



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL



ANÁLISE DA ESTRUTURA VEGETAL DE FRAGMENTOS DE CERRADO ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Mestrando: César Claudio Cáceres Encina

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Rita Marques

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho

Campo Grande 2015



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL



ANÁLISE DA ESTRUTURA VEGETAL DE FRAGMENTOS DE CERRADO ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO

César Claudio Cáceres Encina

Dissertação apresentada como um dos
requisitos para obtenção do grau de
Mestre em Biologia Vegetal junto ao
Centro de Ciências Biológicas e da
Saúde

Agradecimentos

À minha família que sempre acreditou que seria possível, em especial aos meus irmãos, minha mãe e ao tio Marcial.

À minha orientadora Maria Rita Marques e coorientador Antonio Conceição Paranhos Filho pela oportunidade e confiança.

Ao pessoal do Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais/LABGIS em especial ao Roberto Macedo Gamarra, José Renato, Jaíza Motta e Raquel de Faria Godoi.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro concedido durante a realização do curso.

Aos amigos Bruno Ferreira dos Santos, Thomaz Ricardo Favreto Sinani, Paula Martins e João Fabri.

Por fim, a todos que de alguma maneira contribuíram para que eu pudesse realizar este sonho.

Resumo:

Com o desenvolvimento das sociedades a preservação do meio ambiente se torna imprescindível. A biodiversidade é um recurso que possui valor estratégico e está relacionada com a heterogeneidade territorial. A perda e a fragmentação dos habitats naturais constituem uma das maiores ameaças à biodiversidade provocando alterações de origem biótica e abiótica nos remanescentes. O Cerrado ocupava 23% do território brasileiro nos chapadões do planalto central. Estimativas apontam que o Cerrado será totalmente destruído no ano de 2030. A heterogeneidade ambiental contribui para a elevada riqueza de espécies e dentre os serviços ambientais que oferece se destaca a proteção aos recursos hídricos. O objetivo do trabalho consiste em analisar a estrutura da vegetação de fragmentos de Cerrado por meio de composição multitemporal aplicada em imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Índice de Umidade por Diferença Normalizada. Os dois índices foram calculados utilizando imagens Landsat de 1985 a 2015 e posteriormente foi gerada uma composição falsa-cor para detectar mudanças na cobertura vegetal. Foi possível detectar mudanças da cobertura vegetal e de umidade ao longo do tempo. A combinação falsa-cor multitemporal se mostrou uma maneira simples e rápida para se localizar os locais onde houveram mudanças na cobertura vegetal.

Palavras chave: Cerrado, Fragmentação, Composição Multitemporal.

Abstract – (ANALYSIS OF STRUCTURAL VEGETAL OF CERRADO FRAGMENTS BY REMOTE SENSING)

With the development of society to preserve the environment becomes essential. Biodiversity is a resource that has strategic value and is related to the territorial heterogeneity. The loss and fragmentation of natural habitats is one of the greatest threats to biodiversity resulting biotic and abiotic changes in the remaining. The Cerrado occupied 23% of the Brazilian territory in the plains of the central plateau. Estimates indicates that the Cerrado will be completely destroyed in 2030. The environmental heterogeneity contributes to the high species richness and from the environmental services offering stands out the protection of water resources. This study aims to analyze the structural vegetation of 18 Cerrado fragments by multi-temporal composite applied to Normalized Difference Vegetation Index and Normalized Difference Water Index. Both indices were calculated using Landsat images 1985-2015 and a false-color composite was then generated to detect changes in vegetation cover. It was possible to detect changes in vegetation cover and moisture over time. The false-color multi-temporal combination proved to be a quick and easy way to locate the places where there have been changes in vegetation cover.

Keywords: Cerrado, Fragmentation, Multi-temporal Composite.

Lista de Figuras

Figura 1: Localização do Cerrado no Brasil. Fonte (Sano et al. 2010).	11
Figura 2: Ilustração mostrando como o sensor capta a energia proveniente dos objetos da superfície terrestre e como esses dados são gerados (Florenzano 2002).	13
Figura 3: Armazenamento dos <i>digital numbers</i> nos pixels de uma imagem de satélite (Smith 2012).	14
Figura 4: Espectro eletromagnético e os diferentes comprimentos de onda com suas respectivas frequências. Destaque para a faixa da luz visível com um comprimento de onda que compreende o intervalo de 0,4 a 0,7 micrômetros (Florenzano 2002).	15
Figura 5: Característica espectral da vegetação. Valores de reflectância em porcentagem. Modificado de Jarocińska & Zagajewski 2008).	16
Figura 6: Formação de cores a partir do processo aditivo das cores primárias vermelho, verde e azul (Florenzano 2002).	17
Figura 7: Composição Falsa-cor de uma imagem Landsat da Região de Ubatuba. O resultado da composição dependerá da combinação da intensidade dos DN registradas nos pixels de cada arquivo de imagem e em que canal cada arquivo de imagem se encontra (Florenzano 2002).	18
Figura 8: Localização geográfica do Município de São Gabriel do Oeste com a localização da sub-região do Distrito de Areado, nas proximidades da Cidade de São Gabriel do Oeste.	21
Figura 9: Imagem Landsat 8 da sub-região do Distrito de Areado, delimitada pelas estradas MS-142 e BR-163 que passa pela Cidade de São Gabriel do Oeste. Os pontos amarelos destacam os fragmentos de Cerrado selecionados.	23
Figura 10: Valores médios de NDVI e NDWI de 18 fragmentos Cerrado ao longo do tempo. O NDWI acompanha o aumento e diminuição dos valores do NDVI.	33
Figura 11: Análise de Regressão Linear Simples entre os valores do Índice de Vegetação (NDVI) e a porcentagem de cobertura vegetal dos fragmentos.	34

Lista de Tabelas

Tabela 1: Lista com as cenas Landsat adquiridas para o estudo com as datas de passagem. Fonte: INPE.....	24
Tabela 2: Organização do NDVI e NDWI das imagens Landsat para os dois arquivos gerados com a função <i>Merge</i> no Qgis versão 2.10.....	26
Tabela 3: Composição multitemporal RGB-NDVI dos 18 fragmentos de Cerrado com a especificação da fitofisionomia de cada fragmento. Distintas composições para o mesmo fragmento são apresentados ao longo de cada linha da tabela. Cada banda representa o NDVI do fragmento de uma determinada época. Por exemplo: a primeira linha e coluna apresenta um fragmento de Cerradão com composição RGB 177. Significa que no canal do vermelho está o NDVI do ano de 1985 e no canal Verde e Azul o NDVI do ano de 2015. A mudança na resposta do NDVI é apresentada em vermelho intenso e indica onde os valores de NDVI do ano de 1985 são maiores e a cor ciano indica onde os valores de NDVI do ano de 2015 são maiores. As seguintes bandas correspondem aos NDVI das seguintes datas: Banda 1: 1985; Banda 2: 1990; Banda 3: 1995; Banda 4: 2000; Banda 5: 2005; Banda 6: 2011 e Banda 7: 2015. A tabela continua nas próximas páginas.	30
Tabela 4: Composição multitemporal RGB-NDWI dos 18 fragmentos de Cerrado com a especificação da fitofisionomia de cada fragmento. Distintas composições para o mesmo fragmento são apresentados ao longo de cada linha da tabela. Cada banda representa o NDWI do fragmento de uma determinada época. Por exemplo: a primeira linha e coluna apresenta um fragmento de Cerradão com composição RGB 177. Significa que no canal do vermelho está o NDWI do ano de 1985 e no canal Verde e Azul o NDWI do ano de 2015. A mudança na resposta do NDWI é apresentada em vermelho intenso que indica onde os valores de NDWI do ano de 1985 são maiores. As seguintes bandas correspondem aos NDVI das seguintes datas: Banda 1: 1985; Banda 2: 1990; Banda 3: 1995; Banda 4: 2000; Banda 5: 2005; Banda 6: 2011 e Banda 7: 2015. A tabela continua nas próximas páginas.	31

Sumário

1-Introdução	9
1.1 - O Domínio Cerrado.....	10
2-Objetivo Geral	12
2.1-Objetivos Específicos:	12
2 - Fundamentação Teórica.....	13
3.1 - Sensoriamento Remoto.....	13
3.2 - Espectro eletromagnético.....	14
3.3 - Interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação	15
3.4 - Formação aditiva das cores.....	16
3.5 - Composição falsa-cor	17
3.6 -Índices de Vegetação.....	17
3.7 - Índice de Umidade	19
3.8 - Composição Multitemporal	19
3.9 - A Missão Landsat.....	20
4.1 - Área de Estudo.....	21
4.2 - Seleção das amostras	22
4.3 - Análise dos dados	22
4.4 - Pré-processamento das cenas Landsat	23
4.5 - Processamento das cenas Landsat	24
5 -Resultados.....	27
5.1- Composição Multitemporal dos Fragmentos de Cerrado	27
5.2 - Composição Multitemporal RGB-NDWI.....	28
5.3 - Relação entre o NDVI e NDWI.....	33
5.4 - Análise estatística dos dados de cobertura vegetal	33
6-Discussão	34
6.1 - Análise estatística dos dados de cobertura vegetal	35
7-Conclusões.....	36
8-Referências	37
9-Apêndice	44

1-Introdução

Com o desenvolvimento das sociedades, a compatibilização entre a utilização dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente se torna imprescindível (Flauzino et al., 2010) visto que a destruição destes recursos provoca alterações nos ecossistemas e reflete na sua capacidade de contribuir com bens e serviços para a sociedade (Tilman 2000).

A biodiversidade é um recurso que possui valor estratégico (econômico, científico, entre outros) tornando a conservação da natureza um fim ético e instrumental na defesa e no bem-estar das sociedades (Pereira et al 2007). Está relacionada com a heterogeneidade territorial, uma vez que as alterações nos gradientes ambientais do planeta têm influência direta nos padrões e na distribuição da biodiversidade (Begon & Townsend 2006). As atividades e ações humanas por meio do processo de transformação da terra vem promovendo a simplificação da matriz territorial dos habitats afetando diretamente a heterogeneidade de ambientes e a biodiversidade (Collinge 1996).

A perda e a fragmentação dos habitats naturais constituem hoje uma das maiores ameaças à biodiversidade (Fahrig 2003). A fragmentação do habitat é definida como um processo que promove a divisão de uma área contínua em partes menores, com menor área total, eliminando ou reduzindo um tipo de habitat e isolando os fragmentos remanescentes através de uma matriz diferente do habitat original (Carvalho et al. 2009). Por sua vez, um fragmento é a vegetação remanescente decorrente da fragmentação de uma paisagem (Aquino & Miranda 2008).

As consequências do processo de fragmentação provocam alterações de origem abiótica e biótica nos fragmentos. Com relação às mudanças de origem abiótica podem-se citar os fatores climáticos ambientais como a baixa umidade, altas temperaturas e alta radiação solar, especialmente na borda dos mesmos. Dentre os efeitos bióticos podem ser citados a perda de biodiversidade da fauna e da flora, desestabilização das interações entre espécies como competição, relação predador-presa e parasitismo, mudanças na composição e estrutura das comunidades (Saunders et al. 1991; Viana et al. 1992; Metzger 1999).

Outros fatores que afetam a composição e estrutura das comunidades são o tamanho e a forma de um fragmento. O tamanho e a forma de um fragmento estão intrinsecamente ligados à borda. Quanto menor o fragmento, ou mais alongado, mais fortemente os efeitos de borda podem se fazer sentir, pois diminui a razão interior/margem (Primack & Rodriguez 2001).

Segundo Metzger (2003), a ecologia da paisagem lida com a relação entre padrões

espaciais e processos ecológicos e com isso existe a necessidade de se quantificar os padrões espaciais sendo uma das formas de quantificação a utilização das métricas da paisagem ou índices de paisagem.

1.1 - O Domínio Cerrado

O Cerrado ocupava cerca de 23% do território brasileiro, nos chapadões do planalto central (Ribeiro & Walter 2008). Nos últimos 35 anos, seus ambientes vêm sofrendo transformações por interferência antrópica (Klink & Machado 2005), sendo hoje a região de maior produção de grãos de soja, onde grande parte é destinada à exportação (Tavares 2004). Machado et al. (2004) verificaram que existe apenas 34% de área remanescente de Cerrado e estimam que o domínio deverá ser totalmente destruído no ano de 2030. A Figura 1 mostra a distribuição da cobertura vegetal natural do Cerrado. A expansão da fronteira agrícola no Cerrado – cuja flora é considerada uma das mais ricas e com um alto grau de endemismo entre as savanas tropicais do mundo com 4400 espécies levando em conta apenas as plantas (Myers et al. 2000, Ribeiro & Walter 2008) – além de causar perda de habitat, resultou na fragmentação da vegetação remanescente (Aquino & Miranda 2008, Carvalho et al. 2009).

A heterogeneidade ambiental, refletida nas diversificadas formas fisionômicas do Cerrado, contribui para a elevada riqueza em espécies vegetais. A vegetação do domínio Cerrado é composta por formações florestais, savânicas e campestres. As formações florestais são caracterizadas como áreas com predominância de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo ou descontínuo. As formações savânicas são designadas como áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de um dossel contínuo. A Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão são enquadradas como formações florestais, enquanto que o Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda são considerados formações savânicas. (Ribeiro & Walter 2008).

O Cerrado foi historicamente deixado em segundo plano quanto à importância de sua conservação. Ao contrário da Amazônia, não há nenhum programa ou política de controle do desmatamento, sequer de monitoramento sistemático (Sawyer 2009, Durigan 2007). A própria legislação ambiental estabelece áreas menores de reserva obrigatória para áreas de Cerrado na Amazônia Legal. Os resultados dessa postura discriminatória sobre o Cerrado decorrem 1) da falta de informação sobre a biodiversidade; 2) da ignorância generalizada sobre os processos ecológicos, especialmente aqueles que resultam nos esperados serviços ambientais (Durigan 2007).

Pouco se sabe sobre os serviços ambientais que o Cerrado oferece, dentre os quais se destaca a proteção aos recursos hídricos. É no Cerrado que se encontram as nascentes que formam

os grandes rios Paraná, Paraguai, São Francisco, Araguaia, Xingú e Tocantins contribuindo de forma significativa para a produção hídrica desses rios (Durigan 2007, Lima & Silva 2008).

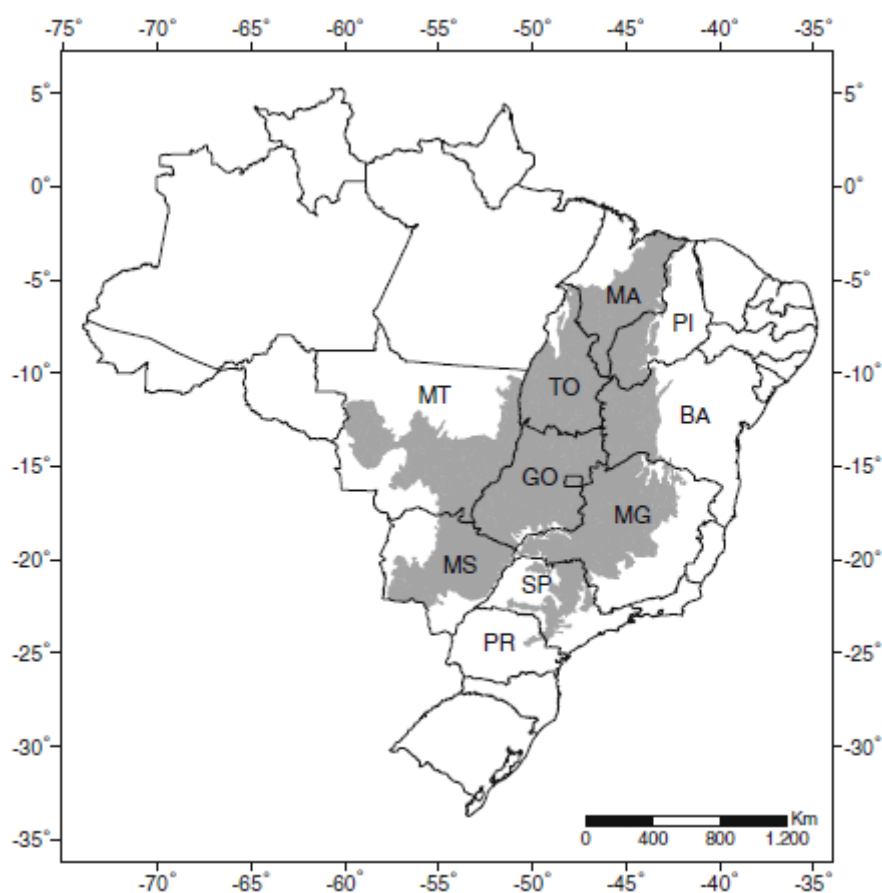


Figura 1: Localização do Cerrado no Brasil. Fonte (Sano et al. 2010).

Neste trabalho pretende-se analisar fragmentos de Cerrado do Município de São Gabriel do Oeste, Estado de Mato Grosso do Sul, na região do Distrito de Areado. As atividades econômicas do Município são baseadas na pecuária, agroindústria e principalmente na produção agroexportadora de soja, tendo participação significativa no mercado internacional. Esse caráter altamente especulativo da agricultura comercial promoveu a simplificação dos ecossistemas ao longo dos anos, com alguns resultados indesejáveis no domínio Cerrado.

2-Objetivo Geral

Analisar a estrutura da vegetação de fragmentos de Cerrado por meio de composição multitemporal aplicada em imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Índice de Umidade por Diferença Normalizada.

2.1-Objetivos Específicos:

- Elaborar um tutorial mostrando a construção da composição multitemporal sobre cenas Landsat de distintas datas.
- Descrever as mudanças espectrais exibidas nos fragmentos de Cerrado através da composição multitemporal de imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Índice de Umidade por Diferença Normalizada em cenas Landsat.
- Verificar a relação entre as respostas espectrais apresentadas pelas imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Índice de Umidade por Diferença Normalizada nos fragmentos de Cerrado.

2 - Fundamentação Teórica

3.1 - Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto pode ser definido como a tecnologia que permite a obtenção de imagens e dados associados à superfície terrestre por meio da captação e registro da energia refletida pelos objetos da superfície (Lillesand & Kiefer 2004). A energia eletromagnética, captada pelo sensor a bordo de um satélite, é analisada e a informação sobre fenômenos que estão sendo investigados é extraída.

A fonte de energia de grande parte dos sensores a bordo de satélites é proveniente da luz solar. A energia solar que incide na superfície terrestre é refletida e captada pelo sensor que registra a intensidade dessa energia e a transforma em sinais elétricos. Esses sinais são registrados e transmitidos para estações de recepção da Terra onde são transformados em dados em forma de gráfico, tabela ou imagem. (Figura 2) (Florenzano 2002)

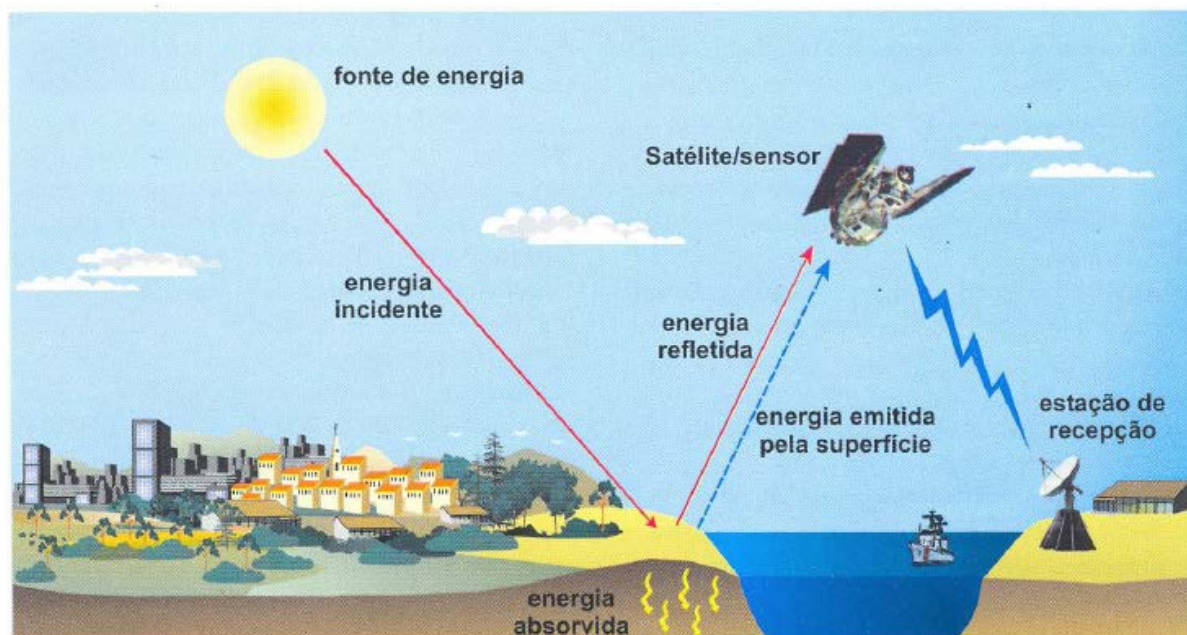


Figura 2: Ilustração mostrando como o sensor capta a energia proveniente dos objetos da superfície terrestre e como esses dados são gerados (Florenzano 2002).

A energia refletida ou emitida pela superfície terrestre é captada pelo sensor e armazenada na forma de números chamados *digital number* (DN). O *digital number* representa a intensidade da radiação emitida ou refletida pelos objetos da Terra e que é captada pelo sensor. Os *digital numbers* são números inteiros que geralmente variam de 0 a 255 e representam valores de

brilho que o sensor capta (Chamber, 2007). Esses valores são armazenados em pequenas unidades de forma quadrada chamado pixel. Assim, cada pixel armazena a resposta espectral de uma porção da superfície terrestre com capacidade para 256 valores de brilho possíveis (Figura 3).

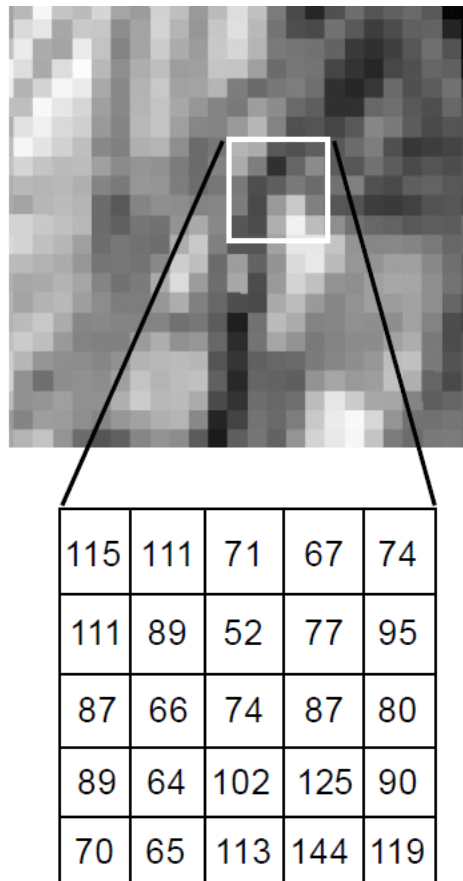


Figura 3: Armazenamento dos *digital numbers* nos pixels de uma imagem de satélite (Smith 2012).

3.2 - Espectro eletromagnético

A geração de dados por sensoriamento remoto se torna possível através da energia refletida ou emitida pelo objeto da superfície terrestre que chega até o sensor. Essa energia se dá na forma de radiação eletromagnética. A radiação eletromagnética é caracterizada por apresentar diversos comprimentos de onda e frequências com intensidades de energia distintas. Esse arranjo recebe a denominação de espectro eletromagnético (Figura 4). A faixa do espectro eletromagnético que o olho humano é capaz de enxergar é o relacionado a luz visível que abrange a cor violeta até o vermelho em um intervalo de 0,4 a 0,7 micrômetros (Florenzano 2002).

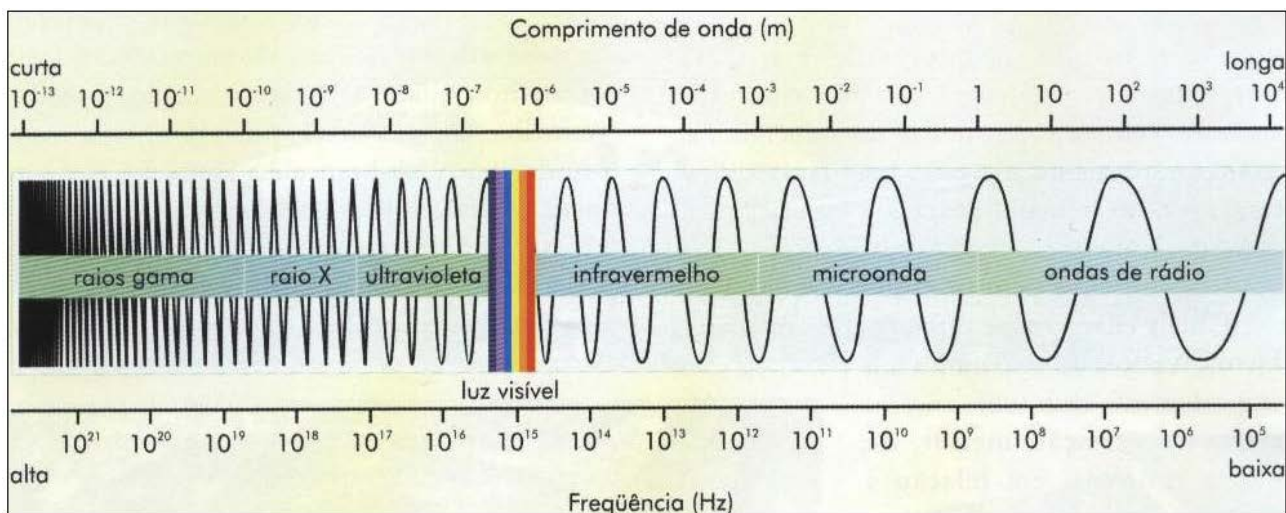


Figura 4: Espectro eletromagnético e os diferentes comprimentos de onda com suas respectivas frequências. Destaque para a faixa da luz visível com um comprimento de onda que compreende o intervalo de 0,4 a 0,7 micrômetros (Florenzano 2002).

3.3 - Interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação

Três fenômenos descrevem a interação entre a radiação eletromagnética e os objetos da superfície: a reflexão, a transmissão e a absorção. No caso da vegetação o mesmo raciocínio é aplicado. Uma parte da radiação que atinge a planta é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes da folha e participa na síntese de compostos que garantem a sobrevivência da planta. Outra parte dessa radiação é refletida pelas folhas e uma terceira parte passa diretamente pelas folhas, fenômeno denominado transmissão. A vegetação responde de maneira distinta à radiação nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético. Grande parte da radiação incidente sobre o dossel é absorvida na região do visível ($0,4 - 0,72 \mu\text{m}$) pelos pigmentos fotossintetizantes, principalmente pela clorofila. Na região do infravermelho próximo ($0,72 - 1,1\mu\text{m}$) ocorre baixa absorção e alta refletância da radiação incidente devido ao espalhamento da radiação dentro das folhas. Já na região do infravermelho médio ($1,1 \mu\text{m} - 3,2 \mu\text{m}$) a água absorve a radiação incidente na região espectral entre $1,3 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$ afetando a refletância das folhas nessa região (Ponzoni e Shimabukuro 2007). A Figura 5 mostra o comportamento espectral da vegetação na faixa da luz visível e infravermelho próximo e médio do espectro eletromagnético.

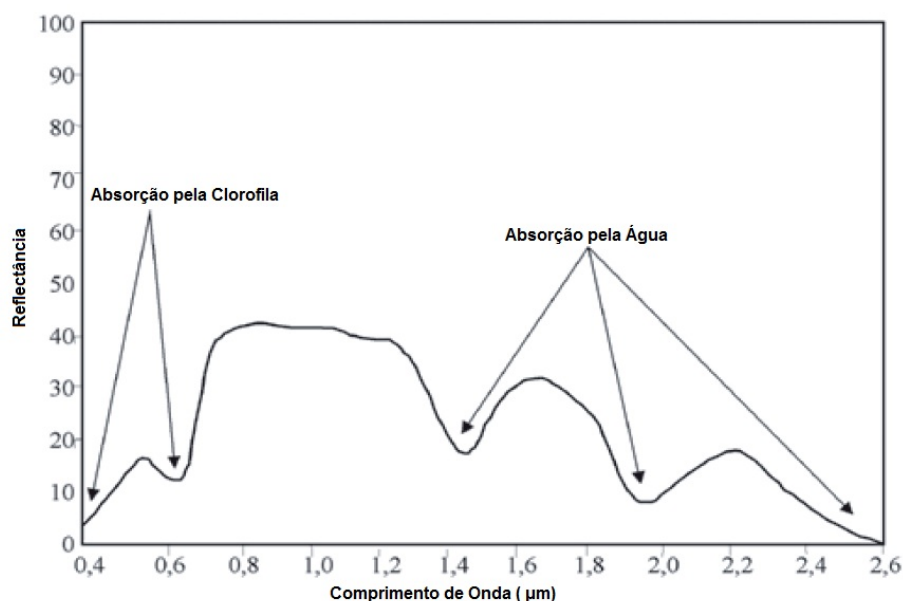


Figura 5: Característica espectral da vegetação. Valores de reflectância em porcentagem. (Modificado de Jarocińska & Zagajewski 2008).

3.4 - Formação aditiva das cores

O sensor de um satélite capta o fluxo radiante vindo da superfície terrestre de forma análoga ao olho humano. O olho humano possui três receptores de luz chamados cones. Os cones são sensíveis às cores primárias (vermelho, verde e azul) e correspondem à faixa da luz visível do espectro eletromagnético. A luz que incide nos olhos é originada pela reflexão de vários objetos e ao chegar aos olhos estimula diferentemente cada cone de acordo com o comprimento de onda incidente. Em seguida os olhos enviam sinais elétricos ao cérebro onde a sensação de cor é gerada. No caso do satélite os olhos seriam os sensores e as cores interpretadas pelo cérebro seriam os valores codificados resultantes da intensidade do sinal elétrico que o sensor capta chamado *digital number*. O método aditivo cria as cores através da mistura aditiva de cores primárias vermelho, verde e azul em diferentes intensidades (Eyton 2003). A partir da combinação dessas cores primárias é possível criar todas as cores. Assim, a luz amarela resulta da mistura entre as luzes vermelha e verde. O ciano é o resultado da mistura entre as luzes verde e azul e magenta é produto final da mistura entre as luzes vermelha e azul (Figura 6).



Figura 6: Formação de cores a partir do processo aditivo das cores primárias vermelho, verde e azul (Florenzano 2002).

3.5 - Composição falsa-cor

A composição falsa-cor torna possível a percepção da resposta espectral de faixas do espectro eletromagnético que o olho humano não consegue enxergar, ou seja, faixas que se encontram fora do intervalo espectral da luz visível através das cores primárias vermelho, verde e azul que são faixas do espectro eletromagnético que o olho humano é capaz de captar. No sistema RGB são assinaladas as cores primárias vermelho, verde e azul aos arquivos de imagens pertencentes a qualquer intervalo do espectro eletromagnético, daí o nome de composição falsa-cor, pois a cor resultante não representa a coloração original do arquivo de imagem. O resultado da composição dependerá da combinação da intensidade dos DN registradas nos pixels de cada arquivo de imagem e do canal em que cada arquivo de imagem se encontra. O sistema RGB se baseia, portanto, na teoria aditiva das cores pois a cor resultante é formada pela mistura das cores primárias em diferentes proporções (Florenzano 2002). Na Figura 7 é possível observar um exemplo de composição falsa-cor sobre uma imagem Landsat da região de Ubatuba.

3.6 - Índices de Vegetação

O comportamento espectral da vegetação depende das propriedades químicas e estruturais das folhas e do dossel uma vez que a banda do vermelho e do infravermelho próximo se comportam de maneira diferente de acordo com a condição dessas propriedades (Ponzoni e Shimabukuro 2007). Por meio desse conhecimento é possível compreender o seu comportamento e inferir as condições ambientais em que se encontra (Abreu e Coutinho 2014). Na faixa do vermelho a vegetação absorve uma grande quantidade de energia resultando em uma imagem com tonalidade escura indicando uma vegetação densa. Na faixa espectral do infravermelho próximo ocorre a

reflectância da energia incidente no dossel gerando uma imagem com tonalidade mais clara o que indica a presença de água na interface ar folha. A coloração em tons de cinza indica uma diminuição da intensidade do comportamento das duas bandas indicando uma vegetação relativamente densa (Ponzoni e Shimabukuro 2007).

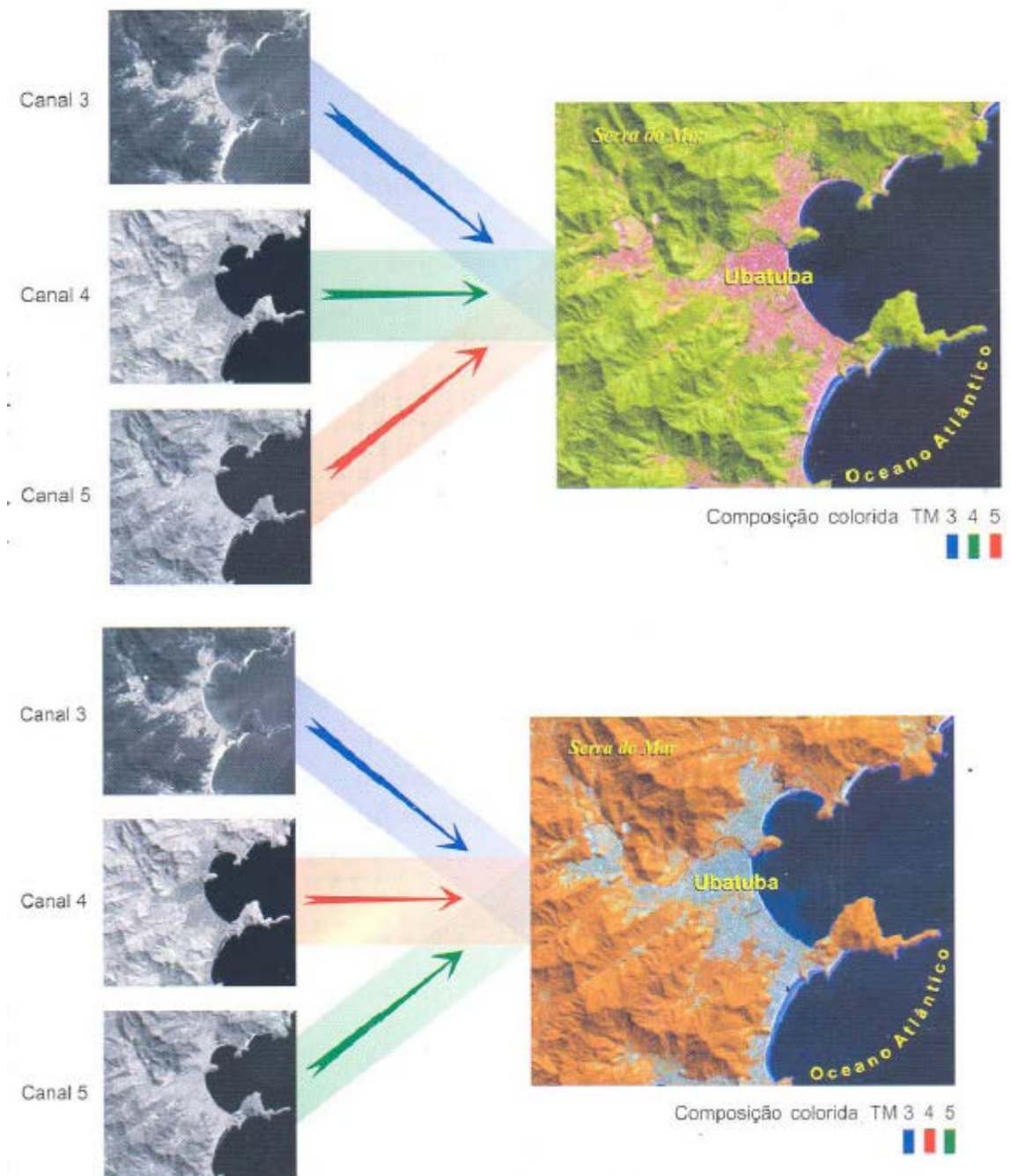


Figura 7: Composição Falsa-cor de uma imagem Landsat da Região de Ubatuba. O resultado da composição dependerá da combinação da intensidade dos DN registradas nos pixels de cada arquivo de imagem e em que canal cada arquivo de imagem se encontra (Florenzano 2002).

Com o intuito de compreender o comportamento espectral da vegetação e discriminar esses alvos, os índices de vegetação vêm sendo criados. Esses índices são medidas adimensionais resultado de operações aritméticas entre bandas espectrais. Dentre os diversos índices de vegetação o mais conhecido é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). Albuquerque (2014) destaca o amplo uso deste índice em trabalhos como estudos do vigor da vegetação, no coeficiente de culturas agrícolas, mapeamento do uso e ocupação do solo, desmatamentos florestais, mudanças climáticas entre outros.

3.7 - Índice de Umidade

A resposta da vegetação às condições do ambiente muitas vezes está relacionada aos recursos que a planta dispõe no momento. Um desses recursos é a água. A água é um importante recurso para a planta uma vez que a fotossíntese depende disso. A baixa concentração de água nas plantas pode se tornar em um fator limitante da fotossíntese. Através de sensoriamento remoto é possível verificar se a planta está passando por um estresse hídrico analisando o comportamento espectral da vegetação na faixa do infravermelho próximo e infravermelho médio do espectro eletromagnético. No infravermelho próximo a reflectância da vegetação aumenta pelo espalhamento múltiplo ocasionado pela água dentro das folhas. Já no infravermelho médio a absorção da energia neste comprimento de onda por parte da vegetação aumenta à medida em que a concentração de água aumenta nas folhas. Para obter os valores físicos de umidade das imagens Gao (1996) propôs o cálculo do Índice de Umidade por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Water Index*). Assim como o NDVI, o NDWI consiste em uma operação aritmética entre bandas. Para o cálculo do NDWI as faixas no infravermelho próximo e médio do espectro eletromagnético são utilizadas. O uso deste índice vem se tornando cada vez mais frequente pelos resultados satisfatórios que apresenta. O NDWI se torna em um dado complementar ao NDVI contribuindo na compreensão do comportamento da vegetação diante de alterações ambientais uma vez que o NDVI apresenta limitações em estimar o conteúdo de água da vegetação (Ceccato et al. 2002b).

3.8 - Composição Multitemporal

A composição multitemporal consiste em uma técnica de detecção de mudanças nos alvos da superfície terrestre em que imagens de diferentes datas são combinadas por meio de uma composição R (*Red*) G (*Green*) B (*Blue*). As mudanças são interpretadas com base na combinação das cores primárias (Sader e Winne 1992). Esta técnica vem sendo aplicada pela simplicidade e rapidez na detecção de mudanças nos objetos da superfície ao longo do tempo. Como exemplos de

aplicação é possível citar a detecção de mudanças de feições da paisagem (Cerney et al., 2008), áreas úmidas (Pujiono et al., 2013), expansão urbana (Morato et al, 2011), monitoramento da vegetação (Hajes e Sader, 2001), detecção de mudanças das linhas de costa (Kawakubo e Luchiari 2002) entre outros trabalhos.

3.9 - A Missão Landsat

As imagens de satélite são uma fonte de informação que possibilita o monitoramento do ambiente em ampla escala. Desde seu primeiro lançamento em 1972 a missão Landsat vem gerando de forma continua imagens de grande parte do mundo através de suas missões, gerando conhecimento que vem contribuindo na compreensão da dinâmica dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre bem como o monitoramento dos recursos naturais (Loveland e Dwyer 2012).

Lançado em 1972 o ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*) que mais tarde passou a se chamar de Landsat 1 contava com 4 bandas de 80 metros de resolução espacial que registrava os fenômenos da Terra através do sensor MSS (*Multispectral Scanner*). Em 1975 e 1978 os satélites Landsat 2 e 3 respectivamente foram lançados com as configurações de banda e resolução semelhantes ao Landsat 1. O satélite Landsat 4, lançado no ano de 1984, passou por melhorias incorporando o sensor TM (*Thematic Mapper*) que trouxe melhorias na resolução espacial passando de 80 a 30 metros. Outra novidade incorporada ao satélite foi a adição de mais três bandas espectrais, aumentando a capacidade do satélite de captar mais informação da Terra (Williams et al. 2006)

No ano de 1993 surge o Landsat 6 que apresentava mais uma novidade com a inserção de uma banda pancromática de 15 metros de resolução espacial. No entanto o satélite foi perdido após o lançamento. Já em 1999 foi lançado o Landsat 7. Com o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) a bordo, o satélite conta com melhorias na resolução espacial da banda termal passando de 120 metros (Landsat 5) a 60 metros. Assim como no Landsat 6 a banda pancromática foi inserida com uma resolução espacial de 15 metros (Williams et al. 2006)

O satélite Landsat 8 é o mais recente da série e vem captando imagens da superfície terrestre a cada 16 dias. Lançado em março de 2013 o satélite com o sensor OLI e TIRS conta com novas bandas espectrais e uma resolução radiométrica que passou a ser de 16 bits. Depois de mais de 40 anos a missão continua registrando os fenômenos da Terra armazenando dados cada vez mais ricos em detalhe através do lançamento de satélites com resolução espectral e espacial cada vez mais refinados (Loveland e Dwyer 2012).

4 -Material e Métodos

4.1 - Área de Estudo

O Município de São Gabriel do Oeste, localizado na região centro norte do Estado de Mato Grosso do Sul a 136 km de Campo Grande entre as latitudes 18°40'00"S e 19°35'00"S e longitudes 54°10'00"W e 54°50'00"W. O estudo será conduzido no Distrito de Areado, nas proximidades da cidade de São Gabriel do Oeste (Figura 8).

O clima é do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado como tropical chuvoso com um período seco pronunciado. Os períodos de chuva intensa ocorrem nos meses de dezembro a março e concentra uma precipitação de 650mm dos 1500mm anuais. As menores precipitações ocorrem nos meses de junho, julho e agosto que concentram juntos 100 mm no período. A menor temperatura média mensal é superior a 18°C. A época mais seca coincide com o inverno do hemisfério Sul. O município apresenta vegetação Cerrado *sensu lato* (Assis et al. 2003).

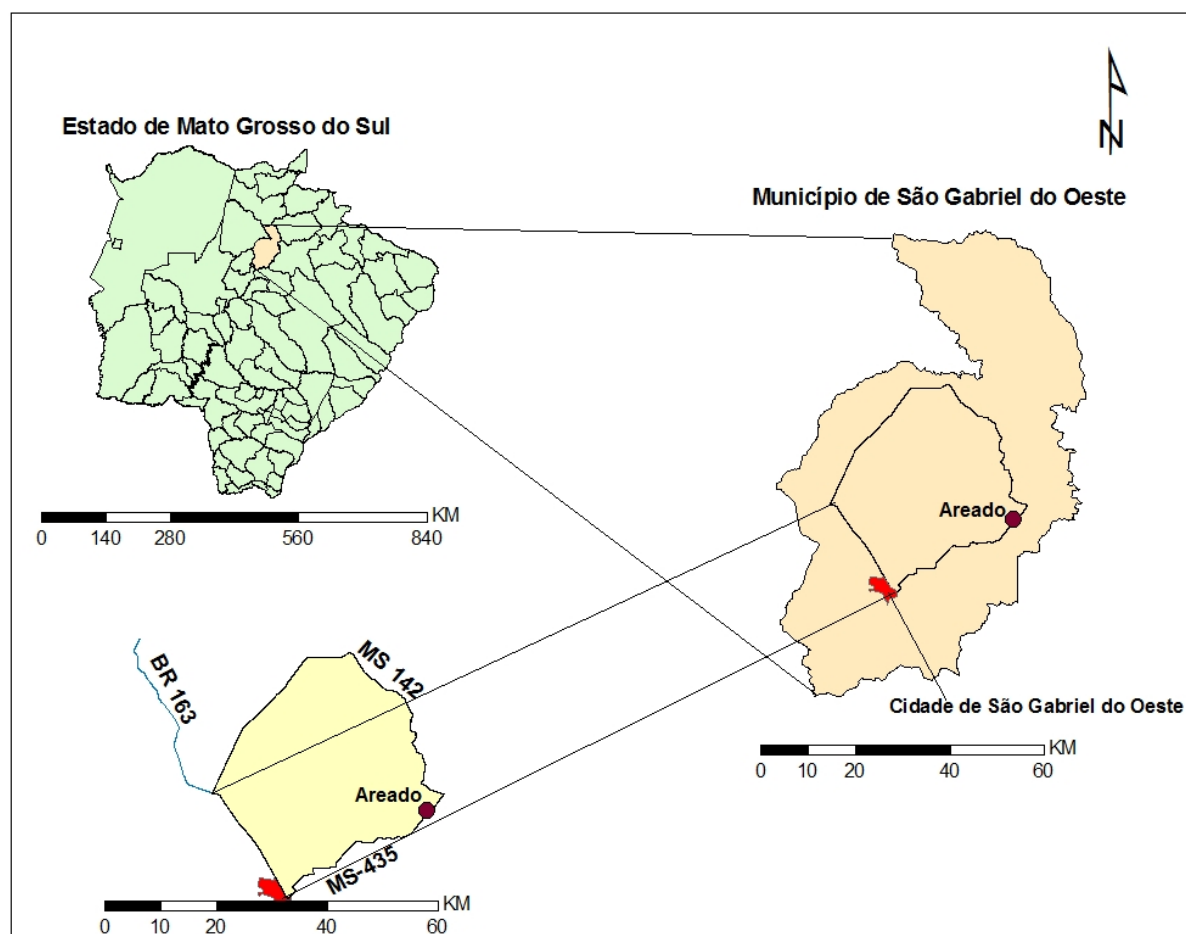


Figura 8: Localização geográfica do Município de São Gabriel do Oeste com a localização da sub-região do Distrito de Areado, nas proximidades da Cidade de São Gabriel do Oeste.

4.2 - Seleção das amostras

Sobre a área de estudo foram selecionados 18 fragmentos ao longo das MS-142 e MS-435 em direção ao Distrito de Areado. Foi realizada a identificação das fitofisionomias desses fragmentos com base na classificação de Ribeiro e Walter (2008). Dentro dos fragmentos foram coletados dados de cobertura do dossel com o auxílio de um densiômetro esférico. O densiômetro é um espelho convexo com o seu centro dividido em 24 quadrantes. É um dos métodos mais utilizados na medição da cobertura do dossel, pois apresenta medidas rápidas e confiáveis, não depende das condições climáticas, sendo um aparelho de uso prático (Suganuma et al. 2008). A estimativa da cobertura do dossel foi realizada dentro de dez fragmentos. Dentro de cada fragmento 10 pontos foram amostrados pelo método de caminhada aleatória. Em cada ponto foram feitas quatro leituras sendo uma ao norte, sul, leste e oeste. Assim em cada fragmento foram tomadas 40 leituras no total. Foi calculada a média de cobertura do dossel em cada ponto a partir das quatro leituras. Para estimar a cobertura do dossel do fragmento foi calculada a média a partir dos valores médios de cobertura dos pontos amostrados.

A Figura 9 mostra os 18 fragmentos selecionados para o trabalho. Na Figura 9 as áreas com coloração tendendo ao preto e com textura rugosa correspondem a vegetação sobre afloramentos rochosos. Já as áreas brancas com textura lisa e formato regular são áreas de uso antrópico com plantação de monocultura. Já as áreas tons de cinza e formato regular correspondem a áreas de solo arado.

4.3 - Análise dos dados

Para verificar o poder de predição das medidas de cobertura vegetal tomadas com um densiômetro sobre a complexidade e heterogeneidade do habitat foi realizado uma análise de regressão simples. A média e o desvio padrão da cobertura vegetal foram as variáveis preditoras e a média e o desvio padrão dos valores de índice de vegetação calculado em cada fragmento foram as variáveis explicativas. As análises foram realizadas no software R versão 3.1.2 (R Core Team 2014).

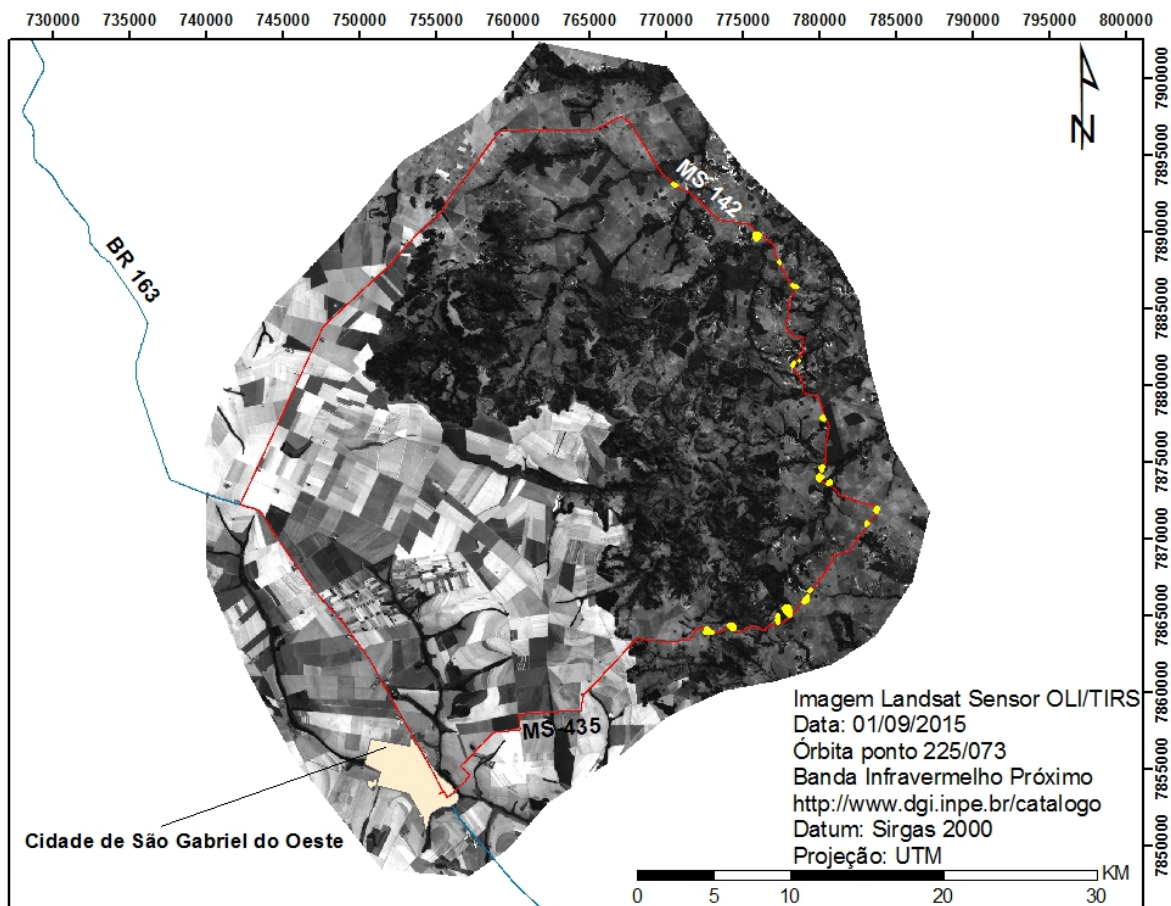


Figura 9: Imagem Landsat 8 da sub-região do Distrito de Areado, delimitada pelas estradas MS-142 e BR-163 que passa pela Cidade de São Gabriel do Oeste. Os pontos amarelos destacam os fragmentos de Cerrado selecionados.

4.4 - Pré-processamento das cenas Landsat

4.4.1 - Aquisição e georreferenciamento das cenas Landsat

Para este trabalho foram utilizadas seis cenas Landsat TM e uma cena Landsat OLI/TIRS, todas correspondentes à órbita ponto 225/073. As cenas foram adquiridas na página do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Para garantir maior distinção entre as fitofisionomias e menor interferência da sazonalidade todas as cenas adquiridas são da estação seca. A Tabela 1 mostra a lista das cenas Landsat adquiridas e as datas de passagem.

Após a aquisição das imagens foi realizada a reprojeção da cena Landsat OLI/TIRS para o Hemisfério Sul. Em seguida foi realizado o georreferenciamento das cenas Landsat TM onde a cena Landsat OLI/TIRS foi utilizada como referência por possuir acurácia posicional (Roy et al. 2014). Todas as cenas foram georreferenciadas com erro inferior a 1 pixel.

Tabela 1: Lista com as cenas Landsat adquiridas para o estudo com as datas de passagem. Fonte: INPE.

Cena	Sensor	Data de passagem
Landsat	TM	13/08/1985
Landsat	TM	26/07/1990
Landsat	TM	25/08/1995
Landsat	TM	22/08/2000
Landsat	TM	20/08/2005
Landsat	TM	22/09/2011
Landsat	OLI	01/09/2015

4.4.2 -Transformação e correção radiométrica

Separadamente foi realizada a transformação dos valores de *digital number* das cenas Landsat a valores de reflectância no topo da atmosfera (TOA) e posteriormente foi realizada a correção atmosférica das bandas 3, 4 e 5 do Landsat TM e 4, 5 e 6 do Landsat OLI/TIRS. A conversão dos valores de *digital number* para valores de reflectância no topo da atmosfera foram obtidos através da execução do módulo *i.landsat.toar* no GRASS GIS (GRASS Development Team, 2012). A conversão de valores de reflectância no topo da atmosfera para valores de reflectância de superfície foi executada no QGIS versão 2.10 (QGIS Development Team 2015) utilizando o módulo *i.atcorr*, presente na biblioteca de algoritmos. A correção atmosférica das bandas possibilita a obtenção de valores físicos de reflectância de superfície sem os efeitos de interferência da atmosfera sobre esses valores. Após a correção das cenas Landsat, foi realizada o cálculo do NDVI e NDWI e os valores foram extraídos para cada um dos fragmentos selecionados.

4.5 - Processamento das cenas Landsat

4.5.1 - Cálculo do NDVI

Para analisar a cobertura vegetal dos fragmentos, foi calculado o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) nas imagens do satélite Landsat TM e OLI/TIRS. Para o cálculo foram utilizadas as bandas 3 e 4 do Landsat TM as quais abrangem as faixas do vermelho, infravermelho próximo do espectro eletromagnético respectivamente. No Landsat OL/TIRS as bandas 4 e 5 correspondem as faixas espectrais supracitadas.

Para o cálculo do índice de vegetação foi utilizada a seguinte equação: (Rouse et al 1973).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Onde,

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR: Reflectância correspondente a banda do infravermelho próximo

R: Reflectância correspondente a banda do vermelho

O NDVI é utilizado para identificar a presença de vegetação verde na superfície (Folhes 2005). A fundamentação do índice reside no comportamento antagônico que as bandas do vermelho e infravermelho próximo apresentam diante da reflectância da vegetação. Quanto maior for a densidade de cobertura vegetal em uma determinada área, menor a reflectância na região do visível (vermelho) e maior será no infravermelho próximo (Ponzoni & Shimabukuro 2007). Os valores de NDVI variam de -1 a +1, onde os valores próximos a 1 representam maior densidade de cobertura vegetal. A água apresenta valores negativos próximos a -1, pois o valor de reflectância na banda 3 é maior em relação à banda 4. A vegetação esparsa e rala representam valores positivos, porém, não muito elevados (Melo 2011).

Foram calculados a média e o desvio padrão dos valores de NDVI dos fragmentos. Os valores médios do NDVI serão considerados uma medida indireta da complexidade do habitat, uma vez que indicam a complexidade estrutural (vertical) e quantidade de fitomassa do habitat e o desvio padrão dos valores do NDVI será considerado uma medida indireta da heterogeneidade do habitat, pois indicam a variação/dispersão da complexidade vertical e da fitomassa do ambiente no plano horizontal (Corrêa et al. 2011; Oliveira et al. 2012; Gamarra 2013).

4.5.2 - Cálculo do NDWI

Para analisar o grau de umidade nos fragmentos foi realizado o cálculo do NDWI (*Normalized Difference Water Index*) sobre as imagens dos satélites Landsat TM e OLI/TIRS. Para o cálculo foram utilizadas as bandas 4 e 5 do Landsat TM e as bandas 5 e 6 do Landsat OLI/TIRS que correspondem a faixa do infravermelho próximo e infravermelho médio do espectro eletromagnético. Para o cálculo do Índice foi utilizada a seguinte equação (Gao, 1996):

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

Onde,

NDWI: Índice de Umidade por Diferença Normalizada

SWIR: Reflectância correspondente a banda do infravermelho médio

NIR: Reflectância correspondente a banda do infravermelho próximo

O NDWI detecta a presença de umidade na vegetação e assim como o NDVI os valores variam de -1 a 1. Quando os valores de reflectância na faixa espectral do infravermelho médio são altas os valores do Índice são negativos indicando ausência de umidade na cobertura vegetal. Por outro lado, valores baixos de reflectância na faixa espectral do infravermelho médio indicam que o teor de água da vegetação é alto, uma vez que a água absorve a radiação nessa faixa espectral. Como resultado o NDWI apresenta valores positivos.

4.5.3 -Composição Multitemporal a partir das imagens NDVI e NDWI

Após calcular o NDVI e o NDWI para todas as cenas Landsat foi realizada a composição falsa-cor RGB com essas imagens. Para isso foi gerado-se um arquivo com o NDVI das imagens de 1985 e de 2015 e outro arquivo com o NDWI das imagens de 1985 a 2015. As sequências das bandas dos dois arquivos gerados são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2: Organização do NDVI e NDWI das imagens Landsat para os dois arquivos gerados com a função *Merge* no Qgis versão 2.10.

Banda do arquivo gerado	NDVI/Ano	NDWI/Ano
1	Landsat TM: 1985	Landsat TM: 1985
2	Landsat TM: 1990	Landsat TM: 1990
3	Landsat TM: 1995	Landsat TM: 1995
4	Landsat TM: 2000	Landsat TM: 2000
5	Landsat TM: 2005	Landsat TM: 2005
6	Landsat TM: 2011	Landsat TM: 2011
7	Landsat OLI: 2015	Landsat OLI: 2015

5 -Resultados

5.1- Composição Multitemporal dos Fragmentos de Cerrado

Foi realizada uma composição multitemporal com o NDVI das imagens Landsat TM e OLI para detectar alterações da fitomassa nos fragmentos de Cerrado. A Tabela 3 mostra a composição multitemporal RGB NDVI dos 18 fragmentos de Cerrado. Em cada composição foram comparadas imagens NDVI de duas datas diferentes onde a imagem de data mais recente se repete no canal verde e azul da composição RGB NDVI.

Pixels que se destacam com um vermelho intenso indicam uma grande mudança nos valores de NDVI de uma época em relação a outra. A cor é vermelha pois a imagem NDVI que se encontra no canal vermelho da composição RGB possui valores de NDVI maiores fazendo com que o vermelho predomine sobre as outras cores. Quanto maior a discrepância nos valores de NDVI entre as duas imagens mais intensa será a cor predominante.

O ciano também indica grandes mudanças nos valores de NDVI dos fragmentos. Nesse caso, a coloração é diferente pois a imagem que corresponde aos canais verde e azul na composição RGB mostram valores de NDVI maiores e a cor ciano se justifica pelo fato dos canais verde e azul da composição RGB serem a mesma imagem. Como a intensidade da resposta espectral nos dois canais é igual, a combinação na mesma intensidade do verde com o azul resulta no ciano.

Assim, a cor vermelha dos pixels indica que houve diminuição na vegetação (O NDVI antigo é maior que o atual) e a cor ciano indica aumento na vegetação (O NDVI antigo é menor do que o atual) em uma composição RGB NDVI.

A cor escura, seja vermelho ou ciano, indica que as duas imagens possuem valores de Índice de Vegetação são próximos e interpretados como variações internas do fragmento, sem alteração significativa de fitomassa.

É possível notar também a presença de pixels brancos e pretos nos fragmentos. Esse tipo de resposta indica ausência de mudanças na resposta espectral nos fragmentos. Apesar de serem interpretados como ausência de mudança, a diferença reside na presença e ausência de fitomassa onde a primeira é representada por pixels brancos e o último por pixels pretos.

Por último, pixels com tons de cinza indicam que as imagens das três bandas possuem valores de NDVI na mesma intensidade. O tom de cinza claro ou escuro é resultante da magnitude dos valores de NDVI. Se os valores tenderem a 1 a tonalidade tende a ser mais clara. Por outro lado, se os valores tenderem a 0 a tonalidade resultante será escura tendendo ao preto.

É possível notar na tabela que grandes mudanças na resposta espectral de alguns fragmentos nas composições R1G7B7, R1G2B2 e R6G7B7, onde exibem um vermelho intenso em

toda ou quase toda a extensão do fragmento. As imagens das composições RGB são relacionados aos anos de 1985 (banda 1), 1990 (banda 2), 2011 (banda 6) e 2015 (banda 7). Na primeira composição os valores de Índice de Vegetação são maiores em 1985 em relação a 2015. Na composição R1G2B2 a imagem de 1985 apresenta valores de NDVI maiores em relação a imagem de 1990. Na última composição RGB o vermelho intenso nos fragmentos indica que os valores de NDVI da imagem referente a 2011 são maiores em relação à imagem de 2015. Assim, houve perda de fitomassa de 2011 para 2015.

Outros fragmentos não apresentam mudanças espectrais uniformes ao longo de suas extensões. Nesses fragmentos os pixels variam exibindo diversos tons de vermelho e ciano, indicando uma oscilação nos valores de NDVI entre os diferentes anos.

5.2 - Composição Multitemporal RGB-NDWI

A Tabela 4 mostra a variação de umidade nos fragmentos de Cerrado. O raciocínio utilizado para a interpretação das mudanças nos valores de NDWI é a mesma em relação a aquele usado para a composição RGB NDVI onde o vermelho intenso em suas distintas tonalidades indica a intensidade da mudança de umidade que ocorreu entre as datas. Em uma composição RGB NDWI pixels vermelhos indicam que os valores de NDWI são maiores nas imagens de datas antigas em relação a aquelas de datas mais recentes. Já os pixels em ciano indicam o contrário. Assim a cor vermelha dos pixels indica que houve diminuição na umidade do fragmento analisado. A cor ciano indica ganho de umidade.

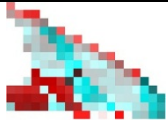
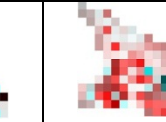
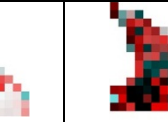
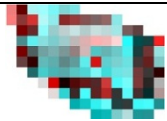
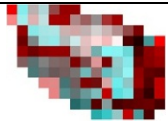
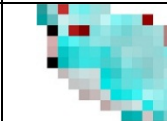
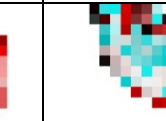
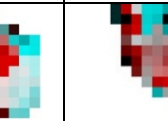
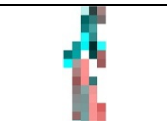
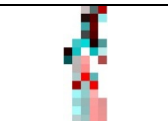
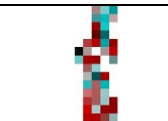
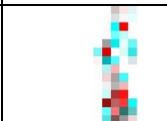
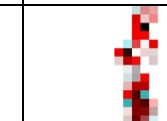
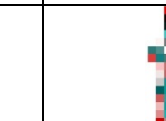
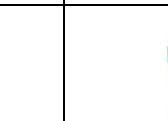
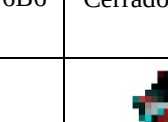
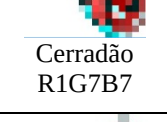
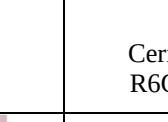
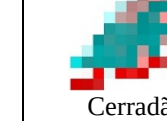
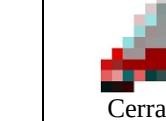
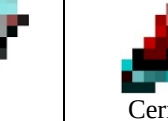
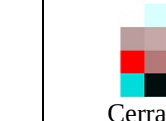
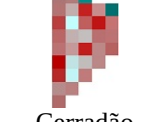
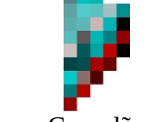
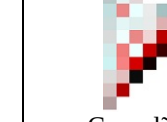
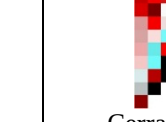
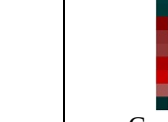
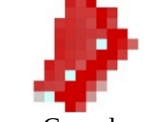
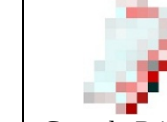
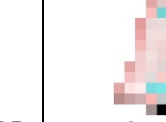
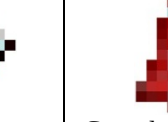
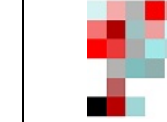
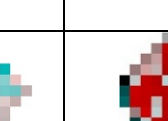
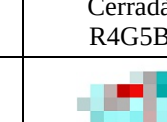
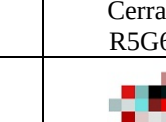
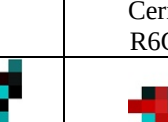
As composições R1G7B7, R2G3B3 e R6G7B7 exibem alguns fragmentos com uma coloração vermelho intenso em toda ou quase toda a extensão. As composições RGB NDWI são relacionados aos anos de 1985 (banda 1), 1990 (banda 2), 1995 (banda 3) e 2015 (banda 7). Nas composições R1G7B7 e R6G7B7 o NDWI do ano de 2015 é menor com relação aos anos de 1985 e 2011 indicando um decréscimo de umidade onde os pixels vermelhos destacam essa diminuição. Com relação a composição RGB NDWI entre as imagens de 1990 e 1995, a primeira data exhibe os maiores valores de NDWI. Essa mudança é destacada também pelos pixels em vermelho. Portanto, houve perda de umidade no período analisado.

Na Tabela 4 também é possível observar uma variação nos valores de umidade dentro de um mesmo fragmento onde o aumento de umidade ocorre em momentos diferentes. Como exemplo o fragmento de Cerradão com a composição R1G7B7 na quarta linha da Tabela 4 apresenta algumas áreas em ciano e outra parte em vermelho. A parte em ciano indica que a umidade foi maior naquela parte do fragmento no ano de 2015 em relação ao ano de 1985 e a parte em vermelho indica a situação contrária, ou seja, que a umidade diminuiu em 2015 em relação ao

ano de 1985. É possível notar esse tipo de situação em grande parte dos fragmentos na Tabela 4 indicando um padrão heterogêneo de resposta espectral.

O NDWI é um índice complementar ao NDVI pois este índice apresenta limitações ao avaliar o conteúdo de água da vegetação (Ceccato et al. 2002). Assim, se faz necessário utilizar os dois índices para avaliar as condições da vegetação (Kamila and Pal, 2015).

Tabela 3: Composição multitemporal RGB-NDVI dos 18 fragmentos de Cerrado com a especificação da fitofisionomia de cada fragmento. Distintas composições para o mesmo fragmento são apresentados ao longo de cada linha da tabela. Cada banda representa o NDVI do fragmento de uma determinada época. Por exemplo: a primeira linha e coluna apresenta um fragmento de Cerradão com composição RGB 177. Significa que no canal do vermelho está o NDVI do ano de 1985 e no canal Verde e Azul o NDVI do ano de 2015. A mudança na resposta do NDVI é apresentada em vermelho intenso e indica onde os valores de NDVI do ano de 1985 são maiores e a cor ciano indica onde os valores de NDVI do ano de 2015 são maiores. As seguintes bandas correspondem aos NDVI das seguintes datas: Banda 1: 1985; Banda 2: 1990; Banda 3: 1995; Banda 4: 2000; Banda 5: 2005; Banda 6: 2011 e Banda 7: 2015. A tabela continua nas próximas páginas.

						
Cerradão R1G7B7	Cerradão R1G2B2	Cerradão R2G3B3	Cerradão R3G4B4	Cerradão R4G5B5	Cerradão R5G6B6	Cerradão R6G7B7
						
Cerrado R1G7B7	Cerrado R1G2B2	Cerrado R2G3B3	Cerrado R3G4B4	Cerrado R4G5B5	Cerrado R5G6B6	Cerrado R6G7B7
						
Cerrado R1G7B7	Cerrado R1G2B2	Cerrado R2G3B3	Cerrado R3G4B4	Cerrado R4G5B5	Cerrado R5G6B6	Cerrado R6G7B7
						
Cerradão R1G7B7	Cerradão R1G2B2	Cerradão R2G3B3	Cerradão R3G4B4	Cerradão R4G5B5	Cerradão R5G6B6	Cerradão R6G7B7
						
Cerradão R1G7B7	Cerradão R1G2B2	Cerradão R2G3B3	Cerradão R3G4B4	Cerradão R4G5B5	Cerradão R5G6B6	Cerradão R6G7B7
						
Cerradão R1G7B7	Cerradão R1G2B2	Cerradão R2G3B3	Cerradão R3G4B4	Cerradão R4G5B5	Cerradão R5G6B6	Cerradão R6G7B7
						
Cerradão R1G7B7	Cerradão R1G2B2	Cerradão R2G3B3	Cerradão R3G4B4	Cerradão R4G5B5	Cerradão R5G6B6	Cerradão R6G7B7
						
Cerradão R1G7B7	Cerradão R1G2B2	Cerradão R2G3B3	Cerradão R3G4B4	Cerradão R4G5B5	Cerradão R5G6B6	Cerradão R6G7B7
						
Cerrado R1G7B7	Cerrado R1G2B2	Cerrado R2G3B3	Cerrado R3G4B4	Cerrado R4G5B5	Cerrado R5G6B6	Cerrado R6G7B7
						
Mata ciliar R1G7B7	Mata ciliar R1G2B2	Mata ciliar R2G3B3	Mata ciliar R3G4B4	Mata ciliar R4G5B5	Mata ciliar R5G6B6	Mata ciliar R6G7B7
						
Cerradão R1G7B7	Cerradão R1G2B2	Cerradão R2G3B3	Cerradão R3G4B4	Cerradão R4G5B5	Cerradão R5G6B6	Cerradão R6G7B7
						
Cerrado R1G7B7	Cerrado R1G2B2	Cerrado R2G3B3	Cerrado R3G4B4	Cerrado R4G5B5	Cerrado R5G6B6	Cerrado R6G7B7

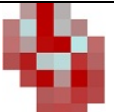
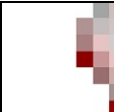
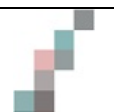
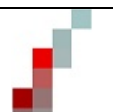
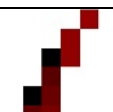
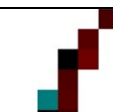
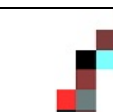
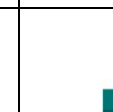
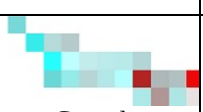
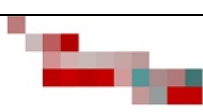
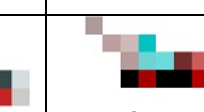
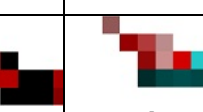
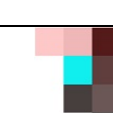
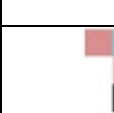
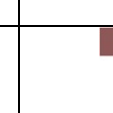
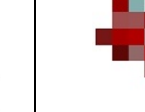
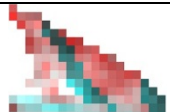
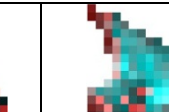
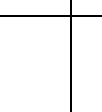
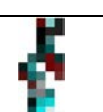
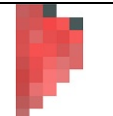
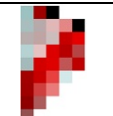
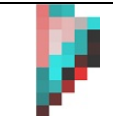
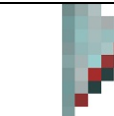
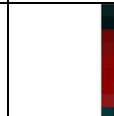
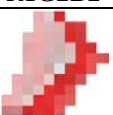
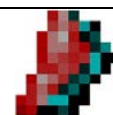
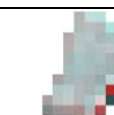
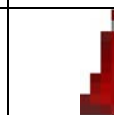
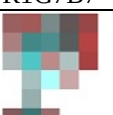
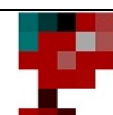
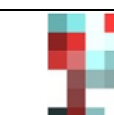
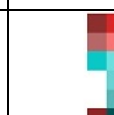
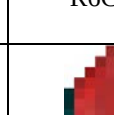
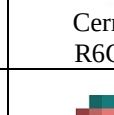
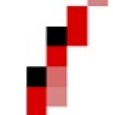
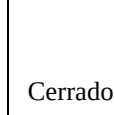
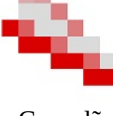
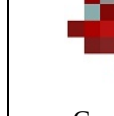
 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7

Tabela 4: Composição multitemporal RGB-NDWI dos 18 fragmentos de Cerrado com a especificação da fitofisionomia de cada fragmento. Distintas composições para o mesmo fragmento são apresentados ao longo de cada linha da tabela. Cada banda representa o NDWI do fragmento de uma determinada época. Por exemplo: a primeira linha e coluna apresenta um fragmento de Cerradão com composição RGB 177. Significa que no canal do vermelho está o NDWI do ano de 1985 e no canal Verde e Azul o NDWI do ano de 2015. A mudança na resposta do NDWI é apresentada em vermelho intenso que indica onde os valores de NDWI do ano de 1985 são maiores. As seguintes bandas correspondem aos NDVI das seguintes datas: Banda 1: 1985; Banda 2: 1990; Banda 3: 1995; Banda 4: 2000; Banda 5: 2005; Banda 6: 2011 e Banda 7: 2015. A tabela continua nas próximas páginas.

 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7
 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7

 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7
 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Mata ciliar R1G7B7	 Mata ciliar R1G2B2	 Mata ciliar R2G3B3	 Mata ciliar R3G4B4	 Mata ciliar R4G5B5	 Mata ciliar R5G6B6	 Mata ciliar R6G7B7
 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerrado R1G7B7	 Cerrado R1G2B2	 Cerrado R2G3B3	 Cerrado R3G4B4	 Cerrado R4G5B5	 Cerrado R5G6B6	 Cerrado R6G7B7
 Cerradão R1G7B7	 Cerradão R1G2B2	 Cerradão R2G3B3	 Cerradão R3G4B4	 Cerradão R4G5B5	 Cerradão R5G6B6	 Cerradão R6G7B7

5.3 - Relação entre o NDVI e NDWI

Para mostrar a variação na resposta espectral entre o NDVI e NDWI ao longo do tempo foi calculado para cada índice o valor médio geral dos 18 fragmentos a partir dos valores médios de cada fragmento. A Figura 10 mostra a variação dos valores de NDVI e NDWI ao longo dos anos. De 1985 até 1990 há uma oscilação nos valores de NDVI. Em 2000 o NDVI apresenta um aumento no seu valor médio. De 2005 a 2015 é observado um decréscimo contínuo do valor médio do Índice. O mesmo padrão de variação é observado em relação ao NDWI indicando uma relação de associação entre os dois índices. Assim, a medida em que há um aumento de fitomassa há também um ganho de umidade.

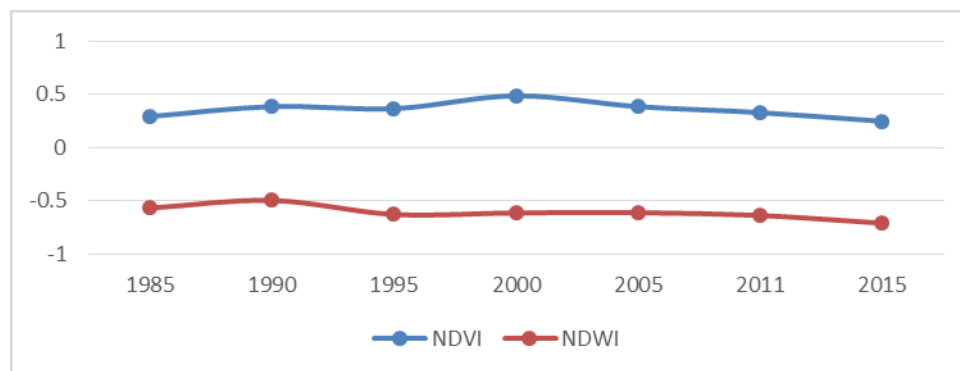


Figura 10: Valores médios de NDVI e NDWI de 18 fragmentos Cerrado ao longo do tempo. O NDWI acompanha o aumento e diminuição dos valores do NDVI.

5.4 - Análise estatística dos dados de cobertura vegetal

Foi realizada uma análise de regressão linear simples com a finalidade de avaliar o poder preditor da cobertura vegetal sobre a média (complexidade do habitat) e desvio padrão (heterogeneidade de habitat) do NDVI. A Figura 11 apresenta os resultados da análise. A média e o desvio padrão da cobertura por espécies lenhosas apresentaram um baixo valor de predição sobre os valores do Índice de Vegetação.

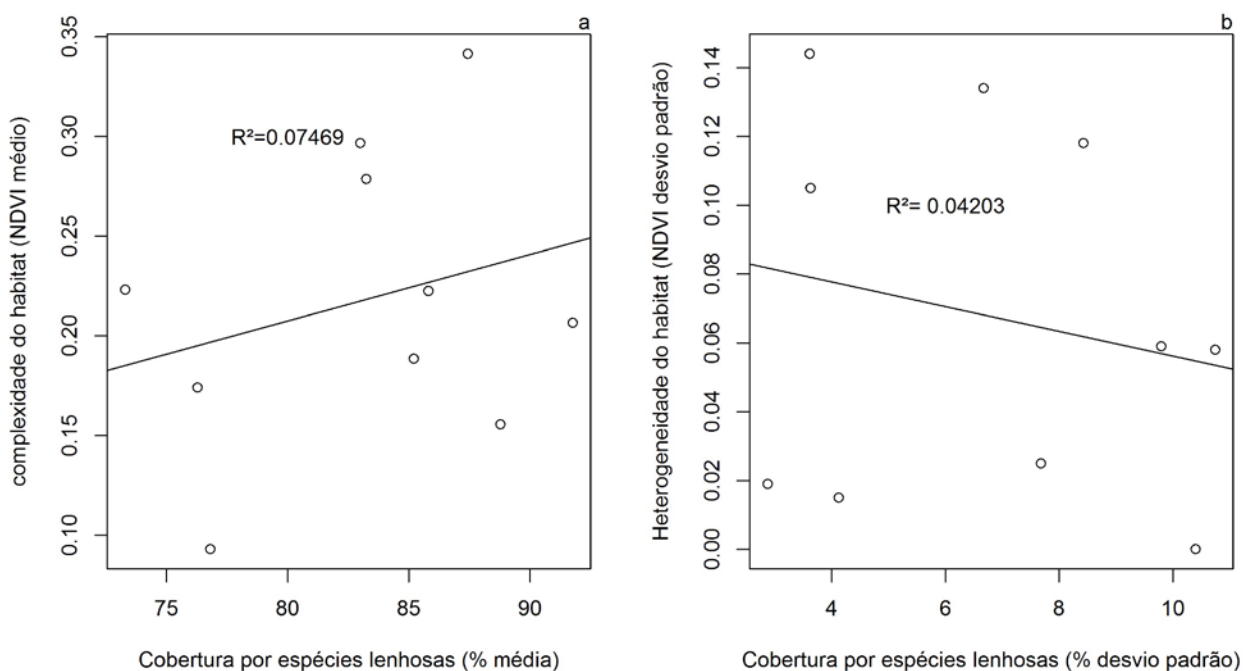


Figura 11: Análise de Regressão Linear Simples entre os valores do Índice de Vegetação (NDVI) e a porcentagem de cobertura vegetal dos fragmentos.

6-Discussão

A mudança heterogênea dos valores de NDVI pode ser explicada pela existência de diferentes extratos e espaçamentos presentes nos fragmentos. O espaçamento do dossel permite que a radiação solar incida sobre o solo. O NDVI é sensível ao solo exposto o que causa a diminuição do seu valor. A resposta espectral de um pixel de 30 metros é resultante da mistura espectral dos objetos que o pixel cobre. Assim aparecem valores reduzidos de NDVI em algumas áreas indicam pontos com vegetação de menor porte, com dossel aberto e com maior espaçamento e não necessariamente desmatamento. Para verificar a ocorrência de desmatamento dos fragmentos um estudo quantitativo da composição multitemporal deve ser realizado gerando uma carta de cobertura ao solo com base nos valores do NDVI.

Alguns valores de NDWI se mostraram inconsistentes com os valores de NDVI pois apesar da baixa umidade os valores de NDVI ainda se mostraram elevados. Isto pode ser explicado pela presença de espécies perenifólias nos fragmentos. Espécies perenifólias são capazes de manter suas folhas por um longo período de tempo inclusive em época de seca. Espécies que passam por um estresse hídrico começam a perder suas folhas para diminuir a perda de água causando aumento da deciduidade das folhas. Consequentemente o processo de fotossíntese cessa uma vez que a água

se torna um fator limitante. A diminuição da fotossíntese se dá pela diminuição da clorofila nas folhas (Gu et al. 2008). A ausência de material foliar verde, em um grande número de espécies, diminui a influência da componente foliar na resposta espectral (Asner et al. 2000)

Lei Ji e Peters (2003) relatam que o vigor da vegetação está relacionado com as condições de umidade. No entanto, esta associação não descarta que outros fatores podem estar contribuindo com o estresse da vegetação. O estresse hídrico pode ser mais intenso em plantas jovens e de menor porte como áreas de pastagens por serem mais sensíveis ao seu efeito (Ji e Peters 2003; Potter 2015). Potter (2015) relata que a pastagem sofre maior estresse hídrico em relação aos arbustos e florestas.

Foi observado que há uma associação entre os valores de NDVI e NDWI. Áreas com aumento de fitomassa mostram aumento de umidade. Ao dispor de água as plantas conseguem manter a taxa fotossintética e produzir reservas energéticas mantendo a produção de folhas. A perda de umidade de um fragmento é um indicativo de perda de vigor da vegetação, consequentemente, perda da qualidade ambiental deste fragmento.

6.1 - Análise estatística dos dados de cobertura vegetal

Os resultados da regressão entre valores de cobertura vegetal do dossel e valores médio e desvio padrão do NDVI não foram consistentes com aqueles do trabalho de Gamarra (2012) em que essas relações foram positivas com um coeficiente de determinação alto. O NDVI apesar de ter se mostrado um índice que funcione na caracterização da estrutura vegetal não gerou um resultado satisfatório uma vez que a composição falsa-cor RGB com imagens NDVI mostrou uma resposta espectral heterogênea. Assim, esperava-se um alto valor preditivo dos valores de cobertura vegetal com relação aos valores de NDVI. Outros Índices de vegetação devem ser utilizados para detectar fatores que expliquem a heterogeneidade do habitat e complexidade ambiental. Apesar das vantagens que o sensoriamento remoto oferece como precisão e rapidez na aquisição de dados ambientais e menor custo-benefício a atividade de campo se faz necessária, pois os dados adquiridos requerem validação por meio de coleta de dados em campo.

7-Conclusões

A comparação dos valores de NDVI observados nas imagens com as fitofisionomias identificadas em campo mostraram uma relação na qual a variação do NDVI de um mesmo fragmento está associada com a heterogeneidade deste fragmento. O valor médio que representa o fragmento está relacionado com a fitofisionomia identificada em campo. No presente trabalho ressalta-se, porém, a necessidade de trabalho de controle de campo.

Na análise multitemporal, deve considerar que mesmo imagens de mesma época do ano (estação seca por exemplo), mas de anos diferentes podem trazer pequenas diferenças nos valores de NDVI referentes a mudanças que não implicam necessariamente em desmatamento ou perda de qualidade ambiental (diferenças de intensidade na estação seca dos anos analisados).

O NDWI se prestou como índice de forma complementar ao NDVI. Um mesmo fragmento sem variação de NDVI ao longo do tempo, mas com perda de umidade identificada através do NDWI pode indicar perda de serapilheira ou de sub-bosque, o que pode ser originado em efeito de borda ou ação antrópica.

A combinação falsa-cor multitemporal se mostrou uma maneira simples e rápida para se localizar os locais onde houveram mudanças na cobertura vegetal. No caso de um estudo quantitativo, a carta de cobertura dos solos pode ser derivada do NDVI como forma alternativa à classificação espectral automática (não supervisionada).

Recomenda-se para estudo futuros considerar ainda um índice que avalie a contribuição dos solos expostos nos valores dos índices analisados.

8-Referências

- Abreu KMP, Coutinho LM (2014) Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. 173–198.
- Asner GP, Wessman CA, Bateson CA, Privette JL (2000) Impact of Tissue, Canopy, and Landscape Factors on the Hyperspectral Reflectance Variability of Arid Ecosystems. *Remote Sensing of Environment* 74:69–84.
- Assis DS, Costa JRS, Tôsto SG, Gomes JBV, de Macedo JR, Martins JS, Marques J, Alvarenga SM, Moreira MLO, Ramalho Filho A, Lima JPS, Hany FES, Torrencilha ML, Madureira CB, Fialho AA, Moura JRS, Lima MARS, Lontro SMG, Sobrinho JS, Martorano LG, Pitthan JHL, Silva SS, Áglío MLD, Soares AF, Souza JS, Sales AT, Silva TC, Argento MSF, Gomes LFM, Silva AB, Delaia PM, Bhering SB, Barros RS, Cunha BCC, Guerra AT, Silva EF, Dedeseck A, Neto JM,. (2003). Zoneamento agroecológico do Município de São Gabriel do Oeste, MS: referencial para o planejamento, gestão e monitoramento ambiental. Rio de Janeiro: Embrapa Solos/IBGE.
- Aquino FG, Miranda HBM. (2008). Consequências ambientais da fragmentação de habitats no Cerrado. *In* Cerrado: ecologia e flora. (Sano SM, Almeida SP, eds.). Embrapa-CPAC, Planaltina, p.385-398.
- Begon M, Townsend RC, Harper LJ. (2006). *Ecology From Individuals to Ecosystems*. Oxford, Blackwell Publishing.
- Carvalho F, De Marco Júnior P, Ferreira LG. (2009). The Cerrado into-pieces: habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation* 142: 1392-1403.
- Ceccato P, Stéphane F, Jean-Marie G (2002). Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data Part 2. Validation and applications. *Remote Sensing of Environment* 82:198-207.

- Collinge SK. (1996). Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. *Landscape and urban planning* 36:59-77.
- Corrêa CC, Pimenta M, Dutra SL, Júnior PM. (2011). Utilização do NDVI na avaliação da resposta de besouros herbívoros à complexidade e heterogeneidade ambiental em diferentes escalas no Bioma Cerrado *In Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE, Curitiba, p. 3103-3110.
- Durigan G. (2007). Os (invisíveis) Serviços Ambientais do Cerrado. *In A Botânica no Brasil: pesquisa, ensino e políticas públicas ambientais* (Barbosa LM, Santos Junior dos, orgs.). Sociedade Botânica do Brasil, São Paulo, p. 324-327.
- Fahrig L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology evolution and systematics* 34:487-515.
- Flauzino FS, Silva MKA, Nishiyama L, Rosa R. 2010. Geotecnologias Aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba do cerrado mineiro. *Sociedade & Natureza* 22:75-91.
- Folhes MT. (2005). Uma aplicação da banda termal do TM/Landsat-5 no gerenciamento dos recursos hídricos. *In Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE, Goiânia, p. 3009-3016.
- Florenzano, TG (2002) *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo, Oficina de Textos.
- Gamarra RB. (2013). Dinâmica da Estrutura da Vegetação no Parque Estadual das Nascentes Do Rio Taquari-MS. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
- Gao B (1996) NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58:257–266.
- Gu Y, Hunt E, Wardlow B, et al (2008) Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data. *Geophysical Research Letters* 35:L22401.

GRASS Development Team, (2012). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS 6) Programmer's Manual. Open Source Geospatial Foundation Project.

Hayes DJ, Sader SA (2001) Comparison of Change Detection Techniques for Monitoring Tropical Forest Clearing and Vegetation Regrowth in a Time Series. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 67:1067-1075.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 225/073 de 13 de agosto de 1985. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de junho de 2015. 1984.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 225/073 de 26 de julho de 1990. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de junho de 2015. 1990.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 225/073 de 25 de agosto de 1995. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de junho de 2015. 1995.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 225/073 de 22 de agosto de 2000. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de junho de 2015. 2000.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 225/073 de 20 de agosto de 2005. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de junho de 2015. 2005.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 225/073 de 22 de setembro de 2011. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de junho de 2015. 2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 8, sensor OLI/TIRS. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11. Órbita/Ponto 225/073 de 01 de agosto de 2015. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Último acesso em 4 de setembro de 2015. 2015.

- Jarocińska A, Zagajewski B (2008). Korelacje naziemnych i lotniczych teledetekcyjnych skaźników roślinności dla zlewni Bystrzanki [Correlation of terrestrial and aerial remote sensing vegetation indices for the Bystrzanka watershed]. *Teledetekcja Środowiska* 40:100-124.
- Ji L, Peters AJ (2003) Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices. *Remote Sensing of Environment* 87:85–98.
- Kamila A, Pal SC (2015) Urban Growth Monitoring and Analysis of Environmental Impacts on Bankura-I and II Block using Landsat Data. 4:965–975.
- Klink CA, Machado MB. (2005). Conservation of the brazilian cerrado. *Conservation Biology* 19: 707-713.
- Lima JEFW, Silva EM da. Recursos Hídricos do Bioma Cerrado: Importância e situação. (2008). *In* Cerrado: ecologia e flora. (Sano SM, Almeida SP, eds.). Embrapa-CPAC, Planaltina, p.151-199.
- Loveland TR, Dwyer JL (2012) Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment* 122:22–29.
- Machado RB, Ramos Neto MB, Pereira PGP, Caldas EF, Gonçalves DA, Santos NS, Tabor K, Steininger M. (2004). Estimativas da perda da área de Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF.
- Melo ET, Sales MCL, Oliveira JGB. (2011). Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-ce. *Raíza* 23:520-533.
- Metzger JP. (1999). Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. *Anais-academia Brasileira de Ciências* 71:445-464.

- Metzger JP. (2003). Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. *In Métodos de estudos em biologia da conservação & manejo da vida silvestre* (Cullen Jr. L, Rudran R, Valladares-Pádua C, eds). Editora da UFPr, Curitiba, p. 423-453.
- Morato RG, Kawakubo FS, Paul R, Machado P (2011) Análise da expansão urbana por meio de composições coloridas multitemporais. *Mercator* 10:221–231.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Da Fonseca GA, Kent J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- Nascimento MC, Soares VP, Ribeiro CAAS., Silva, E. (2006). Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite IKONOS II. *Revista Árvore* 30:389-398.
- Oliveira EF, Silva EA, Fernandes CE, Paranhos Filho AC, Gamarra RM, Ribeiro AA, Brazil RP, Oliveira AG. (2012). Biotic factors and occurrence of *Lutzomyia longipalpis* in endemic area of visceral leishmaniasis, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 107:346-401.
- PCI Geomatics trial (2015). Ontario. Canada.
- Pereira MAS, Sousa Neves NAG, Figueiredo DFC. (2007). Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. *Geografia* 16:5-24.
- Potter C (2015) Assessment of the Immediate Impacts of the 2013–2014 Drought on Ecosystems of the California Central Coast. *Western North American Naturalist* 75:129–145
- Ponzoni FJ, Shimabukuro YE. (2007). Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. 2da edição. INPE. Editora Parêntese. São José dos Campos – SP.
- Pujiono E, Kwak D-A, Lee W-K, et al (2013) RGB-NDVI color composites for monitoring the change in mangrove area at the Maubesi Nature Reserve, Indonesia. *Forest Science and Technology* 9:171–179.

- Primack RB, Rodriguez E. (2001). Ameaças à Diversidade Biológica. *In* Biologia da Conservação (Primack RB, Rodriguez E, eds.). Londrina: E. Rodrigues, p.69-134.
- QGIS Development Team, (2015). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Ribeiro JR, Walter BMT. (2008). Fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In* Cerrado: ecologia e flora. (Sano SM, Almeida SP, eds.). Embrapa-CPAC, Planaltina, p.151-199.
- Rouse, JW et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *In*: Proceedings of the third ErtS Symposium, SP-351 Goddard Space Flight Center, 1973, Washington: NASA, 1973, p. 309–317.
- Roy DP, Wulder M a., Loveland TR, et al (2014) Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment* 145:154–172.
- Sader S a., Winne JC (1992) RGB-NDVI colour composites for visualizing forest change dynamics. *International Journal of Remote Sensing* 13:3055–3067.
- Sano EE, Rosa R, Brito JLS, Ferreira LG (2010) Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental monitoring and assessment* 166:113–24.
- Saunders DA, Hobbs RJ, Margules CR. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation biology* 5:18-32.
- Sawyer D. (2009). Fluxos de carbono na Amazônia e no Cerrado: um olhar socioecossistêmico. *Sociedade e Estado* 24:149-171.

- Suganuma MS, Torezan JMD, Cavaleiro AL, Vanzela ALL, Benato T. (2008). Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel ea luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. *Revista Árvore* 32: 377-385.
- Smith R (2012). Remote Sensing of Environment (RSE). <http://www.microimages.com/documentation/Tutorials/intorse.pdf> (accessed 2015 Set).
- Tavares CEC. (2004). Fatores críticos à competitividade da soja no Paraná e no Mato Grosso. <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/74f269479f1f6d9ee40fb9a161eb1237..pdf> (accessed 2014 Feb).
- Tilman D. (2000). Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature* 405: 208-211.
- USGS. What is Landsat 8 OLI/TIRS Pre-WRS-2 data? Available online: http://landsat.usgs.gov/L8_Pre_WRS2.php (accessed on 2 February 2015).
- Viana VM, Tabanez AJ, Martinez JL. (1992). Restauração e manejo de fragmentos florestais. *In* Congresso Nacional sobre Essências Nativas. Instituto Florestal/Secretaria de Meio Ambiente, Campos do Jordão, v. 2, p.400-406.
- Williams DL, Goward S, Arvidson T (2006) Landsat: Yesterday, today and tomorrow. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 72:1171–1178.
- Zar, J.H. (1999). Biostatistical analysis. 4th ed., Prentice Hall, Upper Saddle River.

9-Apêndice

Roteiro para a elaboração de uma composição multitemporal a partir de cenas Landsat.

Neste roteiro apresento o processamento executado nas imagens Landsat para a elaboração da composição multitemporal com imagens NDVI e NDWI entre os anos de 1985 e 2015 sobre os fragmentos de Cerrado localizados no Município de São Gabriel do Oeste. O objetivo da composição multitemporal é identificar mudanças nas propriedades espectrais (assinaturas espectrais) dos objetos da superfície terrestre ao longo do tempo através da composição RGB entre cenas de distintas datas. Após o georreferenciamento das imagens Landsat foi realizado a extração das bandas de interesse para o cálculo do NDVI e NDWI. Antes do cálculo dos índices foi realizado a conversão dos valores digitais de cada pixel para valores de reflectância. Após o cálculo dos índices para todas as cenas Landsat foi realizada a junção das imagens índice em um único arquivo. Este procedimento resultou em dois arquivos sendo um com as imagens NDVI e outra com as imagens NDWI. Nas próximas seções são mostradas de forma detalhada as etapas citadas a começar pela extração de bandas das cenas Landsat.

Separação das cenas Landsat em bandas individuais

Com as cenas já corrigidas a próxima etapa foi separar cada cena Landsat em suas respectivas bandas individuais uma vez que somente três bandas de cada cena foram utilizadas na correção atmosférica e cálculo do NDVI e NDWI. Para a realização desta etapa foi utilizado a linha de comando do GDAL versão 1.11.2 no console (prompt do DOS). Antes de inserir os comandos no GDAL foi criado em um arquivo **.txt** uma lista com as cenas utilizadas no estudo juntamente com o comando que se separa cada cena em suas respectivas bandas individuais. Este procedimento foi baseado no material do Jorge Santos que se encontra na pagina www.processamentodigital.com.br onde ele separa em lote as bandas das imagens rapideye. Os comandos utilizados no GDAL para separação das bandas das imagens bem como a planilha excel onde foi preparado o comando estão disponíveis no link citado acima. Na planilha excel foram atribuídos separadamente em colunas as partes do comando GDAL. Em cada coluna constaram as seguintes partes do comando:, o nome de entrada cada cena da lista, o sufixo do arquivo de entrada, o nome de saída de cada cena da lista, o sufixo do arquivo de saída e por ultimo o comando completo.(printscreen. Planilha Excel).

No GDAL shell foi indicado o caminho onde se encontra o diretório com as cenas georreferenciadas. O diretório foi acessado através do comando **cd (change directory)** seguido pelo nome da pasta com as imagens.(printscreen). Na sequência o seguinte comando foi inserido:

dir /b *.tif > lista_tif.txt

onde:...

dir: comando utilizado para mostrar uma lista de arquivos.

/b: atributo do comando **dir** onde a lista de arquivos é apresentada sem cabeçalho.

***.tif:** todos os arquivos com a extensão **.tif** são selecionados. No caso todas as cenas georreferenciadas utilizadas no estudo serão selecionadas.

> lista_tif.txt: a lista com os arquivos será redirecionada para o arquivo **lista_tif.txt**. O caractere “>” indica o redirecionamento da lista de imagens selecionadas para o arquivo.txt.

A Figura x mostra os passos executados no GDAL shell (printscreen)

A figura y mostra o arquivo lista_tif.txt gerado dentro do diretório **LANDSAT**

O próximo passo será o preenchimento das colunas da planilha excel com os elementos do comando que irá realizar a separação das bandas de cada cena Landsat.

	A	B	C	D	E
1	COMANDO_GDAL	IMAGENS_ENTRADA	SUFIXO1	IMAGENS_SAIDA	SUFIXO2
2	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	B1.tif
3	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 2	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	B2.tif
4	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 3	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	B3.tif
5	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 4	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	B4.tif
6	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 5	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	B5.tif
7	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 6	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref	B6.tif
8	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	B1.tif
9	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 2	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	B2.tif
10	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 3	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	B3.tif
11	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 4	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	B4.tif
12	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 5	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	B5.tif
13	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 6	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref	B6.tif
14	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	B1.tif
15	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 2	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	B2.tif
16	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 3	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	B3.tif
17	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 4	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	B4.tif
18	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 5	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	B5.tif
19	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 6	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref	B6.tif
20	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	B1.tif
21	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 2	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	B2.tif
22	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 3	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	B3.tif
23	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 4	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	B4.tif
24	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 5	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	B5.tif
25	gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 6	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	.tif	LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref	B6.tif

Figura 12: Planilha Excel com o comando com partes do comando GDAL em cada coluna.

COMANDO_COMPLETO

```
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1 LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref_B1.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 2 LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref_B2.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 3 LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref_B3.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 4 LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref_B4.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 5 LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref_B5.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 6 LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref_B6.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1 LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref_B1.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 2 LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref_B2.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 3 LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref_B3.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 4 LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref_B4.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 5 LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref_B5.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 6 LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19900726_225_073_georref_B6.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1 LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref_B1.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 2 LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref_B2.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 3 LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref_B3.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 4 LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref_B4.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 5 LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref_B5.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 6 LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_19950825_225_073_georref_B6.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1 LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref_B1.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 2 LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref_B2.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 3 LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref_B3.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 4 LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref_B4.tif
gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 5 LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref.tif LANDSAT_5_TM_20000822_225_073_georref_B5.tif
```

Figura 13: Continuação da planilha Excel com o comando completo

Na coluna **Comando GDAL** inserimos o seguinte comando:

gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1

onde:

gdal_translate: módulo do GDAL onde é possível fazer conversões de arquivos raster

-of (output format): formato do arquivo de saída em Gtiff (Geotiff)

-ot Byte (output type): tipo de dados das bandas resultantes. No caso as cenas terão 8 bits de informação.

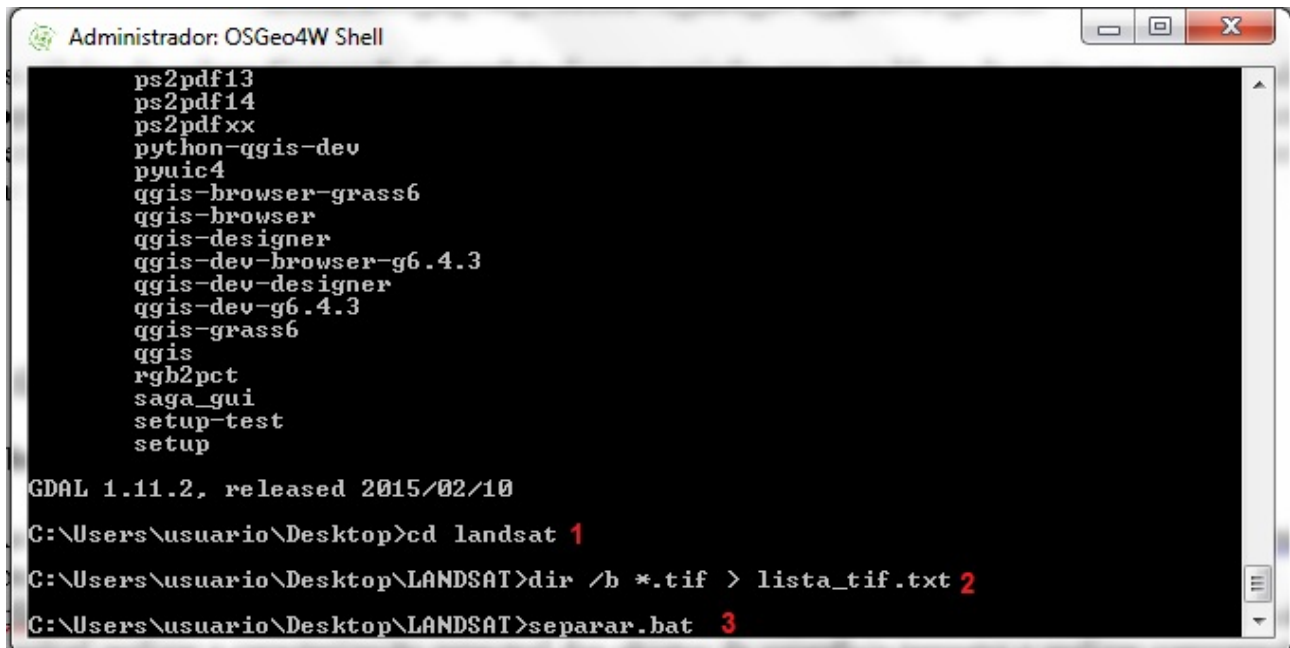
-b (band): indica a banda da cena Landsat que será gerada como arquivo de saída. No comando acima figura a banda 1 do Landsat.

Nas colunas **Imagens de Entrada** e **Imagens de Saída** foram inseridos os nomes dos arquivos das cenas corrigidas. Nas colunas **sufixo1** e **sufixo2** figuram a extensão do arquivo de entrada (.tif) e do arquivo de saída (_B1.tif) respectivamente. Por último, na coluna **Comando Completo** é exibido o comando que será utilizado para obter a separação das cenas em bandas individuais. Para preencher esta coluna foi utilizada a função **Concatenar** no Excel. Este comando une a cadeia de texto das demais colunas em uma só célula. Abaixo segue o comando completo para a banda 1 da cena Landsat de Agosto de 1985.

**gdal_translate -of GTiff -ot Byte -b 1 LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref.tif
LANDSAT_5_TM_19850813_225_073_georref_B1.tif**

As células da coluna **Comando Completo** foram copiadas para um bloco de notas com o comando **copiar** e **colar**. (printscreen copiar e colar). O bloco de notas foi salvo no diretório **LANDSAT** com

a extensão .bat (batch) (printscreen). No GDAL shell digitou-se o nome do arquivo bat gerado para dar início a obtenção das bandas de cada cena Landsat.



```
Administrador: OSGeo4W Shell

ps2pdf13
ps2pdf14
ps2pdfxx
python-qgis-dev
pyuic4
qgis-browser-grass6
qgis-browser
qgis-designer
qgis-dev-browser-g6.4.3
qgis-dev-designer
qgis-dev-g6.4.3
qgis-grass6
qgis
rgb2pct
saga_gui
setup-test
setup

GDAL 1.11.2, released 2015/02/10

C:\Users\usuario\Desktop>cd landsat 1
C:\Users\usuario\Desktop\LANDSAT>dir /b *.tif > lista_tif.txt 2
C:\Users\usuario\Desktop\LANDSAT>separar.bat 3
```

Figura 14: Relação de comandos utilizados no Prompt MS-DOS para a extração em lote de bandas sobre as cenas Landsat. 1) Primeiro foi selecionada a pasta com as imagens georreferenciadas. 2) no diretório foi gerada uma lista com o nome dos arquivos de imagem. 3) O nome do arquivo de lote foi digitado para dar início à separação de bandas das cenas Landsat.

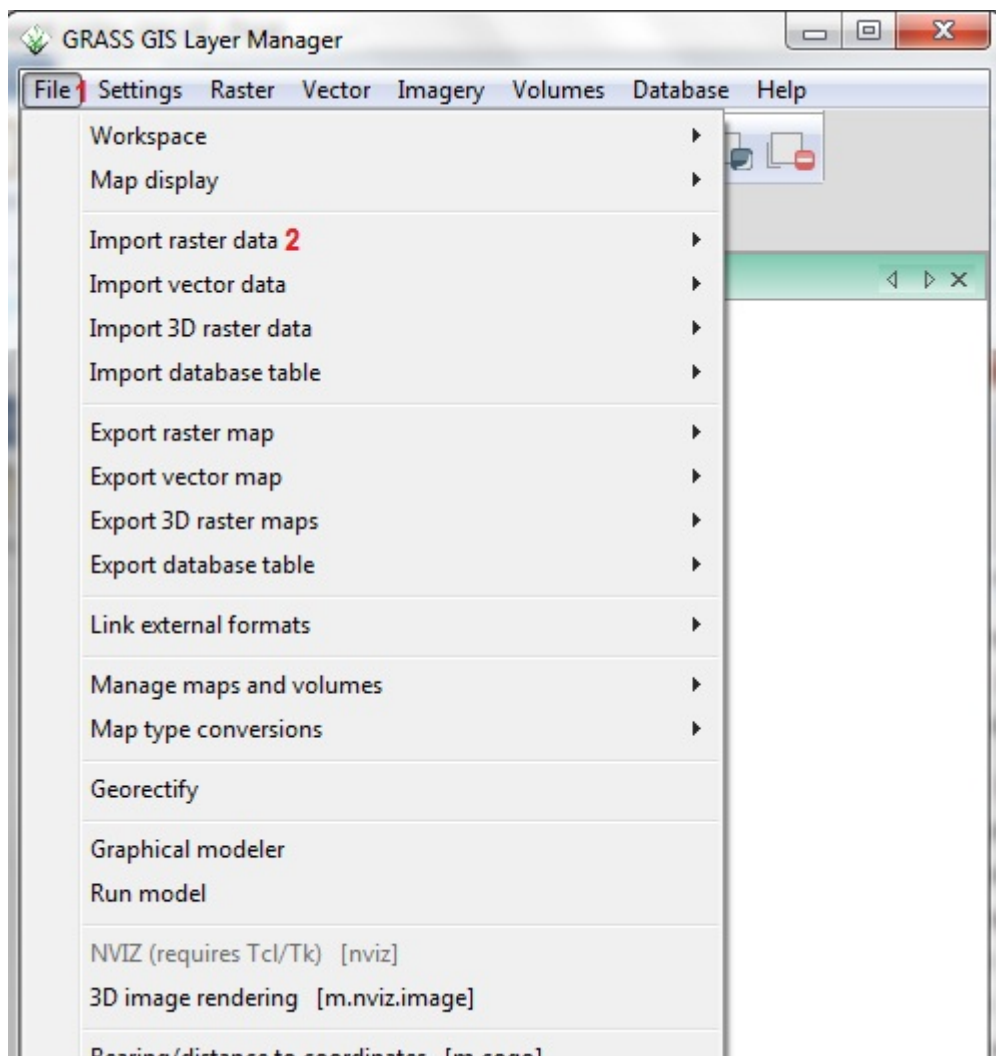
A figura 15 mostra o resultado final da separação em bandas de cenas Landsat.

Obtenção dos valores de Reflectância das cenas Landsat

Após extrair as bandas das cenas Landsat forem selecionadas as bandas 3, 4 e 5 do Landsat TM e a 4, 5 e 6 do Landsat OLI para o conversão dos valores digitais em valores de reflectância aparente. Valores de reflectância representam a resposta espectral do objeto na superfície terrestre. Com esses valores é possível realizar a caracterização espectral dos objetos da superfície terrestre e realizar comparações entre imagens de diferentes datas. Este procedimento foi realizado no software GRASS GIS versão 6.4.3. Após abrir o GRASS GIS foi gerado o diretório GISDATABASE onde os dados gerados foram armazenados. Dentro do diretório se encontram vários subdiretórios onde cada projeto é armazenado. Esses subdiretórios são chamados de LOCATION e nele são definidos o sistema de coordenadas, projeção dos mapas e os limites geográficos do projeto. Dentro de cada LOCATION se encontram os MAPSETS onde são armazenados níveis de informação como hidrografia, topografia, clima, entre outros. Cada MAPSET compartilha o mesmo sistema de coordenadas da LOCATION em que se encontram.

Após definir o **LOCATION** e o **MAPSET** clique em **Start Grass**. Na sequência surgirá a interface gráfica onde o processamento das cenas Landsat será executado.

As bandas seleccionadas foram importadas seleccionando **File>Import raster data>Common formats import**



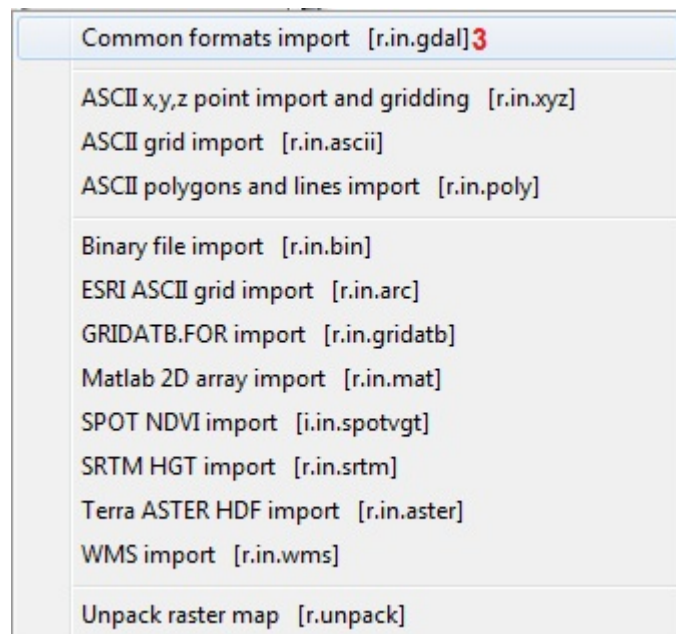


Figura 16: Janela principal do Grass Gis mostrando 1) Na janela principal do Grass Gis selecione a opção **File**. Várias opções irão surgir. 2) Selecione **Import raster data** onde aparecerá mais uma janela de opções. 3) selecione a opção **Common formats import**.

Na janela **Import raster data** foi selecionada na seção **Source Type** a opção **Directory**. Na seção **Source Settings** foi definido o formato dos arquivos de entrada. Neste caso foi Geotiff. Ao clicar em **Browse** foi selecionado o diretorio LANDSAT e em seguida clique em **OK**.

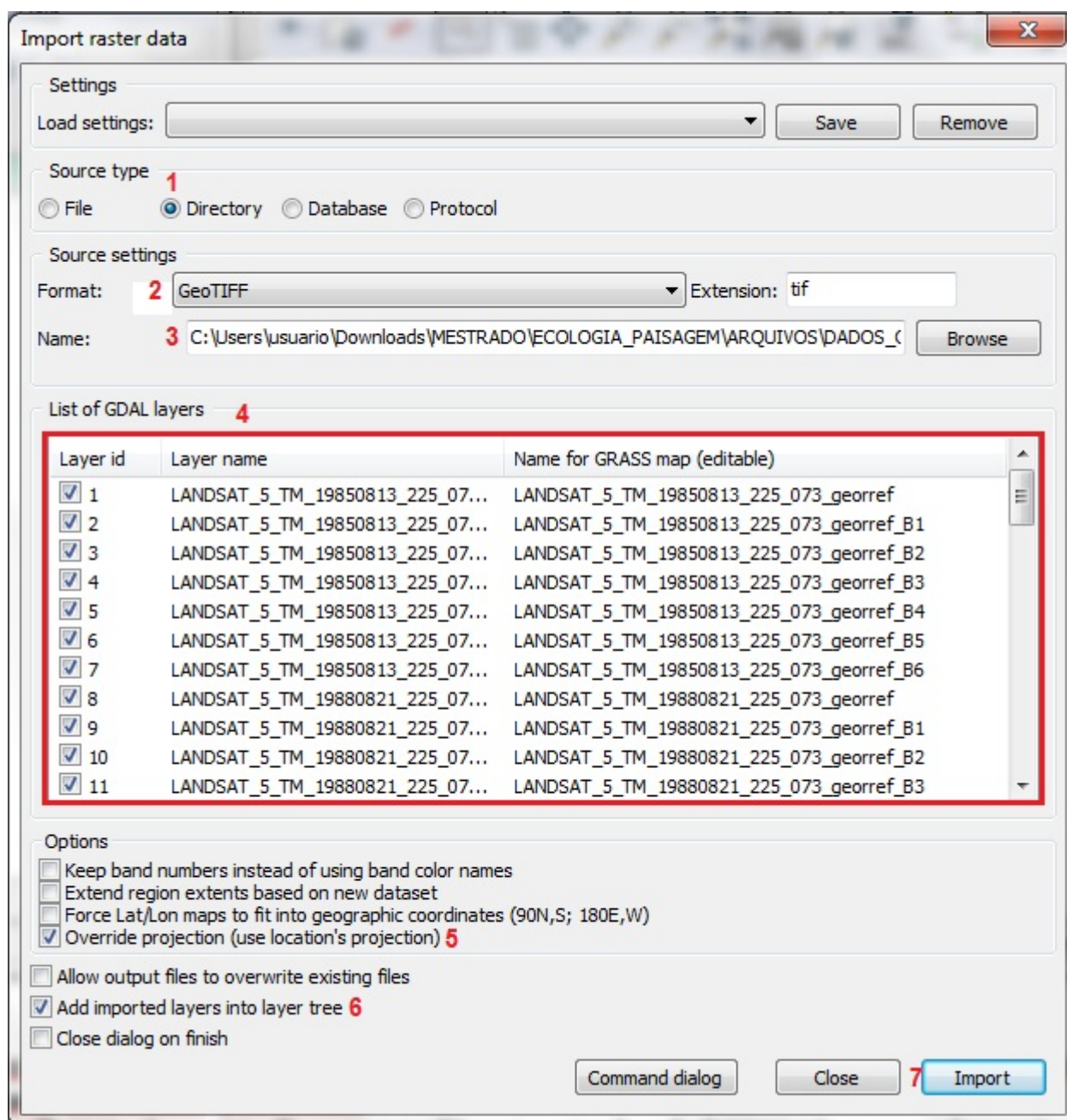


Figura 17: Importando as bandas do satélite Landsat. 1) Selecionar a opção Directory para importar as imagens de uma só vez. 2) Selecionar o formato dos arquivos que serão importados 4) inserir o caminho do diretório com os arquivos a serem importados. 5) Selecionar todas as imagens da lista. 5) Usar a projeção do projeto nos arquivos a serem importados 6) Importar todas as imagens para a árvore de camadas.

Após abrir as imagens os valores digitais das imagens foram convertidas a valores de reflectância por meio do modulo **i.landsat.toar**. Selecione **Imagery>Satellite images tools>Landsat DN to radiance/reflectance**

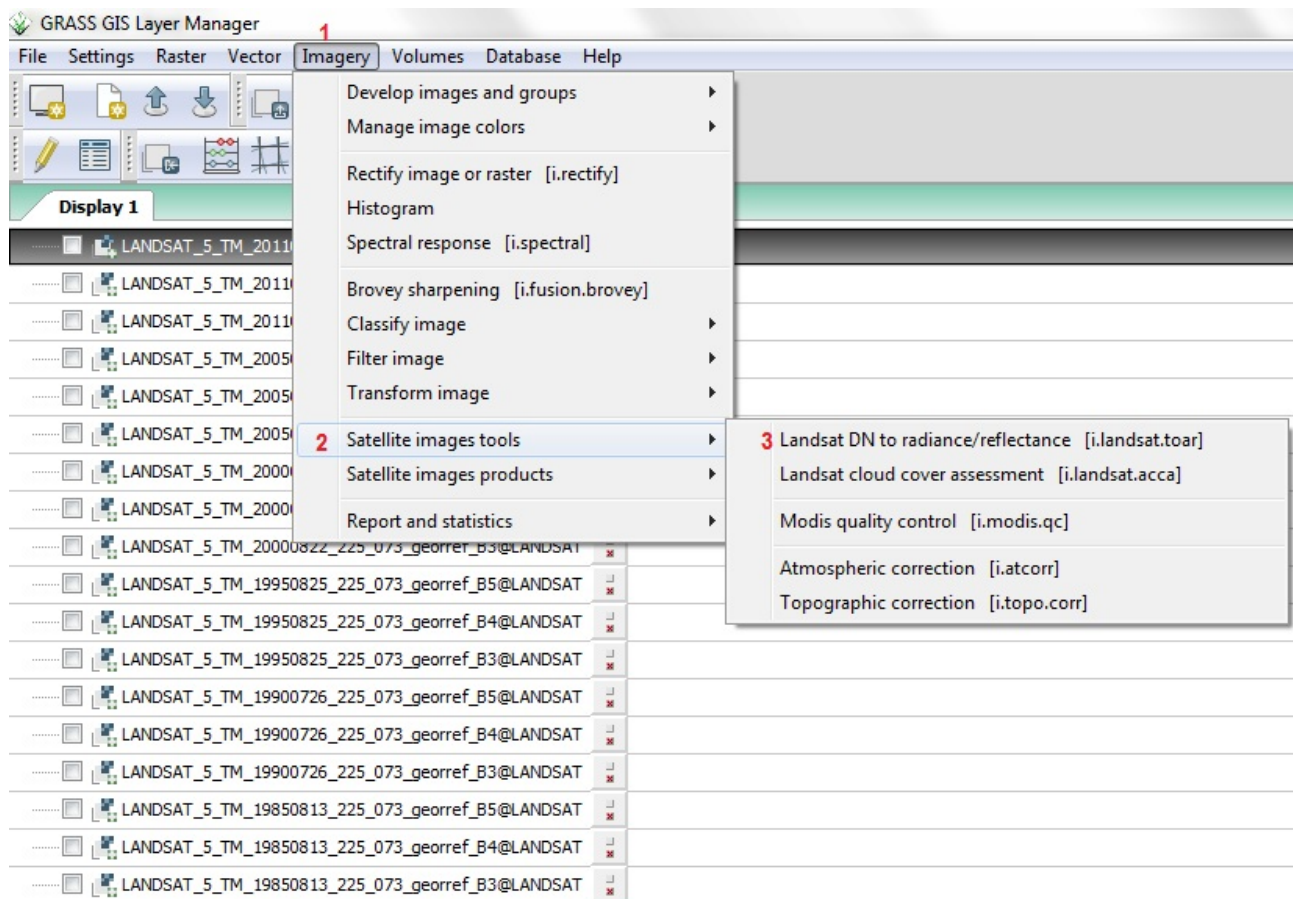


Figura 18: Abrindo o módulo i.landsat.toar 1) Selecione **Imagery**. 2) Selecione a opção **Satellite images tools** 3) Por último selecione a opção **Landsat DN to radiance/reflectance**

Na aba **Required** na seção **Base name of input raster bands** foi inserido o nome do arquivo de imagem seguido de **_B** para que algoritmo reconheça o arquivo de entrada. Na seção **Prefix for output raster maps** insira o nome do arquivo de imagem seguido de **_B.toar** para que o algoritmo possa gerar o arquivo de saída.

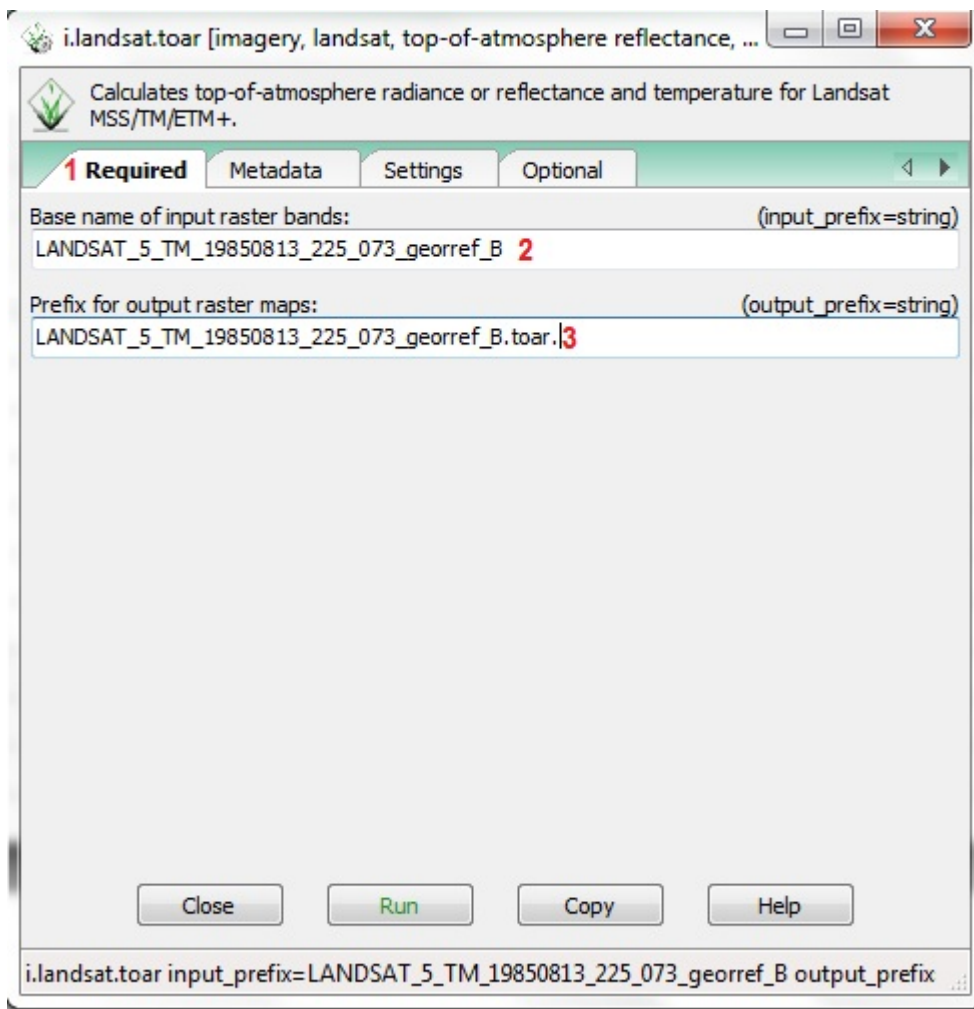


Figura 19: Definindo a entrada e saída do arquivo de imagem . 1) Na aba **Required** serão definidos o nome do arquivo de entrada e de saída da imagem 2) No campo **Base name of input raster bands** insira o nome do arquivo de imagem seguido da terminação “_B” 3) No campo **Prefix for output raster maps** insira o nome do arquivo de imagem seguido da terminação “_B.toar.”

Na aba **Metadata** defina as informações referente ao arquivo de entrada. As informações necessárias para o preenchimento dos campos se encontram nos metadados da imagem

Em **Spacecraft sensor** selecione tm5. Em **Atmospheric correction method** selecione **corrected**. Este método já realiza a substituição dos valores de reflectancia negativos pelo zero que podem surgir. No campo **Image acquisition** insira a data de aquisição da imagem. Após definir os parâmetros clique em **Run**. No caso do Landsat OLI selecionar o arquivo com o metadado clicando em **Browse** no campo **Name of Landsat metafile** e clicar em **Run** para iniciar a transformação

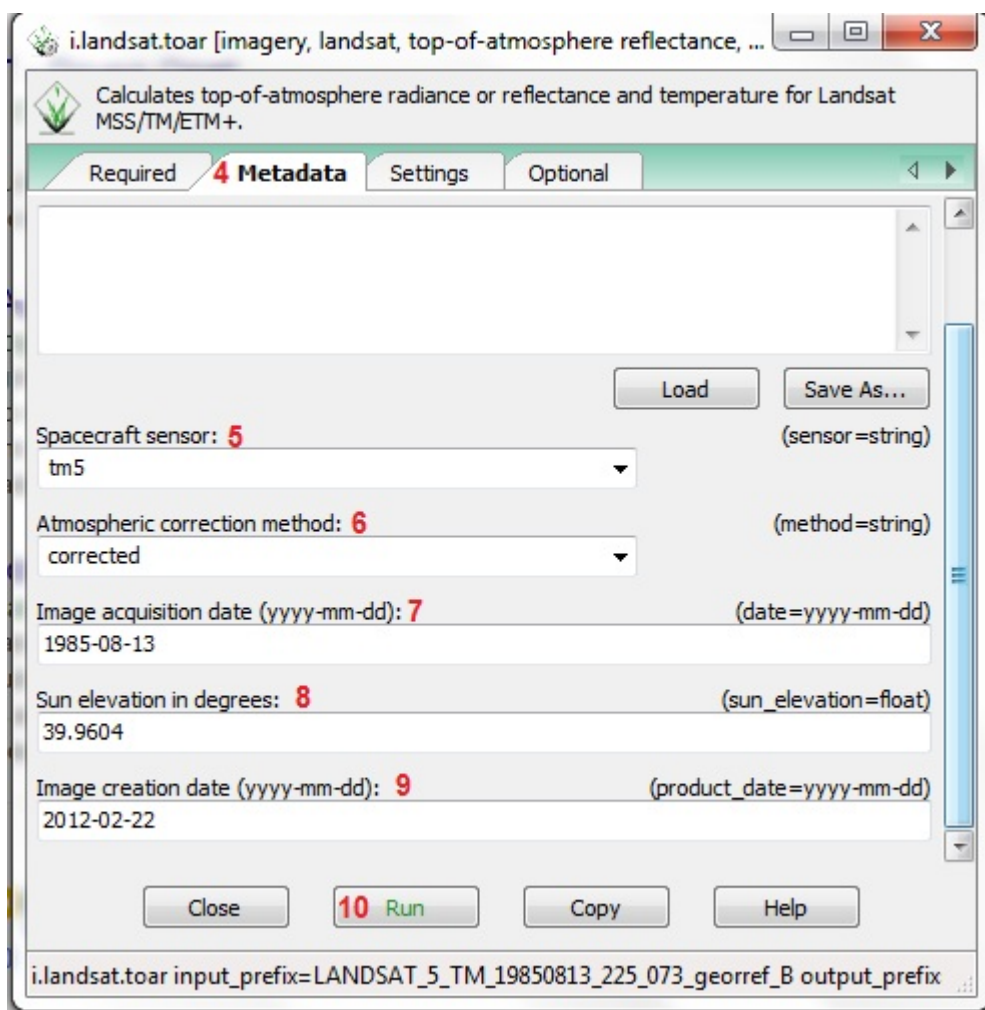


Figura 20: 4) Na aba **Metadata** serão inseridos informações da imagem que se deseja processar 5) No campo **Spacecraft sensor** selecione o sensor do satélite 6) selecione o método de correção **corrected** 7) Insira a data de aquisição da imagem 8) insira o grau de elevação solar 9) insira a data em que a imagem foi gerada 10) Selecione **Run** para executar a conversão dos *digital numbers* em valores de reflectância.

Obtenção dos valores de Reflectancia de Superfície

Após a conversão dos *digital numbers* em valores de reflectância é necessário realizar a correção atmosférica das cenas Landsat para obter os valores de reflectancia de superfície. A correção atmosférica é uma técnica que visa eliminar ou atenuar a interferência da atmosfera nos valores de reflectância. Como resultado tem-se os valores de reflectancia reais dos objetos da superfície terrestre.

Este procedimento foi executado no Qgis versão 2.10 utilizando o modulo **i.atcorr** na biblioteca de algoritmos. Após abrir o Qgis selecionar **Processing**. Selecione **GRASS commands** > **Imagery** > **i.atcorr**.

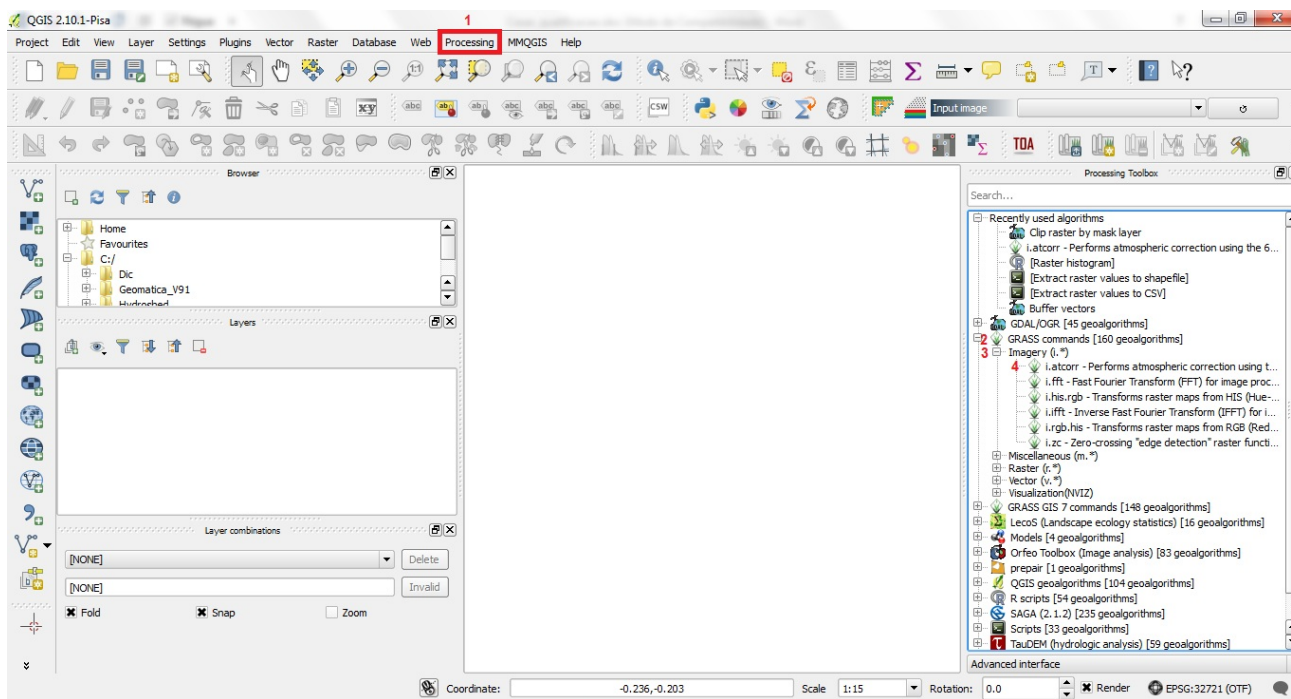


Figura 21: Abrindo o módulo i.atcorr. 1) Selecione a aba **Processing** para habilitar a biblioteca de algoritmos 2) Selecione **GRASS commands** 3) Selecione a opção **Imagery** e 4) selecione **i.atcorr**.

Na opção **i.atcorr** foi selecionado a opção **Execute as batch process** para que a correção atmosférica seja realizada em todas as cenas Landsat em um único passo.

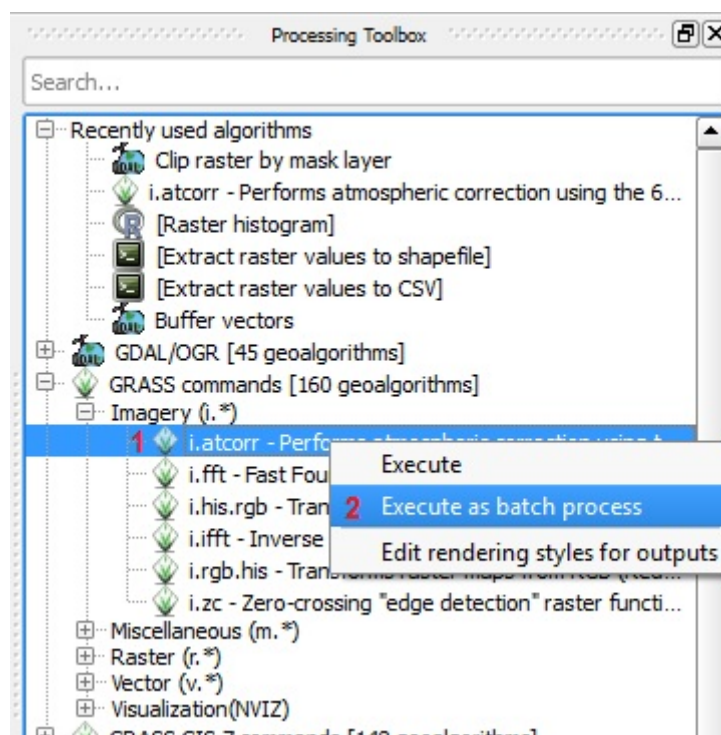


Figura 22: 1) Pressione com o botão direito do mouse sobre a opção **i.atcorr** 2) Selecione a opção **Execute as batch process**

Foram selecionadas como arquivos de entrada as bandas 3, 4 e 5 das cenas Landsat TM e 4, 5 e 6 do Landsat OLI como arquivos de entrada (1). Os arquivos **.txt** com os parâmetros de correção

atmosférica para cada banda (2), tamanho do pixel das cenas para cada banda (3) e o local onde será salvo (4) foram definidos. As figuras 23, 24 e 25 mostram os parâmetros selecionados para a correção atmosférica.

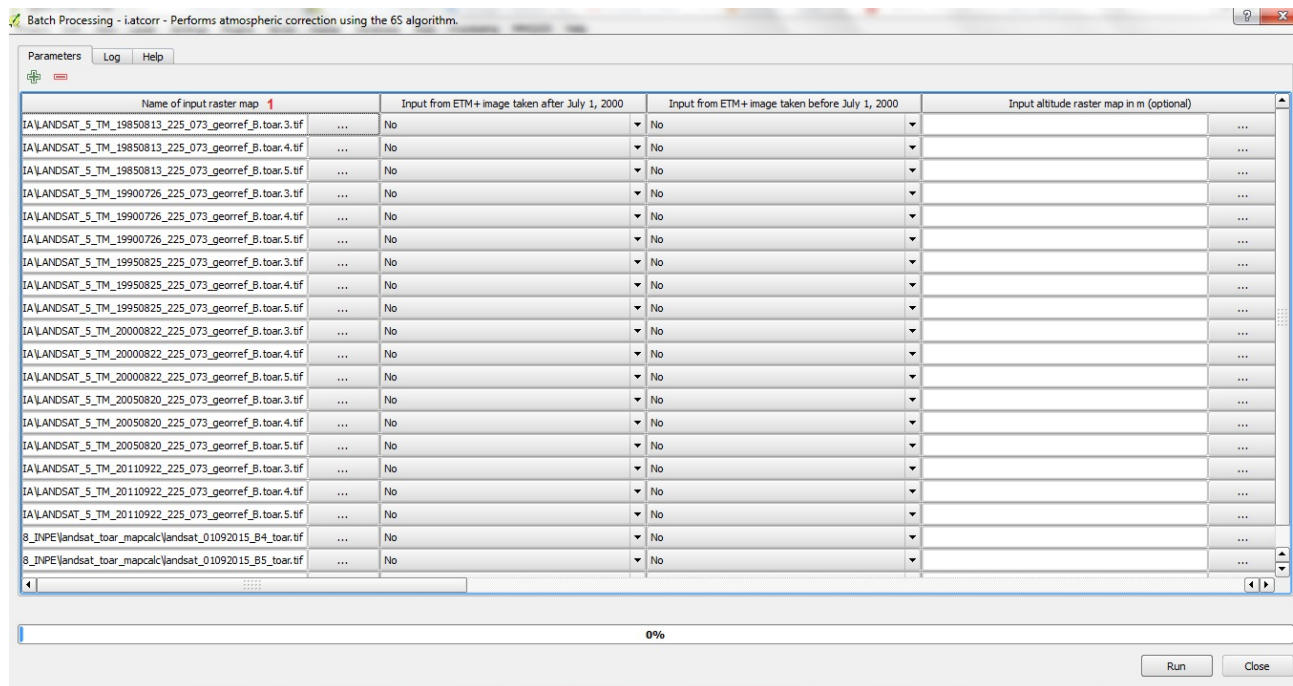


Figura 23: Definindo os parâmetros para a correção atmosférica em lote de imagens Landsat 1) No campo **Name of input raster map** selecione os arquivos de imagem que serão processadas. Os demais campos permanecem inalterados.

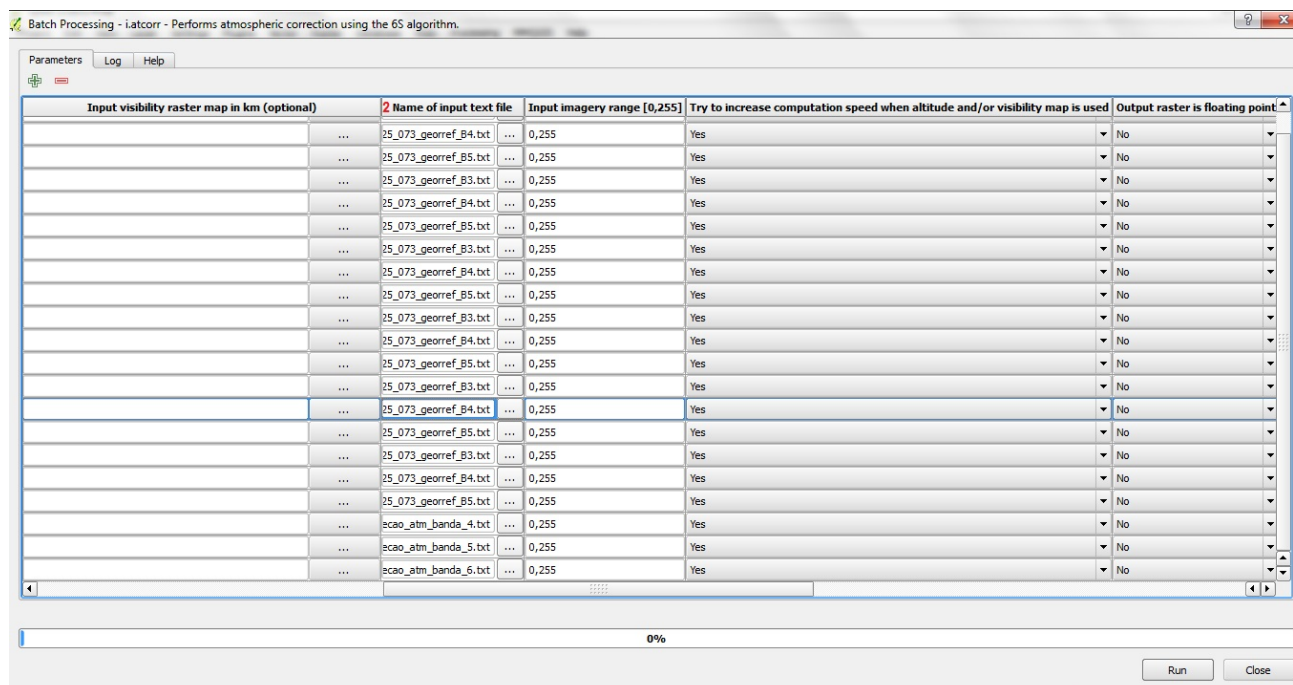


Figura 24: 2) No campo **Name of input text file** insira o arquivo de texto com os parâmetros de correção atmosférica. Os demais campos permanecem inalterados.

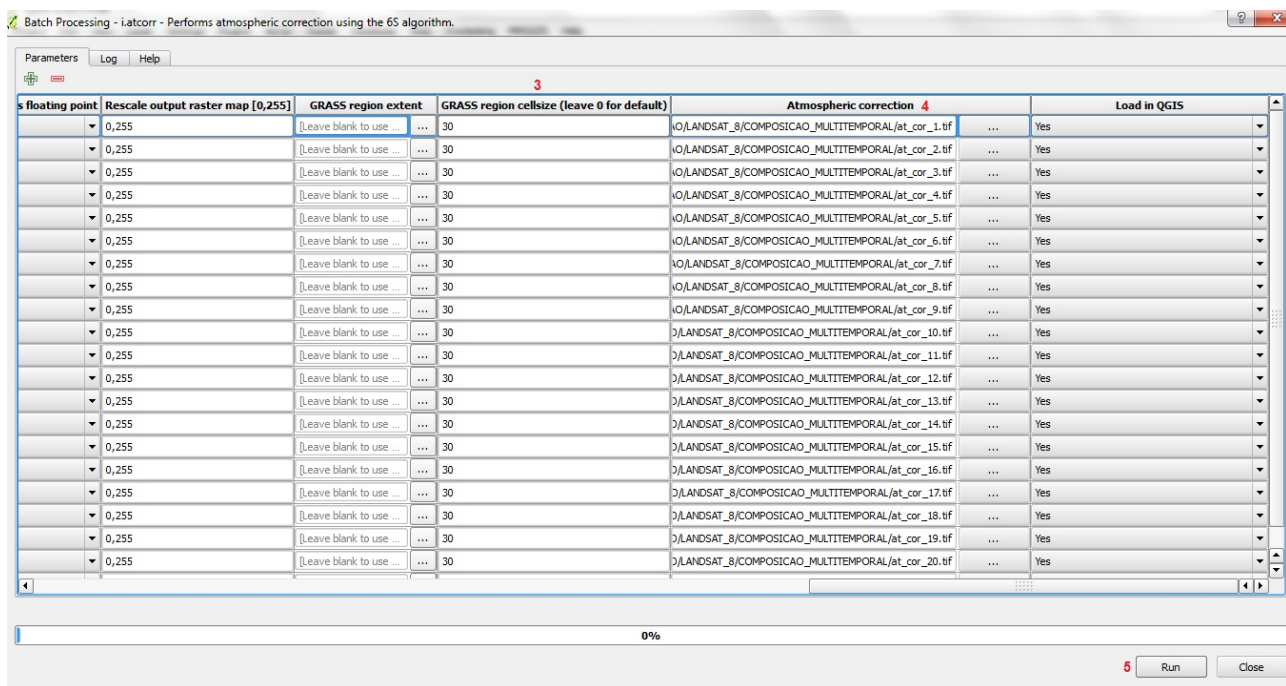


Figura 25: 3) No campo **GRASS regions cellsize** defina a resolução espacial (tamanho do pixel) da imagem 4) Defina o diretório onde as imagens corrigidas serão salvas 5) Para dar inicio a correção atmosférica das imagens Landsat clique em **Run**.

O resultado da correção atmosférica é mostrado na figura 26

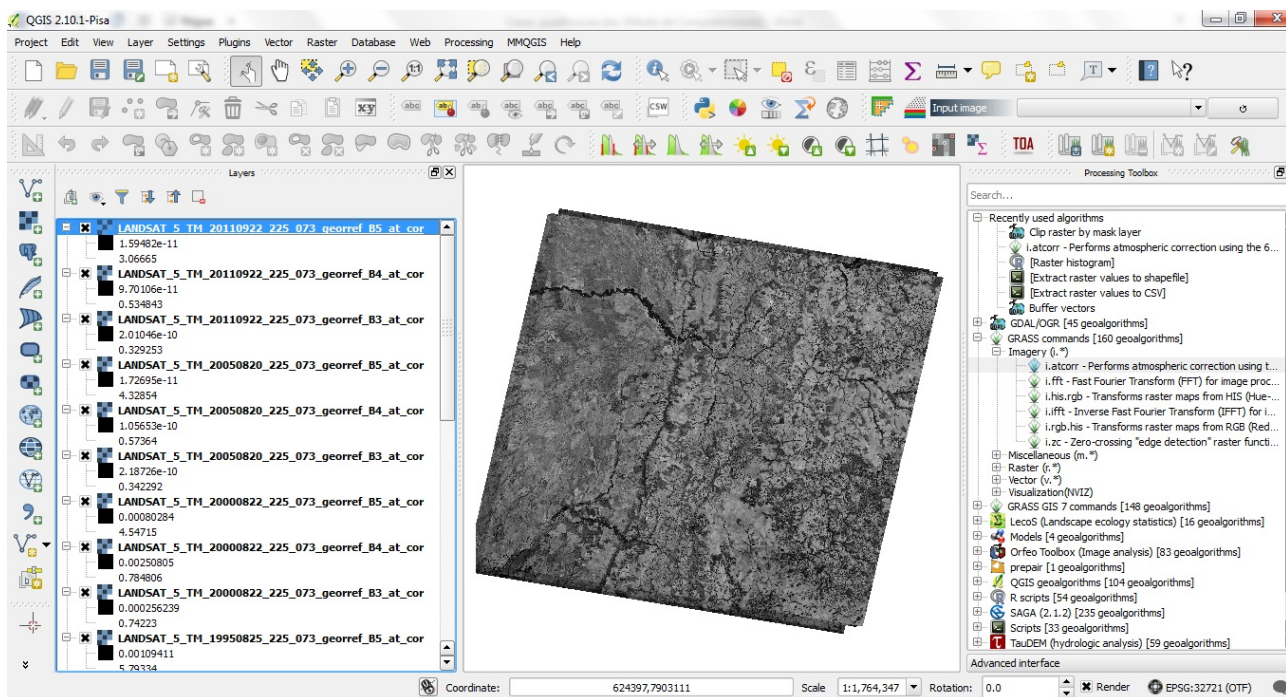


Figura 26: Imagem Landsat com correção atmosférica. A imagem resultado é mostrada em tons de cinza

Cálculo do NDVI

Com os valores de reflectância de superfície é possível calcular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. As figuras 27 e 28 mostram como acessar a calculadora raster e realizar o cálculo do NDVI respectivamente. Neste exemplo foram utilizadas as bandas 3 e 4 do Landsat TM de 1985

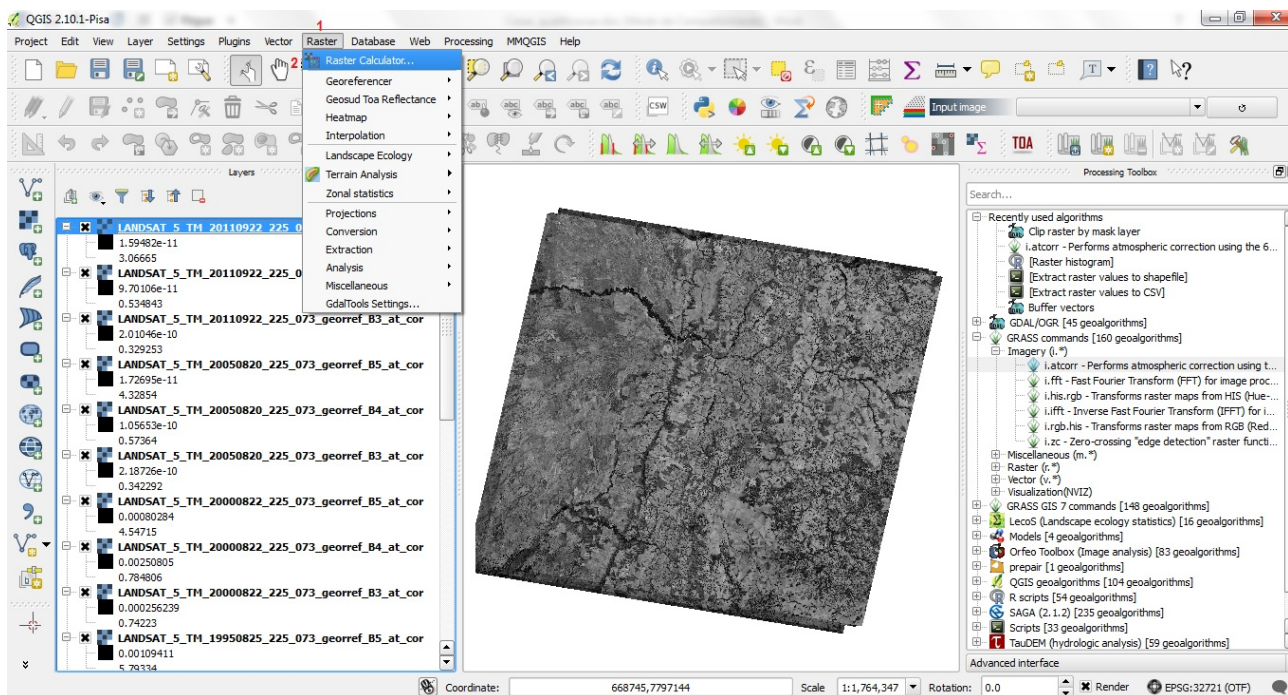


Figura 27: Abrindo a calculadora raster 1) Selecione a aba **Raster** 2) Selecione a opção **Raster Calculator**.

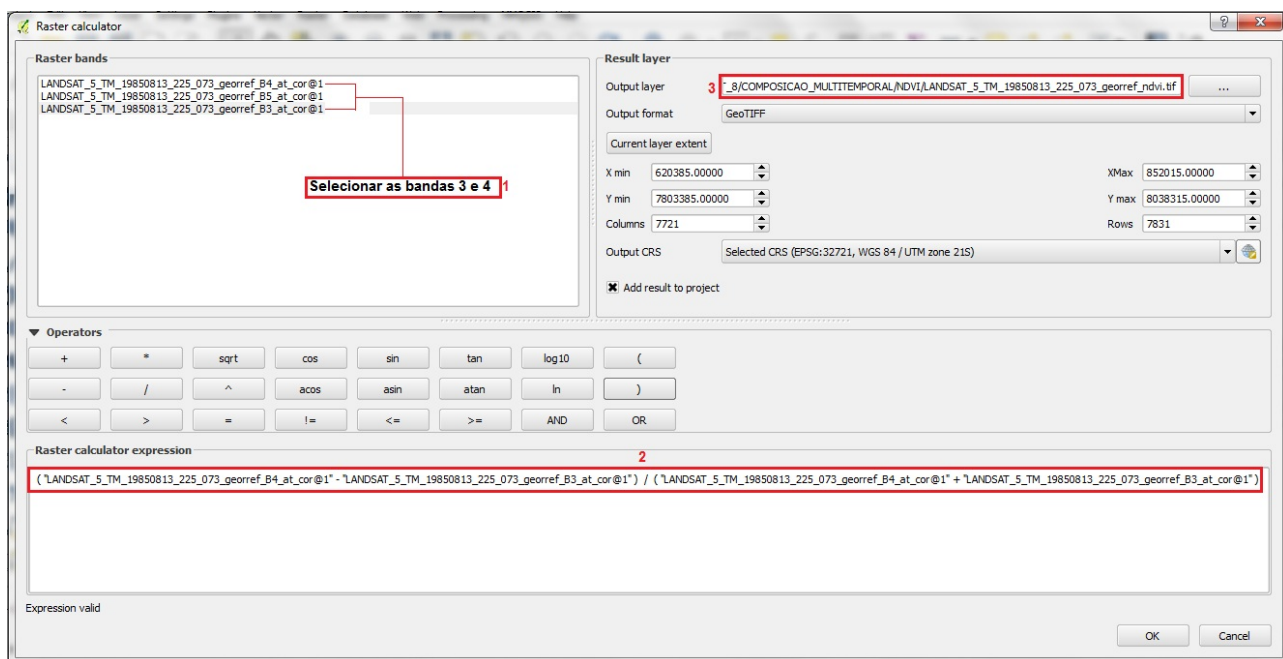


Figura 28: Para realizar o cálculo do NDVI 1) Selecione as bandas 3 e 4 no campo **Raster bands** para montar a fórmula no campo **Raster calculator expressions** 2) Monte a fórmula para o cálculo do NDVI 3) Defina o diretório onde a imagem com o NDVI calculado será salvo

A figura 29 apresenta o NDVI da imagem Landsat TM de 1985.

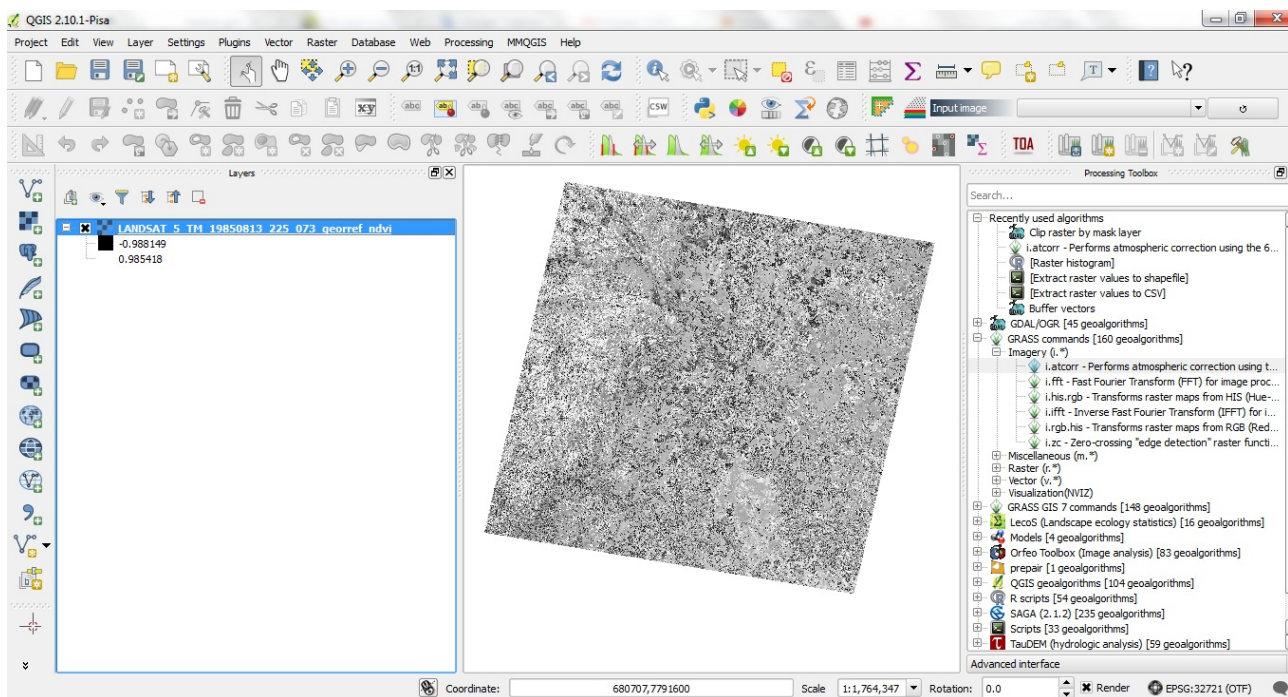


Figura 29: Imagem Landsat de 1985 com o NDVI calculado. A imagem resultado é mostrada em tons de cinza. Os valores da imagem variam de -0.98 a 0.98.

Cálculo do NDWI

No cálculo do NDWI foram utilizadas as bandas 4 e 5 das cenas Landsat TM de todas as épocas. No caso da cena Landsat OLI foram utilizadas as bandas 5 e 6. A figura 30 mostra o cálculo sendo realizado sobre as bandas 4 e 5 de uma cena Landsat TM do de 1985.

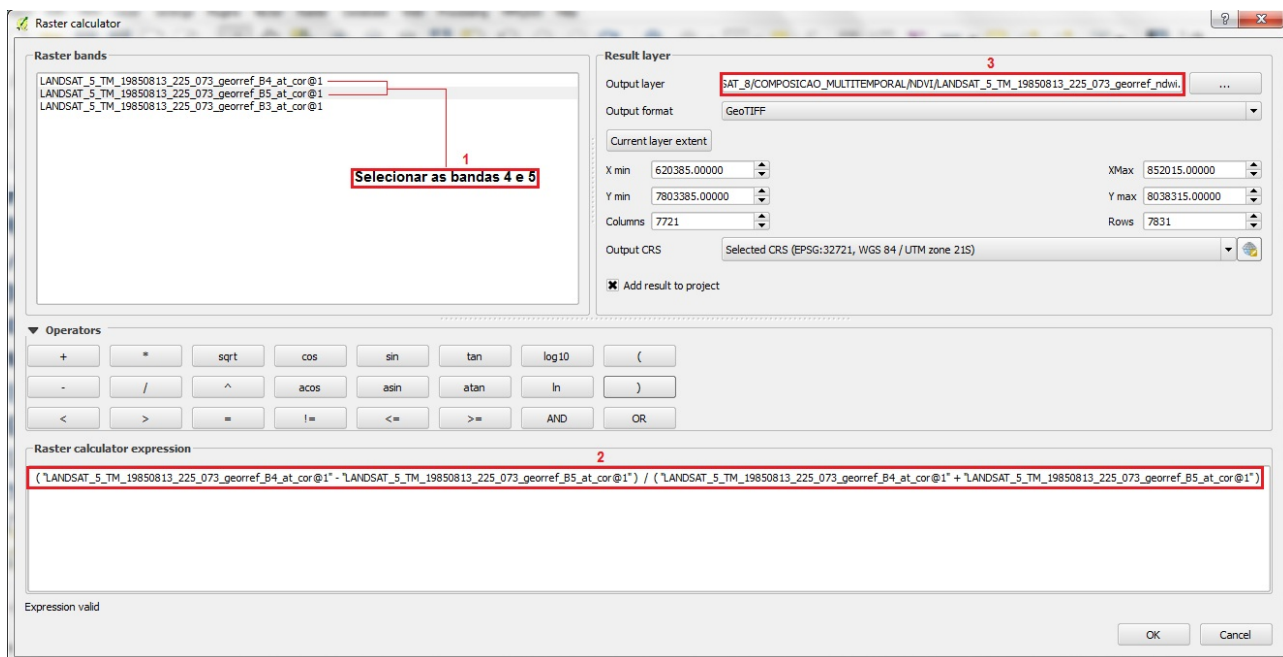


Figura 30: Para realizar o cálculo do NDWI 1) Selecione as bandas 4 e 5 no campo **Raster bands** para montar a fórmula no campo **Raster calculator expressions** 2) Monte a fórmula para o cálculo do NDWI 3) Defina o diretório onde a imagem com o NDVI calculado será salvo.

A figura 31 apresenta o NDWI da imagem Landsat TM de 1985.

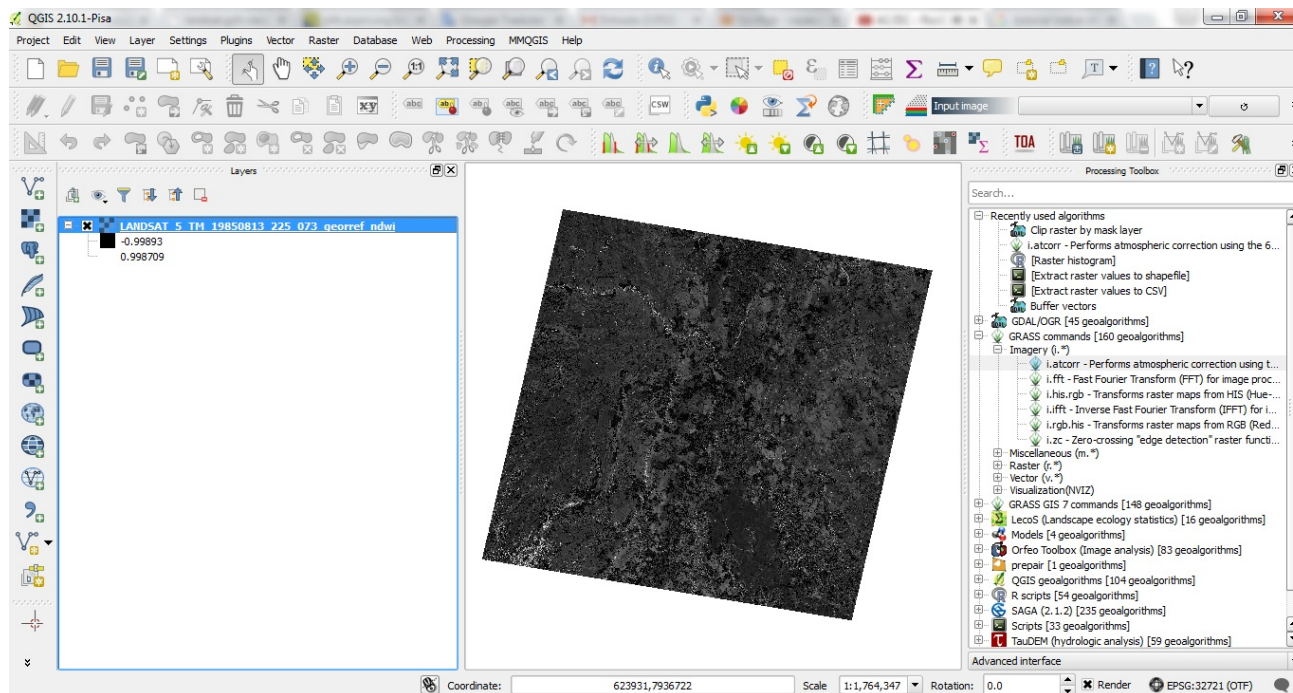


Figura 32: Imagem Landsat de 1985 com o NDWI calculado. A imagem resultante é mostrada em tons de cinza. Os valores da imagem variam de -0.99 a 0.99.

Composição Multitemporal

A composição multitemporal foi realizado através da criação de dois arquivos resultado da junção das imagens NDVI e NDWI calculados para as cenas Landsat dos anos de 1985 até 2015. A junção foi realizado através da opção merge. Nas figuras 33 e 34 são mostrados o procedimento. O mesmo procedimento deve ser seguido para gerar o arquivo com as imagens NDWI.

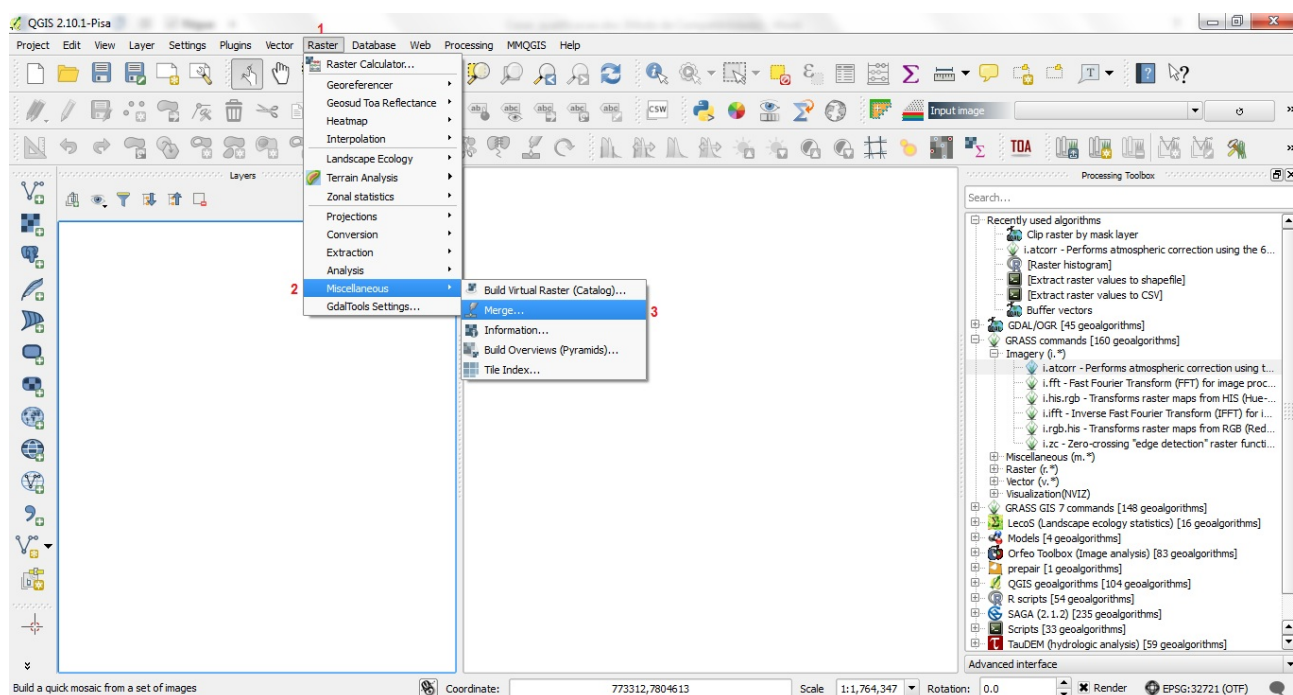


Figura 33: Junção das imagens NDVI 1) Selecione a aba **Raster** 2) Clique na opção **Miscellaneous** 3) Selecione a opção **Merge**.

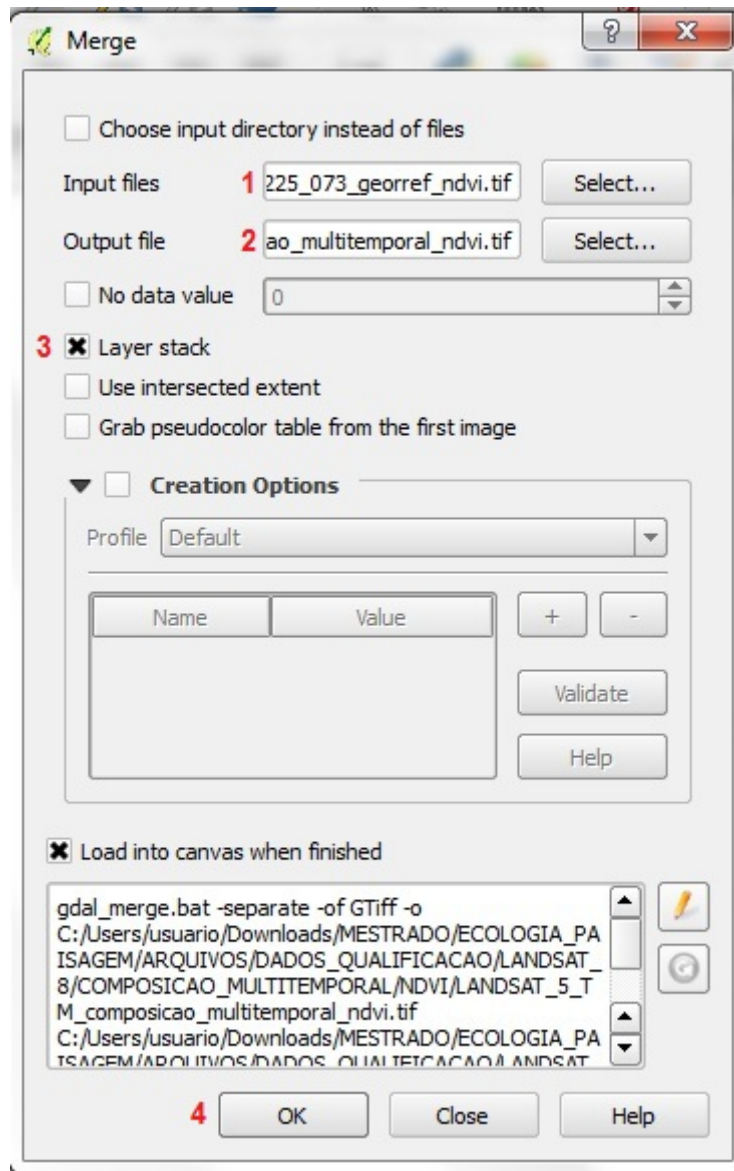


Figura 32: 1) selecione as imagens NDVI 2) selecione o diretório onde o arquivo final será salvo 3) Selecione **Layer stack** para juntar as imagens NDVI 4) Clique em OK para gerar o arquivo final.

Normas: BRAZILIAN JOURNAL OF BOTANY

***Autor para correspondência:** César Claudio Cáceres Encina

E-mail do autor para correspondência: ccaceres.encina@gmail.com

Título Resumido: Encina *et al.*, ANÁLISE DA ESTRUTURA VEGETAL DE FRAGMENTOS DE CERRADO ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Auxílio Financeiro: CAPES