvos que este pretende obter resultados. No caso específico das pastagens, além do vigor vegetativo, é necessário também analisar a reflectância dos solos. Ao investigar as pastagens, a reflectância da vegetação, assim como a reflectância do solo, é necessário saber que estes são fatores cruciais para se classificar a pastagem quanto ao seu grau de degradação. Contudo, para a presente pesquisa, cabe salientar que a reflectância obtida por meio das áreas destinadas ao solo também serão analisadas.

2.5 O Modelo Linear de Mistura Espectral

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento se tornam, assim, de extrema relevância para este estudo, uma vez que a não necessidade do contato direto com o alvo permite a avaliação de uma área mais extensa e, em caso de dúvidas quanto à resposta

espectral dos alvos, o campo para a verificação se torna uma alternativa. Sendo assim, Shimabukuro e Smith (1995) destacam que

O modelo linear de mistura espectral (MLME) possui como objetivos básicos (1) reduzir o volume de dados a serem utilizados em um processamento (e.g. classificação de imagens) e (2) realçar os alvos de interesse. Este modelo fundamenta-se no pressuposto de que a resposta espectral de um *pixel*, numa imagem qualquer (bandas 1, 2,..., m), seria uma combinação linear dos espectros de diversos materiais contidos na superfície. Nestas condições, para qualquer imagem (multiespectral ou hiperespectral) e sendo as respostas espetrais dos componentes conhecidas, as proporções destes podem ser estimadas, de forma individual, por meio da geração de imagens-fração (SHIMABUKURO E SMITH, 1995, p. 658)

O modelo de mistura espectral transforma a informação espectral em informação física (valores de proporção dos componentes *pixel*). A imagem-fração vegetação realça as áreas de cobertura vegetal; a imagem-fração solo realça as áreas de solo exposto; enquanto a imagem-fração sobra/água realça as áreas ocupadas com corpos d'água (rios, lagos, etc.) e, também, nas áreas queimadas, áreas alagadas etc., considera-se como imagem-fração sombra ou água, porque esses dois alvos apresentam respostas espetrais semelhantes.

As imagens fração são os resultados obtidos pela geração do MLME. São os produtos gerados da aplicação de algoritmos matemáticos segundo Shimabukuro e Ponzoni (2017). Assim, ressaltam que:

Elas representam as porções dos componentes na mistura espectral. Em geral, todos os algoritmos produzem o mesmo resultado, isto é, geram as mesmas imagens-fração quando as equações de restrição não são utilizadas, ou seja, as proporções de 0 a 1. Normalmente são gradas imagens fração vegetação, solo e água/sombra, que são alvos geralmente presentes em qualquer cena terrestre. As imagens-fração podem ser consideradas uma forma de redução da dimensionalidade dos dados e também uma forma de realce das informações. Além disso, o modelo de mistura espectral transforma a informação espectral em informação física (valores de proporção dos componentes no *pixel*; não confundir com outro tipo de transformação que converte dados espetrais ou radiométricos em grandezas físicas como radiância e refletância). (SHIMABUKURO E PONZONI, 2017. p. 77)

Vale salientar que o MLME não é um classificador, mas sim uma técnica de transformação de imagens para facilitar a extração de informações. Sendo assim, é necessário haver um classificador após a geração do MLME.

A geração do modelo deriva dos chamados números digitais, em que esses são valores numéricos proporcionais aos valores de radiância (intensidade) médios em diferentes faixas espectrais. Em suma, os NDs, segundo Shimabukuro e Ponzoni (2017), são

Os números digitais (NDs), estão presentes nas imagens orbitais ou mesmo naquelas geradas por sensores colocadas a bordo de aeronaves são gerados segundo um princípio muito simples: a radiação eletromagnética refletida na superfície da terra e pelos objetos nela dispersos segue em direção ao sensor na forma de um fluxo com direção e intensidade. Essa intensidade recebe o nome de radiância e pode ser medida em diferentes faixas espectrais. Assim, um fluxo de radiação refletida pela superfície da Terra contém diferentes “tipos” de radiação eletromagnética, diferenciados em comprimentos de onda (segundo a concepção ondulatória), que, por sua vez, têm suas próprias intensidades, ou radiâncias. Depois de o fluxo de radiação interagir com a atmosfera durante sua trajetória da superfície ao sensor, sua intensidade é medida em faixas específicas de comprimento de onda, de acordo com a capacidade de cada sensor. Essas intensidades são convertidas em sinais elétricos por detectores específicos que “sentem” a radiação em faixas espectrais específicas, e esses sinais elétricos são convertidos em NDs segundo critérios também específicos em cada faixa espectral. É possível então dizer que os NDs nas várias faixas espectrais caracterizam espectralmente os objetos no terreno. Isso representa o que se chama de *assinatura espectral* de alvos. (SHIMABUKURO e PONZONI, 2017, p. 31)

Sendo assim, quanto maior for o valor da radiância (intensidade), maior será o valor do ND. Shimabukuro e Ponzoni (2017) explicam que as variações dos NDs são dependentes do número de bits adotado na geração dos NDs. Então, quando esse número de bits em realidade é o expoente de base 2, de forma que bits = 8, portanto, $2^8 = 256$, ou seja, os NDs variarão de 0 a 255 (256 níveis de radiância ou de intensidade que podem ser discretizados). Assim, se bits = 10, então $2^{10} = 1024$, ou seja, os NDs variarão de 0 a 1023 e assim por diante. A amplitude dos NDs define a resolução radiométrica do sensor.

Essas relações são consideradas particulares para cada faixa espectral na qual o sensor foi desenhado a operar, e normalmente são expressas por equações lineares. A equação abaixo expressa essa relação linear entre a radiância efetivamente medida por um sensor e o ND:

$$ND_{\lambda} = L_{o\lambda} G_{\lambda} + offset_{\lambda}$$

Em que:

ND_{λ} = valor do ND na faixa espectral λ ;

$L_{o\lambda}$ = valor da radiância efetivamente medida pelo sensor na faixa espectral λ ;

G_{λ} = coeficiente angular da equação linear, também denominado ganho, na faixa espectral λ ;

$offset_{\lambda}$ = valor do intercepto da equação linear, também chamada de *offset*, na faixa espectral λ .

Assim, para explicar essa equação, Shimabukuro e Ponzoni (2017) explicam que

Corriqueiramente L_{λ} recebe a designação de radiância aparente ou radiância no topo da atmosfera. Na literatura internacional normalmente publicada no idioma inglês, essa radiância recebe a designação anacrônica TOA (*top of atmosphere*), então é comum encontrar o termo TOA *radiance*. Em português costuma-se adotar o termo aparente para dar a ideia de que a radiância efetivamente medida pelo sensor não se refere à intensidade de radiação refletida por uma superfície ou objeto, mas contém ainda informação da atmosfera ou esta retirou informações do fluxo de radiação incidente no sensor dependendo da região espectral, já que o efeito da atmosfera sobre esse fluxo é seletivo e dependente do comprimento de onda. (SHIMABUKURO e PONZONI, 2017, p. 32)

A conversão de L_{λ} em ND_{λ} é feita em cada faixa espectral na qual o sensor foi desenhado a atuar. Shimabukuro e Ponzoni (2017) salientam que a tradução de L_{λ} para ND_{λ} é realizada de forma particular atendendo aos critérios específicos. Isso significa que um mesmo valor de ND, encontrado em duas ou mais imagens com faixas espectrais distintas, pode não obter o mesmo valor de L_{λ} efetivamente medido pelo sensor. Assim, hipoteticamente, um objeto que deveria apresentar diferenças de níveis de brilho em faixas espectrais diferentes, irá aparecer com o mesmo valor de ND, distorcendo a sua caracterização espectral.

Portanto, Shimabukuro e Ponzoni (2017) concluem que:

Valores de ND dispostos em imagens de diferentes faixas espectrais não servem para caracterizar espectralmente objetos e tampouco se prestam para a realização de operações aritméticas entre imagens de faixas espectrais distintas como o objetivo de associar o resultado com algum parâmetro geofísico ou biofísico do objeto de interesse. Isso não significa que operações aritméticas entre NDs de imagens geradas em faixas espectrais diferentes não possam ser efetuadas. Tudo depende do objetivo que se pretende atingir. Quando por exemplo, se pretende apenas realçar objetos ou facilitar algum processo de classificação (abordagem qualitativa) que permita identificar objetos como normalmente se faz em trabalhos de mapeamento, tais operações aritméticas são viáveis. O problema surge quando do interesse de explorar as diferenças espectrais de objetos segundo suas propriedades espectrais, pois estas não estarão representadas pelos NDs. (SHIMABUKURO e PONZONI, 2017, p. 36 e 37)

Para a escolha de um alvo puro que possa gerar bons resultados no MLME, é importante que o analista em sensoriamento remoto tenha boa distinção dos alvos. Isso se torna imprescindível para que o resultado final seja promissor. O autor que será comumente citado ao se tratar do Modelo Linear de Mistura Espectral será Shimabukuro e Ponzoni dado a importância desse e por se tratar de ser referência no assunto. Assim ao que diz,

Cabe salientar que não apenas a proporção em área diferentes objetos dentro de um elemento de resolução no terreno é importante, suas propriedades também são. É bom lembrar que os objetos refletem, transmitem e absorvem a radiação eletromagnética incidente de maneira particular, então é fácil compreender que cada objeto contido dentro de um elemento de resolução no terreno irá refletir mais ou menos do que outro dentro de uma determinada faixa espectral. Assim, considerando uma situação hipotética na qual, dentro de um elemento de resolução, se encontrem quatro diferentes objetos ocupando as mesmas proporções em área, o valor de radiância efetivamente medido em uma determinada faixa espectral será fortemente influenciado pelo objeto que refletir mais intensamente nessa mesma faixa espectral. (SHIMABUKURO e PONZONI, 2017, p. 40)

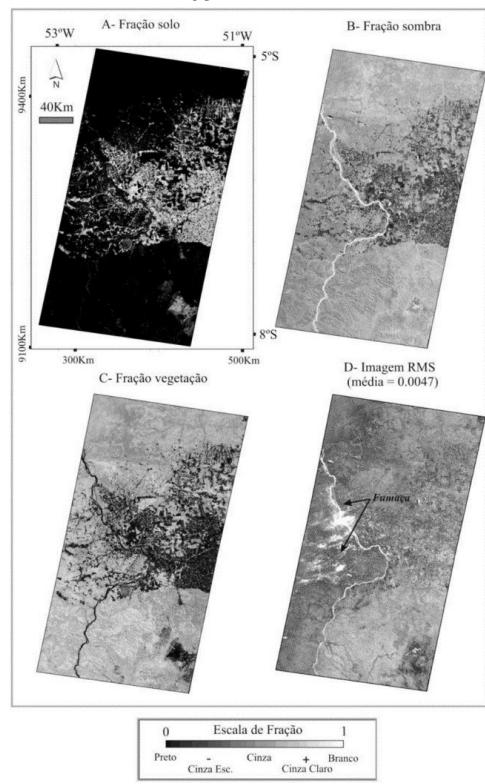
Santos, Paluzio e Saito (2010) explicam que esse é um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionados aplicados sobre o conjunto de regiões que, por sua vez, são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média e matriz de covariância, e também pela área.

Assim, a matriz de covariância e o vetor de média servem para estimar o valor central de cada classe. Esse algoritmo se resume em três fases, sendo elas,

(1^a) **Definição do limiar:** o usuário define um limiar de aceitação, dado em percentagem. Este limiar por sua vez define uma distância de Mahalanobis, de forma que todas regiões pertencentes a uma dada classe estão distantes da classe por uma distância inferior a esta. Quanto maior o limiar, maior esta distância e consequentemente maior será o número de classes detectadas pelo algoritmo. (2^a) **Detecção das classes:** as regiões são ordenadas em ordem decrescente de área e inicia-se o procedimento para agrupá-las em classes. Serão tomados como parâmetros estatísticos de uma classe (média e matriz de covariância), os parâmetros estatísticos da região de maior área que ainda não tenha sido associada a classe alguma. Em seguida, associa-se a esta classe todas regiões cuja distância de Mahalanobis for inferior a distância definida pelo limiar de aceitação. Assim, a primeira classe terá como parâmetros estatísticos aquelas regiões com maior área. As classes seguintes terão parâmetros estatísticos de média das regiões de maior área, que não tenham sido associadas a nenhuma das classes previamente detectadas. Esta fase repete-se até que todas regiões tenham sido associadas a alguma classe. (3^a) **Competição entre classes:** as regiões são reclassificadas, considerando-se os novos parâmetros estatísticos das classes, definidos na etapa anterior. A fase 2 consiste basicamente na detecção de classes, sendo um processo seqüencial que pode favorecer as classes que são detectadas em primeiro lugar. Com vista a eliminar este favorecimento", procede-se a "competição entre classes. Esta competição consiste em reclassificar todas as regiões. O parâmetro estatístico (média de cada classe é então recalculado. O processo repete-se até que a média das classes não se altere (convergência). Ao término, todas regiões estarão associadas a uma classe definida pelo algoritmo. O usuário deverá então associar estas classes (denominadas temas, no *Spring*) às classes por ele definidas no banco de dados. (SANTOS, PALUZIO E SAITO, 2010, não paginado)

O MLME pode ser aplicado de diversas formas, variando do interesse do pesquisador quanto a sua área de pesquisa e os alvos que pretende utilizar. A exemplo da pesquisa desenvolvida por Kawabuko, Morato e Luchiari (2015), além do componente solo, sombra e vegetação, foi adicionado outro componente: a vegetação não-fotossintética (NPV do inglês, *Non-Fotossintetic Vegetation*). O conjunto que forneceu o melhor ajuste na estimativa de mistura foi composto pelos *endmember* de solo exposto, sombra e vegetação. Os autores ressaltam que a inclusão do NPV para a sua área de pesquisa apresentou resultados interessantes, pois a imagem NPV amplificou o sinal das queimadas em função da quantidade de materiais secos dispostos na superfície. Por outro lado, os autores explicam que incluir essa imagem-fração resultou no aumento significativo dos erros de modelagem. Quanto ao se considerar apenas os componentes vegetação, solo e sombra, os erros de modelagem foram reduzidos. A figura 7 mostra os resultados do MLME obtidos.

Figura 7: imagens fração derivada do modelo linear de mistura espectral (MLME). As proporções de mistura foram estimadas das bandas 1 a 5 e 7 do satélite Landsat 5 TM, de 2008, órbita ponto 225/64-65.



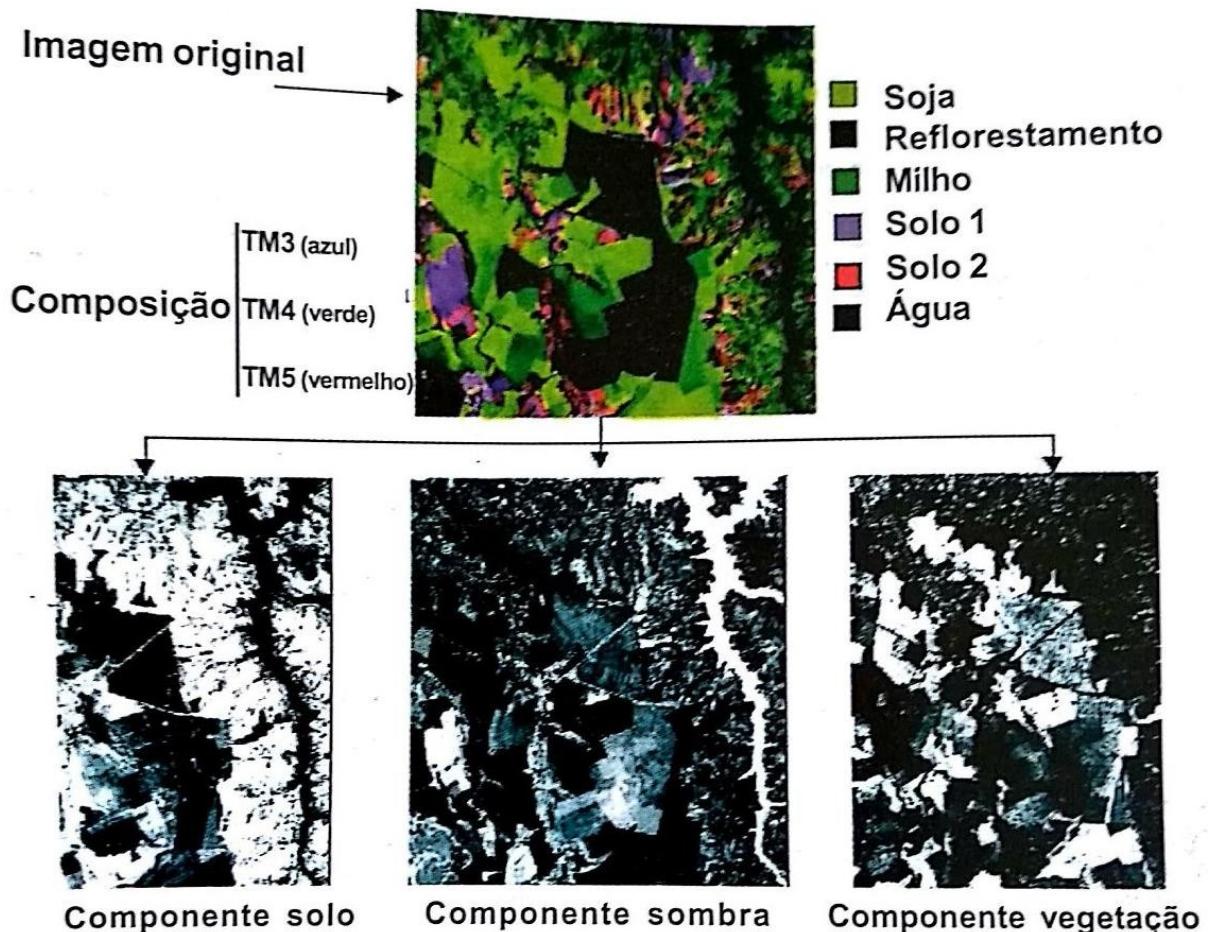
Fonte: KAWABUKO, MORATO E LUCHIARI, 2015

A Figura 8 mostra que no componente solo, as áreas brancas representam o solo desnudo ou a pastagem muito degradada, enquanto no componente vegetação nota-se a heterogeneidade na totalidade branca para uma mesma área vegetada, mostrando que há

diferenciação na quantidade de biomassa de vegetação diferente. De maneira simplificada, pode-se representar o modelo linear de mistura espectral pela seguinte equação:

$$r_i = a * \text{veg}_i + b * \text{solo}_i + c * \text{sombra}_i + e_i$$

Figura 8: Componentes solo, sombra e vegetação, obtidos a partir do modelo linear de mistura espectral.



Fonte: MOREIRA, 2012

Em que r_i representa a resposta espectral do pixel na banda i ; a , b e c , as proporções de vegetação, solo e sombra (ou água); veg_i , solo_i e sombra_i , as respostas espetrais dos componentes vegetação, solo e sombra; e e_i , o erro na banda i , em que o subscrito i é a banda considerada.

2.6 Propostas de Metodologias Aplicadas à Classificação de Pastagens

Algumas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são cruciais para o mapeamento das pastagens. Quanto ao estágio de degradação das pastagens, pode-se perceber que diversos estudos estão sendo feitos buscando aprimorar o monitoramento dessas áreas. A

busca de referencial baseia-se em aplicações de técnicas que mostraram melhores resultados quanto a sua aplicabilidade.

Para muitos dos objetivos da classificação de imagens de satélites no formato digital, o uso de dados espectrais transformados é, às vezes, mais conveniente quando trabalhado com os originais. Entre os métodos para transformar as imagens de satélite, os mais utilizados são: a rotação espectral, a restauração, a imagem NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o modelo linear de mistura espectral (MOREIRA, 2005).

Gao (1996) desenvolveu uma modelo de BRDF analítico com os dados coletados na pastagem homogênea no campo. Observaram-se os efeitos de BRDF calculados pelo modelo em que se correlacionaram, bem como os dados observados. Também observou que o retroespalhamento (*backward scattering*) é mais forte que o espalhamento frontal (*forward scattering*) na banda do visível. O modelo estimou a variação de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) de 10% a 20%, com a variação de ângulo de visada entre retroespalhamento e espalhamento frontal. O valor NDVI do espalhamento frontal é mais alto do que o do retroespalhamento.

As técnicas de realce de imagem, por meio de índices de vegetação, aumentam o brilho das áreas vegetadas, melhorando a aparência da distribuição espacial de informações das imagens, tornando-as de fácil interpretação visual e computacional. O índice de vegetação NDVI, que detém a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, possui a propriedade de variar entre -1 a +1 (quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal), o 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa as superfícies não vegetadas. (EPIPHANIO *et al.*, 1996; ROSA, 2007; EASTMAN, 1998). Essa técnica pode se mostrar eficiente quando aplicada em áreas de identificação de pastagem, podendo apresentar classes que podem diferenciar os índices de vegetação presentes.

Sendo assim, cada alvo apresentará uma resposta espectral diferenciada, podendo variar de acordo com o seu índice de refletância. Sendo assim, Teixeira (2005) explica que

O nível de cinza que representa cada *pixel* é o resultado da resposta espectral dos alvos na Terra. Cada alvo modula, segundo suas características biológicas, físicas e químicas, a energia eletromagnética incidente e esta volta ao espaço. O campo de visada instantânea (IFOV – Instantaneous Field of View), que determina a área na superfície terrestre a ser representada por cada *pixel*, normalmente abrange mais de um alvo. Desta forma a imagem é

resultado de uma espécie de média das respostas características de cada alvo, ponderadas de acordo com a área que cada alvo ocupa no IFOV. A variedade de alvos incluída na resposta de cada *pixel* dependerá da resolução espacial de cada sensor, assim se a resolução espacial for melhor, ou seja, caso o IFOV seja menor, provavelmente a variedade de alvos que constituem o *pixel* será menor. Como consequência, *pixels* de sensores de alta resolução espacial possuem uma maior probabilidade de serem formados pela resposta de alvos únicos, puros. Essa mistura espectral é, de certa forma, indesejada, pois mascara a resposta característica de cada alvo, dificultando assim a sua identificação. (TEIXEIRA, 2005, p. 56)

Atualmente, alguns métodos são utilizados por diversos órgãos como a EMBRAPA e o LAPIG (Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - UFG), que criou o site <<http://pastagens.org>>, que visa monitorar as pastagens brasileiras.

De acordo com Zimmer *et al.* (2012), ao se referir às pastagens degradadas no Brasil, descreve:

A recuperação de pastagens degradadas é uma das alternativas tecnológicas que compõem os compromissos voluntários assumidos pelo Brasil na COP-15, realizada em Copenhague, e que preveem a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs), projetadas para 2020, entre 36,1% e 38,9%, estimando, assim, redução da ordem de 1 bilhão de toneladas de CO₂ equivalente. Esses compromissos foram ratificados na Política Nacional sobre Mudanças do Clima (Lei no 12.187/09) e regulamentados pelo Decreto nº 7390/10. Para efeito desta regulamentação, no caso específico da agricultura, foi estabelecido o “Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura”, o que se convencionou chamar de “Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)”.(ZIMMER et al., 2012, p. 06)

Quanto às pastagens no domínio do cerrado, Galinari (2014) destaca:

Mais da metade das pastagens localizadas no Cerrado brasileiro podem estar em algum estágio de degradação. São 32 milhões de hectares em que a qualidade do pasto está abaixo do esperado, comprometendo a produtividade e gerando prejuízos econômicos e ambientais. Este é o cenário considerado mais realista evidenciado pelo estudo desenvolvido pela Embrapa Monitoramento por Satélite (SP) e concluído em novembro. A recuperação poderia ajudar até a triplicar a produção de carne nessas áreas ou contribuir para a expansão da agricultura, além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. O bioma Cerrado ocupa 203,4 milhões de hectares, o que corresponde a aproximadamente 24% do território nacional, abrangendo o Distrito Federal e mais 11 estados. Com características únicas, tem importância estratégica no cultivo de grãos e na pecuária, sendo o bioma com a maior produção agropecuária do País. Sozinho, responde por 55% da produção de carne. A pecuária tem participação significativa no produto interno bruto (PIB) e gera 6,8 milhões de empregos diretos e indiretos (8,3% dos postos de trabalho totais). (GALINARI, 2014, não paginado)

No Brasil, a principal desenvolvedora de mapeamentos de pastagens degradadas é a Embrapa. Outros órgãos também desenvolvem pesquisas voltadas para o mapeamento das pastagens, visando o melhoramento e evitando a abertura de novas áreas para a pecuária. Dentre essas pesquisas desenvolvidas, algumas podem ser citadas e serviram de base para o desenvolvimento da pesquisa, dentre essas estão o Geograde.

O GeoDegrade é uma proposta metodológica desenvolvida pela Embrapa e que visa desenvolver a geração de modelos de elevação digital a partir de cartas topográficas. Segundo Silva, Souza e Nogueira (2012), o objetivo do projeto é o de

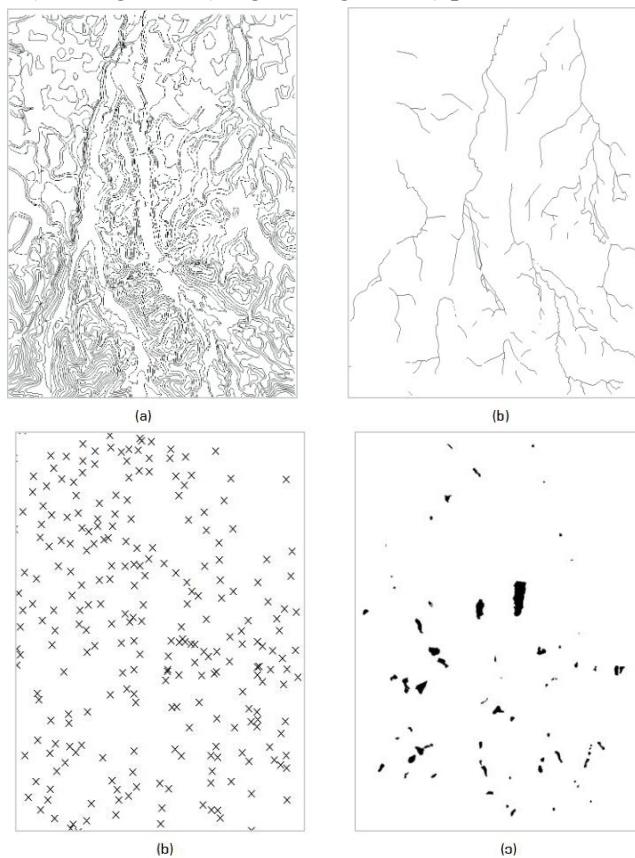
Desenvolver geotecnologias para a identificação e o monitoramento de níveis de degradação em pastagens, sendo que um dos métodos contemplados no projeto é a integração de plataformas de informações de variáveis biofísicas. Por meio da sobreposição do MDE e suas informações intrínsecas (classes de declividades, comprimento das vertentes e áreas das vertentes) às demais plataformas de informação (mapa de solo, uso e cobertura vegetal e balanço hídrico da região) é possível descrever o potencial de erodibilidade do solo e sua influência nos processos de degradação das pastagens. (SILVA, SOUZA e NOGUEIRA, 2012, p. 1)

Para o desenvolvimento do projeto foram criadas cartas topográficas, pois estas oferecem quatro tipos de informações de fundamentais importâncias para a geração do modelo de elevação digital da área de estudo, sendo: curvas de nível; rede hidrográfica; lagos/lagoas e pontos cotados. Segundo Silva, Souza e Nogueira (2012), essas informações são representadas em meio digital na forma de linhas (curvas de nível e rede hidrográfica); polígonos (lagos e lagoas) e pontos (pontos cotados).

A partir desses dados são criados planos de informação através da digitalização das informações em ambiente ArcGis, em formato *shapefile*. Com os arquivos disponibilizados, a proposta é criar um modelo digital de elevação (MDE) em que, no projeto, os arquivos são inseridos no aplicativo ArcMap e é criado o MDE.

De acordo com os desenvolvedores do projeto, os resultados obtidos foram positivos gerando os seguintes planos de informação:

Figura 9: Resultados obtidos a partir da digitalização das cartas topográficas em: a) curvas de nível, b) hidrografia, c) lagos e lagoas e d) pontos cotados.



Fonte: SILVA, SOUZA E NOGUEIRA, 2012

Os resultados desse trabalho foram considerados satisfatórios. Segundo Silva, Souza e Nogueira (2012),

As técnicas de geoprocessamento utilizadas neste trabalho possibilitaram gerar o MDE e as classes de declividades da Sede do PRDTA do Vale do Paraíba, em Pindamonhangaba, SP. As informações contidas nesses mapas serão combinadas a outras informações (tipo de solo, uso e cobertura da terra, clima, etc.) e possibilitarão a criação de um mapa de perda de solo que contribuirá para o entendimento dos processos de degradação de pastagens na região. (SILVA, SOUZA e NOGUEIRA, 2012, p. 11).

Galdino *et al.* (2015), ao classificar os níveis de degradação da pastagem nas sub-bacias de Pindamonhangaba – SP, também utilizou o MDE. A utilização desse sistema de informações geográficas permitiu indicadores espacialmente explícitos a partir dos planos de informação derivados do processamento de imagens de satélite e dos parâmetros físicos da área de estudo.

A exemplo de trabalhos que utilizaram o MLME, Ferreira *et al.* (2003) utilizou a metodologia para o mapeamento sistemático do bioma cerrado. A metodologia aplicada para

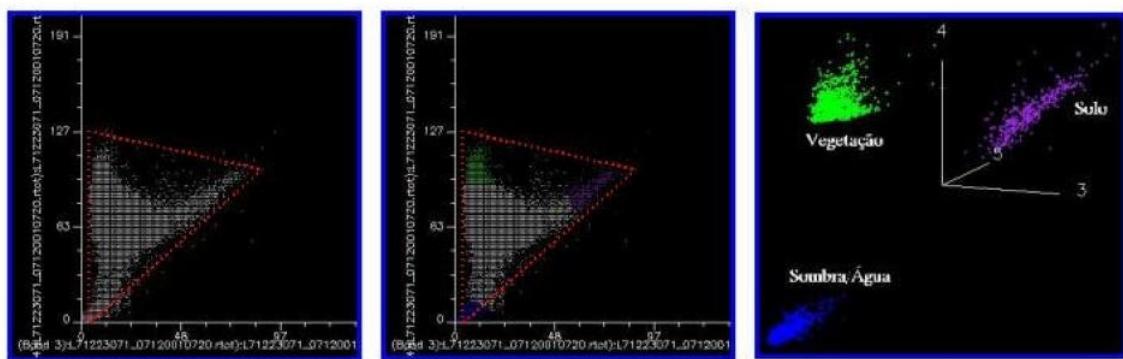
esse estudo se embasou na atualização do mapa de cobertura vegetal do Parque Nacional de Brasília, por meio de levantamentos de campo e uso de dados orbitais: ETM+ 15m (Red, NIR, SWIR + Pan) / IKONOS 1m e 4m (Blue, Red, NIR).

Esse mapa foi utilizado como verdade de campo a fim de se avaliar e validar o modelo de mistura quanto à discriminação das fisionomias predominantes na área de estudo. A aplicação do MLME com os componentes vegetação, solo e sombra, haja a vista a possibilidade de se mapear os vários tipos de cobertura presentes na área de estudo, acontece a partir de três *endmembers*, conforme demonstrado na Figura 11.

O MLME foi aplicado na imagem Landsat ETM+ (bandas 1 - 5 e 7), convertida para nível de reflectância, direcionando-se a análise para o Parque Nacional de Brasília. As amostras dos componentes vegetação, solo e sombra (consideradas como puras) foram extraídas diretamente da imagem (221/71).

Os autores explicam que foi realizada uma seleção prévia dos *endmembers* com base na distribuição dos *pixels* no espaço amostral vermelho - infravermelho e há de se considerar a teoria do simplex que os autores citam (Bajjouk *et al.*, 1998), na qual os *pixels* mais puros encontram-se nos extremos desta distribuição. O componente vegetação foi amostrado em áreas com ata de galeria, por essa classe ser a de maior vigor vegetacional no bioma cerrado. Amostras do componente sombra foram obtidas na área correspondente na imagem à represa Santa Maria. Na Figura 10 observam-se as etapas de definição das amostras, consideradas como *pixels* puros, para os três componentes.

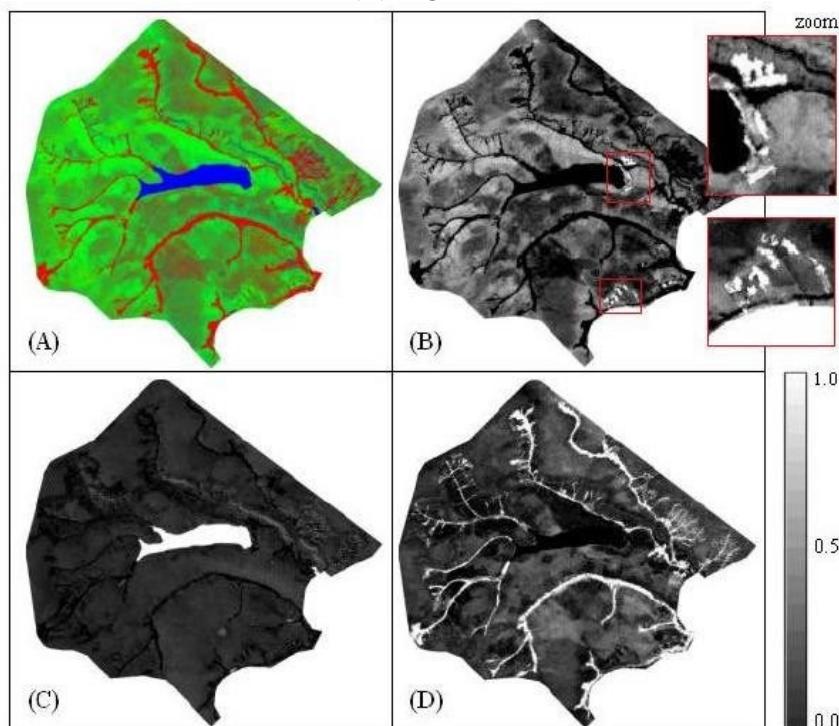
Figura 10: Espaço amostral vermelho – infravermelho, com a localização dos componentes vegetação, solo e sombra.



Fonte: FERREIRA *et al.* (2003)

A partir dessa metodologia seguida, foram geradas imagens fração (bandas sintéticas) como método WLS, contendo as proporções para os componentes vegetação (mata de galeria), solo e sombra (água). Ainda foi gerada uma composição colorida com as frações vegetação (*red*), solo (*green*) e sombra (*blue*), indicando visualmente a discriminação de pelo menos 4 classes de cerrado: Campo Limpo, Campo Cerrado, Cerrado *sensu stricto* e Mata de Galeria, conforme apresentado na figura 11:

Figura 11: (A) composição colorida (R -vegetação, G - solo, B - sombra); (B) solo; (C) sombra (água); e (D) vegetação.



Fonte: FERREIRA et al. (2003)

Ferreira *et al.* (2003) ressalta que os resultados demonstram o potencial do MLME para o mapeamento dos componentes florestais, arborescentes, arbustivos, e herbáceos encontrados no bioma do cerrado. A metodologia aplicada para a pesquisa foi eficiente e apresentou resultados satisfatórios.

Para a presente pesquisa, o MLME será aplicado com o propósito de visar essa substituição por áreas de pastagens e, partindo do *edmemer* apresentado, realizar a geração da imagem-fração com a intenção de classificar os níveis de degradação das pastagens.

Outros trabalhos também podem ser considerados quanto à utilização do MLME, como o de Borges e Santos (2009), para o mapeamento do cerrado na bacia do Rio Carinhanha (MG-BA). E, também, o trabalho desenvolvido por Xavier, Vetorazzi e Machado (2004), que traz a “Relação entre índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/ Landsat”, em que os resultados apresentados aplicando o MLME foram satisfatórios.

Para o trabalho de Borges e Santos (2009), foram utilizadas imagens Landsat 5 e 7 referentes aos anos de 2000/2001 e as imagens do ano de 2007. Ressalta-se que para a confiabilidade dos dados, foram realizados trabalhos de campo na área de interesse para reduzir as dúvidas geradas a partir de análises prévias. Para a área o MLME, foi utilizado no intuito de verificar as áreas de ocupação no entorno da bacia do rio Carinhanha. Contudo, como já mencionado, o MLME não é um classificador e sim uma técnica de transformação de imagens para facilitar a extração de informações (SHIMABUKURO, 2017). Assim, para a área da pesquisa, após a geração das imagens fração, foi gerada a segmentação pelo método de crescimento de regiões com os parâmetros de similaridade 50 e área 50, delimitando-se os alvos de interesse. Posteriormente, foi realizada a exportação da imagem gerada de matriz para o vetor e, assim, o tratamento visual foi realizado no ArcGis 9.1 a fim de não haver perda das informações.

Ressalta-se que para esse trabalho, os resultados gerados foram satisfatórios, mas cabe destacar que Borges e Santos (2009) afirmam que o MLME na imagem de 2001 adequou-se ao objetivo do trabalho, pois o segmentador do *Spring 4.3.3*, quando ocorre a combinação dos três componentes, solo, vegetação e sombra, discriminou razoavelmente bem os diversos aspectos da vegetação e do uso do solo naquela época, gerando a máscara de vegetação remanescente e facilitando a análise do período de 2007, por meio da equação entre bandas anteriormente comentadas.

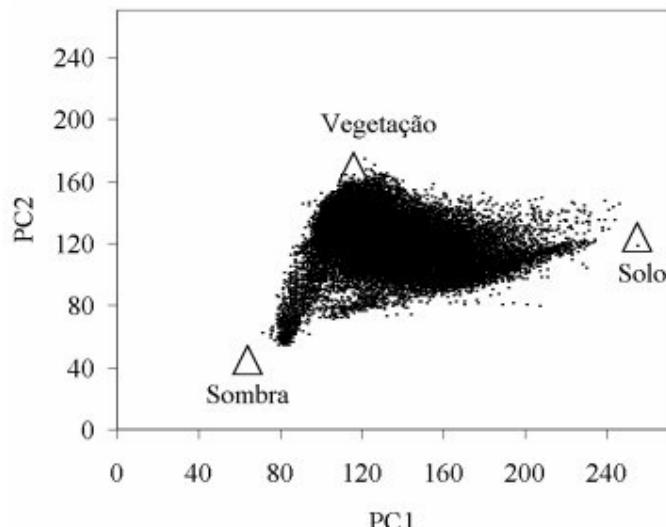
A pesquisa desenvolvida por Xavier, Vetorazzi e Machado (2004) avalia a correlação entre valores de IAF de diferentes tipos de cobertura do solo existentes em uma microbacia rural e valores de frações de componentes puros oriundos de um MLME, gerados a partir de dados do sensor ETM+ do satélite Landsat 7. A área de estudo abrangeu a microbacia do Ribeirão dos Marins, localizada na cidade de Piracicaba/SP.

O uso do solo na região é, em grande parte, ocupado pela cana-de-açúcar e pelas pastagens, apresentando também remanescentes de florestas, plantações de eucalipto e pequenas áreas com culturas anuais e horticulturas.

Para o trabalho de Xavier, Vetorazzi e Machado (2004), o MLME foi aplicado na imagem, mas a forma de trabalho com este foi diferenciada. Percebe-se que a geração das imagens fração foi realizada por meio das coletas de ponto aleatórias, de forma em que foi possível realizar a comparação de reflexão dos *pixels* em cada banda espectral:

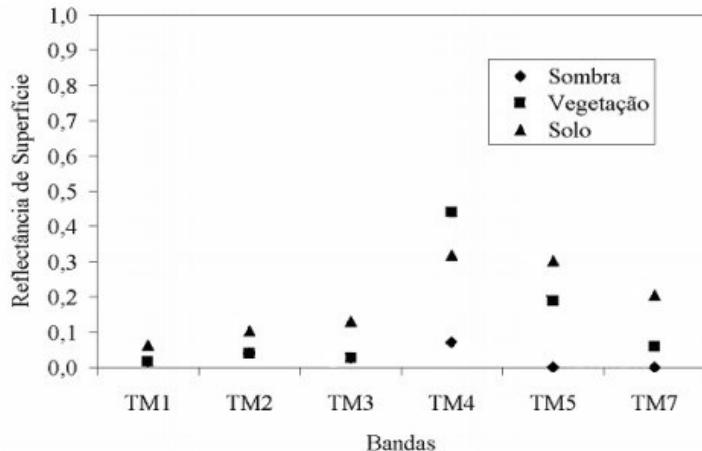
Neste trabalho, a seleção dos Componentes Puros (CPs) foi realizada com o auxílio do diagrama de dispersão entre os componentes principais (PC) (JOHNSON & WICHERN, 1998) 1 e 2 (PC1 e PC2) gerados com as seis bandas de reflectância de superfície. Os dois primeiros PCs, PC1 e PC2, explicaram 97% da variação total da imagem. Os CPs foram selecionados nos vértices do diagrama de dispersão (Figura 12), e seus respectivos valores de reflectância (Figura 13) adquiridas em consulta às bandas individuais da imagem para o *pixel* selecionado. Dessa forma, obtiveram-se três CPs referentes à vegetação, ao solo e à sombra. Por meio da inspeção na imagem dos CPs selecionados e do padrão das suas respectivas curvas espetrais, observaram-se: a) o CP sombra correspondeu à área de água (rio Piracicaba), e o padrão da resposta espectral foi de baixos valores de reflectância, tanto na faixa espectral do visível como na do infravermelho; b) o CP solo foi localizado em área de solo exposto, sendo sua resposta espectral a maior na faixa do visível quando comparada aos demais CPs, e c) o CP vegetação correspondeu à área de cana-de-açúcar verde e sadia com baixos valores de reflectância de superfície na faixa do visível, devido à absorção da radiação pelos pigmentos nessa faixa e alto valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo, devido ao espalhamento múltiplo da radiação pelas folhas do dossel (XAVIER, VETORAZZI E MACHADO, 2004)

Figura 12: Diagrama de dispersão dos componentes principais 1 e 2, sendo Δ os componentes puros localizados no vértice desse (64.000 *pixels* correspondente ao projeto).



Fonte: XAVIER, VETORAZZI E MACHADO, 2004

Figura 13: Diagrama de reflectâncias de superfície referente aos componentes puros vegetação, solo e sombra, selecionados a partir do diagrama dos componentes principais 1 e 2.



Fonte: XAVIER, VETORAZZI E MACHADO, 2004

O trabalho de Xavier, Vetorazzi e Machado (2004) exemplifica como os pontos devem ser coletados nas bandas espectrais de cada imagem. Para a geração das imagens-fração, é necessário que sejam realizados testes com a finalidade de mostrar quais os melhores índices de reflectância de cada componente (solo, sombra e vegetação) para uma melhor geração das imagens-fração.

Outros métodos são utilizados para o mapeamento de pastagens englobando o contato direto com o alvo. Sobre o caso do trabalho de Santos (2010), ele desenvolveu o mapeamento das pastagens cultivadas no cerrado goiano partindo de análises radiométricas e de caracterização biofísica.

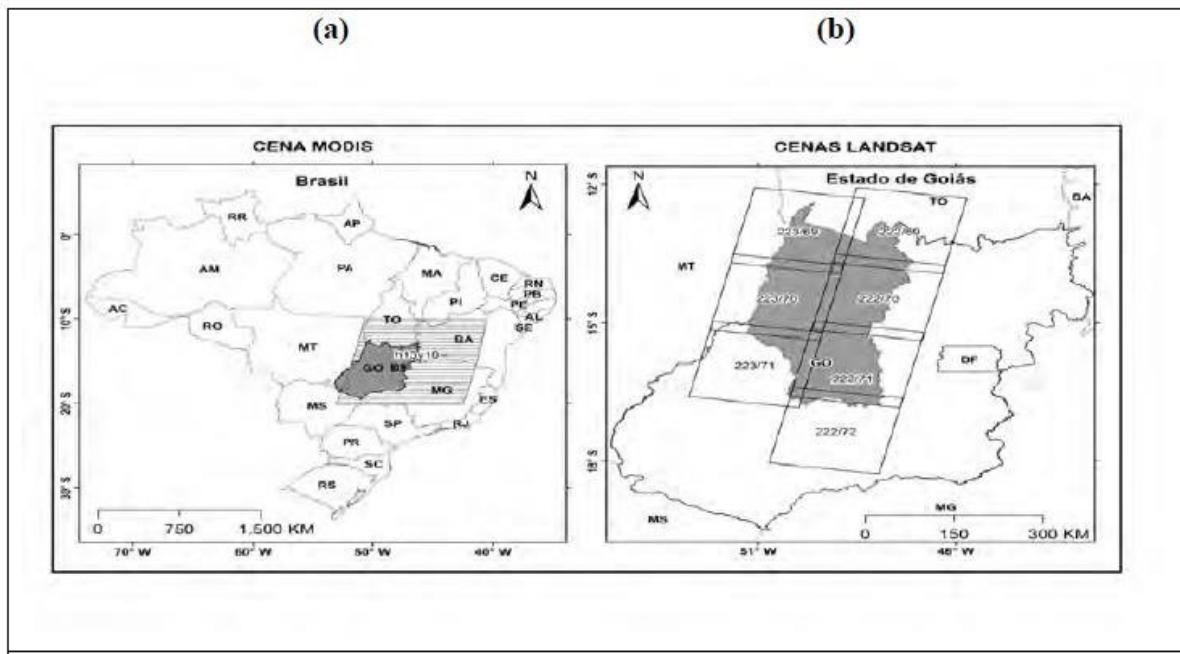
Definiu-se por uma área localizada na região centro-oeste do Brasil, com um perímetro que engloba parte das microrregiões centro-oeste, norte e noroeste goiano, trecho compreendido entre a BR-153 e a margem direita do médio leito do rio Araguaia. Do total de 77.806 km² compreendidos pela área de estudo, aproximadamente 55,43% (ou 43.132 km²) correspondem à área com pastagem cultivada.

A metodologia contemplou a coleta de amostras no campo com a pretensão de cálculo da biomassa e de verde das amostras das gramíneas. Para avaliar os dados radiométricos (resposta espectral) das pastagens cultivadas do bioma Cerrado, nos períodos secos (agosto) e chuvosos (fevereiro), foram utilizadas imagens de satélite Landsat 5 TM (Figura 14). As imagens foram selecionadas com base na qualidade radiométrica e na ausência de cobertura de nuvens (menos de 10% de cobertura de nuvens). Assim, selecionou-se um conjunto de seis

cenas: o período da seca 222_69 (25/07/2009), 222_70 e 222_71 (10/08/2009), 223_69, 223_70 e 223_71(17/08/2009). Para o período chuvoso foram escolhidas as seguintes cenas/datas: 222_69 (18/02/2010), 222_70 e 222_71 (02/02/2010) e imagens MODIS (MOD13Q1) (Figura 9a) e (MOD11A2), mosaicas, recortadas para o bioma Cerrado e filtradas.

Em relação ao produto MOD13Q1 (índices de vegetação NDVI e EVI, produzidos globalmente com a resolução de 1 km, 500 m e 250 m em composições de imagens ou mosaicos de 16 dias - Huete *et al.*, 2002; Rudorff *et al.*, 2007), foram utilizadas as cenas DOY 209 (28 de julho a 12 de agosto de 2009) e 033 (02 a 17 de fevereiro de 2010). Sobre o produto MOD11A2 (temperatura da superfície da Terra, com resolução temporal de oito dias e espacial de 1 km), foram utilizados DOY 209 (28 de julho a 04 de agosto de 2009) e 041 (10 a 17 de fevereiro de 2010).

Figura 14: a) Cobertura das imagens MODIS e b) Landsat TM na área de estudo

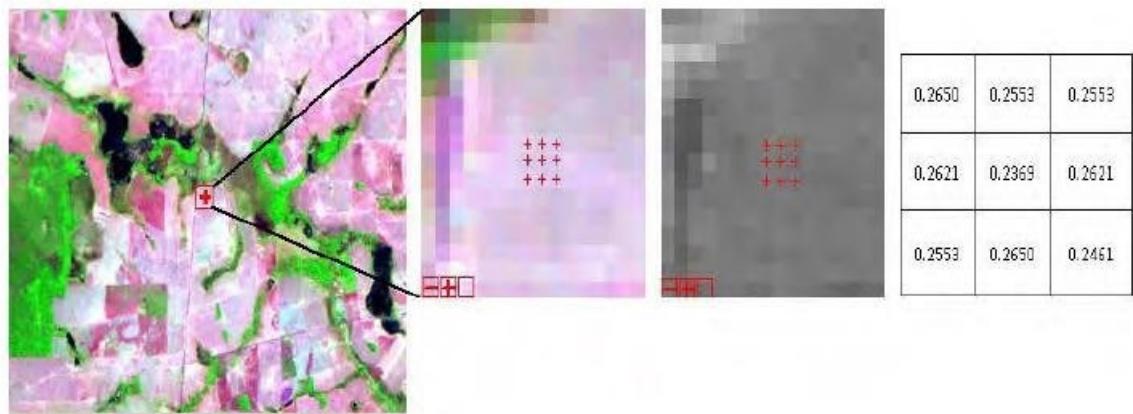


Fonte: SANTOS, 2010.

Para a obtenção dos resultados, as imagens de satélite Landsat 5 TM e MOD13Q1 e MOD11A2 foram utilizadas para calcular os índices de vegetação NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), de EVI (Índice de Vegetação Realçado/Melhorado) e de temperatura da superfície terrestre LST. Quanto à amostragem dessas cenas para as cenas Landsat, foram obtidos – para cada um dos vinte e sete (27) pontos (considerando os períodos de agosto e fevereiro) – nove *pixels*, a partir dos quais chegou-se às médias dos valores NDVI

e EVI (Figura 15). Por sua vez, quanto às cenas MODIS (MODIS13Q1 e MODIS11A2), para cada uma foi obtida apenas uma amostra.

Figura 15: Localização de ponto sobre uma imagem TM, matriz de pontos (nove) com amostras selecionadas àquele ponto (Fonte: Lapig/UFG).



Fonte: SANTOS, 2010

Partindo do método utilizado, a pesquisa de Santos (2010) mostrou-se satisfatória. Os resultados obtidos mostraram que na área da pesquisa, e acompanhando o que outros trabalhos na área reforçam, mais de 50% das pastagens da região encontram-se em algum estágio de degradação. O autor salienta esses dados observando que das 27 propriedades rurais visitadas, em uma região considerada a maior produtora de bovinos, e onde se encontram as melhores pastagens cultivadas, somente 25,9 % enquadram-se no nível de boa conservação, 48% em nível intermediário e outros 14,28% e 11,1%, respectivamente, são considerados nível forte e muito forte de degradação, por apresentarem solo exposto, cupinzeiros e plantas invasoras.

Vale ressaltar que para a aplicabilidade dessa pesquisa, o autor considerou de extrema importância o conhecimento prévio da área do trabalho de campo para dar credibilidade aos dados coletados radiometricamente. Do ponto de vista radiométrico, as variações significativas também são observadas, independentemente da resolução espacial considerada. No caso dos dados Landsat-TM, realçados via índices de vegetação NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) e EVI (Índice de Vegetação Realçado), há clara diferenciação entre agosto e fevereiro. Em agosto, prevalecem níveis de cinza baixos, indicativos de gramíneas secas, ao contrário de fevereiro, quando a vegetação – com mais vigor fotossintético – está associada aos valores mais elevados de índices de vegetação.

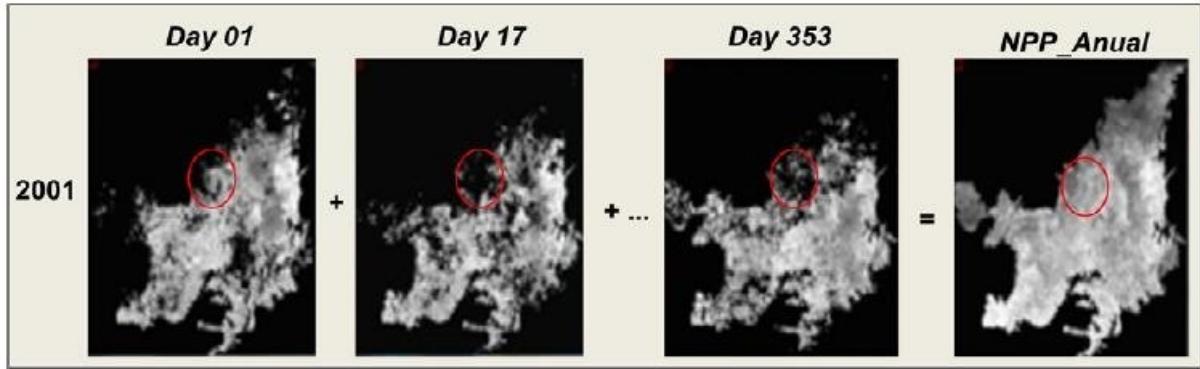
Garcia (2012) trabalhou com o monitoramento das pastagens cultivadas do cerrado goiano partindo de imagens MODIS e índices de vegetação. O trabalho avaliou as imagens disponibilizadas pelo sensor MODIS produtos MOD13 quanto aos dados relativos do EVI e NDVI. Foi constatado que por se tratar de uma área do cerrado, os produtos do EVI apresentaram melhores resultados nos quais se considera a produtividade primária das pastagens cultivadas no bioma cerrado, que varia principalmente em função da ocorrência de espécies e práticas de manejo. Tal fato resulta em diferentes respostas espectrais ao longo de um ciclo hidrológico completo, as quais, por sua vez, são passíveis de discriminação por meio dos chamados índices de vegetação (FERREIRA, *et al.*, 2003). A metodologia se fez pela aquisição do mosaico de imagens MODIS13Q1, índice de vegetação EVI correspondente ao período de 2001 a 2009 para toda a área originalmente ocupada pelo cerrado. A segunda etapa da pesquisa foi feita por meio de divisões de cada *pixel* dos valores de EVI dos *composites* por 10.000, assim como o somatório dos valores de EVI ao longo de cada ano, i.e., 23 *composites*, entre 2001 e 2009, conforme a seguinte equação:

$$\text{Imagen_Produtividade}_{2001, 2002 \dots 2009} = (\sum \text{EVI}_{01_23})$$

Dessa forma, cada imagem do somatório tem seus valores de *pixel a pixel* variando entre 0 a 1. Após essa classificação, o autor utilizou o *shape* de pastagens do PROBIO (2002) para o recorte da área. Em posse dos polígonos, foi calculado o valor médio de cada *pixel* da imagem somatória EVI para todo o período analisado (2001 a 2009). Posteriormente, com base nesse índice e nos limites municipais e mapas de solos, foram geradas médias de produtividade para cada classe em todos os municípios.

Quanto às limitações e restrições do trabalho, Garcia (2012) ressalta que a escala dos produtos MODIS-EVI, por serem de 250 m e por se tratar de áreas muito pequenas, como polígonos de pastagens, a informação não é muito precisa, pois sofre a influência de alvos vizinhos. Outra limitação é a do *Net Primary Productivity* (NPP), ainda que esta é realizada a partir do somatório de 23 *composites* EVI ao longo de cada ano, esses não estão livres de falhas, pois há inúmeras ausências de *pixels* em determinados *composites*, podendo comprometer o resultado final da estimativa conforme o autor mostra na figura 16.

Figura 16: Somatório dos *composites* EVI ao longo de cada ano



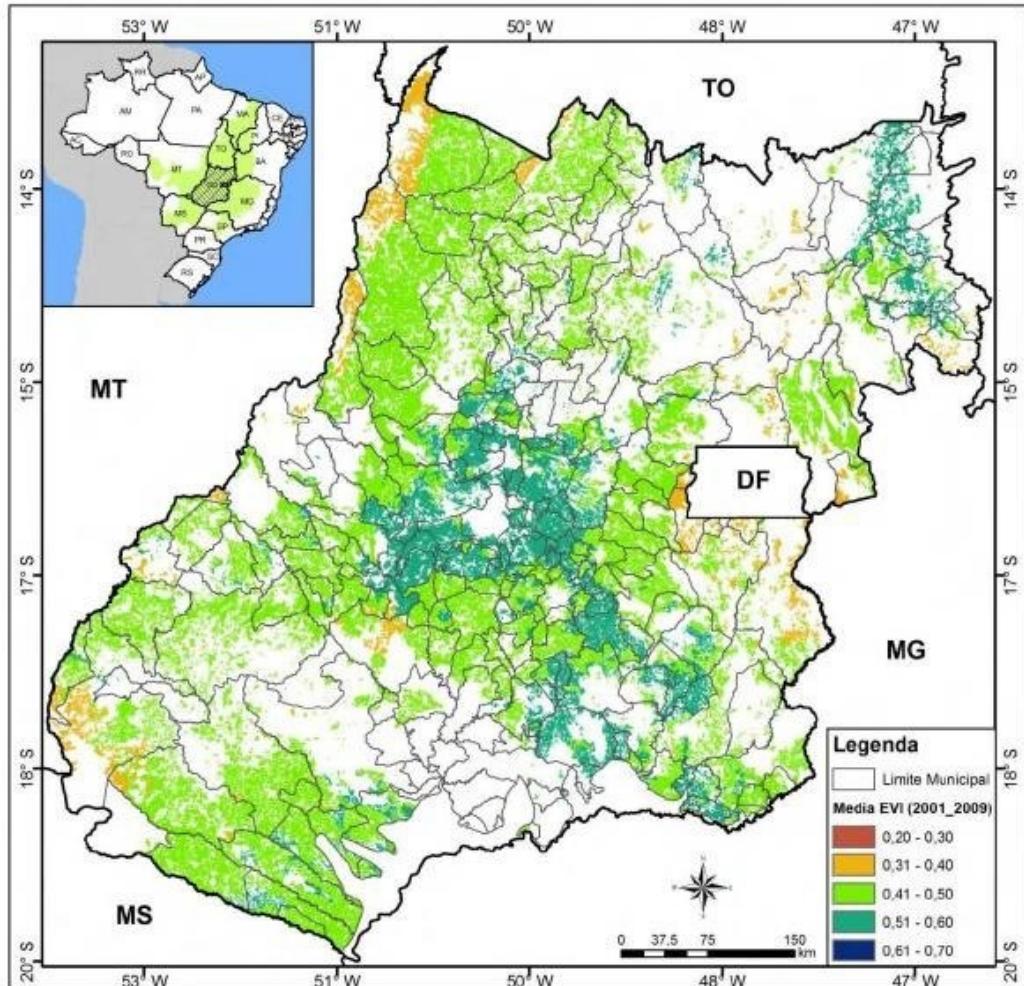
Fonte: GARCIA, 2012

Garcia (2012) mostra que existem comportamentos diferenciados nas respostas e, a exemplo de resultados equivocados, o autor retrata um polígono situado no município de Abadiênia do Goiás, que está denominado no mapa como pastagem, porém, ao utilizar imagens de alta resolução do Google Earth, observou-se que se tratava de uma área agrícola. Esses problemas ocasionaram em uma interpretação distorcida, haja vista que se parecia com uma área de pastagem com baixa produtividade primária líquida, mas na verdade era uma área agrícola cuja dinâmica de uso é totalmente diferente.

Os resultados alcançados no trabalho mostraram que as áreas que possuem maiores valores de EVI concentram-se, principalmente, nas regiões central, sudeste e extremo nordeste do estado de Goiás, enquanto os menores índices se distribuem predominantemente no entorno de Brasília e em grande parte na depressão do Araguaia, norte e noroeste do estado.

Para a compreensão dos dados, foi elaborado um comparativo das áreas mapeadas com pastagens com os dados de tipos de solo, contudo, chegou-se à conclusão de que as áreas com maior quantidade de pastagens estão sob os solos do tipo latossolo, já que esses são considerados solos deficientes em nutrientes e mostraram ser mais propícios ao uso pelas pastagens. Assim, foi elaborado um mapa com o comparativo das pastagens de produtividade primária líquida por município, representado na figura 17.

Figura 17: Mapa da média produtividade primária líquida por município.



Fonte: Garcia (2012)

Os resultados desse trabalho se mostraram satisfatórios. O autor ressalta que as áreas de pastagens no cerrado goiano encontram-se, predominantemente, em um patamar de qualidade que varia entre médio e baixo (0,40 e 0,60), e que há poucas áreas com baixíssimos índices (inferior a 0,40) e, praticamente, não há valores próximo a 1, o que indica excelentes condições. Observou-se, também, que as regiões de latossolos são predominantes nas pastagens, apesar de não favorecerem em relação aos nutrientes. Diante disso, percebeu-se que as melhores pastagens estão associadas aos solos naturalmente mais férteis e que há uma falta de manejo e correção de outras áreas, prática que ainda é vista como fator preponderante para o aumento das pastagens degradadas.

A pesquisa de Garcia (2012) se mostrou relevante quanto ao monitoramento de pastagens e apresentou resultados satisfatórios, mas que podem ser contestados. As imagens utilizadas são do sensor MODIS e, devido à alta resolução, pode-se constatar que houve

confusão na interpretação dos alvos por causa da pastagem, misturou-se com outros usos, como a vegetação natural e a agricultura. Isso mostra que não há total eficácia nos resultados obtidos.

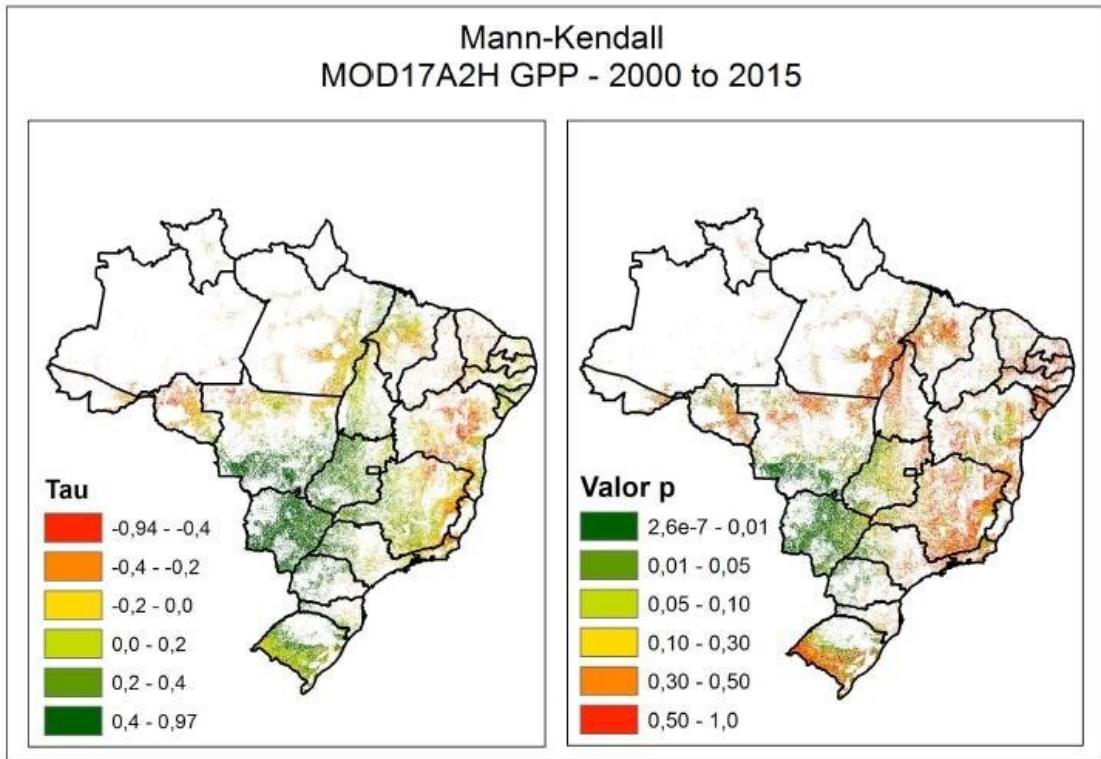
Os dados utilizados por Garcia (2012) são retrógrados, uma vez que a *shape* utilizada para mapear as pastagens foi a produzida por meio da pesquisa do PROBIO (2002). A pesquisa de Garcia foi produzida no período entre 2001 e 2009 (9 anos), período suficiente para que o uso das pastagens no cerrado pudesse sofrer alterações e substituições por outros usos. O autor, em um dos seus questionamentos, avalia que o PROBIO mapeou erroneamente uma área como pastagem, mas que na verdade era agricultura, e vale ressaltar que o período mapeado pelo autor é diferente do qual o PROBIO realizou o mapeamento. Apesar desse método considerar o comportamento temporal das pastagens, a tendência calculada por eles pode estar contaminada com outras coberturas da terra que não a pastagem, por não serem capazes de detectarem mudanças abruptas na paisagem.

Observa-se que no que tange ao mapeamento de pastagens, o sensor MODIS se tornou uma das ferramentas de grande utilização. Além dos trabalhos já citados, temos também o de Santos *et al.* (2017). Ele buscou mapear a produtividade e a degradação das pastagens do Brasil por meio das séries temporais do MODIS GPP (produtividade primária bruta) gerados no âmbito do produto MOD17A2H, as quais são uma medida de quantidade de C fixado no processo fotossintético. O trabalho de Santos *et al.* (2017) visou a avaliação de um modelo para identificar as tendências (de perda e ganho vigor vegetativo) das pastagens do Brasil, tendo por referência dados de produtividade da vegetação obtidos por meio do sensor MODIS. O autor ressalta que

O modelo proposto assume que sendo o GPP uma medida direta do vigor vegetativo, as variações e tendências no GPP representam, de forma direta, as variações e tendências de produtividade dessa vegetação. Portanto, em áreas de pastagens, tendências negativas no GPP indicam pastagens em processo de degradação, enquanto tendências positivas indicam pastagens aumentando a capacidade de produzir biomassa. Ressalta-se que este modelo se baseia em três pressupostos principais: 1) o valor de GPP do produto MOD17A2H é uma medida direta da biomassa real acumulada por uma determinada área de pastagem, 2) as máscaras de pastagem e crescimento retratam com precisão a ocorrência das pastagens e as respectivas variações espaço-temporais na distribuição das chuvas e 3) as áreas de pastagem não sofreram conversões durante o período analisado, i.e. já eram pastagens em 2000 e continuaram assim até 2015. (SANTOS *et al.*, 2017. p.5329)

Dessa forma, foi gerado o seguinte mapa (figura 18), que demonstra os resultados obtidos por Santos *et al.* (2017)

Figura 18: Análise de Mann-Kendall para as áreas de pastagem do Brasil, considerando uma série temporal de valores GPP (MOD17A2H) de 2000 a 2015. Valores de "tau" negativos (manchas em tons amarelo avermelhados no mapa da esquerda) sugerem perda de produtividade.



Fonte: Santos *et. al.*, 2017.

Os resultados obtidos sugerem que 9% das pastagens brasileiras apresentaram uma diminuição de biomassa durante esse período (2000 a 2015), enquanto cerca de 32% dessas pastagens apresentaram, ao contrário, uma tendência de aumento da biomassa. O autor ressalta que os resultados devem ser revistos uma vez que, em outras palavras, as tendências negativas sugerem áreas em processo de degradação (não necessariamente degradadas / severamente degradadas), enquanto as tendências positivas podem estar associadas à predominância de espécies "invasoras" e/ou crescimento de vegetação secundária. Com isso, os resultados mostraram satisfatórios, mas não apresentaram exatidão ou precisão.

Diversos são os sensores e métodos utilizados para se mapear as pastagens buscando a resposta do alvo sem a necessidade de contato com o objeto. De fato, quando se tem o conhecimento prévio da área, se torna mais fácil a identificação principalmente quando o alvo é a pastagem que pode ser facilmente confundida com outros alvos. O trabalho de Davison *et al.* (2008) buscou analisar a degradação das pastagens partindo de análises de mistura

espectral com imagens Landsat, talvez esse é o trabalho mais aproximado da presente pesquisa.

O trabalho de Davison *et al.* (2008) analisou a degradação do pasto usando escalões objetivos de vegetação fotossintética (PV), vegetação não-fotossintética (VPL) e solo exposto (S) derivado de imagens Landsat. Um modelo geral, probabilístico de mistura espectral, decompôs as medidas de reflectância espectral do satélite em estimativas de subpixel de coberturas PV, NPV e S, em fazendas na Amazônia ocidental e oriental. A maioria das unidades de gerenciamento de pastagem em todas as fazendas caiu ao longo de uma única linha de PV decrescente com aumento do VPL e S, o que poderia ser considerado um contínuo de degradação. O trabalho ressalta que a fazenda com as maiores densidades de estocagem e manejo mais intensivo tiveram maior VAN e S do que um rancho de gestão menos intensiva. Constatou-se que em fazendas com poucos insumos de gestão, a cobertura de PV elevada em pastagens jovens diminuiu com o aumento da idade de pastagem, enquanto o VPL e o S aumentaram mesmo quando a intensidade do gado foi baixa.

Quanto às imagens que foram utilizadas para a pesquisa, Davison *et al.* (2008) destaca:

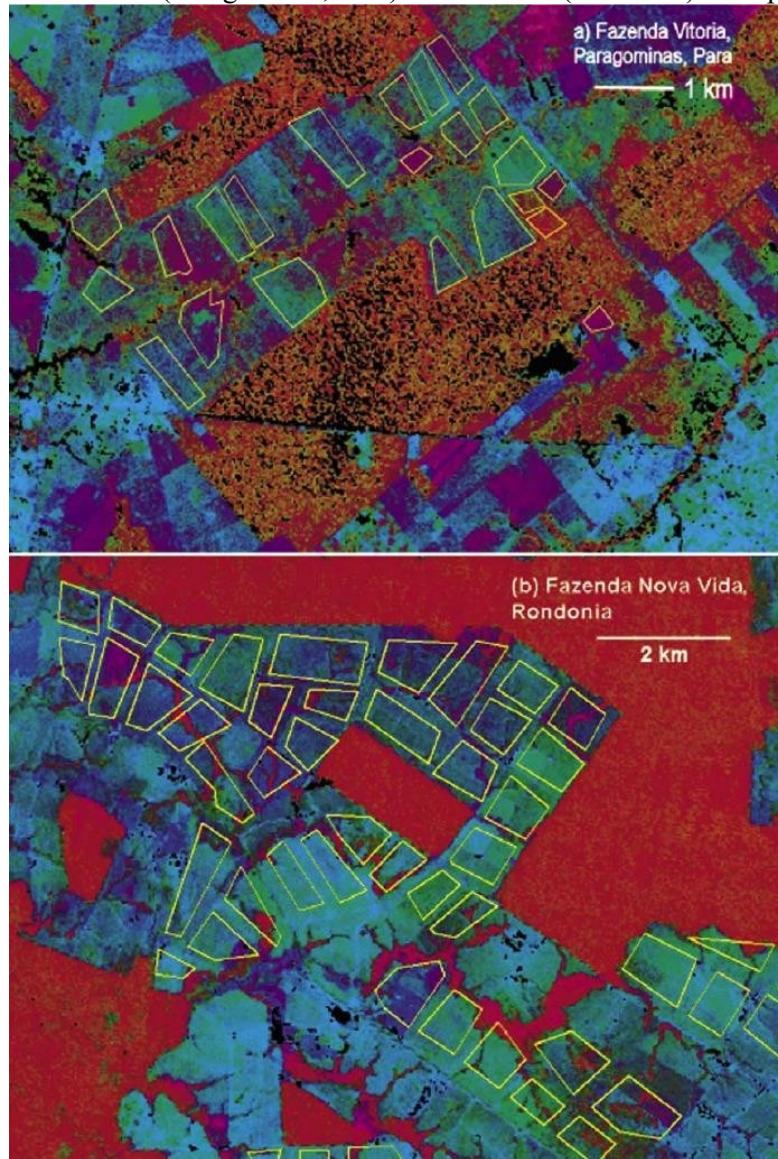
For comparison between ranches, Landsat imagery was obtained for Fazenda Nova Vida in Rondônia (path/row 231 – 067; 11 August 2001) and Fazenda Vitoria in Pará (path/row 222 – 62; 6 July 1996). Both dates are in the dry season. A subset of each image was extracted to focus on the region immediately surrounding the ranches. All images were geo-corrected to a common map projection (UTM zones 20 and 23, datum: Clark 1866), and were composed of 30 m resolution pixels. To compare the effects of seasonality at one site, an additional image for Nova Vida, acquired on 22 May 2002, was used to represent the end of the wet season. Images of Nova Vida acquired on 9 August 1999, 24 August 2000, and 11 August 2001, were also used to compute a multiyear mean image for purposes of comparison with a record of management treatments (see section 2.4). We also include analyses from Asner *et al.* [2004], who obtained Landsat imagery for ranches south of Santarém, Pará (path/row 227 – 062; 27 August 1997). (DAVISON *et al.*, 2008, p. 2)

Para a aplicação do modelo linear, foi realizada a correção das imagens para que a atmosfera não fosse um fator de confusão na interpretação dos alvos. A espessura óptica de aerossóis e os dados de vapor de água, retirados do sensor do Espectrômetro de imagem de resolução moderada (MODIS), a bordo da nave espacial NASA Terra, foram utilizados como entradas para 6S. Para a imagem Landsat coletada antes do lançamento do Terra, foram utilizados os dados de longo prazo do MODIS em aerossol e vapor de água no mesmo mês de coleta (julho), uma técnica que, segundo os autores, demonstrou ser confiável para corrigir as imagens Landsat para a análise da mistura espectral. Essas etapas forneceram estimativas da

reflectância superficial aparente para bandas Landsat 1 - 5 e 7.

Imagens falsa-cor da Fazenda Vitória e da Fazenda Nova Vida são mostradas na figura 19. As sombras e a água aparecem como pretas, e as florestas maduras remanescentes aparecem como vermelhas, devido aos altos valores de PV. As pastagens aparecem com uma variedade de cores indicando várias combinações de S (azul), NPV (verde) e PV (vermelho). O amarelo representa uma mistura predominantemente de PV e NPV, enquanto a magenta indica uma mistura de unidades de manejo predominantemente PV e S. As pastagens incluídas neste estudo foram indicadas por polígonos amarelos.

Figura 19: Fazendas Vitoria (Paragominas, Pará) e Nova Vida (Rondonia). Composição falsa-cor .



Fonte: Davison *et al.* (2008)

Quanto aos procedimentos utilizados para a geração dos resultados, Davison (2008) utilizou imagens do satélite Landsat nas estações secas de forma que a interferência das chuvas nos alvos fosse imperceptível, em que o autor ressalta que

For comparison between ranches, Landsat imagery was obtained for Fazenda Nova Vida in Rondônia (path/row 231 – 067; 11 August 2001) and Fazenda Vito’ria in Para’ (path/row 222 – 62; 6 July 1996). Both dates are in the dry season. A subset of each image was extracted to focus on the region immediately surrounding the ranches. All images were geo-corrected to a common map projection (UTM zones 20 and 23, datum: Clark 1866), and were composed of 30 m resolution pixels. To compare the effects of seasonality at one site, an additional image for Nova Vida, acquired on 22 May 2002, was used to represent the end of the wet season. Images of Nova Vida acquired on 9 August 1999, 24 August 2000, and 11 August 2001, were also used to compute a multiyear mean image for purposes of comparison with a record of management treatments (see section 2.4). We also include analyses from Asner et al. [2004], who obtained Landsat imagery for ranches south of Santaré’m, Para’ (path/row 227 – 062; 27 August 1997). (DAVISON, *et al.*, 2008)

Já quanto à correção atmosférica, os dados de vapor de água retirados do sensor do espectrômetro de imagem de resolução moderada (MODIS), a bordo da nave espacial NASA Terra, foram utilizados como entradas para 6S, conforme descrito em detalhes por Asner *et al.* (2005). Para a imagem Landsat coletada antes do lançamento do Terra, foi utilizado os dados de longo prazo do MODIS em aerossol e vapor de água no mesmo mês de coleta (julho), uma técnica que demonstrou ser confiável para corrigir as imagens Landsat para a análise da mistura espectral. Essas etapas forneceram estimativas da reflectância superficial aparente para bandas Landsat 1 - 5 e 7.

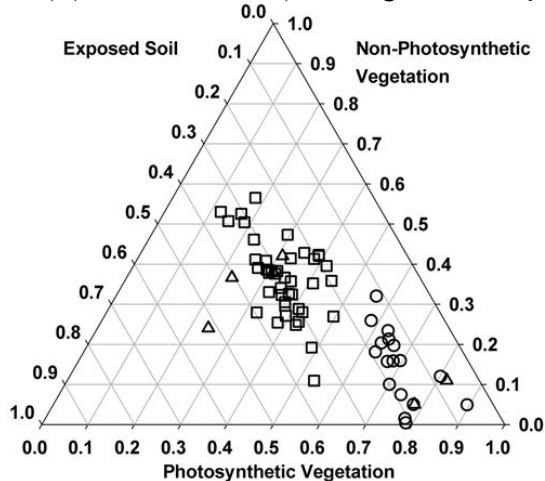
Foi usado o modelo AutoMCU para decompor cada *pixel* Landsat em estimativas de cobertura fracionada (0 - 100% de cobertura) de cobertura de vegetação fotossintética (PV), vegetação não-fotossintética (VPL) e substrato nu. O AutoMCU é totalmente automatizado e usa uma abordagem de mistura de Monte Carlo para derivar estimativas de incerteza dos valores da fração de cobertura de subpixel. O método usa três "feixes de membros finais espectrais", derivados das bases de dados extensas de campo e imagens de satélite para decompor cada *pixel* de imagem usando a seguinte equação linear:

$$\begin{aligned}\rho(\lambda)_{\text{pixel}} &= \sum [C_e \cdot \rho(\lambda)_e] + \varepsilon \\ &= [C_{\text{pv}} \cdot \rho(\lambda)_{\text{pv}} + C_{\text{npv}} \cdot \rho(\lambda)_{\text{npv}} + C_{\text{substrate}} \cdot \rho(\lambda)_{\text{substrate}}] + \varepsilon,\end{aligned}$$

Os resultados obtidos pela pesquisa mostraram que a maioria das unidades de gerenciamento de pastagens se enquadra em uma linha para a qual o PV diminui à medida que

o VPL e o S aumentam. Usando esses escalares, as pastagens mais degradadas seriam identificadas com os maiores valores de NPV e S da cobertura fracionada. Um contínuo de graus de degradação é mais aparente do que um ponto de corte nítido para categorizar uma pastagem tão claramente degradada ou não. Duas dessas pastagens antigas altamente degradadas são *outliers* do padrão linear na figura 20, com valores > 40% para o solo exposto. Em geral, as pastagens dentro da Fazenda Vitória, Pará, têm valores mais altos de PV e valores mais baixos de VPL e S do que as pastagens da Fazenda Nova Vida em Rondônia, indicando que o último é um pouco mais degradado conforme definido por esses escalares.

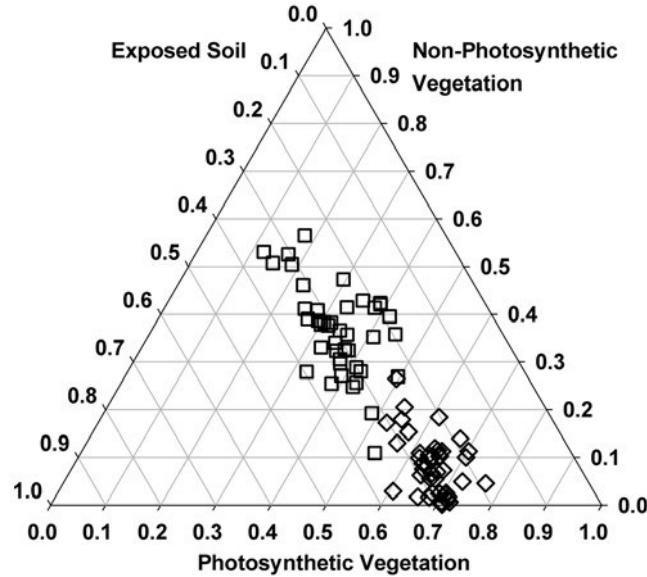
Figura 20: Diagrama ternário dos valores PV, NPV e S para cada unidade de manejo de pastagem na Fazenda Vitória (círculos), Fazenda Nova Vida (quadrados) e várias fazendas perto de Santarém (triângulos) (Asner, et al. 2004) de Imagens da estação seca.



Fonte: Davison *et al.* (2008)

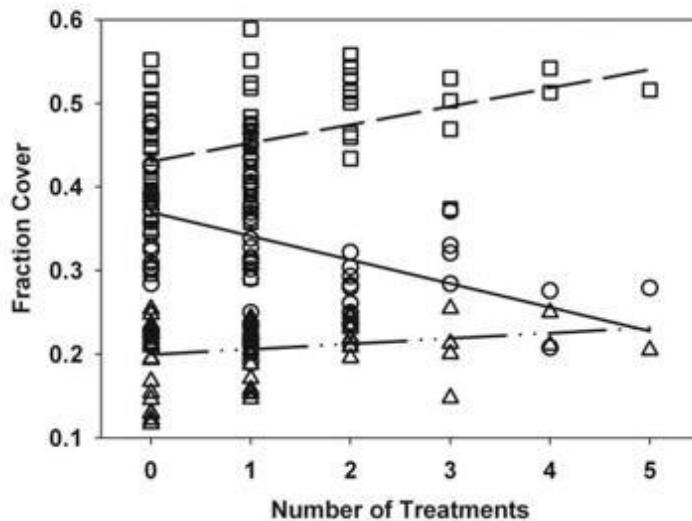
Como esperado, os valores de PV foram maiores durante a estação úmida em comparação à estação seca na Fazenda Nova Vida (Figura 21). Essa variação sazonal destaca a importância de se contabilizar a sazonalidade ao fazer comparações entre duas ou mais cenas Landsat. No entanto, a fração de S não variou substancialmente entre as datas (Figura 21), mostrando que esse indicador foi menos afetado pela sazonalidade. Da mesma forma, o autor ressalta que não se soube o quanto recentemente o gado foi roteado através de unidades de manejo de pastagem e, também, quando outras atividades de gerenciamento ocorreram em relação à data de cada cena, o que potencialmente introduz uma variação temporal adicional.

Figura 21: Diagrama ternário de valores PV, NPV e S para estação seca (quadrados) e estação úmida (diamantes) na Fazenda Nova Vida, Rondônia.



Fonte: Davison *et al.* (2008)

Figura 22: Correlações entre o número de tratamentos (1998-2001) registrados em cada unidade de gerenciamento de pastagem na Fazenda Nova Vida, Rondônia e valores de PV (círculos), NPV (quadrados) e S (triângulos). As linhas de regressão são: $NPV = 0,022x + 0,431$



Fonte: Davison et al. (2008)

Davison (2008) conclui que

The objectively determined scalars of degradation described here, using estimates of pixel coverage by photosynthetic vegetation, nonphotosynthetic vegetation, and exposed soil reveal patterns that are related to the interplay of grazing intensity and management intensity. Where both grazing and management intensities are high, cattle production can be maintained despite indications of incipient degradation by the NPV and S scalars. Where both inputs and grazing intensity are low, young pastures initially appear with high PV scores that decline with pasture age as NPV and S increase. High values of PV can indicate either

highly productive pastures or vigorous regrowth of native vegetation where pasture abandonment has not been preceded by severe degradation. (DAVISON, *et. al.*, 2008, p. 7)

O método se mostrou promissor para identificar áreas em que a intensidade da pastagem excedeu os insumos de manejo por períodos suficientemente longos para induzir aumentos significativos na cobertura de folhagem senescente e no solo exposto.

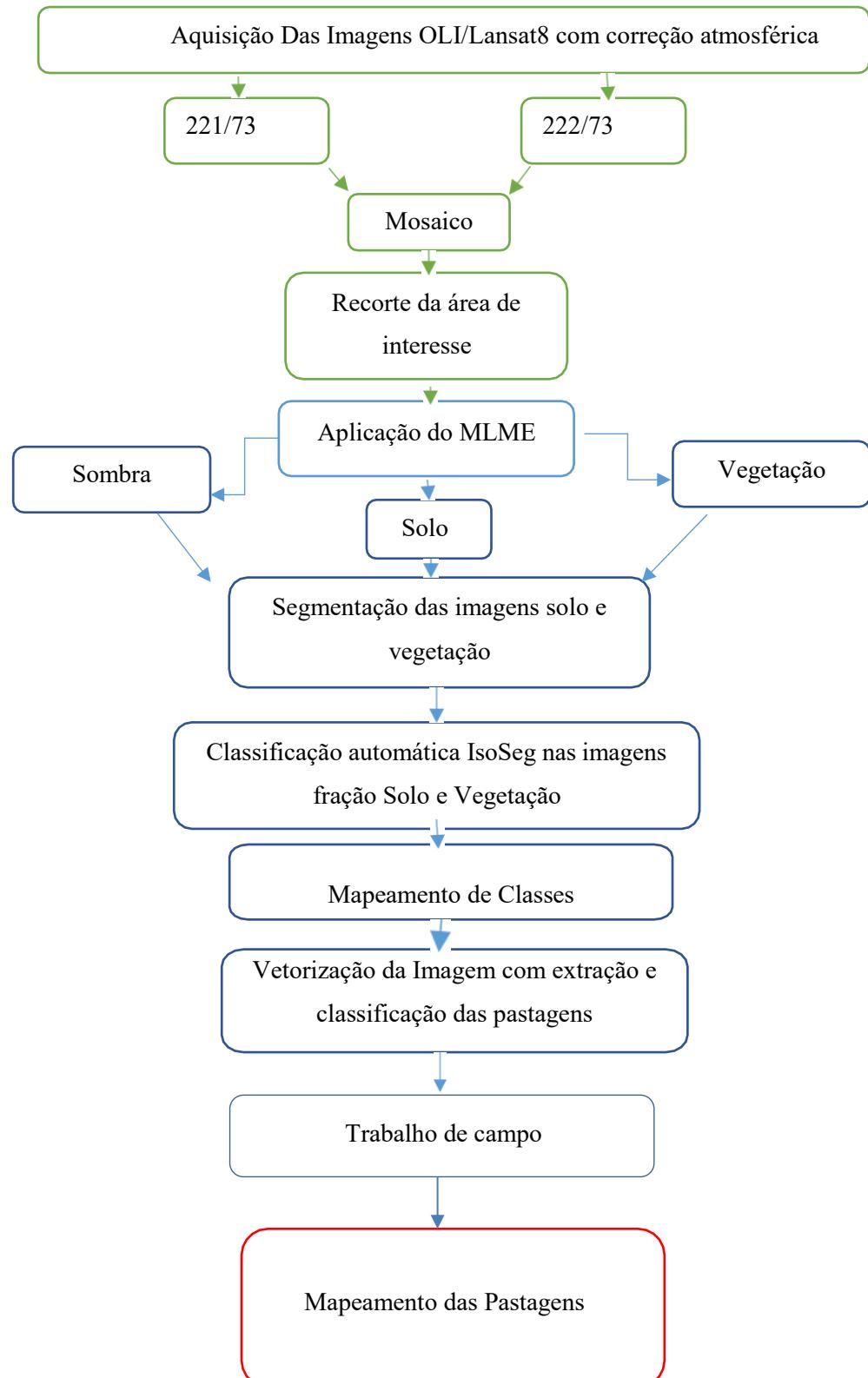
A pesquisa de Davison (2008) se apresentou como eficiente e promissora na identificação dos níveis de degradação das pastagens, isso mostra que o MLME é aplicado e pode ser fator preponderante na identificação das pastagens quanto aos estágios de degradação. Vale ressaltar que o conhecimento prévio da área é considerado importante para que os resultados possam apresentar exatidão e, também, para a correção de possíveis erros.

O próximo capítulo irá tratar dos materiais e métodos utilizados para alcançar os resultados parciais. A metodologia foi tratada de modo a descrever o passo a passo, de forma detalhada, com o intuito de não deixar dúvidas quanto aos procedimentos utilizados.

3.0 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Materiais e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida em etapas, cuja sequência operacional está descrita no fluxograma abaixo:



O objetivo geral desta pesquisa está centrado na análise das pastagens da microrregião de Ituiutaba e na classificação destas, quanto ao seu estado de degradação obtido por meio da utilização de imagens orbitais do satélite Landsat 8 sensor OLI, no ano de 2016. Essa análise compreende o mês de julho no qual foi possível obter imagens com menor aparência de nuvens e melhor reflectância dos alvos, já que os componentes atmosféricos são fatores interferentes na aplicação do MLME. Para tal, as imagens utilizadas foram obtidas do banco de dados da USGS por meio do site <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> já com a correção atmosférica para não haver confusão na interpretação dos *pixels* pelo algoritmo aplicado no *Spring 5.5* pelo MLME. Nos anexos encontra-se disponível o passo a passo de como baixar as imagens Landsat Surface Reflectance Higher-Level Data Products além do passo a passo de como aplicar o MLME no *Spring 5.5*.

Sobre as correções atmosféricas, destaca-se que a sistematização utilizada para a geração da correção, segundo a USGS, seguiu os seguintes procedimentos:

Landsat 8 Surface Reflectance data are generated from the Landsat Surface Reflectance Code (LaSRC) – this is not the same algorithm used to create Landsat 4-5 and 7 Surface Reflectance data products. Most notably, LaSRC makes use of the coastal aerosol band to perform aerosol inversion tests, uses auxiliary climate data from MODIS and uses a unique radiative transfer model. Additionally, LaSRC hardcodes the view zenith angle to “0”, and the solar zenith and view zenith angles are used for calculations as part of the atmospheric correction. (USGS, 2016, não paginado)

As imagens do Landsat 8 foram escolhidas por possuírem boa resolução espacial (30 metros). Essa resolução permite uma melhor interpretação dos alvos havendo menor confusão quanto à reflexão e uma melhor identificação dos usos.

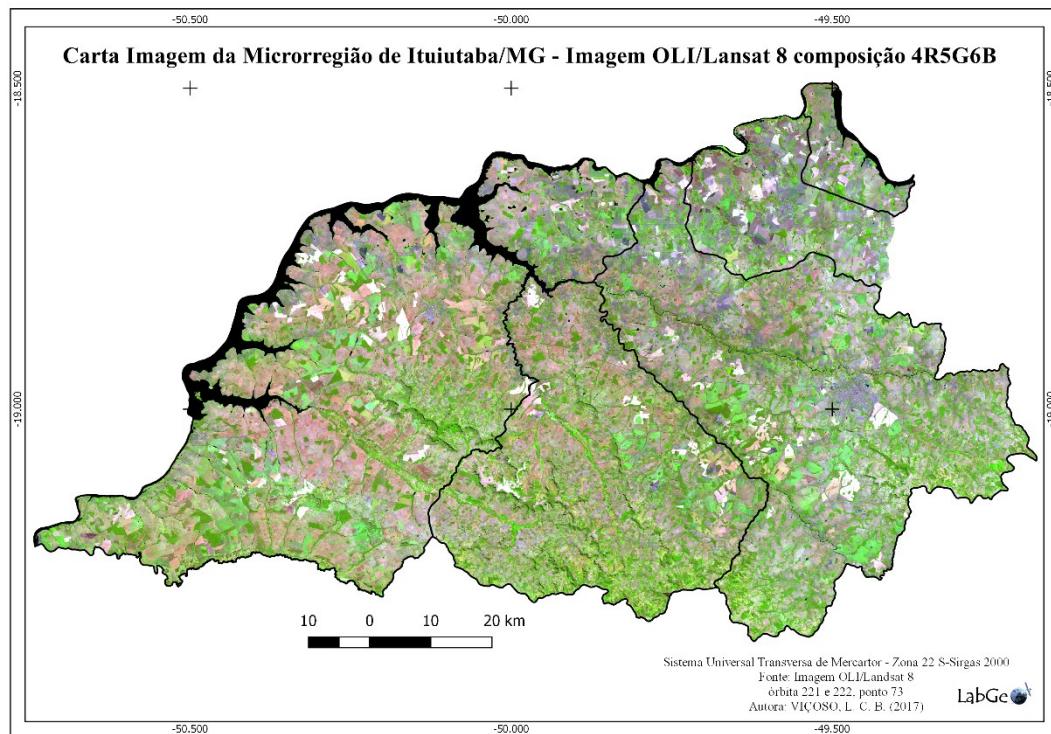
Outras especificações a respeito do Landsat 8 devem ser consideradas, tais como:

- A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores: Operacional Terra Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS)
- Produtos OLI consistem em nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9).
- A banda 8 do instrumento OLI é a pancromática. Possui resolução espacial de 15 metros (banda 8).
- A Nova banda 1 (ultra-azul) é útil para estudos costeiros e aerosol.
- A Nova banda 9 (cirrus) é útil para a detecção de nuvens.
- As faixas térmicas de 10 e 11 pertencem ao instrumento imageador TIRS.
- As faixas térmicas do instrumento TIRS são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas e os dados são coletados *pixel* de 100 metros.
- O tamanho aproximado da cena Landsat-8 é de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste-oeste.

Após criado o banco de dados, as imagens foram tratadas no SIG *QGis 2.14*. Inicialmente, foram importadas as bandas multiespectrais, tais quais: banda 4 (vermelho),

banda 5 (infravermelho próximo), banda 6 (infravermelho médio/ISWIR) resolução espacial de 30 m, no formato *geotiff*, para a realização da composição colorida e reprojeção, haja vista que as imagens Landsat 8 são orientadas ao norte verdadeiro e a projeção utilizada é a SIRGAS 2000 UTM Zone 22s. Concluída essa etapa, foi empregada a mosaicagem, em que ocorreu a junção das imagens orbitais 221/73 e 222/73. Após esse procedimento, aconteceu o recorte da área de interesse pela *shape* vetorizada da microrregião de Ituiutaba, gerando o resultado da localização da área de trabalho nas imagens Landsat8 na composição falsa cor 4R5G6B, conforme a figura 23.

Figura 23: Composição colorida 4R5G6B da microrregião geográfica de Ituiutaba/MG para o mês de Julho/2016.



Fonte: Imagens OLI/Landsat 8

Com a geração da composição colorida, foi iniciado o processo de geração das imagens fração do MLME. Para realizar o procedimento, as respostas espectrais dos componentes puros (*endmembers*) são consideradas conhecidas, ou seja, são obtidas diretamente na imagem. Nesse caso, os *endmembers* serão extraídos das bandas 4, 5 e 6. Devido à familiaridade com a área de estudo, foi possível extrair informações dos *endmembers* puros dessa forma, gerando curvas de reflectância melhores. Shimabukuro e Ponzoni (2017) explicam que quanto mais se é familiarizado com a análise de curvas de diferentes recursos naturais, maior será a facilidade na escolha do *endmember* quando estiver

trabalhando com imagens convertidas em valores de reflectância da superfície, uma vez que a forma da curva informa muito sobre a natureza dos *pixels* escolhidos. O quadro 2 exemplifica as amostras que foram utilizadas para a geração das imagens fração para o mês de julho.

Quadro 2: Chave de fotointerpretação dos *pixels* puros para a geração do MLME sombra/água, solo e vegetação.

	Julho
Sombra/ água	
Vegetação	
Solo	

A figura 24 mostra as respostas espectrais dos componentes sombra, vegetação e solo utilizadas para gerar as imagens fração do presente trabalho para os mês de julho. Esses gráficos são produzidos diretamente no *Spring 5.5* logo após a geração do MLME e mostram as curvas espectrais que cada amostra (sombra/água, solo e vegetação) atingiu. Cada curva contém três pontos distintos que demonstram os valores de reflectância que atingiram em cada banda espectral, sendo assim, como foram utilizadas três bandas (4, 5 e 6), são apresentados três pontos distintos dentro das curvas. As curvas foram enumeradas de 1 a 3, nas quais, no quadro 03, são mostrados os valores atingidos nos comprimentos de ondas.

Figura 24: Curva espectral do mês de julho de 2016.



Fonte: Aplicação do MLME
Org.: A autora (2017)

Quadro 3: Valores das respostas espectrais dos *endmembers*:

Resposta Espectral	Julho (μm)
Sombra	1 – 0,660 x 0,093 2 – 0,830 x 0,084 3 – 1,650 x 0,079
Vegetação	1 – 0,660 x 0,102 2 – 0,830 x 0,275 3 – 1,650 x 0,147
Solo	1 – 0,660 x 0,190 2 – 0,830 x 0,262 3 – 1,650 x 0,294

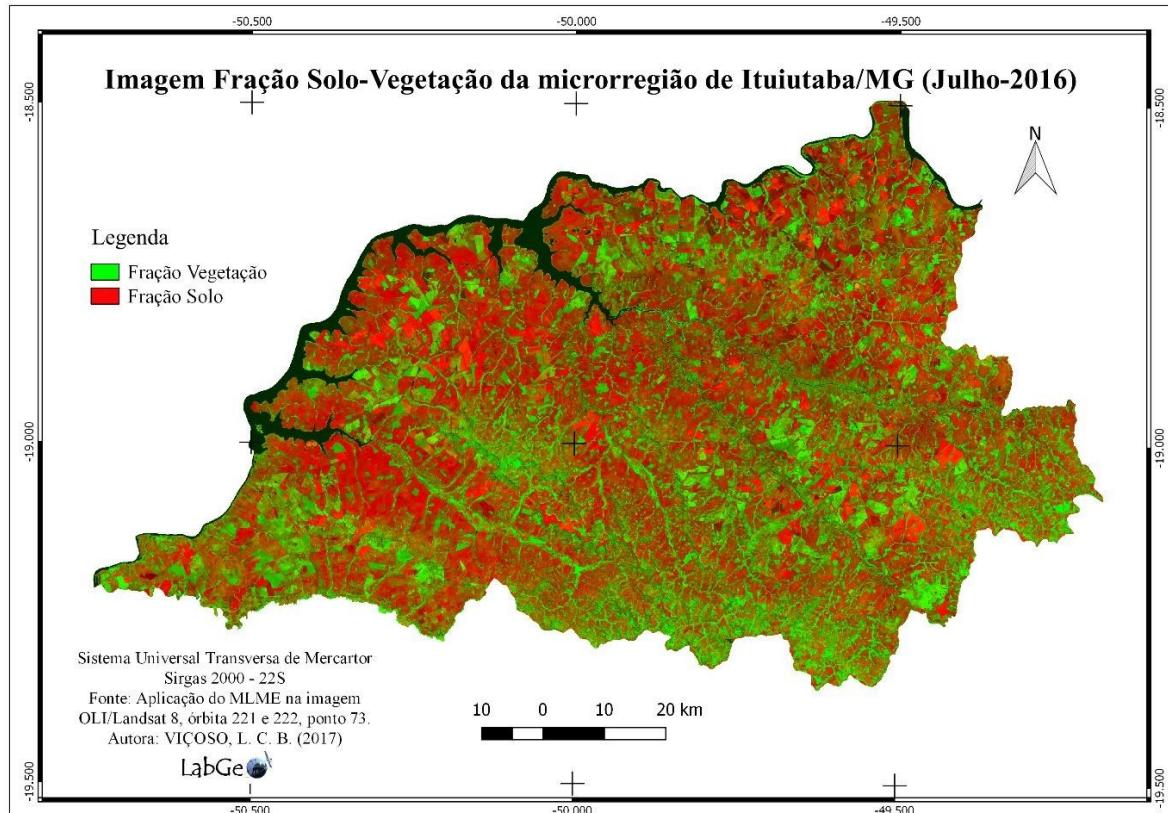
Fonte: Alvos das curvas dos *endmembers* do MLME
Org.: A autora (2017)

As imagens-fração podem ser consideradas uma forma de redução da dimensionalidade dos dados e, também, uma forma de realce das informações como explica Shimabukuro e Ponzoni (2017). Cada tipo de imagem-fração vai realçar um tipo de alvo. A imagem-fração vegetação realça as áreas de cobertura vegetal, a imagem-fração solo realça as áreas de solo exposto e a imagem-fração sombra/água vai realçar as áreas ocupadas com corpos d'água, como rios e lagos, e também as áreas de queimadas e áreas alagadas. Shimabukuro e Ponzoni (2017) ressaltam que o MLME não pode ser considerado um classificador, mas sim uma técnica de transformação de imagens para facilitar a extração de informações.

A figura 25 exibe uma composição colorida das imagens-fração (R-solo G-vegetacao) derivadas do sensor OLI/Landsat 8 para a região que abrange a microrregião de Ituiutaba/MG,

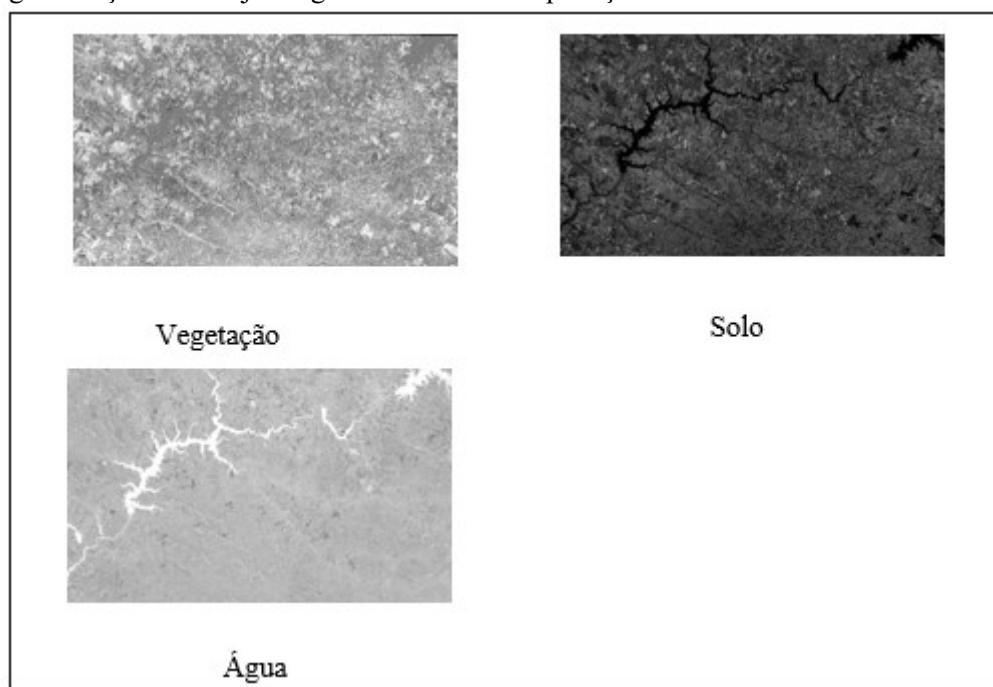
no mês de julho. As imagens-fração solo, vegetação e sombra/água são apresentadas na figura 26 para o mês de julho.

Figura 25: Composição das imagens-fração mês de julho Solo (R) e Vegetação (G)



Fonte: Imagens-fração MLME, sensor OLI/Lansat 8

Figura 26: Imagens-fração mês de julho geradas através da aplicação do MLME na área de interesse



Fonte: aplicação do MLME

Após a geração das imagens-fração, foi delimitada a área que compõe somente a microrregião de Ituiutaba e, também, feita a escolha das imagens-fração solo e vegetação. A imagem-fração gerada pelo componente sombra não será utilizada devido ao fato de que para a reflectância das áreas de pastagem, os alvos de interesse englobam somente vegetação e solo.

Em posse das imagens, foi gerada a segmentação para que fosse possível fazer a classificação da área. A segmentação de imagens é, segundo INPE (2006), constituído por um processo de análise do *pixel* de forma isolada. Essa abordagem apresenta a limitação da análise por ser baseada unicamente em atributos espectrais. Dessa forma, a imagem é dividida em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. As regiões são entendidas por um conjunto de “*pixels*” contíguos que se espalham bidireccionalmente e que apresentam uniformidade. Na área que abrange a microrregião, foram utilizados para a geração da segmentação os índices de similaridade 80 e área 50.

Com o objetivo de facilitar a interpretação e permitir a realização de uma análise quantitativa, a microrregião foi submetida à classificação Isoseg. Para a sua aplicação, inicialmente, seleciona-se uma imagem ou um conjunto de imagens para a construção do espaço de atributos. Em seguida, define-se um limiar de aceitação (expresso em porcentagem) que corresponde à distância máxima de Maha-lanobis que, para esta pesquisa, foi utilizado em 75% (INPE, 2006).

Esse é um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionados, aplicados sobre o conjunto de regiões que, por sua vez, são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média e matriz de covariância, e também pela área (INPE, 2006). O Isoseg foi aplicado somente nas imagens-fração solo e vegetação, pois quando se trata de pastagens, os objetos que as compõem são o solo e a vegetação. Dessa forma, a refletância desses alvos define o grau de degradação (quando reflete mais o solo ao invés da vegetação) e de pastagens boas (quando a vegetação reflete mais ao invés do solo) da região. O classificador Isoseg foi primordial para esta pesquisa, pois partindo dele é que foi possível gerar as classes dos alvos segmentados.

Os clusters gerados pelo Isoseg são posteriormente identificados visualmente, na tela do computador, associando manualmente cada cluster a uma legenda pré-definida. Para o mês de abril, o classificador criou 44 classes abrangendo todos os usos (pastagem, área urbana, vegetação natural, agricultura e reflorestamento). Já no mês de julho, o classificador selecionou 40 classes também variando quanto aos usos.

Com o auxílio da composição colorida imagem-fração solo (R) e vegetação (G), manualmente foram selecionadas as classes que correspondiam à pastagem. O resultado da classificação foi comparado com os dados do IESA (2016) e TerraClass (2013), programas que visam o mapeamento do cerrado no intuito de fornecer um banco de dados sobre sua ocupação.

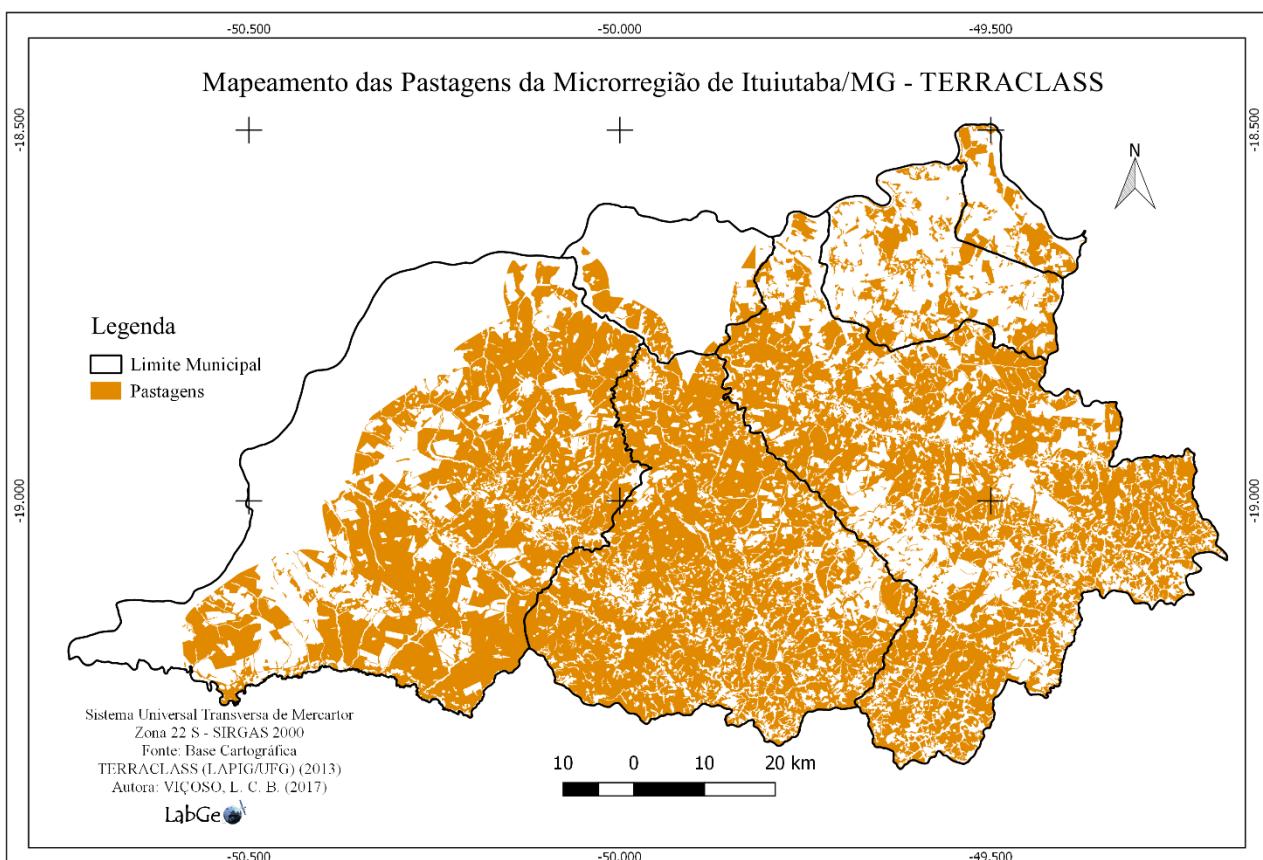
Após a classificação, foram extraídos manualmente as classes que correspondiam à pastagem. Esse procedimento foi possível por meio da observação em tela dos alvos que foram classificados comparando com as imagens fração solo e vegetação. De posse dessas classes, foram selecionados pontos aleatórios nos polígonos que foram criados pela segmentação e, assim, verificados os índices de reflectância do solo e de vegetação das respectivas áreas.

O classificador Isoseg criou quatro classes que abrangem as pastagens da microrregião para os meses de abril e julho. O MLME transforma os alvos de reflectância nos chamados ND's. Esses ND's são transformados em respostas aos alvos que o *Spring 5.5* classifica, com valores que variam de 100 (para valores de 0) a 200 (para valores de 1). Esse método conclui que quanto mais próximo de 200 maior será a resposta de reflectância do alvo, indicando maior presença e, quanto mais próximo de 100 representa, menor reflectância do alvo, indicando ausência.

4. RESULTADOS

A microrregião de Ituiutaba possui uma área que ocupa 873.246,4 ha. (IBGE, 2017). Essa área perfaz os municípios de Gurinhatã, Santa Vitória, Ituiutaba, Capinópolis, Cachoeira Dourada e Ipiaçu. Na busca por resultados que atendessem a demanda da pesquisa, foram pesquisados mapeamentos de pastagens de outros estudos, como o TerraClass, no qual constatou-se que no ano de 2013 as pastagens ocupavam cerca de 53% (463.332,5 ha) da MRG de Ituiutaba. Considera-se que as áreas mapeadas por meio do TerraClass (2013) avaliam somente a ocupação do cerrado, assim, áreas como o oeste de Santa Vitória e a maior parte do município de Ipiaçu não foram mapeadas, pois se trata de uma área de transição que não ocupa o cerrado.

Figura 27: Mapa das pastagens da microrregião de Ituiutaba/MG - TerraClass



O IESA (Instituto de Estudos Socioambientais), da Universidade Federal de Goiás, por meio do LAPIG (Laboratório de processamento de dados e geoprocessamento), realiza estudos voltados para o mapeamento das pastagens em todo o Brasil através de dados já disponibilizados, como o PROBIO, TerraClass Amazon, Funcate, Canasat e TNC. Os dados foram atualizados no ano de 2016 e encontram-se disponíveis para *download* dos *shapes* no

site <<http://maps.lapig.iesa.ufg.br/>>. O IESA realiza a junção desses dados e também a verificação contínua.

A tabela 3 mostra as áreas mapeadas pelo IESA (2016) em comparação aos dados das pastagens pelo último censo do IBGE (2006) na microrregião de Ituiutaba/MG. Enquanto na figura 28 é possível visualizar a espacialização dos dados gerados pelo IESA.

Figura 28: Mapeamento das Pastagens da microrregião de Ituiutaba realizado pelo IESA (2016)

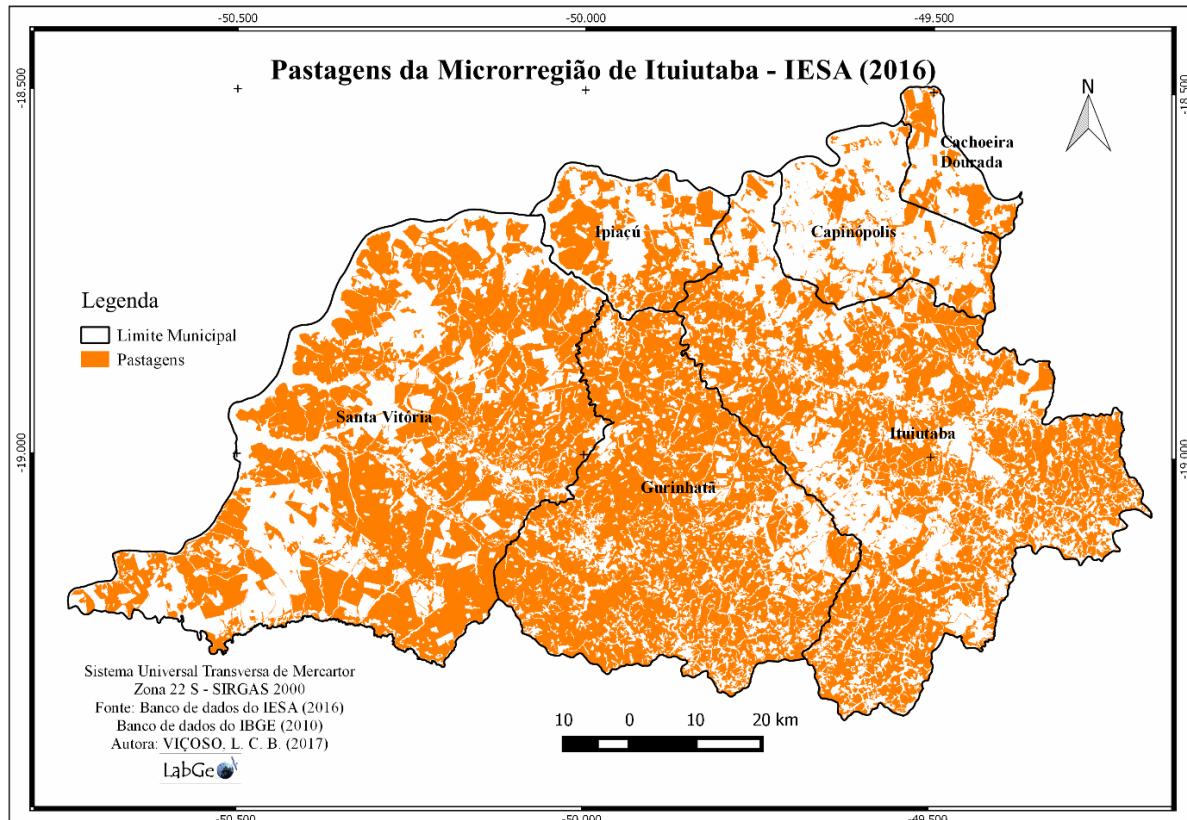


Tabela 3: Área em ha das pastagens da microrregião de Ituiutaba/MG, no ano de 2016 e 2006, por meio de dados do IESA e IBGE.

Município	Área em ha IBGE (2006)	Área em ha IESA (2016)	Alteração em Porcentagem % (2006-2016) *
Capinópolis	17.198,0	14.703,4	-16,9%
Cachoeira Dourada	7.428,0	8.129,1	9,4%
Ipiaçu	17.246,0	22.435,0	30%
Ituiutaba	151.581,0	150.332,5	-0,8%
Gurinhata	127.540,0	131.607,1	3,1
Santa Vitória	218.166,0	177.302,5	-23,0
Total	539.159	504.509,6	-6,9 %

Fonte: Mapeamento IESA (2016) e IBGE (2006)

Org.: A autora (2017)

* Os valores em porcentagem aparecem com os sinais de (-) representando a perda de áreas destinadas às pastagens entre os anos de 2006 e 2016

É possível verificar que no decorrer de dez anos houveram substituições dos usos da terra na microrregião de Ituiutaba no que tange às áreas destinadas às pastagens. É preciso ressaltar que a metodologia adotada pelo IESA é diferenciada, já que utilizam imagens do satélite MODIS, que possui resolução espacial de 250 m ideal, para mapear áreas maiores como é o caso do bioma cerrado. A pesquisa utilizou imagens do sensor OLI/Landsat 8 com resolução espacial de 30 m, o que possibilita verificar com mais precisão as áreas.

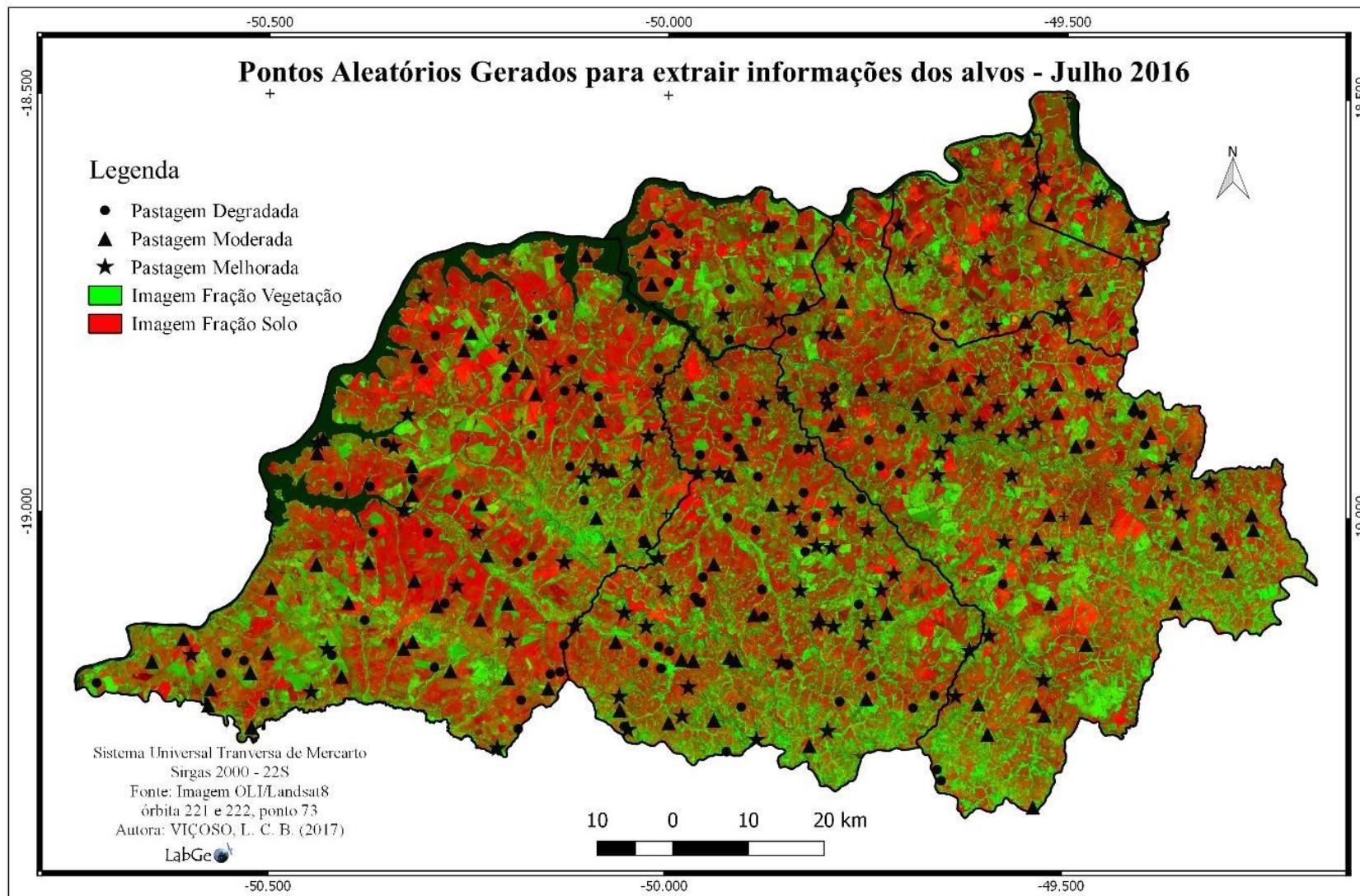
Em toda MRG cabe observar a redução de 6,9% nas áreas destinadas às pastagens o que corresponde a 24.649,6 ha. Cabe salientar que não foram todos os municípios que sofreram redução nas suas áreas, como no caso de Cachoeira Dourada (9,4%), Ipiaçu (30%) e Gurinhatã (3,1%). Já os municípios de Ituiutaba (-0,8%), Santa Vitória (-23%) e Capinópolis (16,9%) sofreram redução de suas áreas destinadas às pastagens em substituição aos outros usos.

Na microrregião para o ano de 2016, foram mapeados 399.360 ha de pastagens, sendo essas classificadas nesse trabalho como pastagens melhoradas, moderadas e degradadas. Para se obter esse resultado, foram classificadas as pastagens conforme a reflectância do solo e a vegetação gerada no MLME em pontos coletados automaticamente por meio do *Qgis*, nas áreas que abrangem as pastagens. Conforme as classes criadas, foram selecionados 100 pontos para cada tipo de pastagem no intuito de fornecer informações dos alvos referentes à classificação das pastagens. No total, foram gerados 300 pontos aleatórios amostrais que serviram de embasamento para a aplicação da correlação dos dados extraídos de onde estes se dispuseram na imagem fração solo e vegetação.

Com a informação extraída dos pontos em que as pastagens foram classificadas, foram gerados gráficos de dispersão e correlação que demonstraram a reflectância do solo e que a vegetação está proporcional para cada tipo de pastagem classificada. O sinal de cada coeficiente indica a direção da relação. Se ambas variáveis tendem a aumentar ou diminuir em conjunto, o coeficiente é positivo, e a linha que representa a correlação inclina para cima. Se uma variável tende a aumentar à medida que as outras diminuem, o coeficiente é negativo, e a linha que representa a correlação inclina para baixo.

A figura 29 representa os pontos aleatórios e suas devidas localizações para que houvesse a extração das informações da reflectância (ND) do solo e da vegetação.

Figura 29: pontos aleatórios de extração de informações – julho (2016)



Os dados obtidos dos pontos aleatórios informaram a reflectância expressa em ND de vegetação e de solo presentes em cada ponto. Essa reflectância é apresentada em uma escala de 100 a 200 (ND) no *Spring 5.5* por meio de conversão, na qual quanto mais próximo de 100 (0) menor é a reflectância do alvo e quanto mais próximo de 200 (1), maior é a reflectância do alvo. Os valores de 100 a 200 são padronizados conforme o *Spring 5.5*, já que esse foi o SIG utilizado para a aplicação do MLME. Foram gerados gráficos de dispersão que demonstram as áreas classificadas como degradadas, moderadas e melhoradas. Assim, nos gráficos é possível concluir que áreas de pastagem com maior reflectância de vegetação e menor reflectância do solo podem ser classificadas como pastagens melhoradas, já as que apresentam maior reflectância de solo e menor de vegetação foram classificadas como degradadas. As pastagens moderadas são aquelas que apresentaram percentual considerado proporcional, tanto para a reflectância da vegetação quanto para a reflectância do solo.

O coeficiente de correlação pode variar em termos de valor de -1 a +1. Quanto maior for o valor absoluto do coeficiente, mais forte é a relação entre as variáveis. A interpretação desse coeficiente pode ser apreciada conforme a tabela 4:

Tabela 4: índices de coeficiente de correlação entre reflectância da imagem fração solo e vegetação das pastagens da MRG.

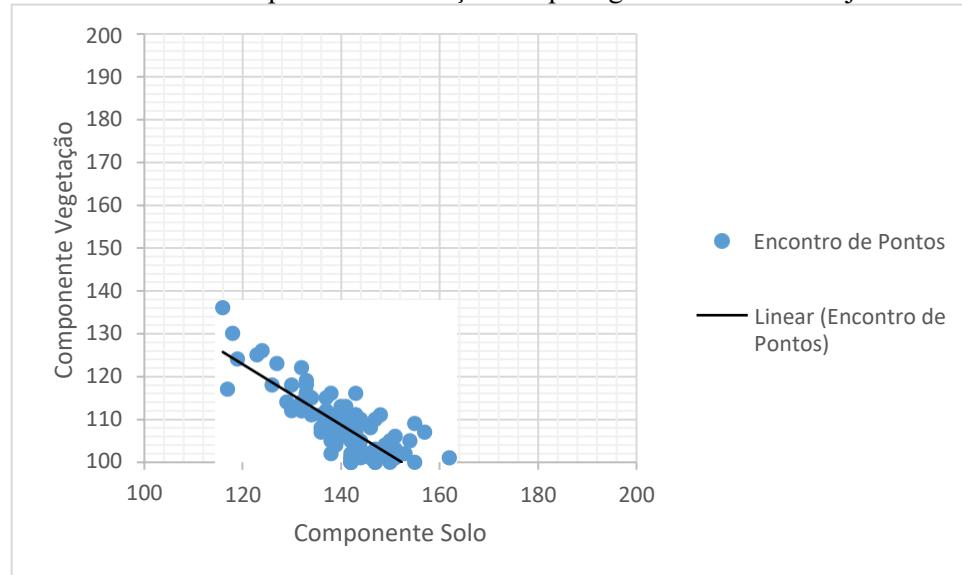
Coeficiente de correlação	Interpretação
Menor que -0,9 ou maior que 0,9	Correlação muito forte
De -0,9 a 0,7 ou de 0,7 a 0,9	Correlação forte
De -0,7 a -0,5 ou de 0,5 a 0,7	Correlação moderada
De -0,5 a -0,3 ou de 0,3 a 0,5	Correlação fraca
De -0,3 a 0,3	Correlação desprezível

Fonte: Adaptado de MUKAKA, M. M (2012)

Org.: VIÇOSO, L. C. B. (2017)

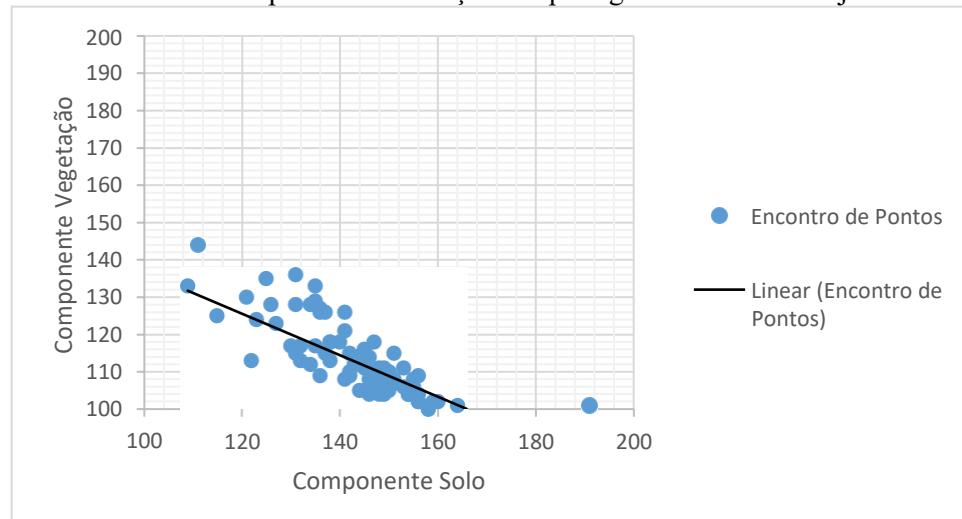
Foi aplicado o cálculo de dispersão para a verificação dos dados. O coeficiente de correlação apresentado nas pastagens foi o de -0,73 para as pastagens degradadas, 0,78 para as pastagens moderadas e de -0,80 para as pastagens melhoradas, o que é classificado como correlação forte. Os gráficos 01, 02 e 03 demonstram os índices de correlação lineares para o mês de julho.

Gráfico 1: Gráfico de dispersão e correlação das pastagens melhoradas de julho de 2016



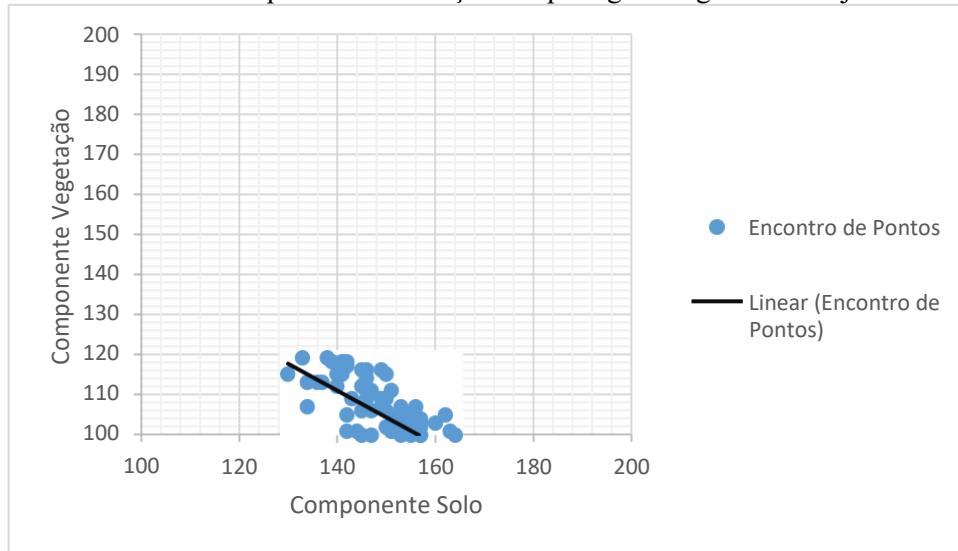
Fonte: Pontos coletados aleatoriamente no MLME fração solo e vegetação para as áreas classificadas como pastagens melhoradas no mês de julho
Org.: A autora (2017)

Gráfico 2: Gráfico de dispersão e correlação das pastagens moderadas de julho de 2016.



Fonte: Pontos coletados aleatoriamente no MLME fração solo e vegetação para as áreas classificadas como pastagens moderadas no mês de julho
Org.: A autora (2017)

Gráfico 3: Gráfico de dispersão e correlação das pastagens degradadas de julho de 2016



Fonte: Pontos coletados aleatoriamente no MLME fração solo e vegetação para as áreas classificadas como pastagens degradadas no mês de julho
Org.: A autora (2017)

É possível verificar que as pastagens para o mês de julho, mesmo as que foram classificadas como melhoradas, apresentaram alto índice de reflectância em relação ao componente solo. Em contrapartida, observou-se que o componente vegetação, para as pastagens melhoradas, apresentou resultados de alta reflectância, o que permitiu averiguar que as áreas são compostas de pastagens em boas condições de vigor vegetativo.

Para as pastagens moderadas, estas atingiram índices muito próximos dos resultados obtidos pelas pastagens degradadas. O que se pode observar é que existe uma correlação dos pontos coletados, sendo uma relação proporcional. As pastagens classificadas como moderadas ficaram mais aproximadas daquelas que apresentaram resultados com os componentes das pastagens degradados.

As pastagens degradadas para o mês de julho apresentaram alto índice de reflectância para o solo e baixo para a vegetação, na qual a reflectância do solo chegou aos 170 enquanto a vegetação 100, fato que apresenta ausência da vegetação. Nesse caso, o solo aparece com grande reflectância e indica altos graus de processos erosivos, o que foi percebido no trabalho de campo.

Os gráficos apresentaram índices lineares negativos, fato que salienta a alta presença de solo presente nos três tipos de pastagem, ressaltando que mesmo em pastagens classificadas como melhoradas, os solos aparecem em destaque.

Na figura 30 é possível especializar as áreas mapeadas pelas pastagens utilizando o MLME e, após isso, o classificador Isoseg. Os pontos coletados serviram de base para dar confiabilidade aos dados e, assim que verificadas as áreas classificadas como pastagens, passaram a ser utilizadas como procedimento de acurácia dos dados.

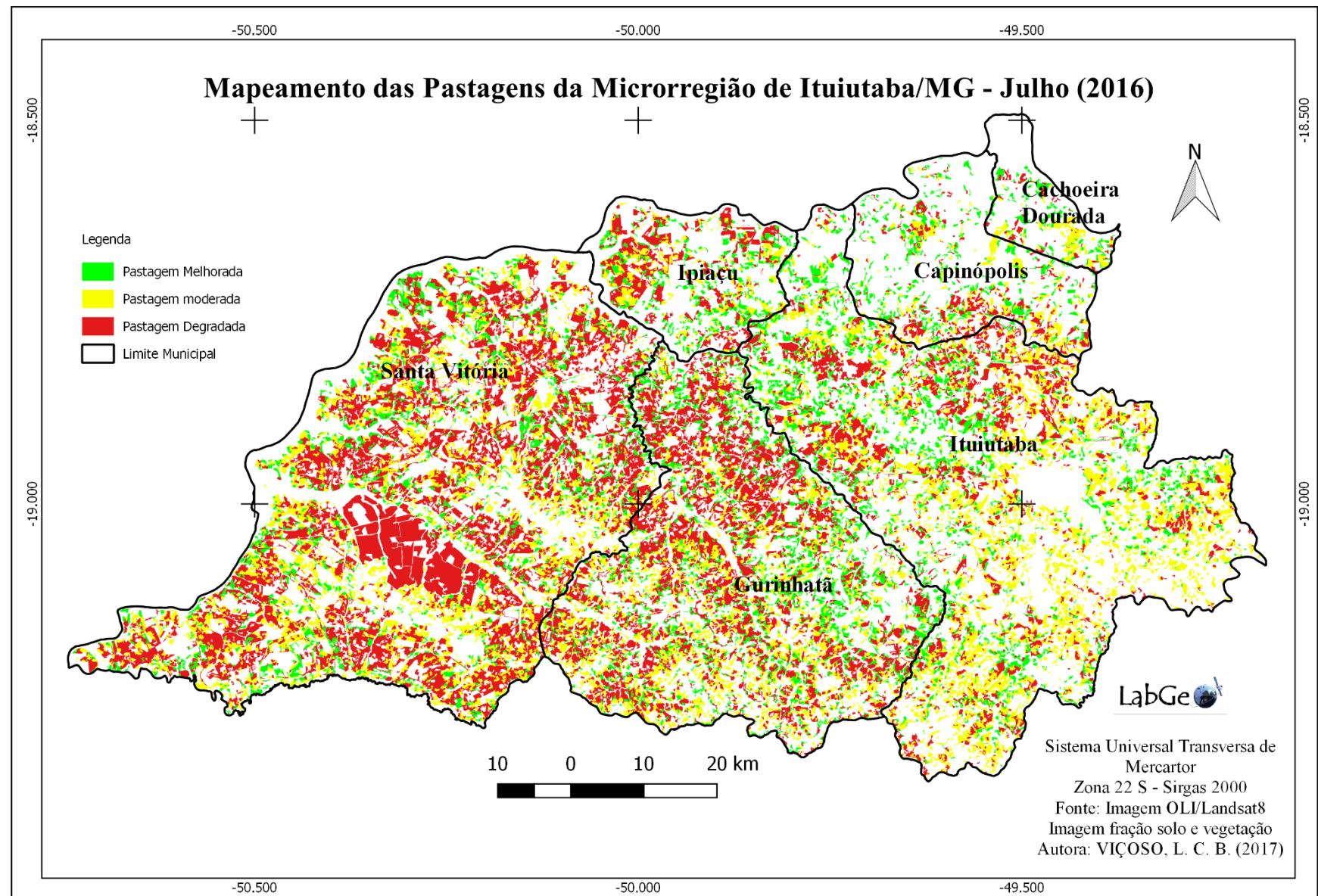
Tabela 5: Áreas ocupadas pelas pastagens degradadas, moderadas e melhoradas na microrregião de Ituiutaba no ano de 2016.

	Pastagem degradada	Pastagem Moderada	Pastagem Melhorada	TOTAL
Julho	207.090	111.619	80.651	399.360

Fonte: Mapeamento das pastagens da microrregião de Ituiutaba/MG (2016)

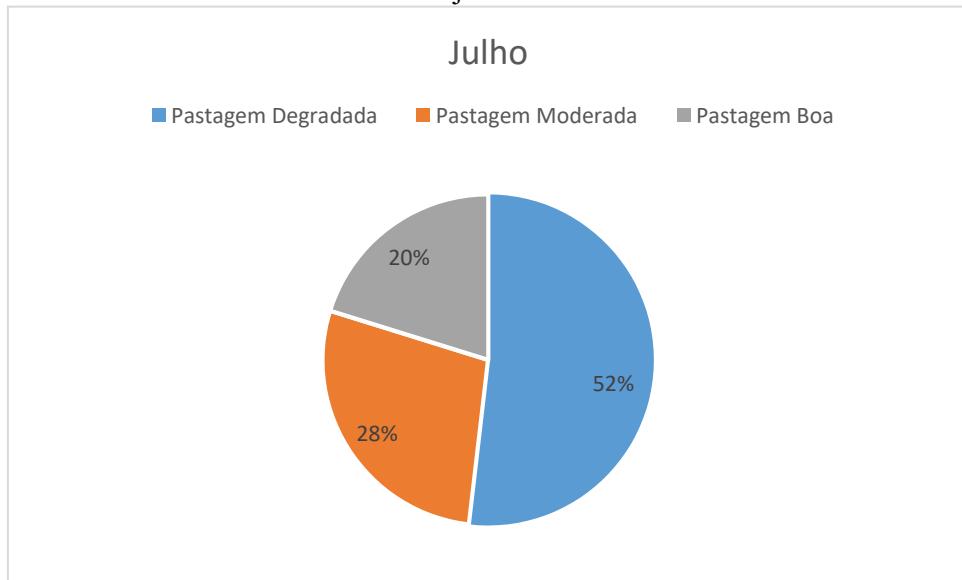
Org.: A autora (2017).

Figura 30: Mapeamento de classificação das pastagens da microrregião de Ituiutaba – Julho de 2016.



O gráfico quatro mostra a porcentagem que cada tipo classificado de pastagem ocupa na microrregião de Ituiutaba.

Gráfico 4: Porcentagem da ocupação das pastagens na microrregião de Ituiutaba/MG para o mês de julho.



Fonte: Mapeamento de classes de pastagens da microrregião de Ituiutaba/MG (2016)
Org.: A autora (2017)

Aplicou-se o índice Kappa também como procedimento de confiabilidade dos dados. O índice Kappa, segundo Baltar e Okano (2017), é uma medida de concordância interobservadora e mede o grau de concordância além do que seria esperado tão somente pelo acaso. Essa medida de concordância tem como valor máximo 1, em que esse valor 1 representa total concordância e os valores próximos e até abaixo de 0 indicam nenhuma concordância, ou a concordância foi exatamente a esperada pelo acaso. Um eventual valor de Kappa menor que zero, negativo, sugere que a concordância encontrada seja menor do que aquela esperada por acaso. Sugere-se, portanto, discordância, mas seu valor não tem interpretação como intensidade de discordância.

O cálculo do índice Kappa (K) é efetuado por meio da equação:

$$K = \frac{D - Q}{T - Q} \quad \text{onde} \quad Q = \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}$$

Em que:

X_{i+} = total da linha para uma dada categoria informacional;

X_{+i} = total da coluna para uma dada categoria informacional.

De acordo com Ladis e Koch (1977), as classificações geradas pelo índice Kappa podem variar conforme a tabela

Tabela 6: Características do índice Kappa

Índice Kappa (K)	Características
Menor que zero	Pobre
0 a 0,2	Desprezível
0,21 a 0,4	Suave
0,41 a 0,6	Moderado
0,61 a 0,8	Substancial / Grande
0,81 a 1,0	Quase perfeita

Fonte: Ladis e Koch (1977)

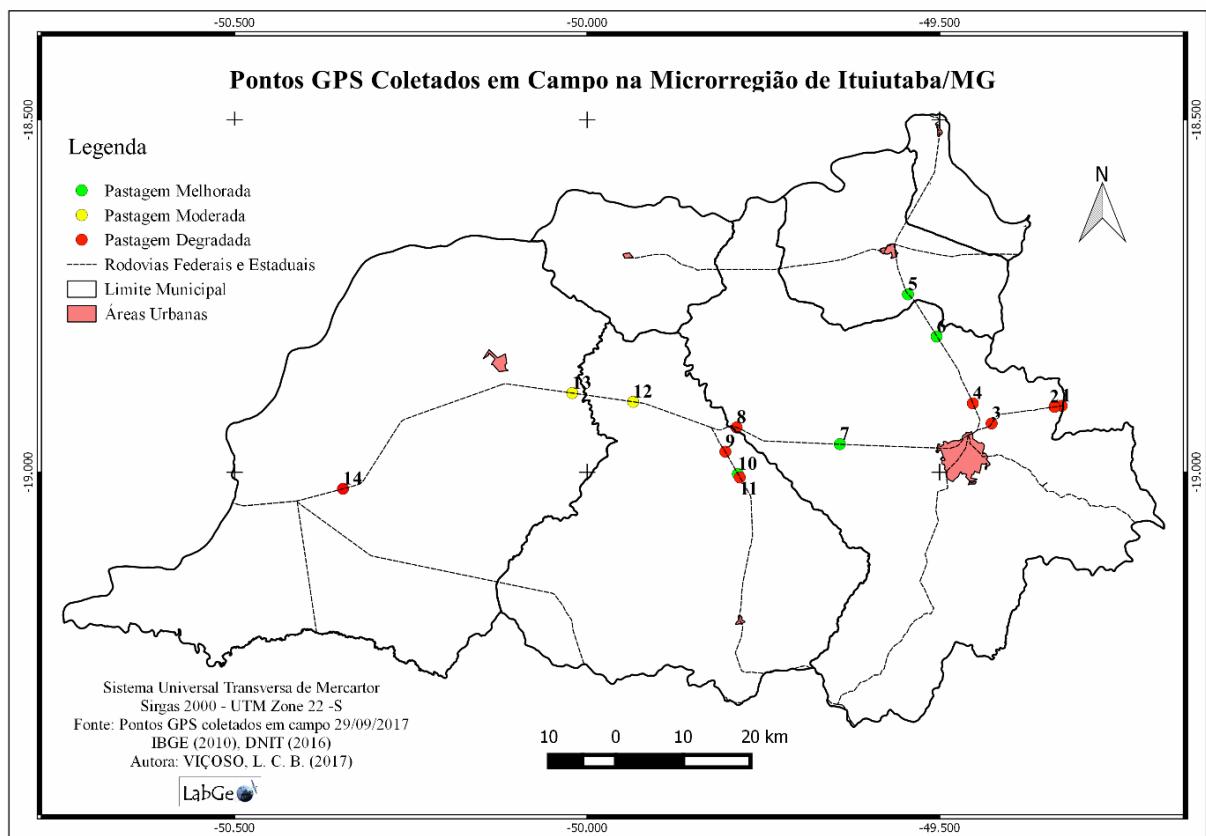
Foram coletadas 200 amostras aleatórias nas áreas que foram classificadas como sendo de pastagens e realizada uma comparação manual das áreas que foram classificadas como pastagens melhoradas, moderadas e degradadas. Após a análise, foi efetuado o cálculo do índice Kappa no programa Excel e constatou-se que o índice atingiu 0,63, o que é considerado substancial/grande na avaliação.

Para averiguar as áreas mapeadas pelas pastagens, e também constatar a acurácia dos dados, no dia 29 de setembro foi realizado o trabalho de campo. Para tal, foram escolhidos 13 pontos no intuito de verificar se as áreas mapeadas como pastagem estavam de acordo com o que se via no campo. As amostras também serviram de base para a classificação que se fez das pastagens degradadas, moderadas e melhoradas e, assim, foi possível comparar com as demais áreas. A figura 31 e a tabela 7 mostram os pontos coletados dentro da MRG de Ituiutaba por pontos coletados via GPS e averiguados.

Tabela 7: Pontos coletados em campo na microrregião de Ituiutaba/MG no dia 29/09/2017.

PONTO	LOCAL	TIPO DE PASTAGEM
1	Ituiutaba divisa com Prata	Degrada
2	Ituiutaba divisa com Prata	Degrada
3	Ituiutaba na estrada para Capinópolis	Degrada
4	Ituiutaba na estrada para Capinópolis	Degrada
5	Ituiutaba na estrada para Capinópolis	Melhorada
6	Ituiutaba na estrada para Capinópolis	Melhorada
7	Ituiutaba sentido Santa Vitoria	Melhorada
8	Ituiutaba sentido Santa Vitoria	Degrada
9	Estrada de entrada para Gurinhatã	Degrada
10	Estrada de entrada para Gurinhatã	Melhorada
11	Estrada de entrada para Gurinhatã	Degrada
12	Gurinhatã sentido Santa Vitória	Moderada
13	Estrada de Santa Vitória	Moderada
14	Estrada de Santa Vitória	Degrada

Figura 31: Pontos GPS coletados em campo para verificação dos dados.



Em posse dos pontos coletados em campo por GPS, foi possível comprovar que as áreas destinadas às pastagens classificadas pelo MLME estavam em conformidade. As figuras 32, 33 e 34 apresentam as representações das pastagens que foram classificadas em campo como melhorada, moderada e degradada.

Figura 32: Imagens coletadas em campo de pastagens melhoradas.



Fonte: Campo em 29 de setembro de 2017

Autora: VIÇOSO, L. C. B. (2017)

Figura 33: Imagens coletadas em campo de pastagens moderadas.



Fonte: Campo em 29 de setembro de 2017

Autora: VIÇOSO, L. C. B. (2017)

Figura 34: Imagens coletadas em campo de pastagens degradadas.



Fonte: Campo em 29 de setembro de 2017
Autora: VIÇOSO, L. C. B. (2017)

O trabalho de campo foi primordial para mais uma vez dar confiabilidade por meio dos pontos coletados. Em posse dos pontos, foi possível verificar que as áreas estão em conformidade com o que foi mapeado. Ainda que se tenham obtidos 14 pontos amostrais, estes serviram de embasamento para a verificação de outras áreas que possuíam valores de reflectância similares.

O método adotado, por meio do MLME, apontou que a microrregião de Ituiutaba possui 207.090 ha de pastagens degradadas, o que corresponde à 51,8 % das áreas mapeadas como pastagens. Observou-se que, como na maior parte do país, a microrregião segue o padrão de mais da metade das áreas destinadas as pastagens ainda em estágio de degradação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

As técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento mostraram-se satisfatórias para os mapeamentos e para a classificação das pastagens da microrregião de Ituiutaba/MG. Quando não há a necessidade do contato direto com o alvo, estas se mostram ferramentas primordiais e de grande valia, oferecendo dados confiáveis e de embasamento concreto para outros estudos.

A metodologia aplicada foi satisfatória. O MLME como técnica escolhida para a pesquisa mostrou resultados promissores, e não somente foi possível avaliar as áreas destinadas às pastagens, como também classificá-las quanto ao seu estágio de degradação. O MLME como técnica de realce da reflectância dos alvos permitiu que as áreas destinadas às pastagens fossem mais bem identificadas, já que as imagens-fração solo e vegetação realçaram os alvos, permitindo a interpretação destes para a geração do mapeamento, dos gráficos e dos cálculos matemáticos.

O índice de realce dos alvos, por meio do MLME, não somente identificou as áreas destinadas às pastagens como também outros alvos, a exemplo de áreas de agricultura, vegetação natural, reflorestamento e áreas urbanas. A pesquisa, por se tratar de identificar somente as pastagens, não utilizou a imagem-fração água/sombra, mas cabe salientar que esta destacou com precisão as áreas ocupadas pelos cursos d'água na microrregião. Apesar de não ser o propósito desta pesquisa, o MLME mostrou ótimos resultados ao se tratar de detalhar o uso da terra por meio do realce espectral dos alvos.

As pastagens degradadas ocupam mais da metade das áreas destinadas a esse uso, em que, segundo o mapeamento realizado, representam 207.090 ha, o que corresponde à 51,8 %. Esses dados são preocupantes diante do cenário mundial na produção de carnes, já que quanto maior a degradação das áreas destinadas às pastagens maior serão os insumos utilizados no alimento do gado, além de acarretar na abertura de novas áreas destinadas à pecuária e/ou na substituição das pastagens por outros usos.

Na microrregião foram, também, detectadas 111.619 ha, número equivalente à 28% das áreas destinadas às pastagens como pastagens moderadas, já que estas ainda não possuem o vigor vegetativo necessário para suprir as necessidades de uma pastagem melhorada. Em contra partida, essas pastagens classificadas como moderadas também possuem características que podem, futuramente, virem a ser classificadas como pastagens degradadas se não haver maiores investimentos voltados para manutenção dessas áreas.

As pastagens melhoradas ocuparam 80.651 ha das áreas destinadas às pastagens, fato que representa 20,1% das áreas destinadas a esse uso. Esses valores são considerados baixos em virtude do total da área da microrregião, mas pode-se verificar em campo que as pastagens melhoradas estão recebendo o tratamento adequado, e também mostram que é possível manter o vigor da pastagem mesmo em grandes períodos de estiagem.

Cabe ressaltar que o trabalho de campo visa dar credibilidade e veracidade aos dados coletados, e também serve como validação dos dados. Apesar de ter ocorrido a coleta de somente 14 pontos em campo, eles serviram de embasamento para a verificação de outras áreas em toda MRG, permitindo a abrangência das amostras.

O conhecimento e a proximidade com a área contribuíram para a identificação das áreas destinadas ao uso das pastagens e, consequentemente, para a acurácia dos dados. Estudos voltados para a temática MRG ainda são precários. Além de que as técnicas que englobam os estudos das pastagens merecem maior destaque no cenário das ciências geotecnológicas.

Assim como no Brasil, a microrregião de Ituiutaba acompanha o segmento de ter mais de 50% das suas áreas destinadas às pastagens em algum estágio de degradação. Muitas vezes, a falta de informação, por parte do agricultor ou até mesmo a falta de incentivos fiscais dos órgãos públicos, dificultam a manutenção e/ou a recuperação dessas áreas. Sabe-se que as pastagens degradadas oferecem menores condições para o pastoreio e, consequentemente, aumentam os valores investidos em outras formas de alimento, como rações e insumos.

Faz-se necessário maiores investimentos e mais acesso à recuperação das pastagens degradadas no intuito de melhorar a produtividade e o uso racional dessas áreas. Para tal, a criação de políticas públicas mais acessíveis, financiamentos com taxas de juros menores e a instrução dos agricultores, por parte dos sindicatos que os representam, seriam algumas das formas de mitigar e promover ações que possam mudar a forma de manejo das pastagens.

6. REFERÊNCIAS

- ALVES, A. E.; Degradação de Pastagens na Amazônia Ocidental – Avaliação e Alternativas de Recuperação. Rio Branco, 2011. 92 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/270646417_Degradacao_de_Pastagens_Avaliacao_e_Alternativas_de_Recuperacao>. Acesso em: 31 de julho de 2017.
- ANDRADE, R. G. et al. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. Engenharia na Agricultura, v. 21, n. 3, p. 234–243, 2013.
<https://doi.org/10.13083/1414-3984.v21n03a02>
- ANDRADE, R.G.; TEIXEIRA, A.H.C.; LEIVAS, J.F.; SILVA, G.B.S.; NOGUEIRA, S.F.; VICTORIA, D.C.; VICENTE, L.E.; BOLFE, E.L. Indicativo de pastagens plantadas em processo de degradação no bioma Cerrado. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa, PB. XVII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. Artigos, p. 1585-1592. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0300.pdf>>. Acesso em: 26 de outubro. 2016.
- Andrade, R. et al. Monitoramento de processos de degradação de pastagens a partir de dados Spot Vegetation. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2011.
- Antunes, S. S. (2007). Integração dos SIG/WEBSIG na formação inicial de docentes do 1º ciclo do Ensino Básico. UNL - Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Lisboa.
- ASNTER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N.; Selective loggin in the Brazilian Amazon. Science, 310, 480 – 482, doi:10.1126/science.1118051.
<https://doi.org/10.1126/science.1118051>
- ASNTER, G. P.; BUSTAMANTE, M. M. C.; TOWNSEND, ALAN. R. Scale dependence of biophysical structure in deforested areas bordering the Tapajo's National Forest, Central Amazon. Remote Sensing of Environment, Março de 2003. Disponível em:
ftp://fapespclima.ccst.inpe.br/lba/inpe/lba_archives/Prelba/site/documentos/science/GregoryAsner.pdf>. Acesso em: 31 de julho de 2017.
- BRASIL. Decreto nº 7.390 de 09 de dezembro de 2010 que institui a Política Nacional sobre Mudanças no Clima – PNMC. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm>. Acesso em: 06 novembro de 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Dados sobre Programa ABC. 2012. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 06 novembro de 2015.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONES, F. L. Marco referencial: integração lavoura- pecuária-floresta (ILPf). Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1007118/sistemas-de-integracao-lavoura-pecularia-floresta-ilpf--experiencias-no-brasil>>. Acesso em: 20 de outubro de 2017.
- BORGES, K. M. R.; SANTOS, P. M. C. Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME aplicado ao monitoramento do Cerrado, Bacia do Rio Carinhanha (MG-BA). In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal-RN, 25-30 de abril de 2009. p. 5663-5669. Disponível em:
<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.13.19.00/doc/5663-5669.pdf>>. Acesso em: 27 de junho de 2017.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e Aquecimento Global. 2007, 9 p. Disponível em: <http://www.aquecimento.cnpm.embrapa.br/bibliografia/agr_e_aquec_Cerri_2007.pdf>. Acesso em:06 novembro de 2015.

CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Guia de financiamento para agricultura de baixo carbono. Brasília – DF, 2012. 44 p. Disponível em:<<http://agriculturabaixocarbono.files.wordpress.com/2012/01/cartilhaabcweb.pdf>>. Acesso em:06 novembro de 2015.

COSTA, Benedito Marques. Tipos de Pastagens sob o Ponto de Vista Ecológico. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <http://www.agronline.com.br/agrociencia/pdf/public_47.pdf>. Acesso em: Acesso em:06 novembro de 2015.

CYPRIANO, Marcelo Pertensen; HORTA, Luis Fernando; REIS, Guilherme; PERES, Mariana Soares. Variedades de Pastagens. Área Técnica Econômica – Banco Original. Janeiro de 2012. Disponível em: <http://www.bancooriginal.com.br/uploads/INFORMACOES_FINANCEIRAS_INFORME_PECUARIO/Janeiro_2012_Variedades%20das%20Pastagens.pdf>. Acesso em: 06 novembro de 2015.

DAVISON, E. A.; ASNER, G. P.; STONE, T. A.; NEIL, C. FIGUEIREDO, R. O. Objective indicators of pasture degradation from spectral mixture analysis of Landsat imagery. Journal of Geophysical Research, Vol. 113, julho de 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

FERREIRA, Manuel Eduardo. et al. Uso do Modelo Linear de Mistura Espectral para o Mapeamento Sistemático e Operacional do Bioma Cerrado: Possibilidades, Implicações e Procedimentos Metodológicos. Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, MG. P. 657.

FERREIRA, L. G.; SOUSA, S. B.; ARANTES, A. E. Radiografias das Pastagens do Brasil. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG/UFG. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Goiânia/GO, dezembro de 2004. 214 p. Disponível em: <http://ecofinancas.web1325.kinghost.net/wp-content/uploads/2015/01/relatorio_sae_finalv8_10_12_14.pdf>. Acesso em: 27 de junho de 2017.

FERREIRA, M. E.; NOGUEIRA, S. H. M.; SOARES, D. O. Pasture Validation Network (PAVAN):primeiro Sistema on-line para acompanhamento e validação de amostras de pastagens no Brasil. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. João Pessoa - PB, INPE, 25 à 29 de abril de 2015. p.3036-3043.

GALINARI, G. Embrapa mapeia degradação das pastagens do cerrado. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2361250/embrapa-mapeia-degradacao-das-pastagens-do-cerrado>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2017.

GAO, B. NDWI – A normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. Elsevier, abril de 1996. Disponível em: <http://ceeserver.cee.cornell.edu/wdp2/cee6150/Readings/Gao_1996_RSE_58_257-266_NDWI.pdf>. Acesso em: 27 de junho de 2017.

Gao, Q. et al. Grassland degradation in Northern Tibet based on remote sensing data. Journal of geographical sciences, v. 16, n. 2, p. 165–173, 2006.
<https://doi.org/10.1007/s11442-006-0204-1>

GARCIA, F. N. Monitoramento das Pastagens Cultivadas no Cerrado Goiano a Partir de Imagens MODIS Índices de Vegetação (MOD13Q1). Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio-ambientais, 2012. 61f.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados sobre pastagens no Brasil, ano base 2006. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=11&i=P&c=854>>. Acesso em: 06 novembro de 2015.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Sensoriamento Remoto: Conceitos fundamentais e plataformas. Santa Maria - RS, 2010. Disponível em: <http://www.inpe.br/crs/crectealc/pdf/ronald_ceos.pdf> Acesso em: 11 de dezembro de 2015.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Manuais – Tutorial de Geoprocessamento. DPI/INPE, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/segmentacao.html>>. Acesso em: 31 de julho de 2017.

IPCC. 2007. Cambio Climático 2007: Mitigación del Cambio Climático. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. Resumen Técnico. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm>. Acesso em: 06 novembro de 2015.

KLINK, C.A.; MOREIRA, A.G. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Ed.). The Received in 10 de outubro de 2007 and approved in 20 de dezembro de 2007 Cerrados of Brazil. Nova Iorque: Columbia University Press, 2002. p.69-88.
<https://doi.org/10.7312/oliv12042-004>

Macedo, M.C.M. Integração lavoura-pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. Revista Brasileira de Zootecnia, v.28, p.133-146, 2009
<https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300015>

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G.; ARAÚJO, A. R. Degradação de Pastagens, Alternativas de Recuperação e Renovação e Formas de Mitigação. In: Encontro de Adubação de Pastagens da Scot Consultoria – TEC Fértil, 1, 2013, Ribeirão Preto, SP. p. 158-181. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/976514>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Programa de Agricultura de Baixo Carbono. Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br/abc/>>. Acesso em: 01 de agosto de 2013.

MATOS, Patrícia Francisca de; PESSÔA, Vera Lúcia Salazar. A Territorialização do Agronegócio nas Áreas de Cerrado. In: PORTUGUÊZ, Anderson Pereira; MOURA, Gerusa Golçalves; COSTA, Rildo Aparecido (Orgs.). Geografia do Brasil Central: enfoques teóricos e particularidades regionais. Uberlândia: Assis Editora. 2011.

MELADO, Jurandir. Manejo Sustentável de Pastagens: Pastoreio Racional Voisin – Pastagem ecológica. Universidade Federal do Mato Grosso, 2008. Disponível em :<http://www.fazendaecologica.com.br/framework/fw_files/cliente/fazendaecologica/ged/lt_servico/29/1_14_18_31_201076203427.pdf>. Acesso em: 06 novembro de 2015.

OLIVEIRA, O. C.; OLIVEIRA, I. P. de; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Chemical and Biological indicators of decline/degradation of Brachiaria pasture in Brazilian Cerrado. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880903004390>>. Acesso em: 31 de julho de 2017.

OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M. Recuperação de Pastagens Degradadas Para Sistemas Intensivos de Produção de Bovinos. Circular Técnica. São Carlos: Embrapa, Março de 2005. Disponível em:<<http://www.cppse.embrapa.br/sites/default/files/principal/publicacao/Circular38.pdf>>. Acesso em : 17 de maio de 2016.

PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira do Ministério do Meio Ambiente. Embrapa Cerrados/ Universidade Federal de Uberlândia (Departamento de Geografia)/ Universidade Federal de Goiás (Instituto de Estudos Sócio-Ambientais), 2007.

REZENDE, M; ROSENDO, J. S. Análise da evolução da ocupação do uso da terra no município de Ituiutaba-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Horizonte Científico. Volume 3, nº 1, 2009. Disponível em:
<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontcientifico/article/view/4361>. Acesso em: 22 abr 2012.

RICHARDSON, R. J. Pesquisa Social - Métodos e Técnicas. 3^a edição. São Paulo, Atlas, 2008. 334 p. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/226198537/01-Richardson-Pesquisa-Social-MCtodos-e-TCcnicas-pdf-PdfCompressor-643562>> Acesso em: 14 de maio de 2016.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica. Uberlândia, 1996. 104 p.

Rosa, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. 7º Ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 264p.

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, SC, INPE, 21 a 26 de Abril de 2007. p.4209-4216. Disponível em:
<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.15.14/doc/4209-4216.pdf>. Acesso em: 04 de novembro de 2015.

SANTOS, G. M. Caracterização Biofísica e Radiométrica de Pastagens Cultivadas no Cerrado Goiano. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Goiás – Instituto de Estudos Sócio- Ambientais, 2010. 64 f.

SANTOS, C. O.; ARANTES, A. E.; ANDRADE, A. C. C.; PARENTE, L. L.; SOUZA, G. F. A.,

SILVEIRA, S. A. Software livre: a luta pela liberdade do conhecimento. São Paulo: Editora Perseu Abramo, 2004, 80 p. Disponível em: <http://www.fpabramo.org.br/uploads/Software_livre.pdf>. Acesso em 20 de set. 2014.

TEIXEIRA, C. G. Validação do Modelo Linear de Mistura Espectral em Imagens Aster/TERRA a partir de dados IKONOS. Dissertação de mestrado - INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, 2005. 127f.

Shimabukuro, Y. E.; Ponzoni, F. J. Mistura Espectral: modelo linear e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 127 p.

SHIMABUKURO, Y. E.; Novo, E.M.; PONZONI, F.J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira: Brasília, vol. 33, número especial, p. 1729- 1737, 1998.

Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.; Mertes, L.K. Amazonriver mainstem foodplain Landsat TM digital mosaic. International Journal of Remote Sensing, v.23, p.57-69,2002.
<https://doi.org/10.1080/01431160010029165>

Shimabukuro, Y. E.; Ponzoni F. J. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

SPAIN, James M; LASCANO Y, Carlos E. Establecimiento y Renovación de Pasturas: Conceptos, experiencias y enfoque de la investigación. Sexta reunión Del Comité Asesor de La Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Colombia, dezembro de 1991. 426 p.

TEIXEIRA, Claudio Gelelete. Validação do modelo linear de mistura espectral em imagens Aster/Terra a partir de dados Ikonos. 2004. 127 f. Dissertação (mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2004.

VIÇOSO, Laíza Castro Brumano; ROSENDO, Jussara dos Santos. O Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) no Município de Ituiutaba – MG. 2014. Disponível em:
<http://docplayer.com.br/15579136-Professora-dra-jussara-dos-santos-rosendo-orientadora-e-professora-universidade-federal-de-uberlandia-ufu-e-mail-jussara-facip-ufu.html>. Acesso em: 23 maio 2016.

VETTORAZZI, C. A. Técnicas de Geoprocessamento no Monitoramento de Áreas Florestadas. In: Série Técnica IPEF, Piracicaba- SP. v.10, nº 29. Novembro de 1996. p. 45-51. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr29/cap06.pdf>>. Acesso em: 09 de setembro de 2016.

XAVIER, A. C.; VITORAZZI, C. A.; MACHADO, R. E. Relação entre o índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens ETM+/Landsat. Revista Engenharia Agrícola. Vol 24, nº 2. Botucatu, SP. Maio/Agosto, 2004. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162004000200022. Acesso em: 27 de junho de 2017.

ZUCCHI, Anderson Adilson; SOARES, Cezar Augusto. Agricultura de Baixo Carbono (ABC): crédito para projetos ambientais sustentáveis. In: Anais do III ENDICT – Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica, Paraná, 19 a 21 de outubro de 2011. Toledo – PR, 2011. 6p. Disponível em:
http://www.utfpr.edu.br/toledo/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/anais-do-endict-encontro-de-divulgacao-cientifica-e-tecnologica/anais-do-iii-endict/AGRICULTURA%20DE%20BAIXO%20CARBONO%20_ABC_-%20CR-eEDITO%20PARA%20PROJETOS%20AMBIENTAIS%20SUSTENT-uVEIS.pdf. Acesso em: 01 de agosto de 2013

7. ANEXOS

ANEXO 1

**COMO BAIXAR IMAGENS OLI/LANDSAT 8 COM CORREÇÃO
ATMOSFÉRICA.**

Acesse o site <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.

1. Enter Search Criteria

To narrow your search area: type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the [help documentation](#)), and/or choose a date range.

Type: WRS2 ▾ Path: 221 Row: 73

Coordinates Predefined Area Shapefile KML

Degree/Minute/Second Decimal

No coordinates selected.

Use Map Add Coordinate Clear Coordinates

Date Range Result Options

Search from: 06/01/2016 to: 07/31/2016

Search months: (all)

Data Sets Additional Criteria Results

2. Select Your Data Set(s)

Check the boxes for the data set(s) you want to search. When done selecting data set(s), click the **Additional Criteria** or **Results** buttons below. Click the plus sign next to the category name to show a list of data sets.

Use Data Set Prefilter ([What's This?](#))

Data Set Search:

- Digital Line Graphs
- Digital Maps
- EO-1
- Global Fiducials
- Global Land Survey
- HCMW
- ISERV
- Land Cover
- Landsat Archive
 - Collection 1 Level-1
 - Pre-Collection Level-1
 - Collection 1 Higher-Level (On-Demand)
 - L8 OLI/TIRS C1 Higher-Level
 - L7 ETM+ C1 Higher-Level
 - L4-5 TM C1 Higher-Level
- Landsat Legacy
- NASA LPDAAC Collections
- Radar

Results »

Baixe a barra de rolagens e clique em “Results”

Na área de trabalho à esquerda do mapa, irá aparecer as opções selecionadas conforme a data das imagens solicitadas. Clique no ícone do “carrinho” e após todas as imagens selecionadas, clique em “Item Basket” conforme orientações:

Seguro | https://earthexplorer.usgs.gov

USGS
science for a changing world

EarthExplorer

Home 1 New System Message Save Criteria Load Favorite Manage Criteria

Item Basket (1) laizabrumano@hotmail.com RSS Feedback Help

Page Expires In 1:59:56 C

Search Criteria Data Sets Additional Criteria Results

4. Search Results

If you selected more than one data set to search, use the dropdown to see the search results for each specific data set.

Show Result Controls

Data Set Click here to export your results »

L8 OLI/TIRS C1 Higher-Level

To order Surface Reflectance products, click the Order Scene icon for the desired scenes. Go to the Item Basket (top toolbar) or View Item Basket (below result list) to review order. Select Proceed to Checkout then Submit Order to initiate the processing for Surface Reflectance products. For more information on these data products, see <https://landsat.usgs.gov/landsat-surface-reflectance-high-level-data-products>.

Displaying 1 - 4 of 4

ID:LC08_L1TP_221073_20160721_20170323_01_T1
Acquisition Date:21-JUL-16
Path:221
Row:73

https://earthexplorer.usgs.gov/order

Mapa Satélite (75° 52' 25" N, 085° 57' 25" W) Options Overlays

Seguro | https://earthexplorer.usgs.gov/order

USGS
science for a changing world

EarthExplorer

Home 1 New System Message

Please Note: This page will expire at 4:36:58 PM CDT. Once expired, you will be logged out and your order may be lost.

Order

Note: Data sets may contain items with multiple product options. Expand a data set to view your list of ordered scenes including metadata and product options.

▲ L8 OLI/TIRS C1 Higher-Level (1)
▢ Remove All Scenes ▢ Modify Options For All Scenes

LC08_L1TP_221073_20160721_20170323_01_T1

Save Changes Proceed To Checkout »

Accessibility FOIA Privacy Policies and Notices Google Maps API Disclaimer

U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey
URL: https://earthexplorer.usgs.gov
Page Contact Information: cuttner@usgs.gov
Page Last Modified: 03/28/2017

USA.gov

Seguro | https://earthexplorer.usgs.gov

USGS
science for a changing world

EarthExplorer

Home 1 New System Message

Please Note: This page will expire at 4:37:45 PM CDT. Once expired, you will be logged out and your order may be lost.

Order

Data Set	Qty.
L8 OLI/TIRS C1 Higher-Level	1

Return To Item Basket Submit Order

Accessibility FOIA Privacy Policies and Notices Google Maps API Disclaimer

U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey
URL: https://earthexplorer.usgs.gov
Page Contact Information: cuttner@usgs.gov
Page Last Modified: 03/28/2017

USA.gov

USGS
science for a changing world

EarthExplorer

Home 1 New System Message Item Basket (0) laizabrumano@hotmail.com RSS Feedback Help

Order #0101706131954

Note: This order summary page will expire at 4:38 PM CDT. Once expired, it will no longer be available for viewing. An email has been sent to your contact email address containing a copy of this summary.

L8 OLI/TIRS C1 Higher-Level

NOTE: This is confirmation of your Surface Reflectance order. A separate email will be sent to you when the order begins processing and another when the order is complete.

Entity ID	Product Description	Processing Parameters	Options	Output Media
LC08_L1TP_221073_20160721_20170323_01_T1	L8 OLI/TIRS COLLECTIONS LAND SURFACE REFLECTANCE ON-DEMAND	None	None	DWNLD

[Return To EarthExplorer](#)

Accessibility FOIA Privacy Policies and Notices Google Maps API Disclaimer
 U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey
 URL: <http://earthexplorer.usgs.gov>
 Page Contact Information: custserv@usgs.gov
 Page Last Modified: 03/28/2017

Será enviado um e-mail para o qual está cadastrado no sistema com o pedido da ordem de serviço solicitada.

USGS Online Order Confirmation (0101706131954)

USGS/EROS <custserv@usgs.gov>
 Hoje, 16:38
 Você

Responder |

USGS Online Order Confirmation — 0101706131954

Your order number 0101706131954 has been received.

Order Details

NOTE: This is confirmation of your Surface Reflectance order. A separate email will be sent to you when the order begins processing and another when the order is complete.

LC08_L1TP_221073_20160721_20170323_01_T1	L8 OLI/TIRS COLLECTIONS LAND SURFACE REFLECTANCE ON-DEMAND	None	None	DWNLD
----------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------	------	------	-------

Order Tracking

Order Details

NOTE: This is confirmation of your Surface Reflectance order. A separate email will be sent to you when the order begins processing and another when the order is complete.

LC08_L1TP_221073_20160721_20170323_01_T1	L8 OLI/TIRS COLLECTIONS LAND SURFACE REFLECTANCE ON-DEMAND	None	None	DWNLD

Order Tracking

Use the following link to check on the status of your order <https://earthexplorer.usgs.gov/order/track/orderNum/0101706131954>

Note: Scenes displaying a "Duplicate" status indicate the scenes have been submitted for processing by another order. When the data is processed, anyone who ordered it will receive download notification. If scenes display a "Complete" status, you may return to GloVis, EarthExplorer or HDDSExplorer to download the data.

Ao clicar no link que acompanha o e-mail, será exibido a seguinte tela que informa o status do processamento do pedido das imagens.

The screenshot shows a web browser window for the USGS EarthExplorer website. At the top, there's a header with the USGS logo and a banner image of a satellite over a landscape. The URL in the address bar is https://earthexplorer.usgs.gov/order/track/orderNum/0101706131954. The main content area displays an order tracking table:

Unit #	Entity ID	Product	Status
1	LC08_L1TP_221073_20160721_20170323_01_T1	L8 OLITIRS COLLECTIONS LAND SURFACE REFLECTANCE ON-DEMAND	Queued for Processing
Unit #	Entity ID	Product	Status

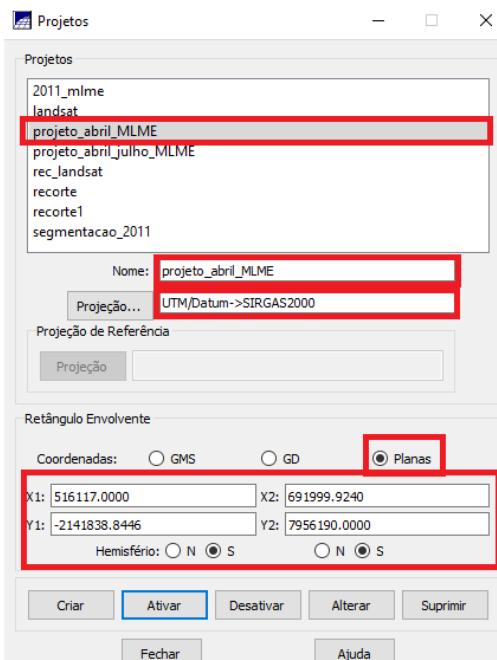
Below the table is a blue button labeled "Download This Scene List". At the bottom of the page, there's a footer with links to Accessibility, FOIA, Privacy, Policies and Notices, Google Maps API Disclaimer, and a USA.gov logo. There's also some small text about the USG Department of the Interior U.S. Geological Survey.

Anexo 2

Passo a passo da aplicação do MLME

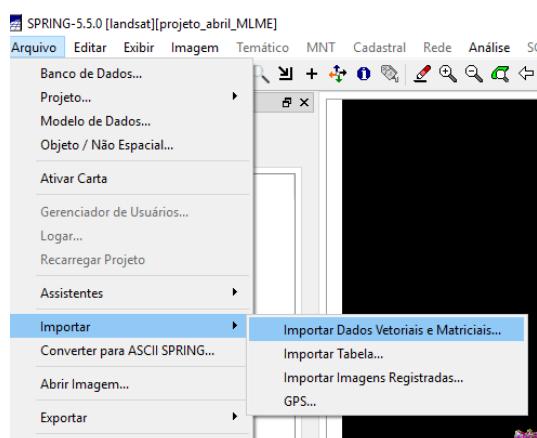
O primeiro passo consiste em criar um projeto dentro do Spring 5.5.0 de acordo com as necessidades da área de estudo a ser pesquisada. Para passo a passo de criação de projetos no Spring deve ser acessado o manual do Spring que encontra-se disponível no link : < http://www.mundogeomatica.com.br/livros/livro_spring_5.1.2_aplicacoes_praticas/livrospring512passoapassoaplicacaopratica.pdf>.

Para o caso abaixo exemplificado, serão utilizadas as imagens do satélite OLI/Landsat 8 disponibilizadas no site da USGS já com correção atmosférica e podem ser adquiridas conforme o tutorial anterior.

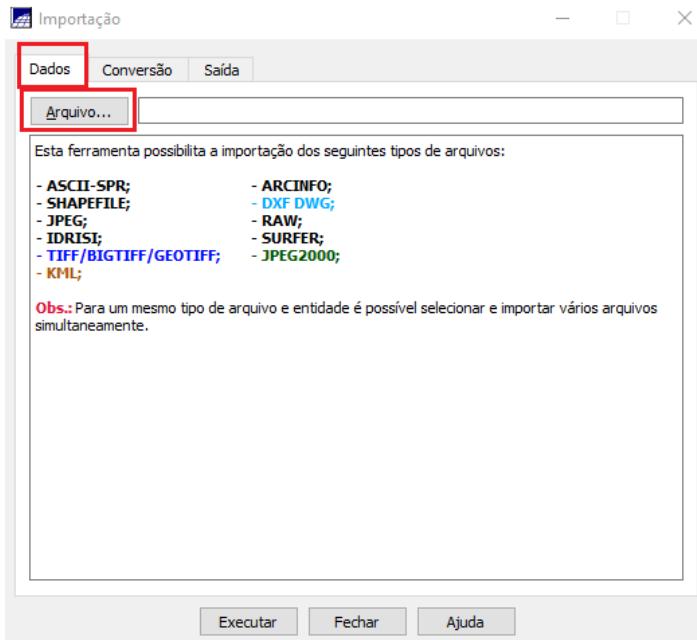


As coordenadas devem ser preenchidas de acordo com a área de pesquisa a ser aplicada o MLME.

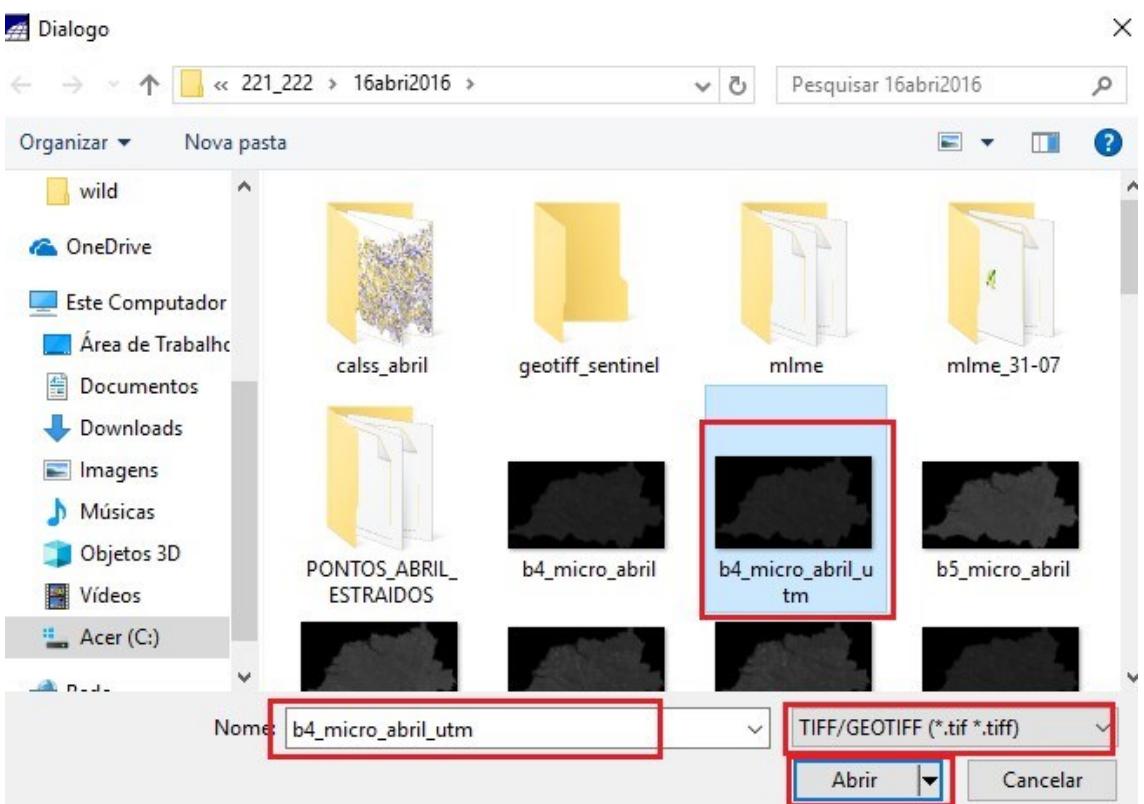
Após a criação do projeto, as imagens devem ser importadas para o projeto conforme mostrado:



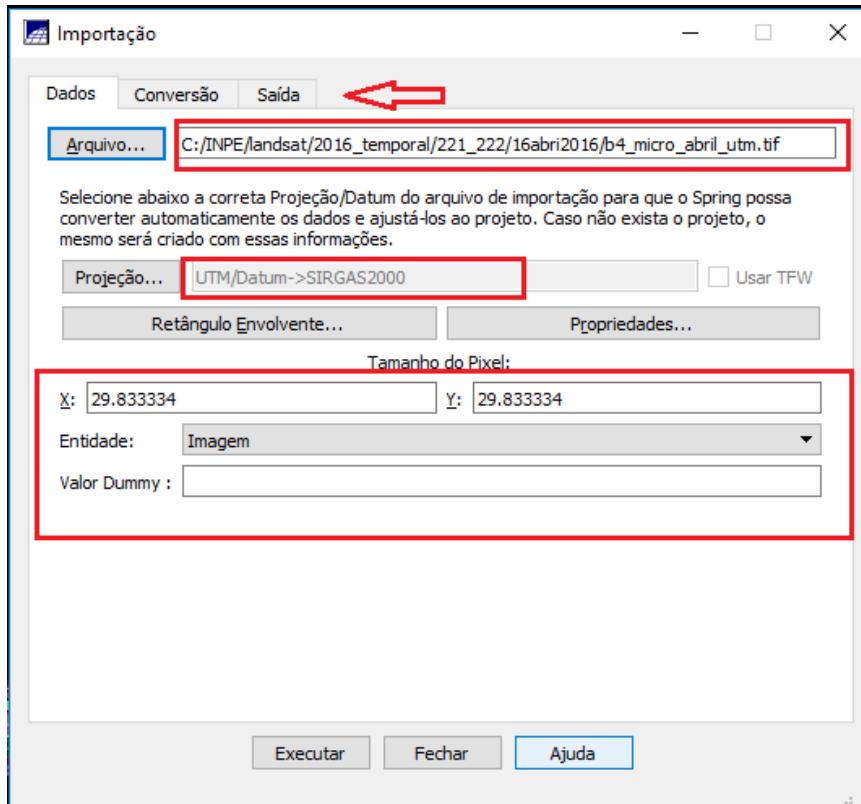
Será aberto a janela “importação” onde na aba “Dados”, clique em > Arquivo. Esse passo, direcionará para a janela de “dialogo”, onde deve-se procurar a pasta onde encontra-se as imagens já devidamente tratadas e recortadas conforme a área de interesse.



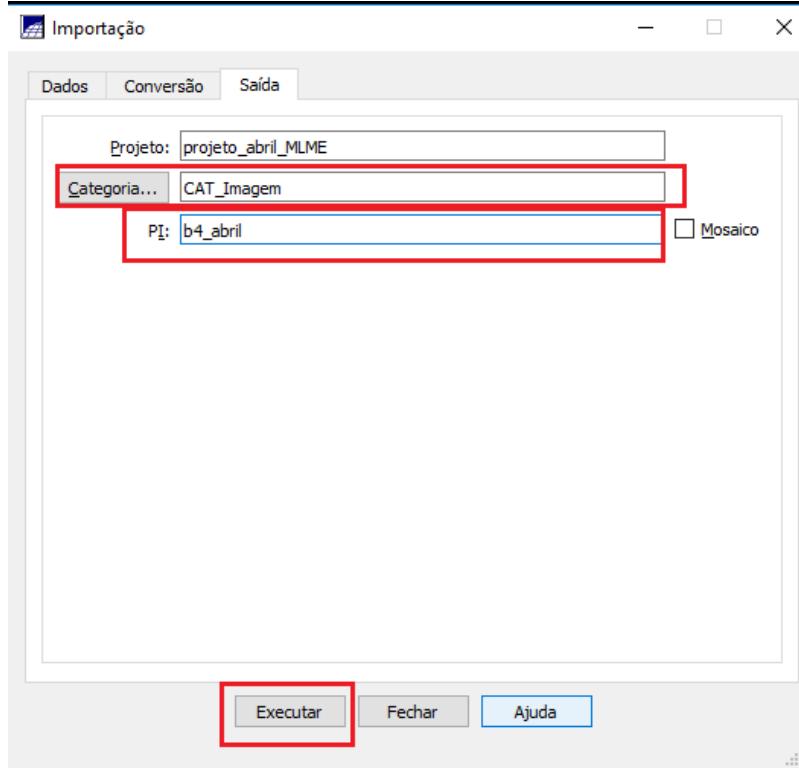
Na janela dialogo, selecione a imagem que deseja aplicar o MLME. É necessário lembrar que o tipo de imagem a ser carregada na área de trabalho do Spring é do tipo TIFF/GEOTIFF.



Após selecionada a imagem a ser carregada, clique em “Abrir” onde será novamente direcionado a janela “importação”. Nessa janela, os dados da imagem selecionada serão carregados na aba “Dados”. Após esse procedimento, clique na aba “Saída”.

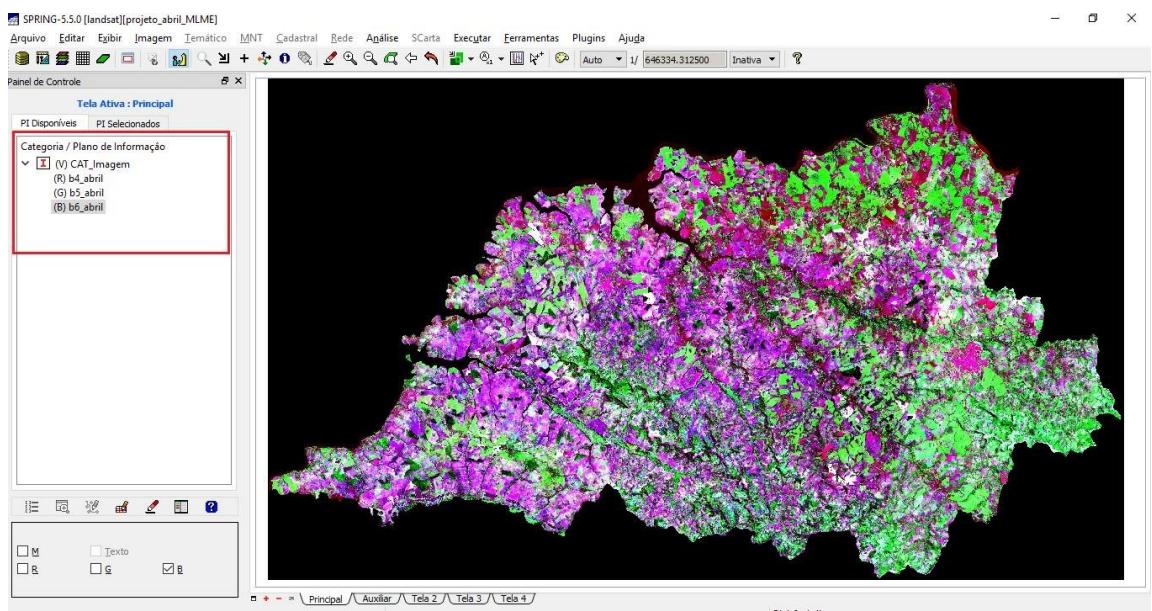


Em “saída”, selecione “categoria” e clique em “CAT_Imagem”, para projetos de imagens Tiff/Geotiff. Em “PI”, digite o nome da imagem que será carregada na área de trabalho. Em seguida, clique em executar.

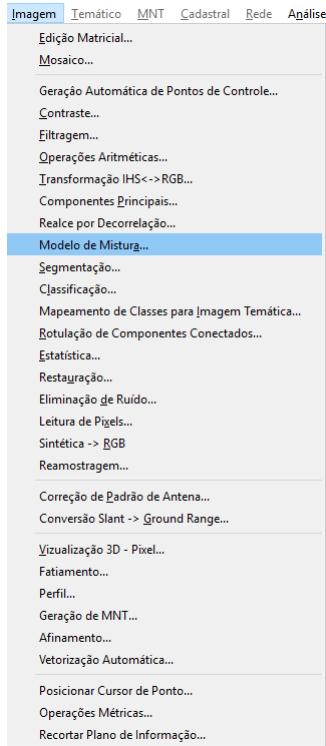


Faça o mesmo procedimento para as demais imagens. Lembre-se, é necessário carregar imagem por imagem pois o Spring não reconhece o carregamento em pasta ou lotes.

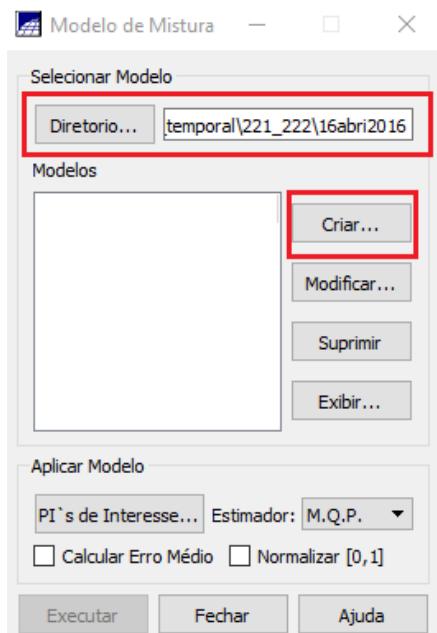
Após o carregamento das imagens, em “PIs disponíveis”, aparecerá as imagens que foram selecionadas. Para que essas sejam carregadas na área de trabalho do *Spring*, é necessário aplicar a composição colorida que para esse trabalho foram utilizadas 4R5G6B.



Com a imagem carregada e devidamente aplicada a composição colorida é possível aplicar o MLME. Na barra de ferramentas clique Imagem > Modelo de Mistura.

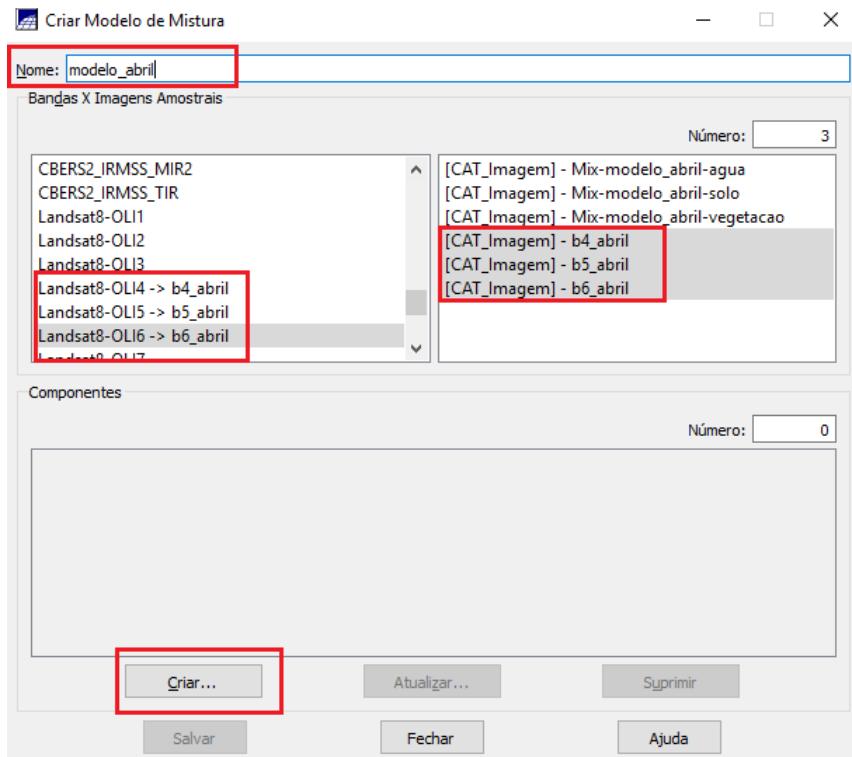


Na janela, “modelo de mistura”, clique em “diretório” e selecione a pasta onde se encontram as imagens anteriormente carregadas. Clique em “criar”.



Na janela “criar modelo de mistura”, na caixa “bandas X imagens amostrais”, selecione o satélite Landsat8-OLI4 para a b4_abril; Landsat8-OLI5 para a b5_abril; Landsat8- OLI6 para a b6_abril. Para esse procedimento, basta clicar primeiramente no satélite que deseja e depois na banda correspondente. Em “nome”, coloque o nome que prende dar aos

modelos que serão gerados, para esse trabalho será designado “modelo_abril”. Depois clique em “criar”.



Em seguida, abrirá a janela “criar componente de mistura”. Nessa janela, serão selecionados os componentes puros na imagem que serviram de base para a geração das imagens-fração. Cada banda corresponde a uma melhor resposta espectral de um componente. Para a banda 4 do satélite OLI/Landsat8, será captado o *endmember* puro da água. Este fará a geração da imagem-fração sombra/água. Para a banda 5, será captado o *endmember* puro da vegetação e para a banda 6 o *endmember* do solo.

Para esse procedimento, é necessário que a imagem esteja carregada na área de trabalho do *Spring* a ponto de que o *edmembe*r coletado seja o de maior reflectância do alvo pretendido. Para verificar se a reflectância está de acordo com o pretendido, na janela “valores”, ao clicar o cursor na imagem carregada na área de trabalho, são apresentados valores em que esse pixel pode ser refletido. Cabe ao pesquisador analisar a sua área de pesquisa, buscando os alvos que podem ser menos influenciados por outros alvos.

Para o *endmember* sombra/água, aconselha-se buscar a parte central de um rio ou lago, de forma que não haja interferência de outros alvos. Para o *endmember* da vegetação, as áreas de pivôs centrais com plantações crescidas apresentam melhores resultados, já que não sofrem com a presença de sombras, por causa do crescimento igual das plantas, e nem com a presença de água. Já para o *endmember* solo, busca-se áreas que estejam sendo preparadas

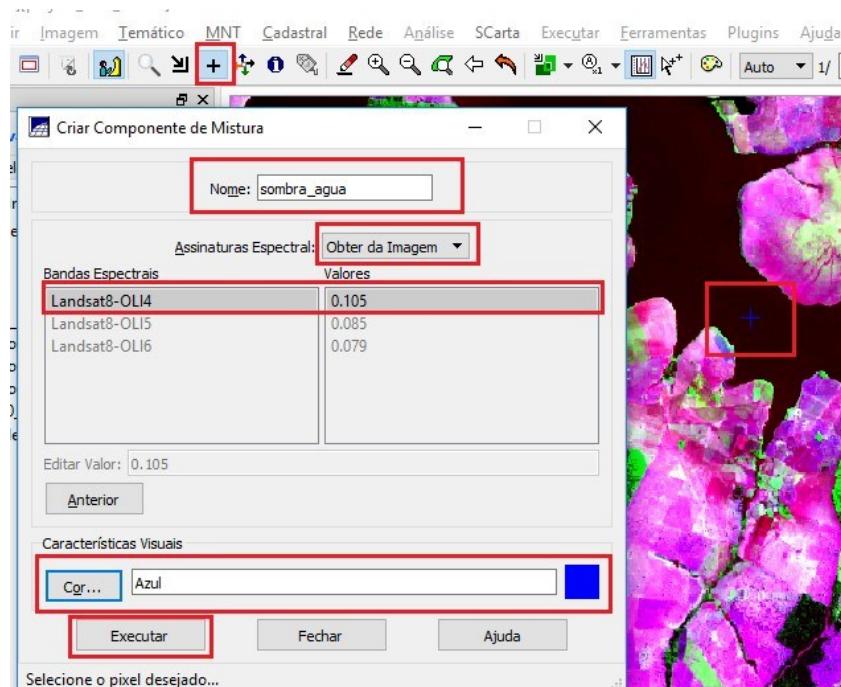
para o plantio em que o solo está sendo arado para receber outra cultura. Ao final da escolha do *endmember*, clique em “executar”. Retornará na janela “criar modelo de mistura”. Novamente, clique no botão “criar” para refazer o passo para as amostras de vegetação e solo.

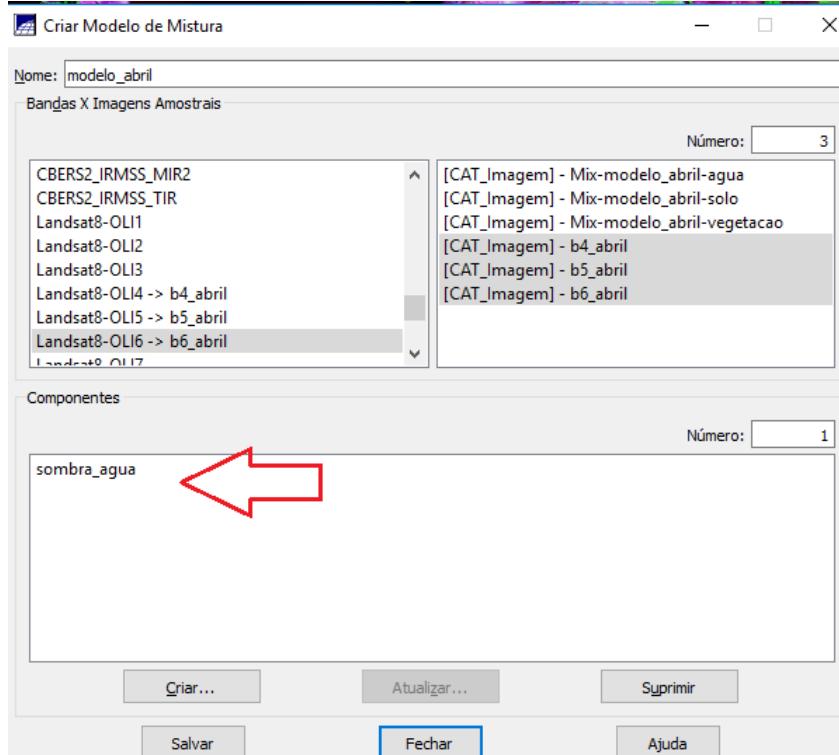
Para selecionar o *endmember* da imagem, utilize a ferramenta “curso de ponto” que se encontra na área de ferramentas do *spring*.

Faça o mesmo procedimento para os *endmembers* de vegetação e solo sempre buscando os maiores valores possíveis de reflectância dos alvos.

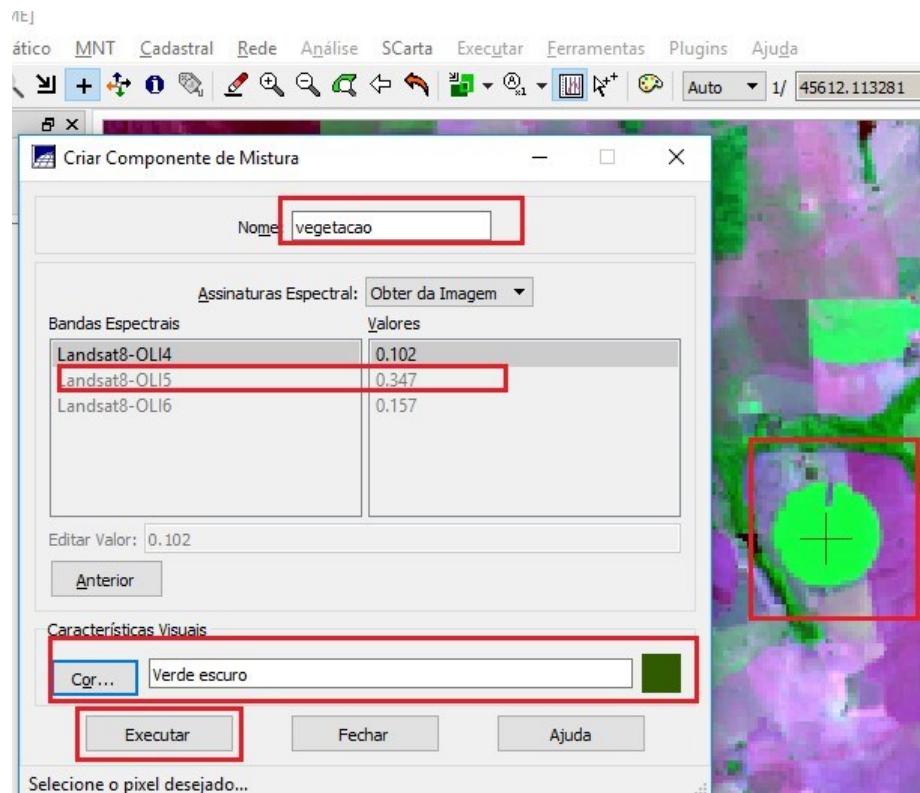
Abaixo, são mostrados os resultados obtidos pelos *endmembers* sombra/água, vegetação e solo.

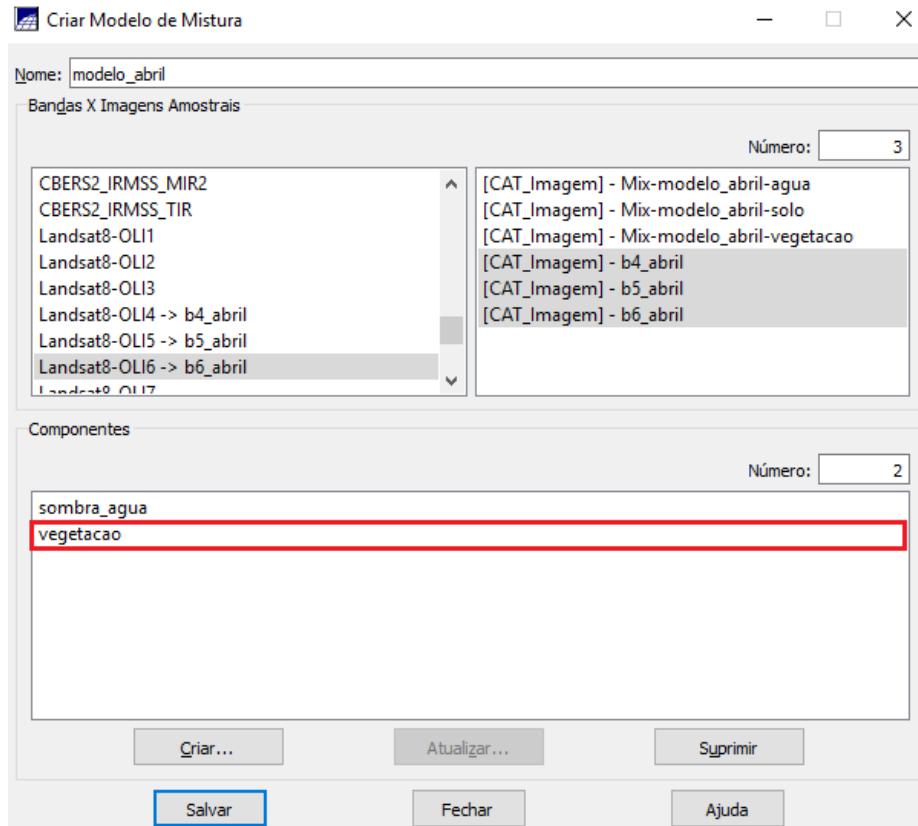
Endmember sombra/água:



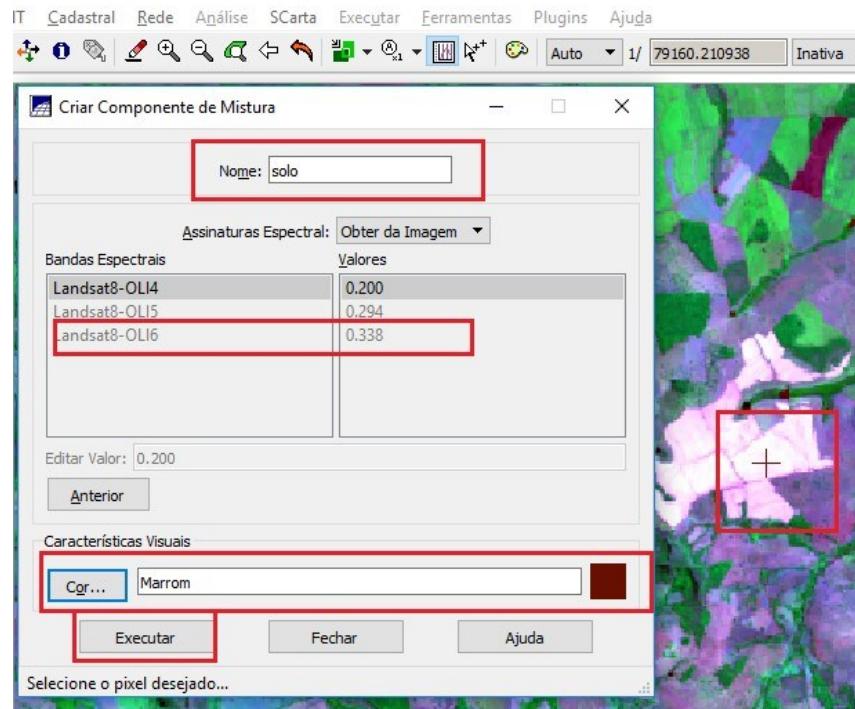


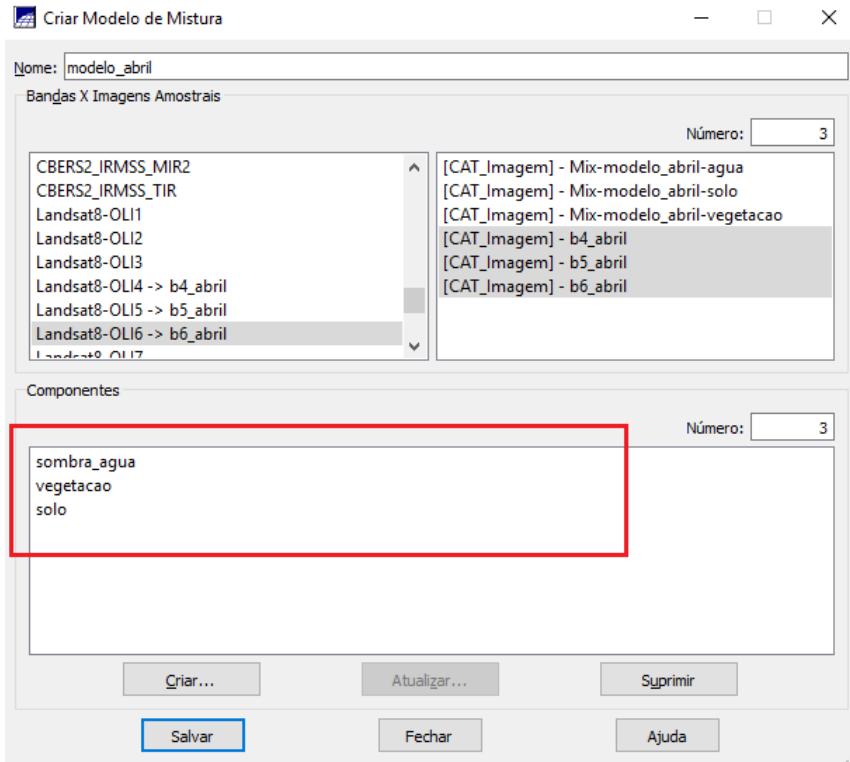
Endmember vegetação:



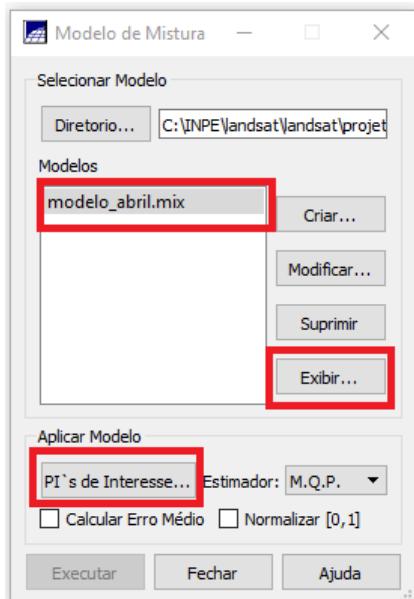


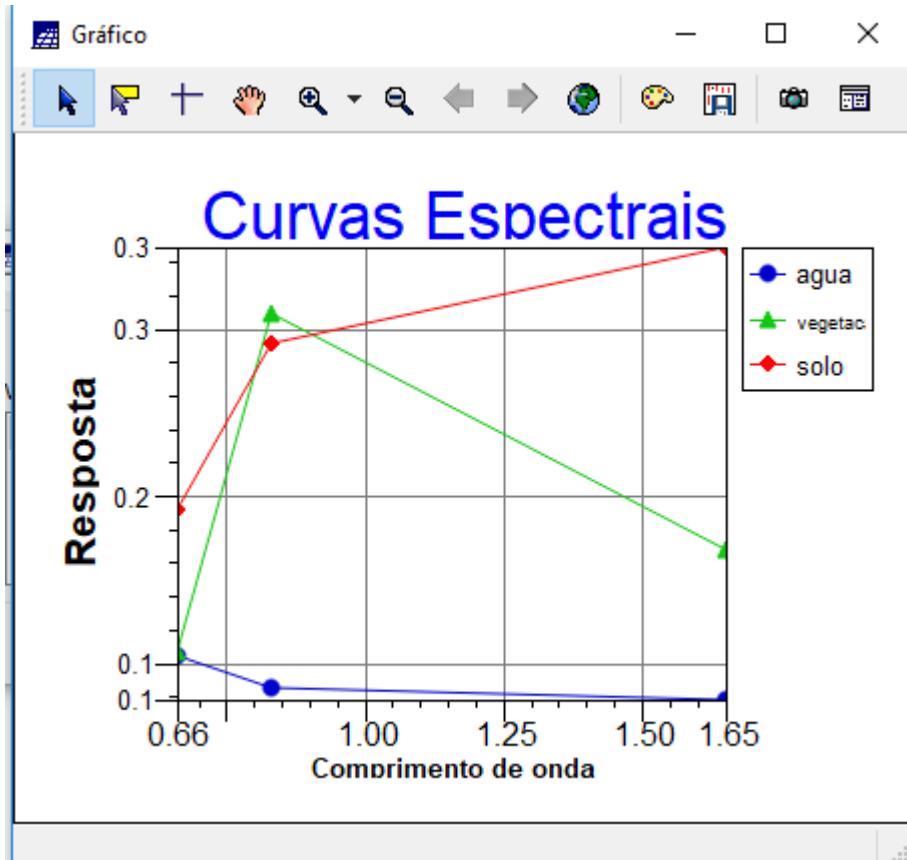
Endmember solo:



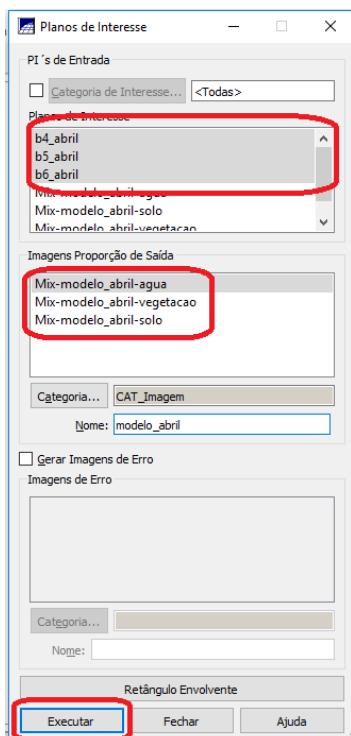


Após a criação, clique em salvar. Será direcionado novamente para a janela “modelo de mistura”. Nessa janela, verifique que o modelo criado, já aparece como opção. Ao clicar em “exibir”, aparece o gráfico que representa os valores atingidos pelo pontos que foram selecionados para a criação das imagens fração. Após a apreciação do gráfico, que pode ser salvo caso seja do interesse do pesquisador coloca-lo em seu trabalho, clique em “PI’s de interesse”





Em “PI’s de interesse” deixe selecionado as bandas que já foram selecionadas anteriormente. Repare que na janela “imagens porção saída”, encontram-se já as imagens fração solo, sobra/água e vegetação. Na janela “nome”, digite o nome geral das imagens que está criando e clique em “executar”.



Será novamente direcionado a janela “modelo de mistura”, clique em “executar” e aguarde a geração das imagens fração.

Observe que as imagens fração foram geradas e carregadas na área de trabalho. Quanto mais tons de branco em cada imagem fração, maior é a reflectância do alvo pretendido conforme imagens abaixo:

Imagen fração água/sombra:

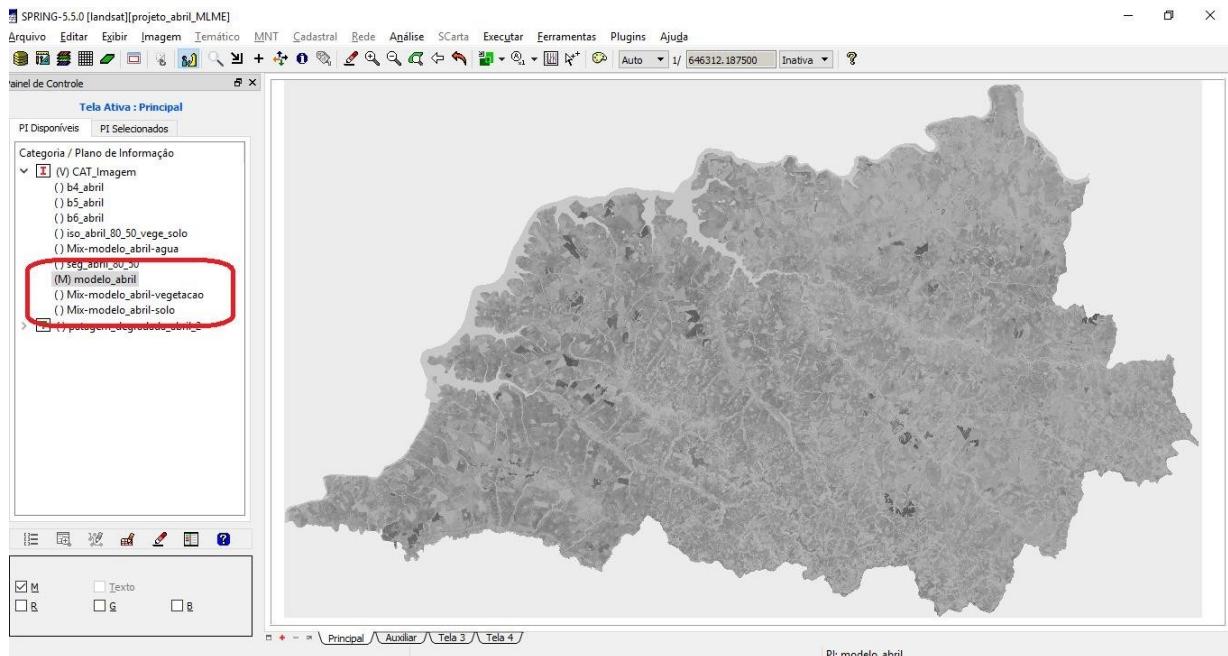


Imagen fração vegetação:

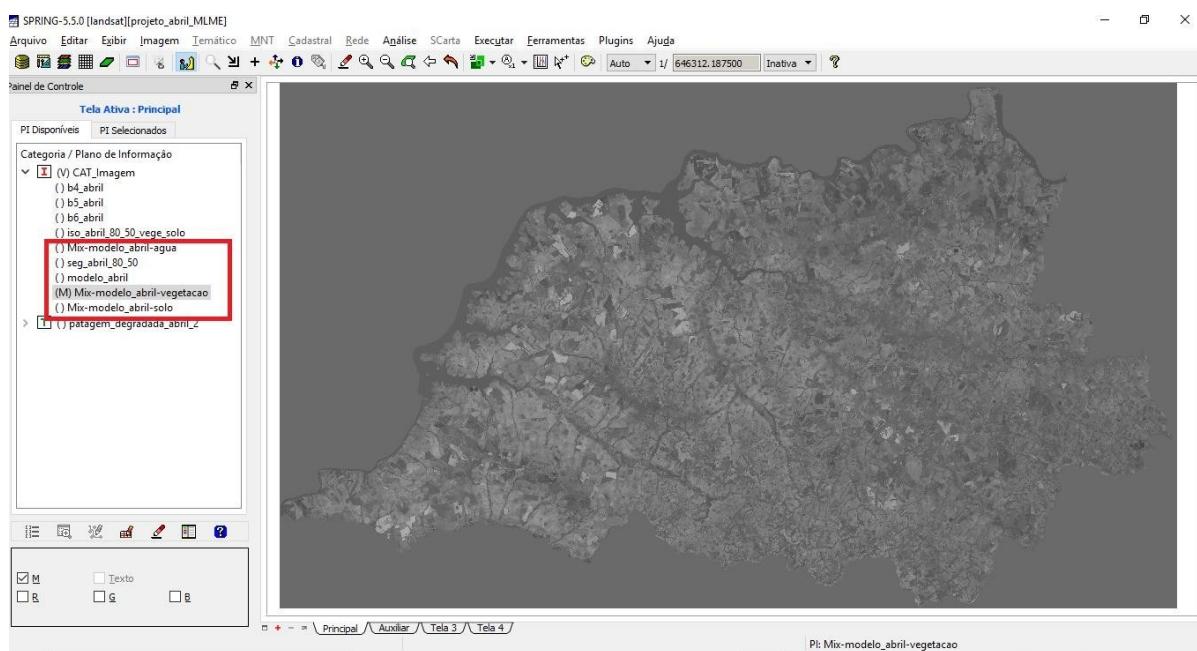
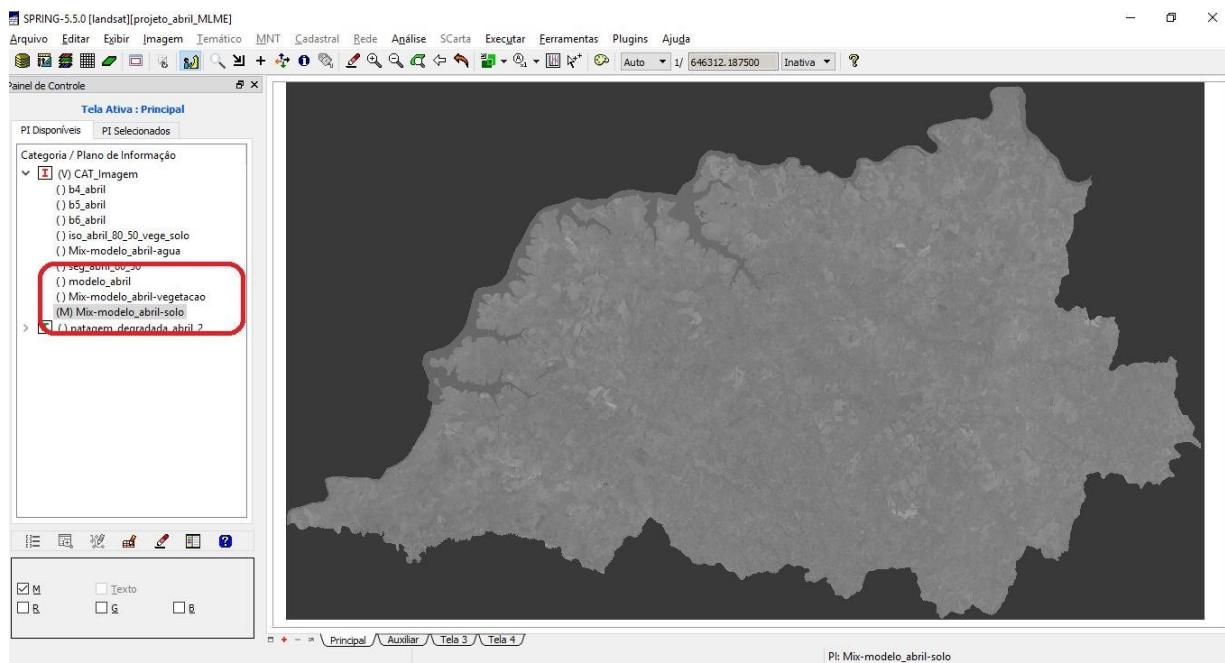


Imagen fração solo:



Após a geração das imagens fração, realize a segmentação da imagem conforme o interesse pretendido é realizado a classificação da imagem. Esse procedimento pode ser visualizado na apostila do *Spring*.