



UFRRJ

INSTITUTO DE FLORESTAS

Monografia

**PROPOSTA DE MATERIAL DIDÁTICO PARA TURMAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO UTILIZANDO O ALGORITMO SEBAL**

Tiago Marques Tito

Seropédica, RJ

Dezembro de 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**PROPOSTA DE MATERIAL DIDÁTICO PARA TURMAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO UTILIZANDO O ALGORITMO SEBAL**

TIAGO MARQUES TITO

Sob a Orientação do Professor

Rafael Coll Delgado

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Florestal, pelo Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Seropédica, RJ

Dezembro de 2016



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**PROPOSTA DE MATERIAL DIDÁTICO PARA TURMAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO UTILIZANDO O ALGORITMO SEBAL**

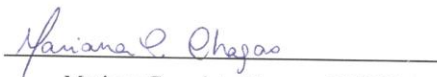
Tiago Marques Tito

Monografia aprovada em 02 de Dezembro de 2016

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Rafael Coll Delgado - UFRRJ
(Orientador)


Ms. Tamires Partelli Correia - UFRRJ


Mariana Campista Chagas - UFRRJ

Agradecimentos

Agradeço à minha família pelo apoio à distância. Em especial à minha mãe, Maria Giovana Alves Tito, pelo apoio incondicional à minha formação, me dando quantas chances eu precisei. Também aos meus irmãos, Ana Clara Tito de Ataíde e João Pedro Tito de Ataíde, que torcem por mim lá na Paraíba.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, segunda mãe.

Aos integrantes do LSRACA.

Ao meu orientador, Rafael Coll Delgado, pela orientação.

À banca examinadora por aceitar participar neste processo.

Aos meus amigos de turma 2010-2 que tornaram os meus primeiros anos na rural inesquecíveis, em especial, Marcelle São Pedro, Jéssica Chaves, e Mateus dos Reis.

A todos os amigos do alojamento, que constituem uma comunidade única, em especial, aos moradores do quarto M3-38.

À Jéssica Souza e Fernanda Tavares, minhas grandes amigas.

À família Dionísio, a extensão da minha família no Rio de Janeiro.

À Laise Florentino, Lais Alves, Marcelo Trajano, Rafael Leal, Caroline Leal, Lígia Fonseca e Marjorie Ochoski.

À Maíra Ribeiro, Ronya Reitberger, e Luana Ramos.

Lista de siglas

USGS	United States Geological Survey
NASA	National Aeronautics and Space Administration
LDSM	Landsat Data Continuity Mission
OLI	Operational Land Imager
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
L8	Landsat 8
EROS	USGS Earth Resource Observation and Science
WRS-2	World-wide Reference System
LANDSAT	Land Satellite
BATC	Ball Aerospace & Technologies Corp
NSLRSDA	National Satellite Land Remote Sensing Data Archive
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
IAF	Índice de Área Foliar
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index

Lista de figuras

Figura 1 – Ferramenta Layer Stack, para união de imagens.	7
Figura 2 – Seleção dos arquivos contendo as bandas para executar a união de imagens.....	7
Figura 3 – Adicionar banda ao Layer Stack.	8
Figura 4 – Escolha do arquivo de saída e formato de saída dos números (float single).	8
Figura 5 – Processamento do algoritmo de calibração radiométrica.....	9
Figura 6 – Imagem gerada após a união das bandas.	9
Figura 7 – Ferramentas utilizadas para construção do algoritmo.....	10
Figura 8 – Relacionando as ferramentas de algoritmo.	10
Figura 9 – Abrindo a ferramenta Model Maker.	12
Figura 10 – Algoritmo de calibração radiométrica.	12
Figura 11 – Seleção do arquivo de entrada no algoritmo de calibração radiométrica.....	13
Figura 12 – Tabela de coeficientes de calibração radiométrica (Lmin).....	13
Figura 13 – Inserção da equação de calibração radiométrica.....	14
Figura 14 – Arquivo de saída para imagem após calibração radiométrica.....	14
Figura 15 – Comando para processar o modelo construído no Model Maker.....	14
Figura 16 – Algoritmo para cálculo de reflectância das bandas 1-7.....	15
Figura 17 – Valores da elevação solar e distância relativa Terra-Sol para cálculo da reflectância.....	16
Figura 18 – Equação para cálculo da reflectância das bandas 1-7.....	16
Figura 19 – Condição memory.....	17
Figura 20 – Condição either.....	17
Figura 21 – Seleção de cada arquivo de saída para cálculo de reflectância.....	18
Figura 22 – Arquivo de entrada para cálculo do NDVI.....	19
Figura 23 – Equação para cálculo do NDVI.....	19
Figura 24 – Seleção de arquivo de saída do NDVI calculado.....	20
Figura 25 – Imagem do NDVI calculado.....	20
Figura 26 – Metadados da imagem do NDVI calculado.....	21
Figura 27 – Arquivo de entrada para cálculo do SAVI.....	22
Figura 28 – Equação para cálculo do SAVI.....	22
Figura 29 – Seleção do arquivo de saída do SAVI calculado.....	23
Figura 30 – Imagem do SAVI calculado.....	24
Figura 31 – Arquivo de entrada para cálculo do IAF.....	25
Figura 32 – Equação para cálculo do IAF.....	25
Figura 33 – Seleção de arquivo de saída do IAF calculado.....	26
Figura 34 – Imagem do IAF calculado.....	26
Figura 35 – Metadados da imagem do IAF calculado.....	27
Figura 36 – NDVI em falsa-cor. Detalhe mostrando a baía de Guanabara e a restinga da Marambaia.....	28
Figura 37 – SAVI em falsa-cor. Detalhe mostrando a baía de Guanabara e a restinga da Marambaia.....	28
Figura 38 – IAF em falsa-cor. Detalhe mostrando a baía de Guanabara e a restinga da Marambaia.....	29

Sumário

1	Introdução.....	2
1.1	Objetivos.....	3
2	Revisão de literatura.....	3
2.1	Órbita dos satélites Landsat.....	4
2.2	Sistema de sensores.....	4
2.3	Operational Land Imager (OLI).....	4
2.4	Thermal Infrared Sensor (TIRS).....	5
2.5	Calibração.....	6
2.6	SEBAL.....	6
3	Material e Métodos.....	6
3.1	União das imagens.....	7
3.2	Utilização da ferramenta Model Maker.....	9
3.3	Calibração Radiométrica.....	10
3.4	Reflectância.....	15
4	Índices de vegetação.....	18
4.1	NDVI.....	18
4.2	SAVI.....	21
4.3	IAF.....	24
5	Resultados e Discussão.....	27
6	Conclusão.....	29
7	Referências Bibliográficas.....	30

RESUMO

O presente trabalho traz uma proposta de material didático para turmas de sensoriamento remoto, divulgando ferramentas de tratamento de imagens baseadas no algoritmo SEBAL e software ERDAS IMAGINE 2014 para produtos do satélite Landsat 8. As imagens foram obtidas gratuitamente através do site do serviço geológico americano (USGS), e tiveram a sua calibração radiométrica executada utilizando-se coeficientes de calibração do Landsat 5. Posteriormente, foram calculados os índices de vegetação NDVI, IAF e SAVI, que se mostraram coerentes nas suas estatísticas geradas.

Palavras-chave: Landsat 8, SEBAL, índice de vegetação.

ABSTRACT

The present work presents a didactic material proposal for remote sensing lessons, disseminating image processing tools based on the SEBAL algorithm and ERDAS IMAGINE 2014 software for Landsat 8 satellite products. The images were obtained free of charge through the website of the American geological service (USGS) and had their radiometric calibration performed using Landsat 5 calibration coefficients. The NDVI, LAI and SAVI vegetation indexes were then calculated, which were consistent in their generated statistics.

Key-words: Landsat 8, SEBAL, vegetation index.

1 Introdução

O sensoriamento remoto é uma ferramenta de aquisição de informações à distância que tem amplo potencial de aplicação em diversas áreas do conhecimento científico. Suas aplicações podem incluir desde estudos de mitigação de consequências das mudanças climáticas em nível global e regional; identificação de áreas de desastres naturais; detecção de focos de incêndios florestais; monitoramento do uso e cobertura da terra; estimativa de biomassa florestal, entre outros.

A coleta de dados espectrais acontece em três níveis: terrestre, sub-orbital e orbital. A escolha do nível de coleta de dados depende, principalmente, do objetivo da pesquisa (MOREIRA, 2011).

No sensoriamento remoto orbital, os dados são obtidos à distância, através de plataformas orbitais ou satélites. A utilização destes dados vem ganhando bastante espaço, por diversas razões, entre elas as novas gerações de sensores com alta resolução geométrica; o desenvolvimento de veículos lançadores de satélites; o aperfeiçoamento constante de sistemas de telemetria e processamento de dados; e a gradual expansão da disponibilização de dados gratuitos (MOREIRA, 2011). O número estimado de satélites que orbitam a Terra é de mais de 5.000. Entre seus objetivos estão os de fins militares; científicos; e os de comunicação (MOREIRA, 2011).

Entre as iniciativas produzidas para gerar dados terrestres em nível orbital com objetivos científicos, destaca-se o programa Landsat, que nas últimas décadas gerou uma grande quantidade de dados e os tornou acessível ao público. As raízes do programa civil de satélites têm origem na era das explorações espaciais na segunda metade do século XX, juntamente com o programa Apolo – o programa espacial americano que aterrissou uma nave tripulada na superfície lunar em 1969. O primeiro satélite foi lançado em 1972 com dois imageadores, um sensor Return Beam Vidicom (RBV) e um sensor Multispectral Scanner (MSS) com 4 bandas e resolução de 80 metros. As duas missões seguintes, foram lançadas em 1975 e 1978, respectivamente, com configurações similares (USGS, 2016). Em 1984, o Landsat 4 foi lançado com o MSS e um novo instrumento chamado TM (Thematic Mapper), além de atualizações nos instrumentos que aumentaram a resolução espacial para 30 metros e 3 novas bandas espectrais. O Landsat 4 foi o primeiro satélite a ser construído dentro do paradigma do *design* da modularidade, chamado de Multimission Modular Spacecraft (MMS) (USGS, 2016), permitindo uma redução de custos através de uma minimização no número de conexões mecânicas e elétricas dos componentes do satélite (USGS, 2016). Isto explica a diferença visual entre os da série Landsat 1 – 3 e os satélites seguintes. O Landsat 5, bastante similar ao seu antecessor, foi lançado em 1984, e gerou dados por 28 anos, 23 a mais do que seu plano original concebia. A plataforma Landsat 6, equipada com uma nova banda pancromática de resolução de 15 metros, foi perdida após o lançamento.

A missão Landsat 7 (L7) foi colocada em órbita em 1999 e funcionou normalmente até que seu Scan Line Corrector, um importante instrumento de calibração à bordo da nave, falhou em 2003. Apesar da redução da qualidade das imagens, o satélite continua coletando dados.

A plataforma orbital Landsat 8 (L8), originalmente designada como LDSM (Landsat Data Continuity Mission) foi colocada em orbita em 11 de fevereiro de 2013. A empresa BATC (Ball Aerospace & Technologies Corporation) foi responsável pela construção do sensor OLI (Operational Land Imager). A NASA (National Aeronautics and

Space Administration) construiu o sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) e foi responsável pelo lançamento e calibração da plataforma durante os primeiros noventa dias, antes de entregar as operações a USGS (United States Geological Survey), que captura, processa e distribui os dados gerados pelo L8.

A missão do satélite Landsat 8 é construir um banco de imagens de alta qualidade de toda a área continental e costeira da Terra (USGS, 2016). Os objetivos gerais do programa são a continuidade de dados com os satélites Landsat anteriores; a coleta de imagens da superfície terrestre com ciclos de 16 dias; e a construção e atualização de um banco de imagens global, livres de nuvens.

1.1 Objetivos

- Divulgar procedimentos básicos do sensoriamento remoto.
- Estabelecer e testar a possibilidade de utilização dos coeficientes de calibração de imagens do Landsat 5 para imagens do Landsat 8.
- Gerar os índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF.

2 Revisão de literatura

O Remote Sensing Police Act de 1992 estabeleceu diretivas para a continuação de dados do programa Landsat, e estabeleceu a preferência pela abertura do programa para o setor privado para dividir custos e diminuir o preço de aquisição de imagens para o governo dos Estados Unidos. A NASA publicou um requerimento para propostas em 2003, mas recusou os proponentes no mesmo ano por falharem em oferecer parcerias justas e igualitárias na geração de produtos mais baratos (IRONS, 2012).

O conceito de um sistema de satélites que observem a superfície terrestre com resolução suficiente para detectar as atividades humanas nasceu nos primeiros dias do programa espacial americano (IRONS, 2006). Um marco da evolução da tecnologia foi a organização do *First Symposium on Remote Sensing*, que aconteceu em Michigan, em 1962, a primeira conferência técnica em Sensoriamento Remoto no mundo (LAUER, 1997). O conceito foi severamente questionado por setores do departamento de defesa e pelo escritório de orçamento americano, durante a década de 60. Finalmente, William Pecora, então diretor do USGS, advogou a ideia da criação de satélites de sensoriamento remoto que adquirissem informações sobre os recursos geológicos da Terra (IRONS, 2006). Sob forte resistência da burocracia, foi iniciado o planejamento do projeto Earth Resources Technology (ERTS), mais tarde renomeado para Landsat.

As imagens geradas pelos satélites do programa são armazenadas desde 1973 no observatório EROS (USGS Earth Resource Observation and Science), construído e operado pela agência USGS.

Desde o lançamento dos primeiros satélites o programa foi caracterizado como uma cooperação entre agências civis norte-americanas. A NASA desenvolve os sensores e plataformas, por sua vez, com cooperação de outras agências; e a USGS desenvolve e distribui os produtos gerados, os arquivando no observatório EROS (LAUER, 1997).

Na década de 1980, o programa passou por uma grande crise política, com tentativas de privatização que não foram executadas (LAUER, 1997).

2.1 Órbita dos satélites Landsat

Os satélites do sistema Landsat cobrem a superfície terrestre através de órbitas do tipo quase-polar heliossíncronas, ou seja, o satélite orbita o globo paralelamente às latitudes iluminadas pelo sol. As rotas resultantes são definidas na WRS-2 (World-wide Reference System), o sistema de referência utilizado nos satélites à partir do Landsat 4 (IRONS, 2006). O L8 orbita a Terra na altitude de 705 km no Equador (728 km apogeu, 704 km perigeu), circulando a Terra a cada 98,9 minutos, em sincronia com a face do planeta que está recebendo a radiação solar. O ciclo de 233 órbitas é suficiente para cobrir toda a superfície terrestre, o acontece no período de 16 dias. A plataforma cruza o Equador às 10:00 a.m. +/- 15 minutos (USGS, 2016). O controle da missão entra em contato com a plataforma a cada 24 horas para transmitir quais dados coletar naquele período, com o objetivo criar imagens livres de nuvem (IRONS, 2012).

2.2 Sistema de sensores

A premissa do sensoriamento remoto é de que as características da superfície terrestre podem ser identificadas, discriminadas, categorizadas e mapeadas se baseando nos seus espectros refletivos e emissivos. Para isso foi necessário se construir livrarias de espectros reflexivos em ambiente de laboratório e através de sensores em aeronaves, nos primeiros tempos do Sensoriamento Remoto. Com apreensão persistente de que tais condições fossem significativos apenas para determinados casos, no tempo e espaço (LAUER, 1997).

As imagens são capturadas nas plataformas Landsat através de sensores passivos que captam faixas do espectro eletromagnético através de bandas específicas. A quantidade de bandas e a faixa de frequência da luz captada pelos sensores variou ao longo da história do programa e plataformas orbitais utilizadas. Desde a utilização do *Multispectral Scanner* (MSS) com 4 bandas, da geração Landsat 1, 2 e 3; passando pela utilização de 8 bandas do *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) do Landsat 7; até o uso de 11 bandas no Landsat 8, com o uso dos sensores OLI e TIRS (USGS, 2016).

Os dois sensores captam, juntos, em torno de 400 imagens por dia. Cada imagem digital cobre uma área de 185 x 180 km (IRONS, 2012).

2.3 Operational Land Imager (OLI)

O sensor OLI foi produzido pela empresa BATC após período de avaliação de propostas pela NASA em 2007. A agência especificou a performance e as funcionalidades que o sensor deveria ter, bem como os testes a serem realizados antes do acoplamento à plataforma e lançamento da mesma (IRONS, 2012)

O sensor coleta dados de imagem em 9 bandas espectrais com resolução espacial de 30 metros (a banda pancromática tem 15 metros de resolução). Foi requerido que os dados coletados pelo OLI envolvessem as bandas do ETM+, para que se atinja a continuidade de dados (USGS, 2016). Alguns desenvolvimentos podem ser citados em relação a geração anterior de sensores, como a banda 5 do OLI (0,845 μm – 0,885 μm), que exclui um pico de absorção de vapor de água no meio da banda de infravermelho próximo do ETM+ (banda 4; 0,775 μm – 0,900 μm) (IRONS, 2012). A banda pancromática do sensor OLI captura uma faixa de espectro eletromagnética mais estreita do que a faixa correspondente do ETM+, para que se crie um maior contraste entre áreas vegetadas e não vegetadas (IRONS, 2012). Adicionalmente, duas novas bandas foram criadas para o OLI, a banda 1 (0,433 μm

– 0,453 μm) foi desenhada para captar a cor do oceano em zonas costeiras; e a banda 9 (1,360 – 1,390 μm) que está em uma faixa espectral correspondente ao vapor de água, e pode ser utilizada para detecção de nuvens cirrus (IRONS, 2012).

2.4 Thermal Infrared Sensor (TIRS)

Versões anteriores da plataforma utilizavam bandas termais adicionadas às bandas espectrais de ondas curtas. O sensor MSS do Landsat 3 coletou dados com uma banda termal com resolução de 240 metros, que foi pouco utilizada devido problemas em sua performance. Os satélites Landsat 4 e Landsat 5 tiveram em seus sensores TM uma banda termal com resolução de 120 metros, e o sensor ETM+ do Landsat 7, uma banda termal com 60 metros de resolução (IRONS, 2012).

O Landsat 8, no entanto, conta um sensor específico para a captação de imagens através de duas bandas termais. Imageamento por bandas termais não estava nos planos originais da plataforma. No entanto, novas aplicações para os dados de bandas termais surgiram nos últimos anos, devido, em parte, à rigorosa calibração e coleção sistemática dos dados (IRONS, 2012). A aplicação de tais dados para medição no consumo de água em sistemas irrigados começou a se revelar e agências de manejo de recursos hídricos defenderam a restauração do projeto de bandas termais na plataforma orbital em desenvolvimento (IRONS, 2012). A NASA procedeu, então, estudos para a viabilidade de se projetar um sensor que pudesse ser acoplado à aeronave que levaria apenas o sensor OLI, originalmente. Devido a estas circunstâncias, os requerimentos para o sensor foram suavizados para que o sensor fosse produzido sem atrasar a data de lançamento de 2012. Por este motivo, as bandas termais captadas pelo sensor TIRS tem 100 metros de resolução, 40 a menos que a banda termal do sensor ETM+. Seu tempo de vida útil é de 3 anos, 2 a menos que o do sensor OLI.

Tabela 1 - Bandas espectrais do sensor OLI e TIRS (Landsat 8) e do sensor ETM+ (Landsat 7)

Bandas espectrais OLI/TIRS			Bandas espectrais ETM+		
#	Faixa da banda (μm)	Resolução (m)	#	Faixa da banda (μm)	Resolução (m)
1 - Aerossóis	0,433 - 0,453	30			
2 - Azul	0,450 - 0,515	30	1	0,450 - 0,515	30
3 - Verde	0,525 - 0,600	30	2	0,525 - 0,605	30
4 - Vermelho	0,630 - 0,680	30	3	0,630 - 0,690	30
5 - IV próximo	0,845 - 0,885	30	4	0,775 - 0,900	30
6 -IV ondas curtas 1	1,560 - 1,660	30	5	1,550 - 1,750	30
7 -IV ondas curtas 2	2,100 - 2,300	30	6	2,090 - 2,350	30
8 - Pancromática	0,500 - 0,680	15	7	0,520 - 0,900	30
9 - Cirrus	1,360 - 1,390	30			
10 - IV termal 1	10,60 - 11,19	100			
11 - IV termal 2	11,50 - 12,51	100			

2.5 Calibração

Para que as medições sejam confiáveis, os sensores necessitam ser frequentemente calibrados. Apesar de possuírem sistemas internos de calibração, estes envelhecem juntamente com seus sensores, e podem comprometer a qualidade dos dados captada.

A plataforma L5 contou com uma transição no modo como seus dados são calibrados nos seus 28 anos de funcionamento. Devido ao envelhecimento do sistema de calibração, as lâmpadas de calibração interna do sensor TM não apresentavam constância na radiação (CHANDER; MARKHAM, 2013). Por este motivo a calibração das bandas refletivas passou a ser feita através da modelagem da refletividade em função da idade dos sensores (CHANDER; MARKHAM, 2003). Este processo auxiliou a continuação das operações do L5 por mais alguns anos além de seu desenho original.

Posteriormente, os coeficientes de calibração foram tabulados para serem usados em diferentes gerações de sensores do programa Landsat (CHANDER; MARKHAM, 2003). A utilização dos mesmos valores e unidades proporcionou uma maior coerência entre os dados de diferentes sensores.

2.6 SEBAL

O processamento das imagens foi feito através da metodologia do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) (ALLEN et al., 2002). O procedimento foi desenvolvido para se calcular a evapotranspiração com uso de sensoriamento remoto, ou seja, em nível regional.

A estimativa da evapotranspiração é feita através da computação da energia de superfície, fluxo de calor do solo e do fluxo de calor sensível para o ar. Ao se subtrair os valores destas variantes, o resíduo representa a energia que efetivamente é usada para promover a transpiração da planta e a evaporação da água no solo.

$$\lambda ET = R_n - G - H$$

onde, R_n é o fluxo de radiação da superfície (W/m^2); G é o fluxo de calor do solo (W/m^2); e H é o fluxo de calor sensível para o ar (W/m^2).

No presente trabalho serão executados os cálculos de radiância, refletividade e de índices de vegetação, que constituem etapas preliminares para o cálculo da evapotranspiração através do algoritmo SEBAL.

3 Material e Métodos

Para o trabalho foi escolhida uma área que abrange o estado do Rio de Janeiro e uma parte do oceano Atlântico, no período de abril de 2016. A fonte dos dados foi o site do USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), que permite a obtenção gratuita das imagens de vários satélites da NASA.

O arquivo compactado deverá ser extraído para uma pasta própria, preferencialmente, na partição do disco em que foi instalado o sistema operacional. Exemplo: C:/LANDSAT8/RJ_Abril_2016.

Os dados foram processados utilizando-se o *software* ERDAS IMAGINE 2014.

3.1 União das imagens

Para se trabalhar com imagens no *software* ERDAS é necessário, primeiramente, unir as imagens das bandas que vão ser utilizadas (Figuras 1-6). Clica-se:

Raster/Spectral/Layer Stack (Figura 1).

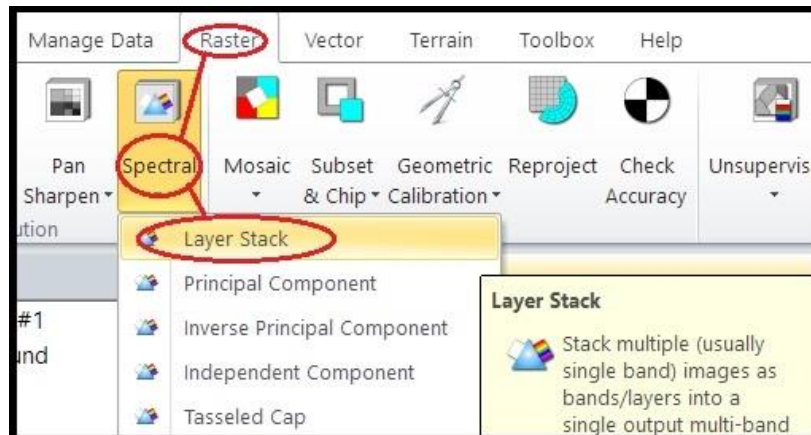


Figura 1 – Ferramenta Layer Stack, para união de imagens.

1) Selecionar o arquivo da banda a ser adicionada no processo de união das imagens (Figura 2).

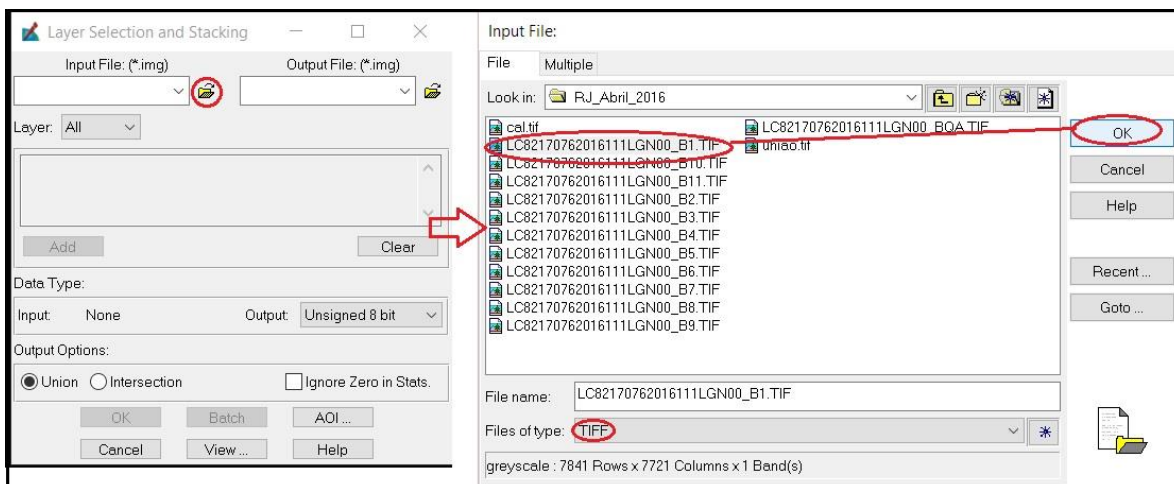


Figura 2 - Seleção dos arquivos contendo as bandas para executar a união de imagens.

2) Adicionar a banda 1 (Figura 3).

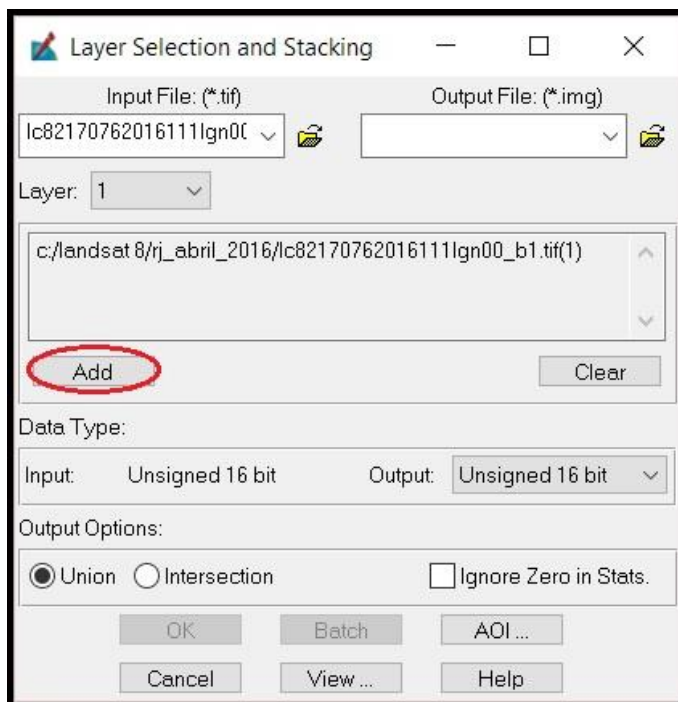


Figura 3 – Adicionar banda ao Layer Stack.

- 3) Repetir o passo acima para as bandas 2-7 e 10-11 (Figura 4).
- 4) Definir o local do arquivo de saída, e nomeá-lo “união.tif”. Marcar as opções “float single” e “union” e clicar OK (Figura 4).

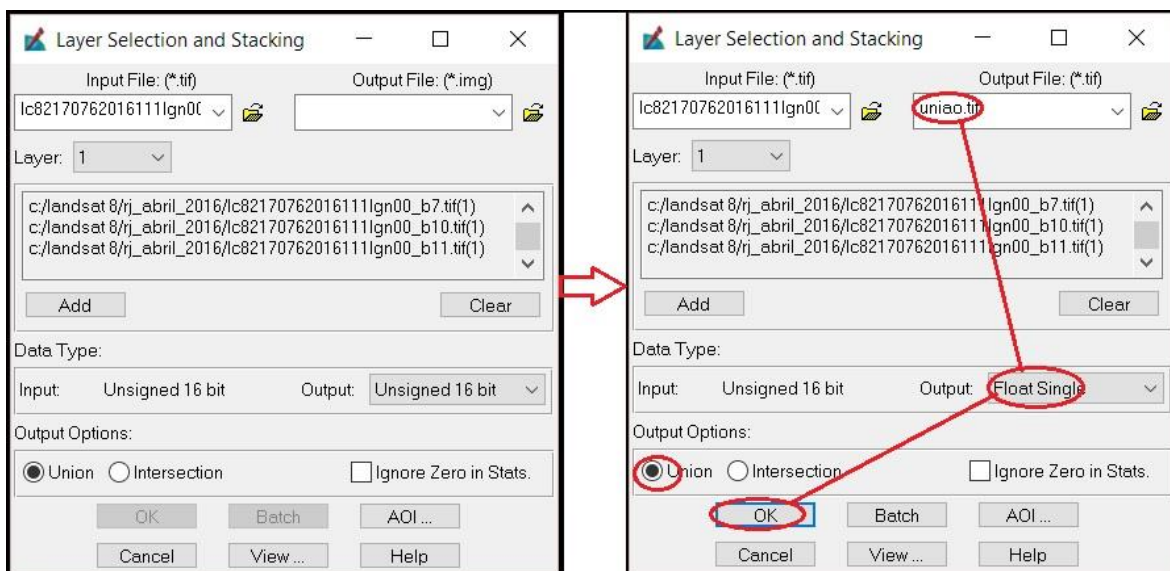


Figura 4 – Escolha do arquivo de saída e formato de saída dos números (float single).

- 5) Aguardar o processamento (Figura 5).

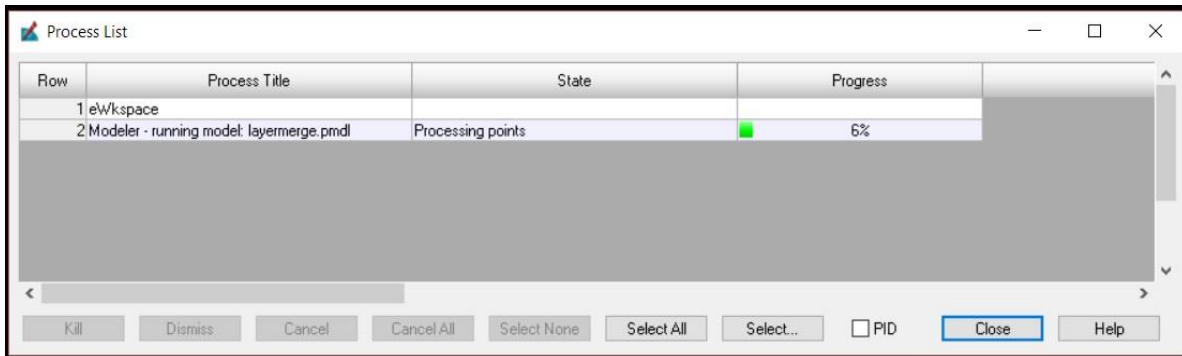


Figura 5 – Processamento do algoritmo de calibração radiométrica.

6) Checar a imagem resultante (Figura 6).

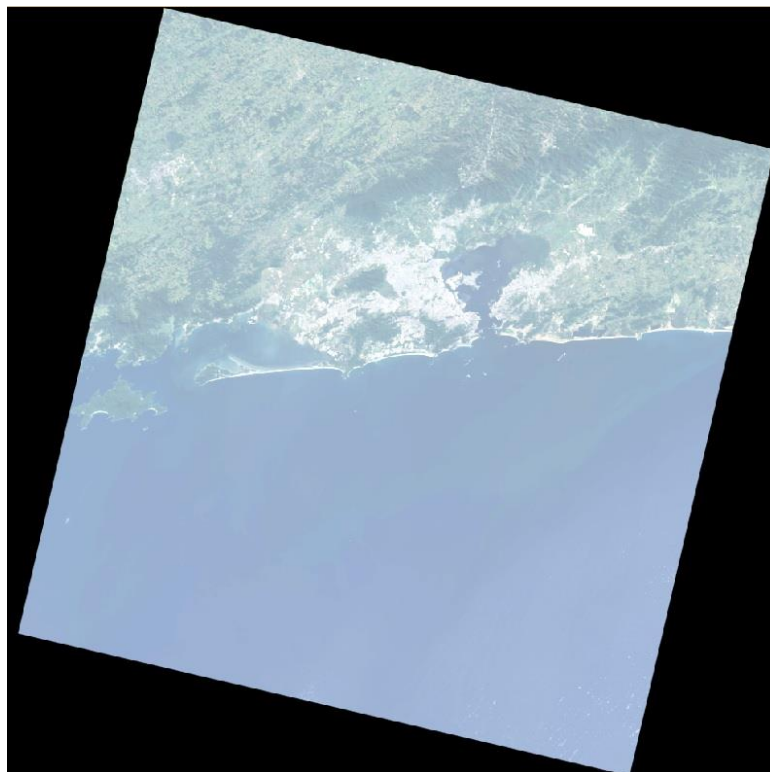


Figura 6 – Imagem gerada após a união das bandas.

3.2 Utilização da ferramenta Model Maker

A inserção de modelos para tratamento de imagens raster no ERDAS é feito através da ferramenta Model Maker, em que o modelo assume uma disposição gráfica, e tem suas partes modificáveis pelo usuário.

As ferramentas utilizadas estão apresentadas na Figura 7. Em 1) se insere o raster de entrada (imagem que terá seus valores processados) ou de saída (imagem gerada pelo modelo); em 2) se insere a equação que define o modelo; e em 3) se inserem as tabelas que contém dados a serem utilizados na equação.

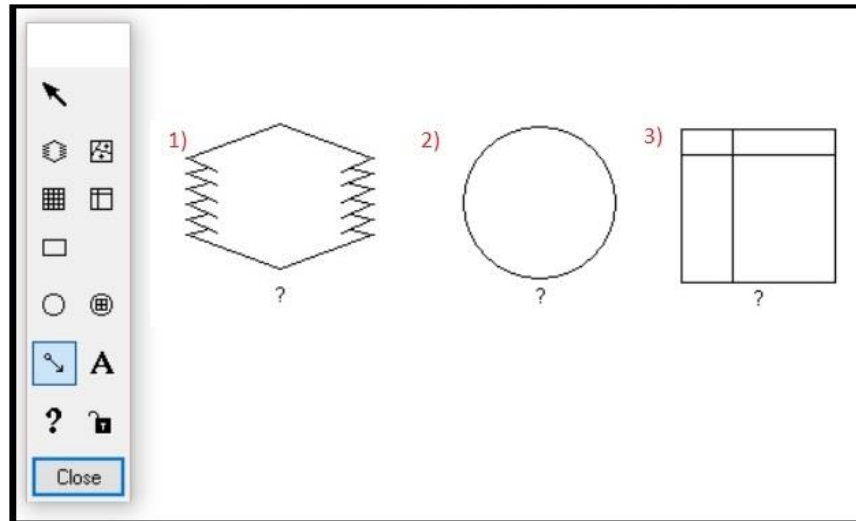


Figura 7 – Ferramentas utilizadas para construção do algoritmo.

A montagem do modelo é feita pelo usuário ao se clicar nas opções da barra de ferramentas e se designar os relacionamentos entre elas com o uso da seta. Em a) temos a relação de um raster de entrada que será processado por uma equação; e em b) temos uma tabela que terá seus valores inseridos em uma equação (Figura 8).

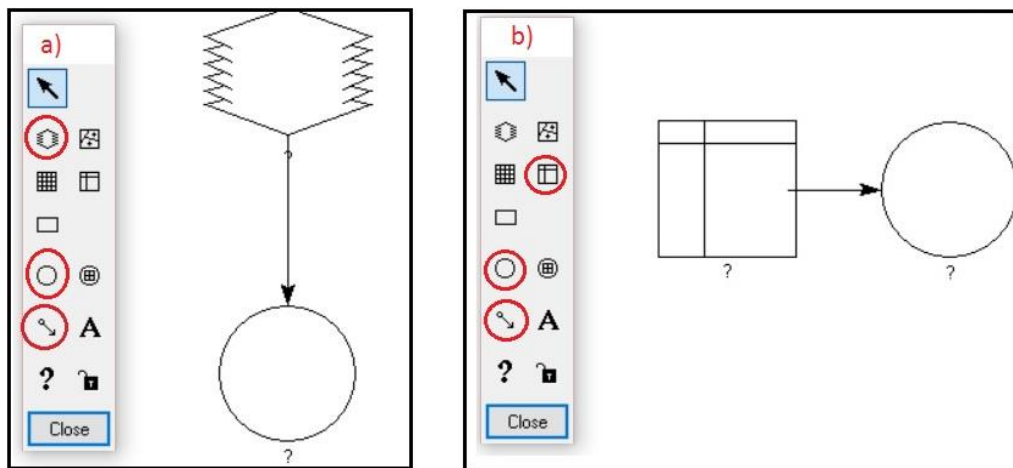


Figura 8 – Relacionando as ferramentas de algoritmo.

3.3 Calibração Radiométrica

O processo de calibração radiométrica consiste na conversão do número digital (ND) de cada pixel em radiâncias espectral monocromática, que representa a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda (ALLEN et al., 2002)

Para o cálculo de calibração radiométrica foram utilizados os coeficientes de calibração desenvolvidos por Chander & Markham (2009). Seu uso foi desenvolvido para a

faixa das bandas do L5, e sua utilização em bandas equivalentes do L8 está sendo testada e necessita de validação.

A equivalência entre as faixas espectrais das bandas dos dois satélites é apresentado na Tabela 2. Os coeficientes de calibração radiométrica das bandas utilizadas no presente trabalho são apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 – Equivalência entre as faixas espectrais das bandas dos satélites Landsat 5 e Landsat 8.

Bandas do Landsat 8 (OLI e TIRS)		Bandas espectrais do Landsat 5 (TM)	
#	Faixa da banda (μm)	#	Faixa da banda (μm)
1	0,433 - 0,453	1	0,452 - 0,518
2	0,450 - 0,515		
3	0,525 - 0,600	2	0,528 - 0,609
4	0,630 - 0,680	3	0,626 - 0,693
5	0,845 - 0,885	4	0,776 - 0,904
6	1,560 - 1,660	5	1,567 - 1,784
7	2,100 - 2,300	7	2,097 - 2,349
10	10,60 - 11,19	6	10,45 - 12,42
11	11,50 - 12,51		

Bandas L8		$L_{MIN\lambda}$	$L_{MAX\lambda}$
#	Faixa da banda (μm)		
1	0,435 - 0,451	-1,52	193
2	0,452 - 0,512	-1,52	193
3	0,533 - 0,590	-2,84	365
4	0,636 - 0,673	-1,17	264
5	0,851 - 0,879	-1,51	221
6	1,566 - 1,651	-0,37	30,2
7	2,107 - 2,294	-0,15	16,5
10	10,60 - 11,19	1,2378	15,3032
11	11,50 - 12,51	1,2378	15,3032

Para o cálculo da radiância espectral foi utilizada a equação proposta por Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} * ND$$

Em que a e b são as radiâncias mínimas e máximas ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255), e i é o número da banda.

Os cálculos foram feitos no *software* ERDAS IMAGINE 2014. Os algoritmos são configurados na ferramenta *Model Maker*, e sua interface interativa permite que a equação seja disposta como um organograma.

Procedimento para cálculo da calibração radiométrica:

1) Selecionar a aba Toolbox e a ferramenta Model Maker (Figura 9).

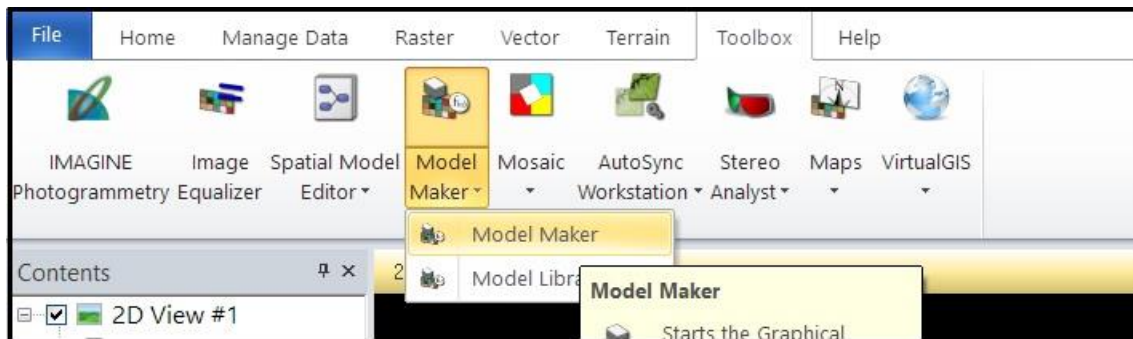


Figura 9 - Abrindo a ferramenta Model Maker.

2) Construir o algoritmo (Figura 10)

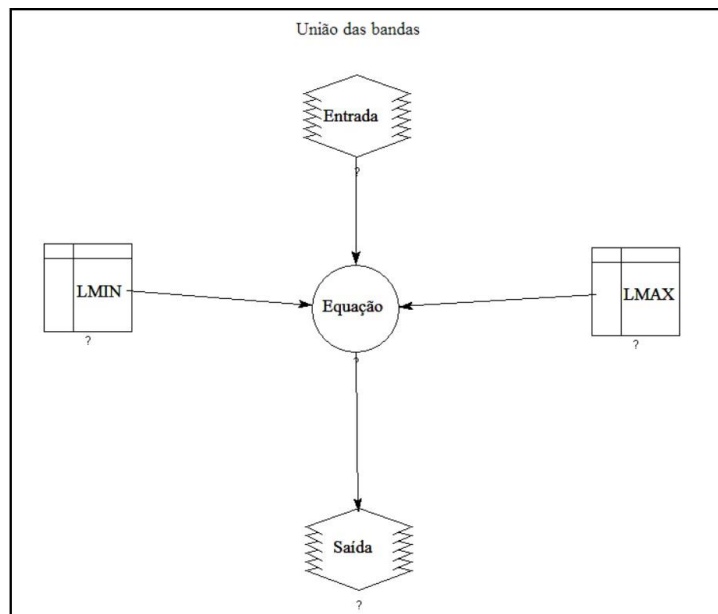


Figura 10 – Algoritmo de calibração radiométrica.

3) Selecionar o arquivo “uniao.tif” em entrada (Figura 11).

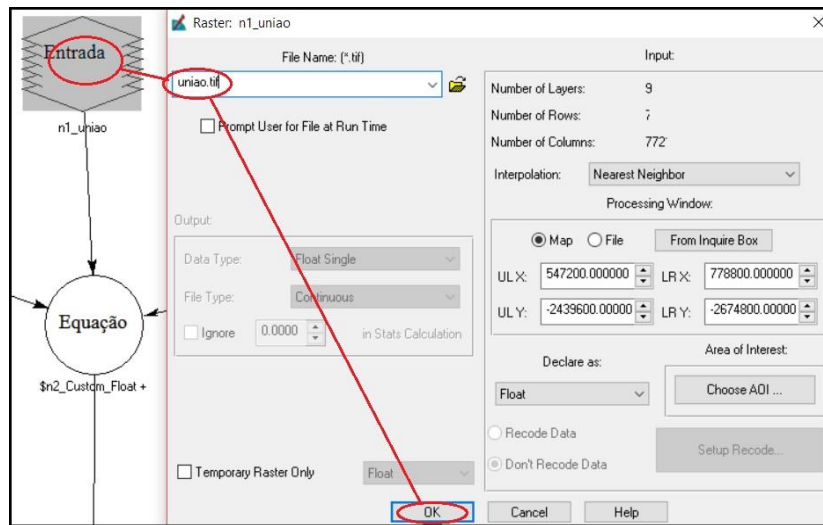


Figura 11 – Seleção do arquivo de entrada no algoritmo de calibração radiométrica.

4) Abrir a tabela de Lmin e preencher os valores de calibração correspondentes para cada banda (Figura 12). As 9 linhas (0-8) correspondem às 9 bandas (1-7, 10-11), conforme adicionadas durante a união das imagens. Fazer o mesmo para os coeficientes de Lmax.

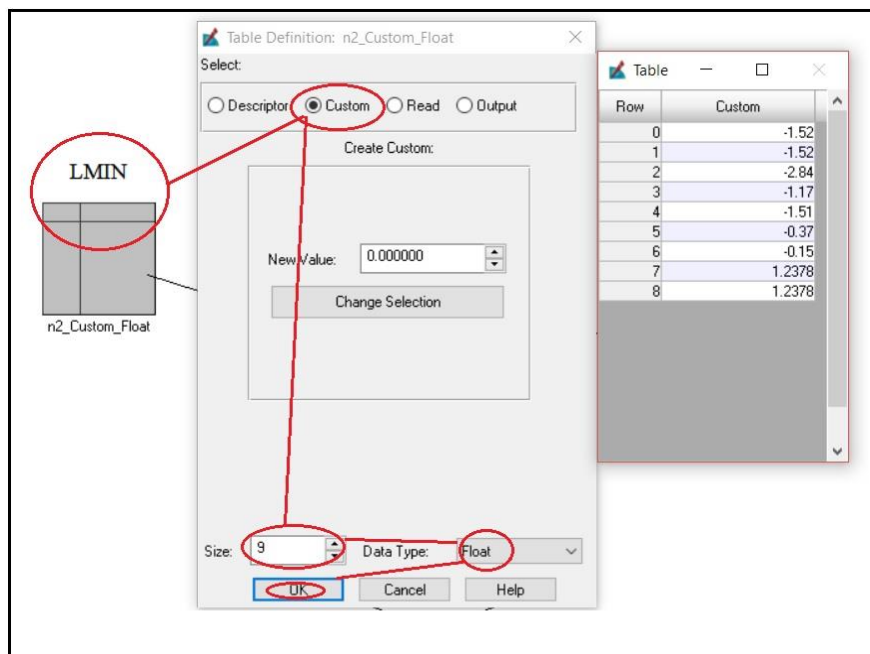


Figura 12 – Tabela de coeficientes de calibração radiométrica (Lmin).

5) Inserir a equação utilizando o teclado virtual (Figura 13).

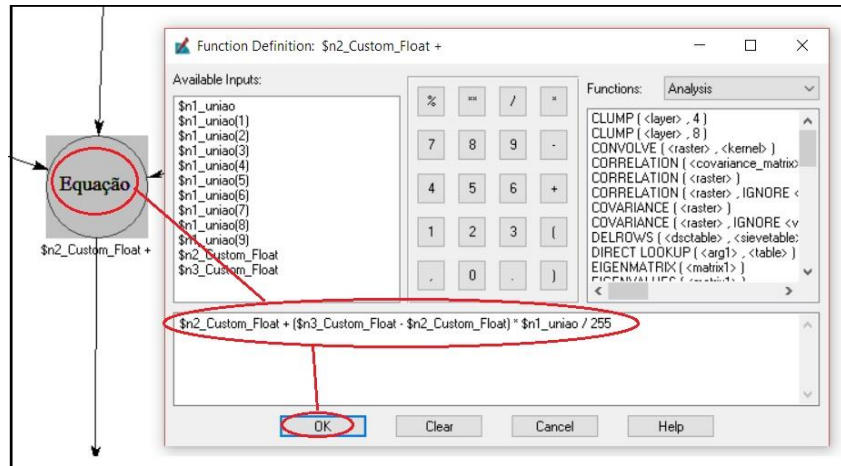


Figura 13 – Inserção da equação de calibração radiométrica.

6) Crie o arquivo “cal.tif” como arquivo de saída para a imagem. Selecionar a caixa “Delete if Exists” e o formato “Float Single” (Figura 14). Clique no comando para processar o modelo (Figura 15).

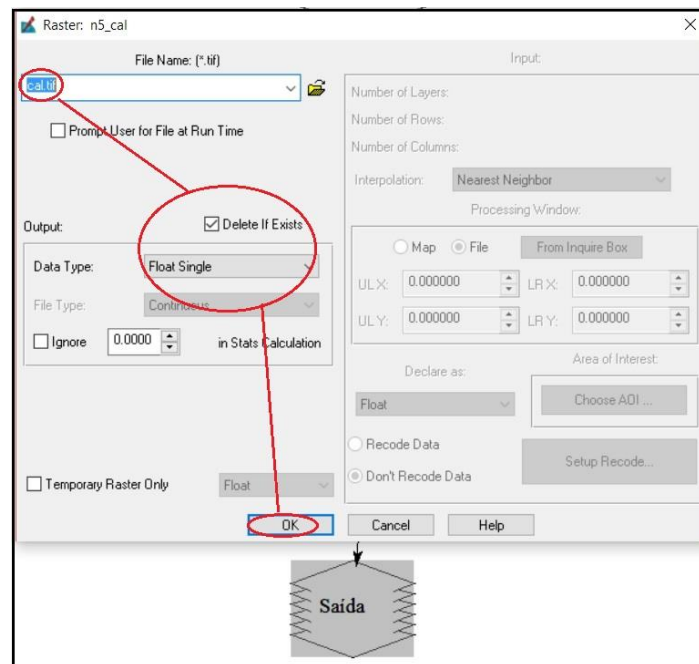


Figura 14 – Arquivo de saída para imagem para imagem após calibração radiométrica.



Figura 15 – Comando para processar o modelo construído no Model Maker.

3.4 Reflectância

O cálculo da reflectância é realizado para as bandas refletivas (bandas1-7), e é obtido através da razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo da radiação global incidente, segundo a equação:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi * L_{\lambda i}}{k_{\lambda i} * \cos Z * d_r}$$

em que, $L_{\lambda i}$ é a radiâncias espectral de cada banda; $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($W^{-2}\mu m^{-1}$); Z é o ângulo zenital solar (obtido por meio do cabeçalho das imagens adquiridas, e depende da órbita, ponto e época do ano) e d_r é a razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em um dado dia do ano (Dia Juliano, DJ) (ALLEN et al., 2002)

Procedimento para o cálculo da reflectância:

- 1) Construir o algoritmo de cálculo de reflectância utilizando o Model Maker (figura 16):

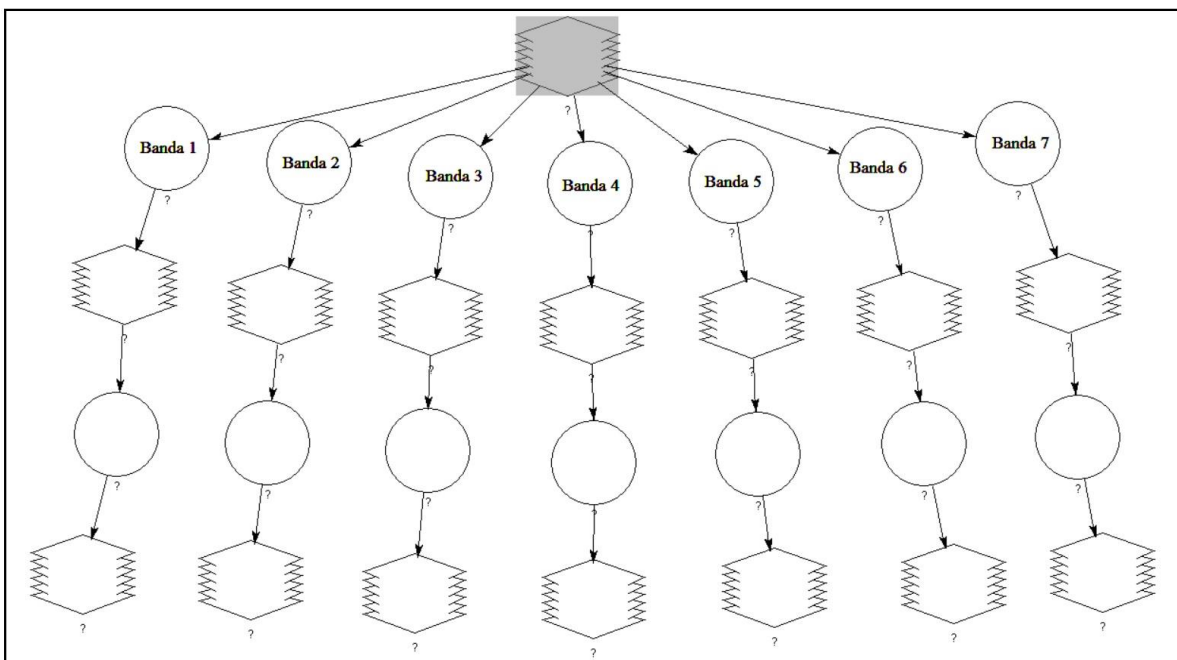


Figura 16 – Algoritmo para cálculo de reflectância das bandas 1-7.

- 2) Obter a elevação solar e a distância relativa Terra-Sol para a imagem obtida no arquivo .txt que acompanha a imagem após a descompactação (Figura 17):

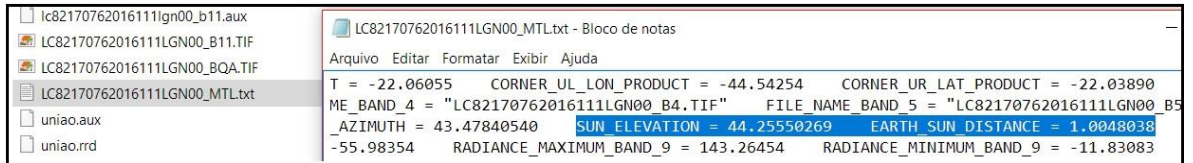


Figura 17 – Valores da elevação solar e distância relativa Terra-Sol para cálculo da reflectância.

- 3) Inserir a equação para cálculo da reflectância em cada uma das bandas. Notar que como o ângulo zenital é complementar à elevação solar, sua obtenção é feita através da diferença entre 90 e o valor da elevação solar.

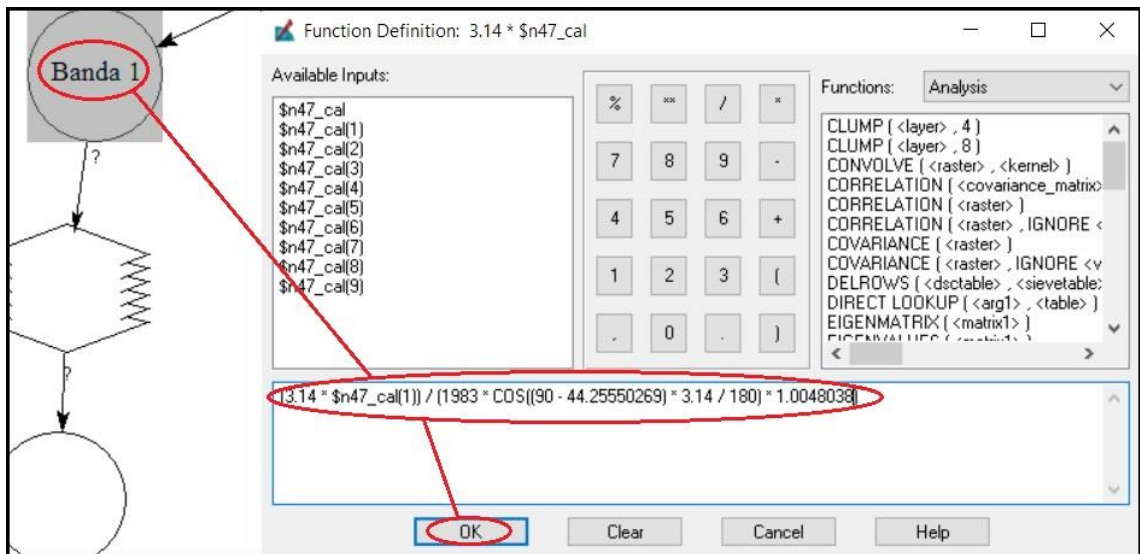


Figura 18 – Equação para cálculo da reflectância das bandas 1-7.

4) Estabelecer a condição “memory” para cada banda (Figura 19).

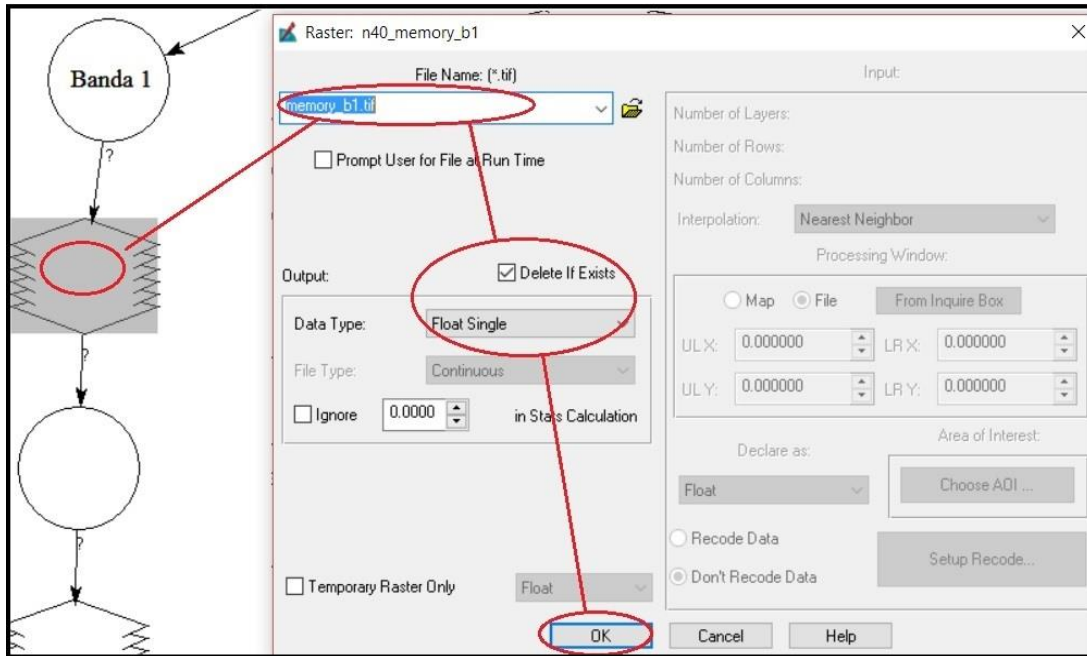


Figura 19 – Condição memory.

5) Estabelecer a condição “either” para cada banda (Figura 20).

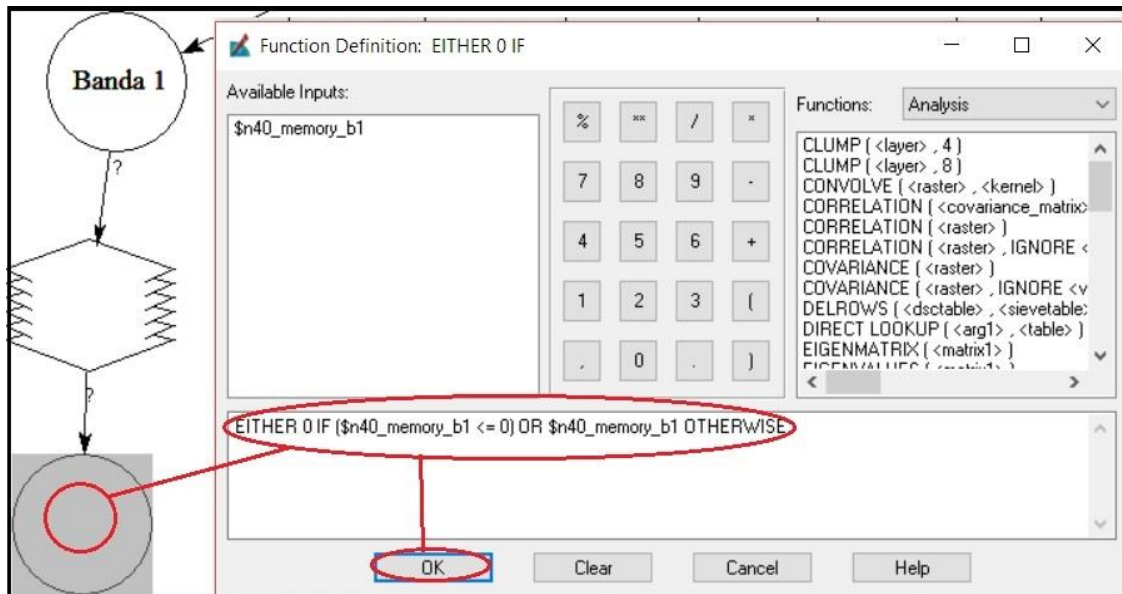


Figura 20 – Condição either.

6) Escolher arquivo de saída para cada banda (Figura 21). Clique no comando para processar o modelo (Figura 15).

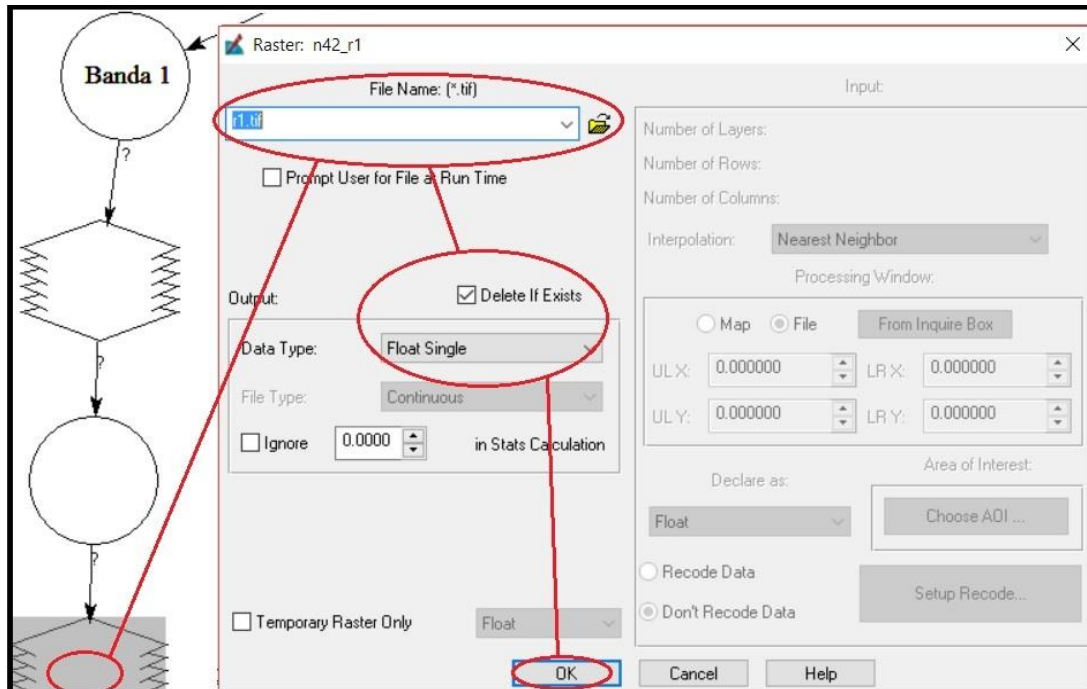


Figura 21 – Seleção de cada arquivo de saída para cálculo de reflectância.

Executar a união das imagens das bandas 1 a 7, utilizando o passo demonstrado anteriormente. O arquivo de união das imagens deverá se chamar “união_da_refletividade.tif”.

4 Índices de vegetação

4.1 NDVI

O índice *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) foi um dos primeiros índices de vegetação a descrever as condições da vegetação. É matematicamente definido como a razão da diferença do valor de refletividade do Infravermelho próximo (ρ_{iv}) e do vermelho (ρ_v), dividido pela soma destas refletividades (ROUSE et al., 1974).

$$NDVI = \frac{\rho_{iv} - \rho_v}{\rho_{iv} + \rho_v}$$

em que, ρ_{iv} e ρ_v correspondem às bandas 5 e 4 do sensor OLI, respectivamente.

Procedimento para cálculo do NDVI:

1) Inserir o arquivo “uniao_da_refletividade” como arquivo de entrada (Figura 22).

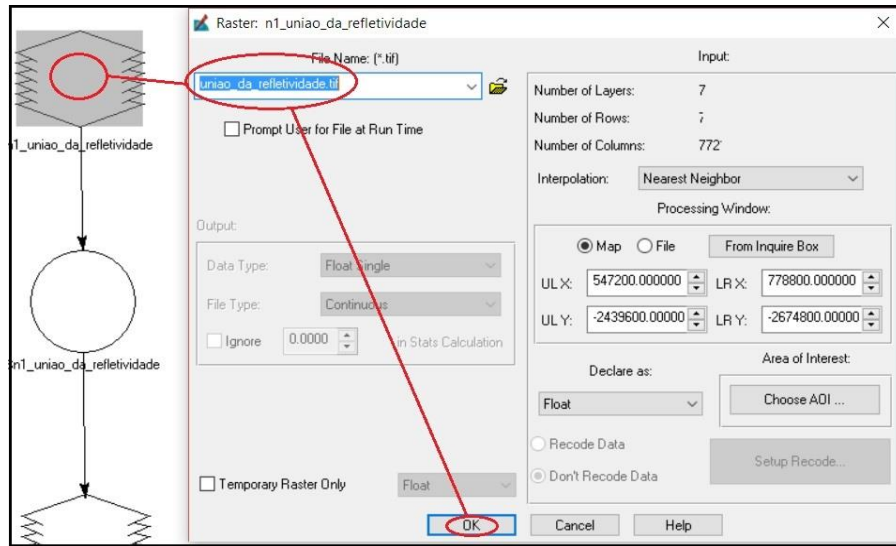


Figura 22 – Arquivo de entrada para cálculo do NDVI.

2) Inserir a equação para cálculo do NDVI (Figura 23).

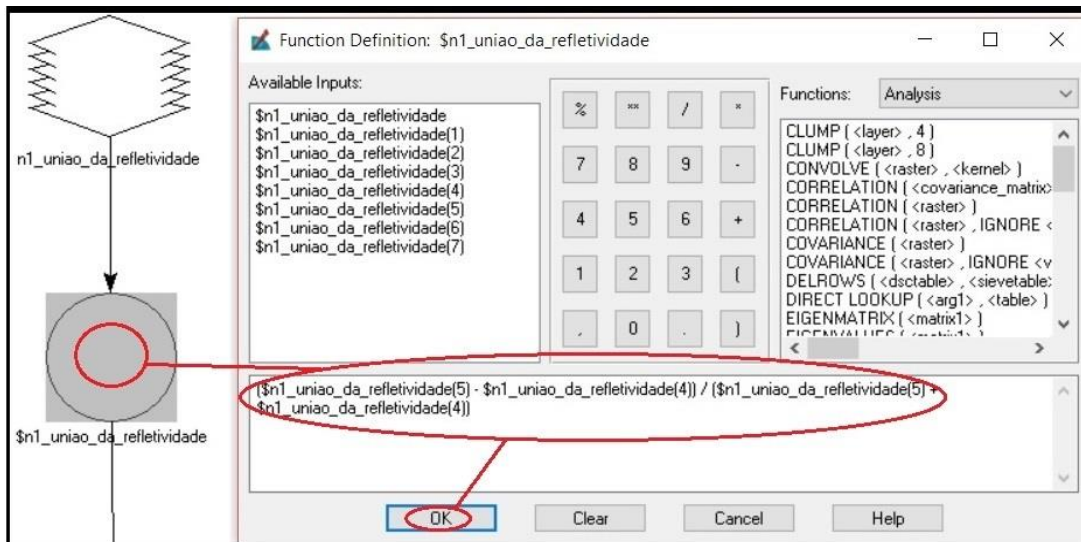


Figura 23 – Equação para cálculo do NDVI.

- 3) Criar o arquivo de saída para imagem do NDVI calculado (Figura 24). Clique no comando para processar o modelo (Figura 15).

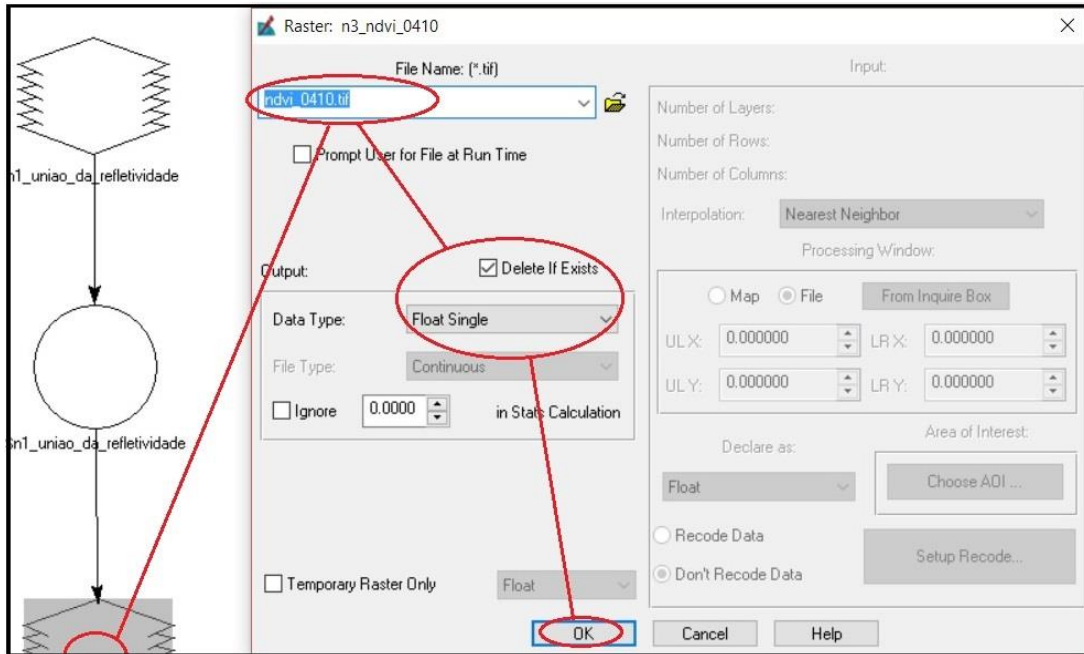


Figura 24 – Seleção de arquivo de saída do NDVI calculado.

- 4) Checar a imagem resultante (Figura 25):

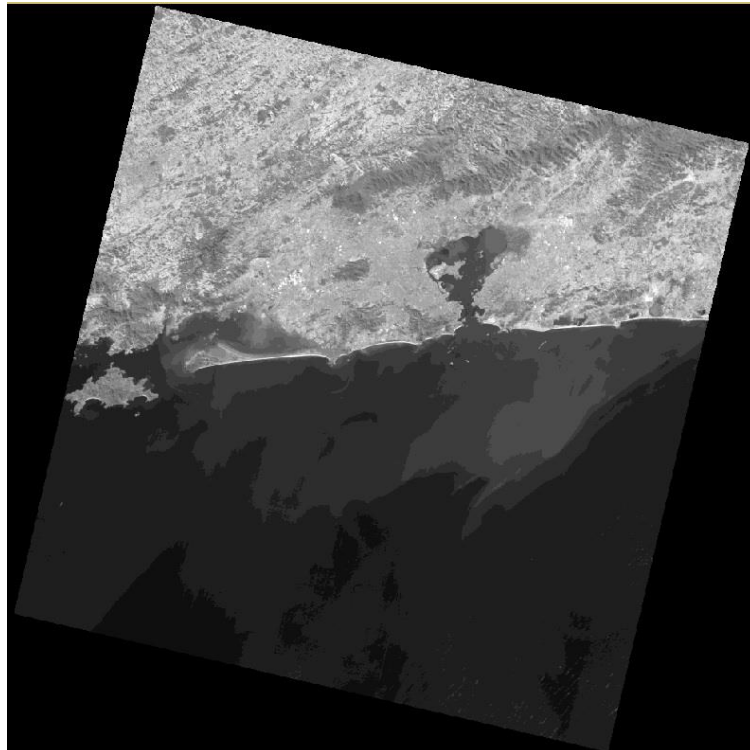


Figura 25 – Imagem do NDVI calculado.

Para se checar a coerência dos valores encontrados no *software* ERDAS IMAGINE 2014, abre-se o arquivo criado após o processamento e se acessa os metadados. A coerência dos dados pode ser atestada pelo fato de suas estatísticas variarem de -1 a 1 (Figura 26).

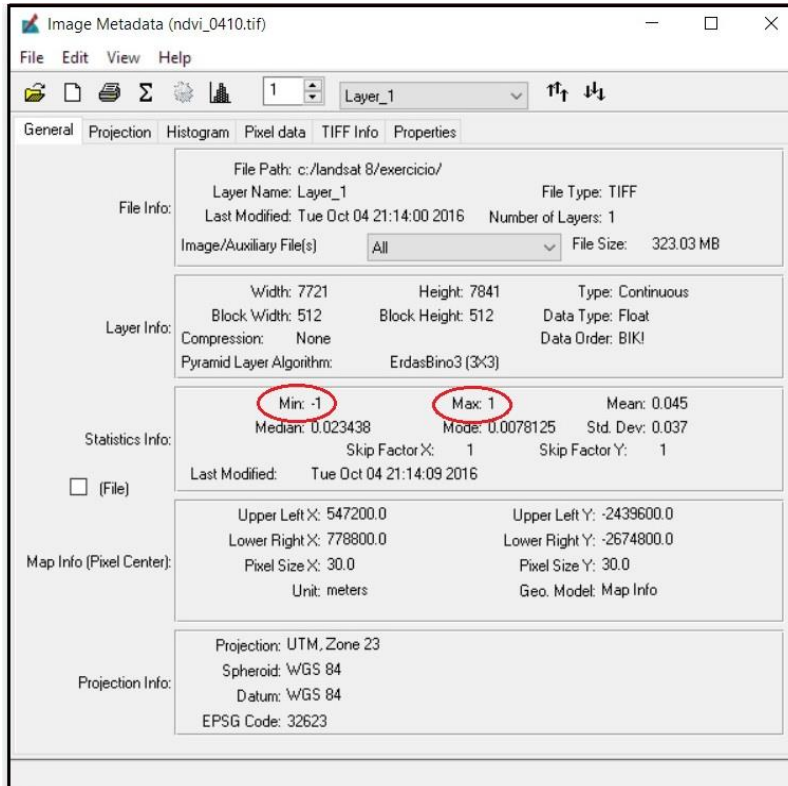


Figura 26 – Metadados da imagem do NDVI calculado.

4.2 SAVI

Os efeitos de *background* do solo são amenizados através do cálculo do índice de vegetação SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*). Através da equação proposta por Huete (1988).

$$SAVI = \frac{(1+L) * (\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)}$$

onde L é a constante 0,5.

Procedimento para o cálculo do SAVI:

- 1) Selecionar o arquivo ‘uniao_da_refletividade’ como entrada (Figura 27).

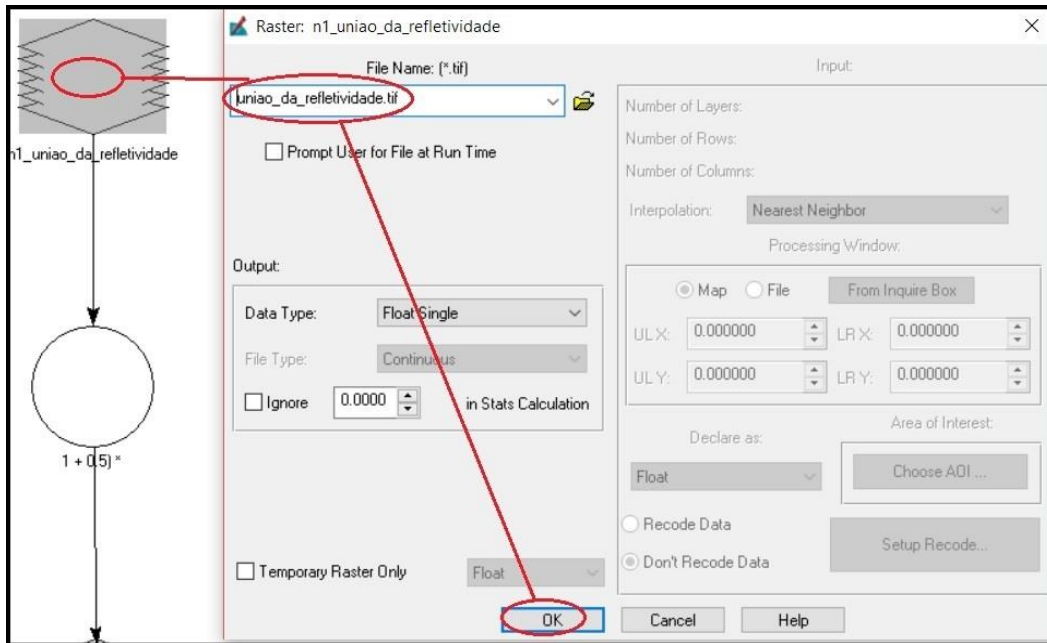


Figura 27 – Arquivo de entrada para cálculo do SAVI.

2) Inserir a equação para cálculo do SAVI (Figura 28).

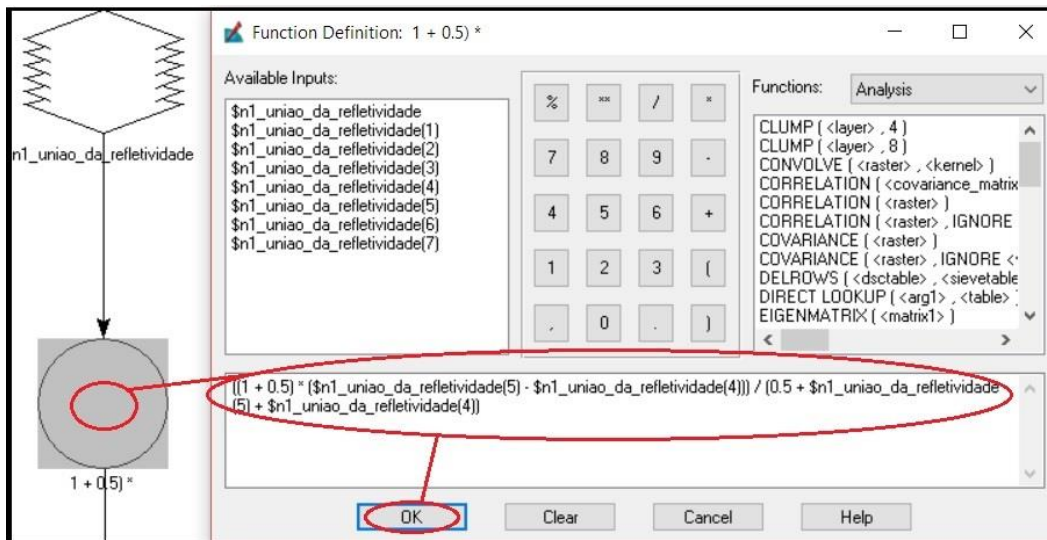


Figura 28 – Equação para cálculo do SAVI.

- 3) Criar o arquivo de saída para imagem do SAVI calculado (Figura 29). Clique no comando para processar o modelo (Figura15).

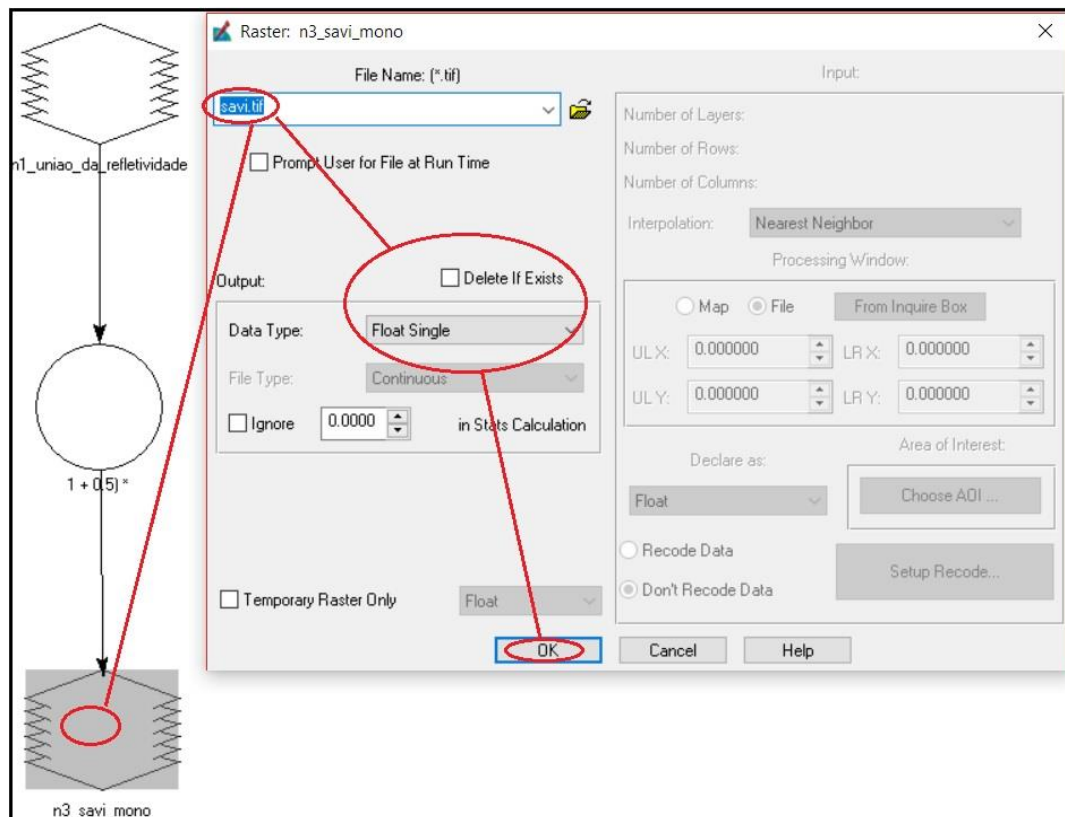


Figura 29 – Seleção do arquivo de saída do SAVI calculado.

4) Checar a imagem resultante (Figura 30).

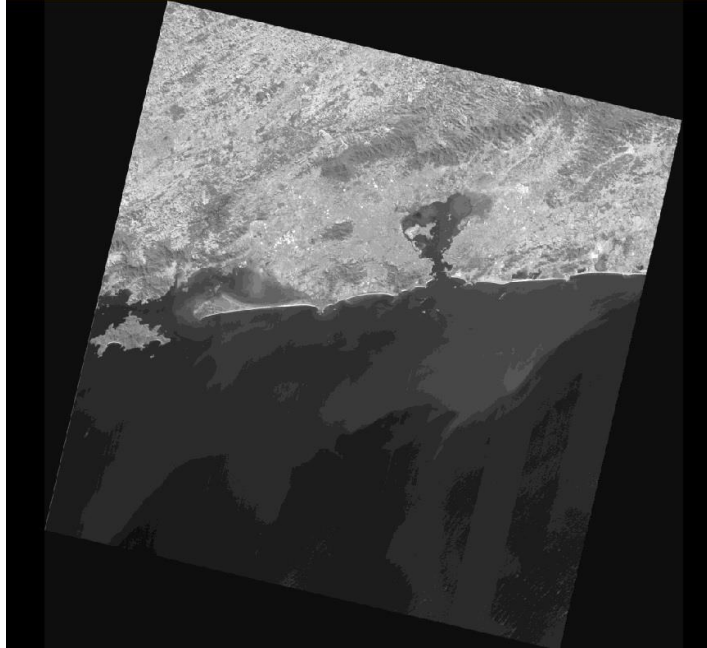


Figura 30 – Imagem do SAVI calculado.

4.3 IAF

O IAF (Índice de Área Foliar) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, indicando a biomassa de cada pixel da imagem, será calculada pela seguinte equação empírica obtida por Allen et al. (2002):

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91}$$

Procedimento para cálculo do IAF:

1) Inserir o arquivo “savi” como arquivo para o cálculo do IAF.

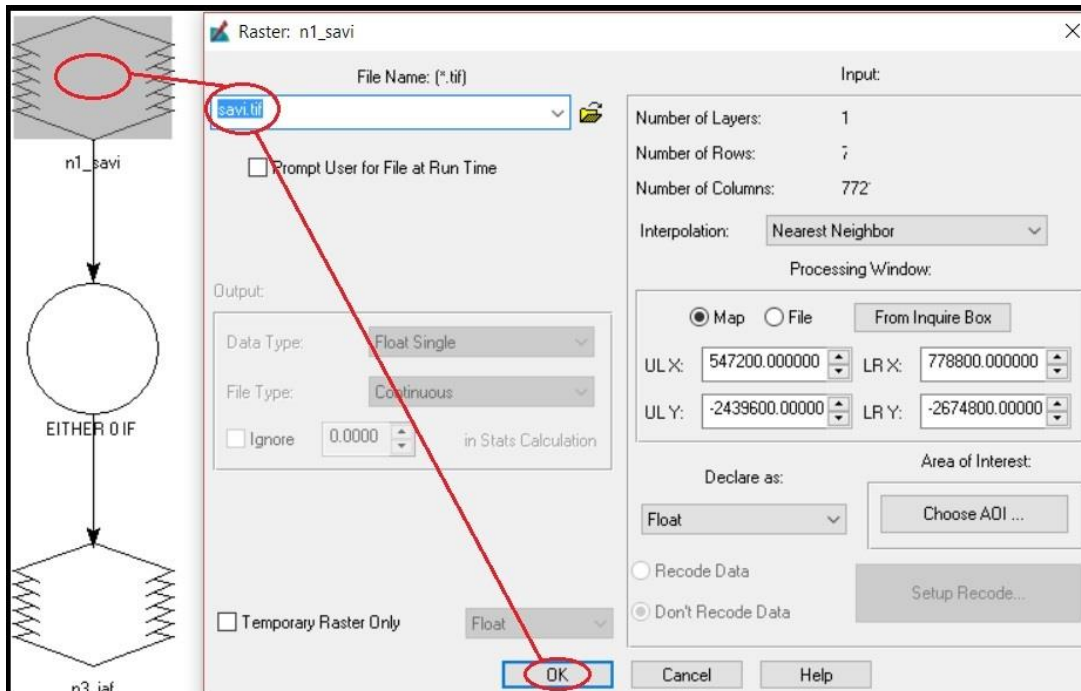


Figura 31 – Arquivo de entrada para cálculo do IAF.

2) Inserir a equação para cálculo do IAF (Figura 32)

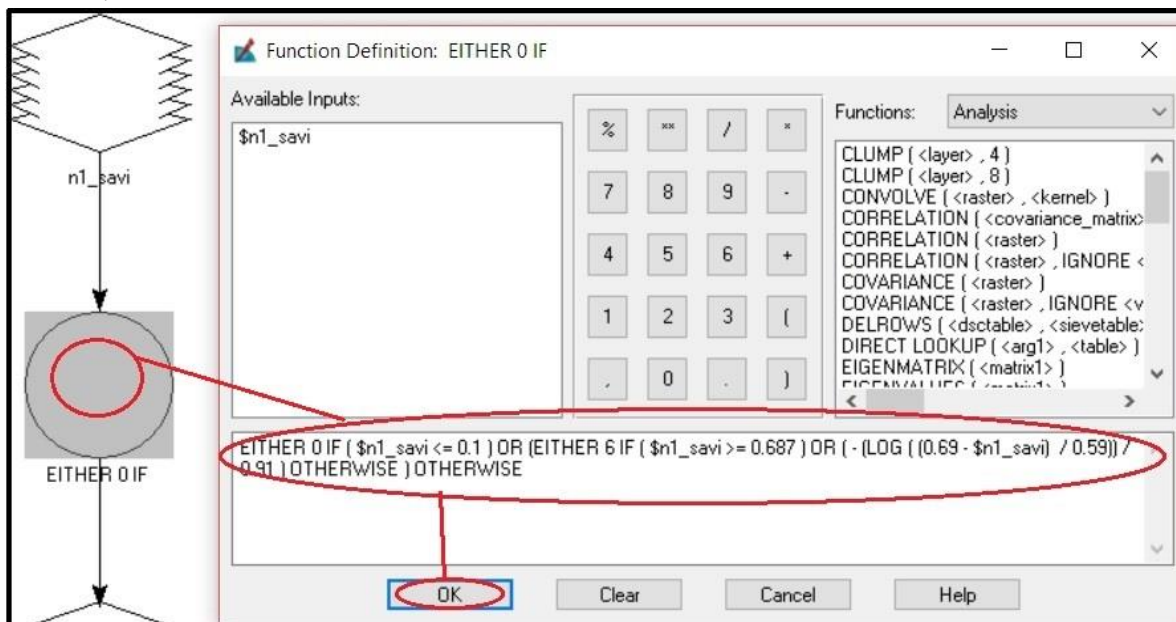


Figura 32 – Equação para cálculo do IAF.

- 3) Criar o arquivo de saída para imagem do IAF calculado (Figura 33). Clique no comando para processar o modelo (Figura 15).

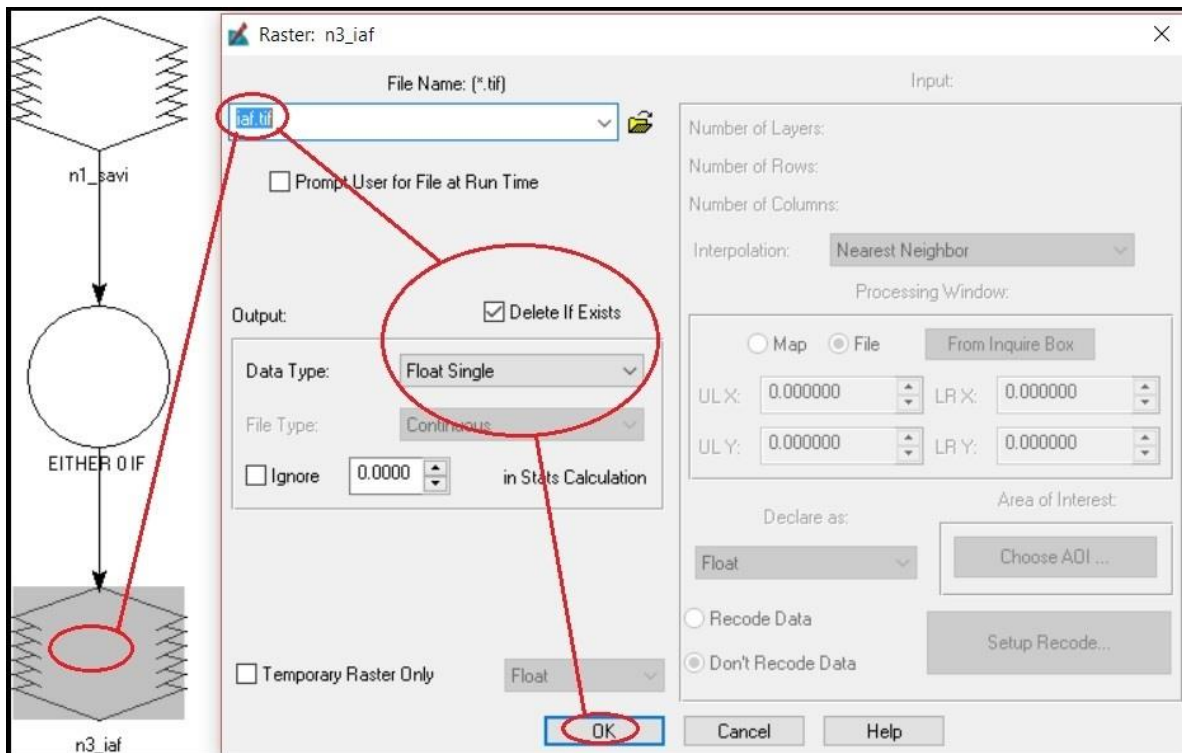


Figura 33 – Seleção de arquivo de saída do IAF calculado.

- 4) Checar a imagem resultante (Figura 34).

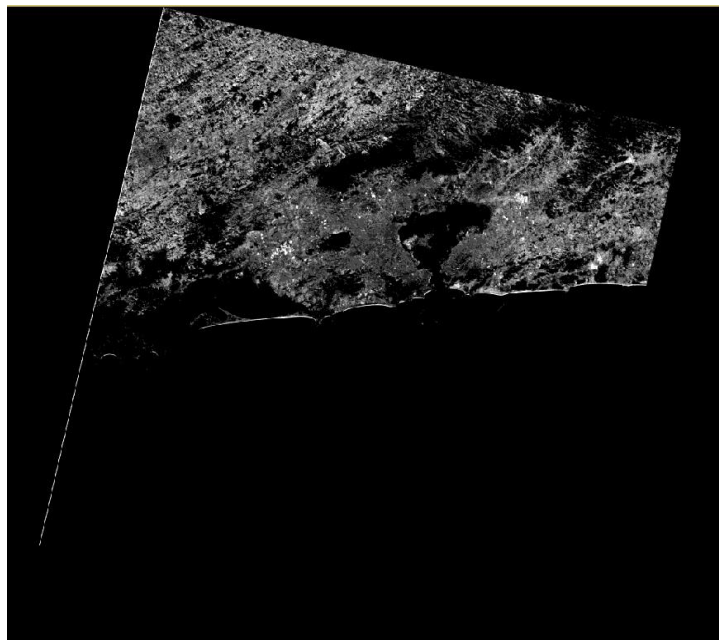


Figura 34 – Imagem do IAF calculado.

Para se checar a coerência dos valores encontrados no *software* ERDAS IMAGINE 2014, abre-se o arquivo criado após o processamento e se acessa os metadados. A coerência dos dados pode ser atestada pelo fato de suas estatísticas variarem de 0 a 6 (Figura 35).

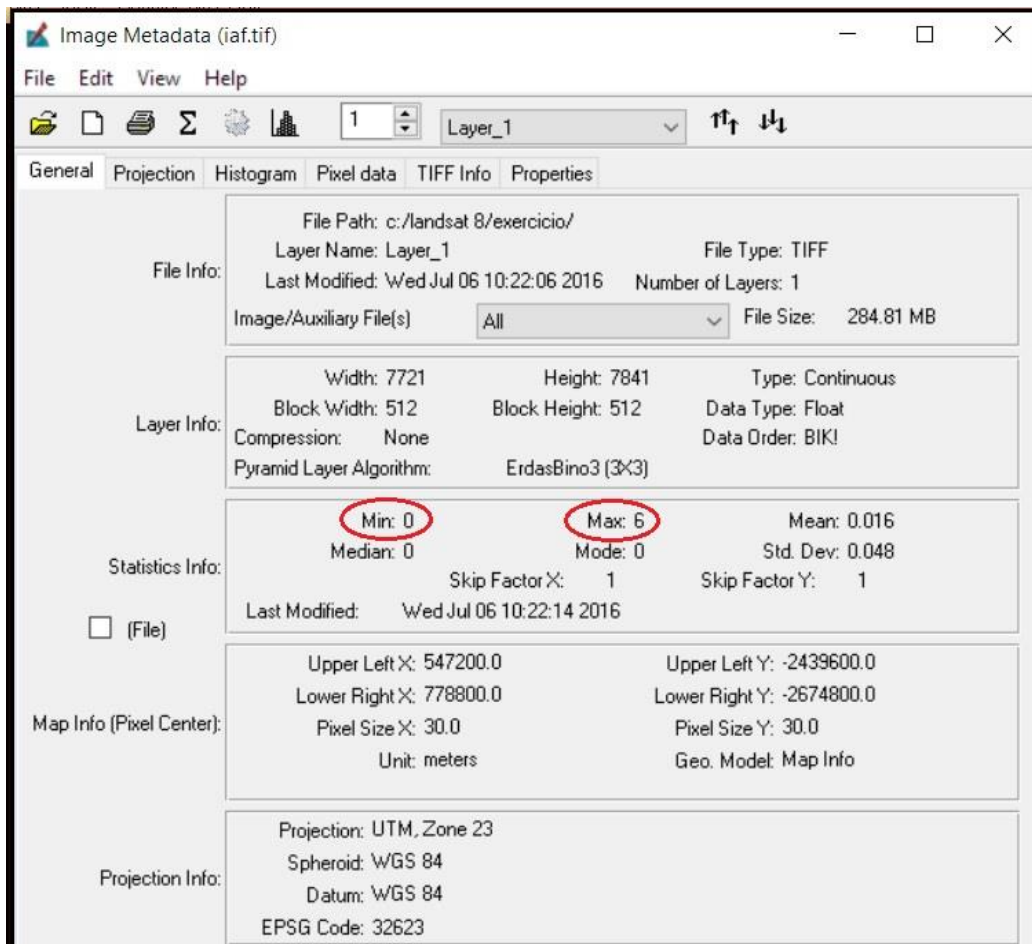


Figura 35 – Metadados da imagem do IAF calculado.

5 Resultados e Discussão

A coerência das imagens obtidas foi analisada a partir de valores de referência esperadas. O NDVI teve seus valores oscilando entre -1 (corpos d'água) e 1 (vegetação), o que era esperado e justificado pela literatura. Mais recentemente, tem ajudado a responder perguntas sobre as consequências das mudanças climáticas na distribuição espacial e produtividade da vegetação em diversas áreas do planeta (ZHANG et al., 2013). Gamon et al. (2013) analisaram a hipótese de aumento da produtividade vegetal no Alaska devido às estações de crescimento mais longas, decorrentes do aquecimento do clima. Tan et al. (2015) analisaram o impacto da implantação do grande programa de reflorestamento chinês na diminuição de tempestades de poeira, através da comparação dos índices dentro das áreas que receberam ou não o projeto.

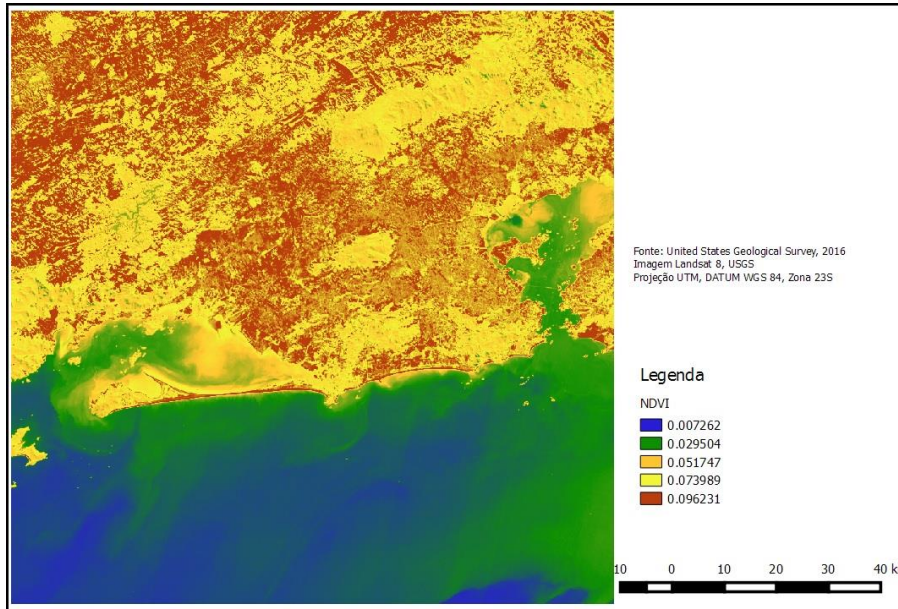


Figura 36 - NDVI em falsa-cor. Detalhe mostrando a baía de Guanabara e a restinga da Marambaia.

O SAVI foi desenvolvido para minimizar o efeito luz refletida pelo solo, o que constitui uma importante limitação para a utilização de índices de vegetação (HUETE, 1988).

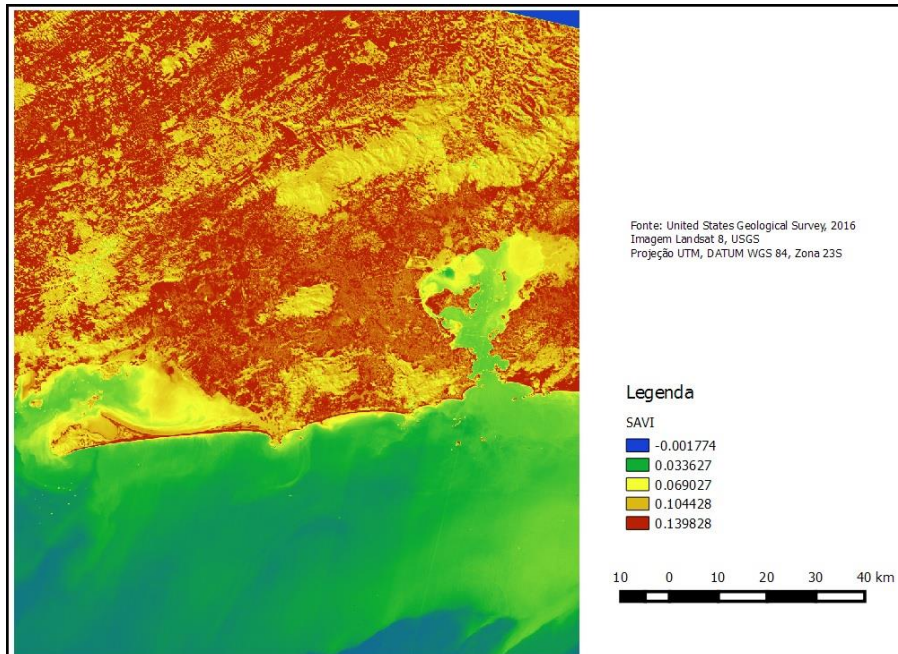


Figura 37 - SAVI em falsa-cor. . Detalhe mostrando a baía de Guanabara e a restinga da Marambaia.

O IAF é um índice que quantifica a área foliar por unidade de área, sendo um importante parâmetro relacionado à vários processos físicos da vegetação como a fotossíntese, respiração e ciclo do carbono (CHEN et al., 1996). O maior valor encontrado para o IAF foi de 6. Estes valores são esperados e justificados pela literatura (ALLEN et al., 2002), e indicam que os procedimentos utilizados estão adequados.

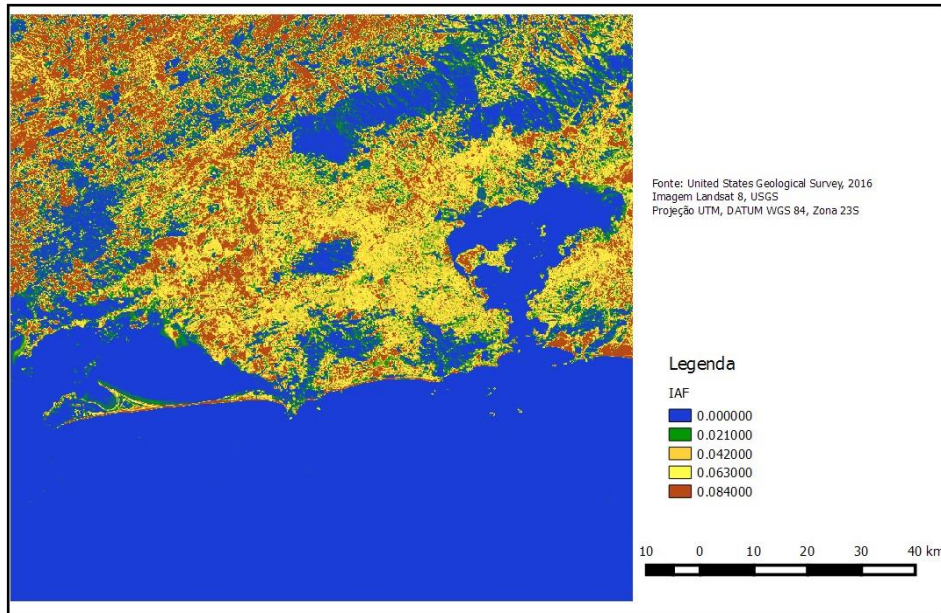


Figura 38 - IAF em falsa-cor. Detalhe mostrando a baía de Guanabara e a restinga da Marambaia.

6 Conclusão

Os procedimentos necessários para que o público geral possa manipular as imagens da plataforma L8 estão em fase de teste. Em especial os coeficientes de calibração radiométrica, onde o presente trabalho explorou a possibilidade de utilização dos coeficientes ajustados do Landsat 5, que já haviam se mostrados adequados para o Landsat 7.

A pesquisa está em andamento e terá seus produtos finais organizados em uma apostila didática para o Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais e disponível para o público em geral.

7 Referências Bibliográficas

ALLEN, R.; TASAMUNI, M.; WATERS, R.; TREZZA, R.; BASTIAANSSEN, W. SEBAL - Surface Energy Balance Algorithms for Land - Advanced Training and Users Manual. v.01, 2009.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L. Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, vol. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.

CHANDER, G. MARKHAM, B.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2013.

CHEN, J. M.; Cihlar, J. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using landsat TM images. **Remote sensing of environment**, v.55, p. 153-162, 1996.

CLARKE, A. C.. Extra-Terrestrial Relays: can rocket stations give World-wide radio coverage. **Wireless world**, p. 305-308, 1945.

DELGADO, R. C. Técnicas de sensoriamento remoto. **UFV**, 2008.

GAMON, J. A.; HUENNRICH, K. F.; STONE, R. S.; TWEEDIE, C. E. Spatial and temporal variation in primary productivity (NDVI) of coastal Alaskan tundra: Decreased vegetation growth following earlier snowmelt. **Remote sensing environment**, v.129, p. 144-153, 2013

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

IRONS, J.; GOWARD, S.; ARVIDSON, T.; WILLIAMS, D.; FAUNDEEN, J.; FRANKS, S. Historical record of Landsat global coverage: Mission operations, NSLRSDA, and international cooperator stations. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, p. 1155-1169, 2006.

IRONS, J.; DWYER, J. L.; BARSIS, J. A.; . The next Landsat satellite: the Landsat Data Continuity Mission. **Remote Sensing of Environment**, v. 122, p. 11-21, 2012.

LAUER, D. T.; MORAIN, S. A.; SALOMONSON, V. V. The Landsat program: its origins, evolution and impacts. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 63, p. 831-838, 1997

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. **Editora UFRV**, 2011.

ROUSE , J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium**, v.01, p. 48-62, 1974.

TAN, M.; LI, X. Does the green great wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and wheater station data. **Land use policy**, v. 43, p. 42-47, 2015.

USGS. LANDSAT 8 (L8) Data users handbook, v. 2.0, 2016.

ZHANG, Y.; GAO, J.; Liu, L.; WANG, Z.; DING, M.; YANG, X. NDVI-based vegetation changes and their responses to climate change from 1982 to 2011: a case study in the Koshi River basin in the middle Himalayas. **Global and planetary change**, v. 108, p. 139-148, 2013.