

*Curso*

# **SENSORIAMENTO REMOTO E MONITORAMENTO AMBIENTAL**

---



## *Guia Prático e Visual com Spring 5.5*

---

*Neison Freire*

Diretoria de Pesquisas  
Sociais - Dipes

Diretoria de Formação  
e Desenvolvimento  
Profissional - Difor

LAT S 08°W 10.9° - LONG W 34°50'11.0"

CENTRO INTEGRADO  
DE ESTUDOS GEORREFERENCIADOS  
PARA A PESQUISA SOCIAL - CIEG  
MÁRIO LACERDA DE MELO

Fundação  
Joaquim  
Nabuco







## **MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO**

Diretoria de Pesquisas Sociais

Rua Dois Irmãos, 92 | Apipucos | 25071440 | Recife - PE

Fone: (81) 3073.6479 | Fax: (81) 3073.6563 | CNPJ: 09.773.169/0001-59

[www.fundaj.gov.br/cieg](http://www.fundaj.gov.br/cieg) | [cieg@fundaj.gov.br](mailto:cieg@fundaj.gov.br)

**NEISON CABRAL FERREIRA FREIRE**

# Curso Sensoriamento Remoto e Monitoramento Ambiental Guia Prático e Visual com Spring 5.5

---



# Bem-vindo

---

A Fundação Joaquim Nabuco lhe dá as boas vindas ao Curso “**Sensoriamento Remoto e Monitoramento Ambiental**”, realizado pelas Diretorias de Pesquisas Sociais e de Formação e Desenvolvimento Profissional, elaborado pelo Centro Integrado de Estudos Georreferenciados para a Pesquisa Social Mario Lacerda de Melo - **CIEG**.

O Curso tem duração de 30 h/aula e será ministrado em laboratório de informática em 10 aulas com 3h de duração cada aula. Ao final do curso será concedido Certificado de Participação aos alunos que tenham um mínimo de 70% de frequência.

O objetivo geral do curso é introduzir e aplicar os conceitos básicos de Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens (PDI), tomando como estudo de caso o Parque Nacional do Catimbau (623 km<sup>2</sup>), localizado entre os municípios de Buíque, Tupanatinga, na microrregião do vale do Ipanema, e Ibimirim, na microrregião do Moxotó, todos no Estado de Pernambuco.

O curso está baseado na utilização de dados e programas livres, permitindo, assim, uma maior aplicabilidade posterior das técnicas e metodologias que serão abordadas. Sendo de caráter introdutório, o curso se destina a professores e alunos da rede pública do ensino superior, gestores ambientais e pesquisadores ligados aos estudos sobre o meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

Muitas outras técnicas de PDI podem (e devem) ser utilizadas em estudos de monitoramento ambiental. Este curso se propõe a iniciar o aluno nos procedimentos, instrumentos e metodologia que estejam relacionadas ao Sensoriamento Remoto, uma arte/ciência em constante aprimoramento e inovações tecnológicas.

Solicita-se ao aluno trazer esta apostila em todas as aulas, pois ela servirá como guia passo-a-passo para a execução de cada atividade didática proposta. Estas atividades são acumulativas ao longo do curso, sendo imprescindível cada etapa para que o objetivo final – a análise espacial com o mapa de mudanças no uso e ocupação do solo no período entre 2001 e 2017 no Parna do Catimbau seja alcançada com sucesso.

Desejamos bom curso e esperamos que tenha um ótimo proveito dos conteúdos apresentados em seus estudos, pesquisas e trabalhos profissionais.

***Informamos que por questões de higiene e segurança é terminantemente proibido consumir alimentos e bebidas no laboratório.***



# Sumário

<b>1. Fundamentos de Sensoriamento Remoto</b> (Teoria, 3 h/aula)	3
1.1. Definição e conceitos fundamentais	3
1.2. SIG e Sensoriamento Remoto	5
1.3. Raster <i>versus</i> vector	6
1.4. Radiação eletromagnética, interação com a atmosfera terrestre e origem	7
1.5. Sensores	9
1.6. PDI e Extração de Informações em imagens de satélite	9
1.7. Diferentes resoluções em SR	9
<b>2. Processamento Digital de Imagens</b> (Prática; 12 h/aula)	13
2.1. Parâmetros de busca e aquisição de imagens na Internet	13
2.2. Introdução ao SPRING (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE)	17
2.3. Iniciando os trabalhos com o Spring	20
2.4. Filtragem espacial, Manipulação de Histogramas de Frequência, Realce de Contraste e Combinação Multiespectral (Cor Verdadeira e Pseudo-color)	30
2.5. Fusão de bandas espectrais e geração de carta-imagem	35
2.6. Recorte geográfico vetorial	41
<b>3. Mapeamento e análise de mudanças no uso do solo.</b> (Prática; 9 h/aula)	45
3.1. Contextualização da área de estudo	45
3.2. Classificação Supervisionada e Mapeamento de Classes Temáticas	47
<b>4. Análise Espacial – Aspectos teórico-metodológicos</b> (Prática; 9 h/aula)	59
4.1. Álgebra de mapas com LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – sobre as mudanças no uso e ocupação do solo do Parque Nacional do Catimbau: reflexão conceitual e aplicação em estudo de caso	59
4.2. Conclusões (Relatório Parcial da Pesquisa “Mapeamento e Análise Espectro-Temporal das Unidades de Conservação de Proteção Integral da Administração Federal no Bioma Caatinga, Fundaj, 2017)	73
<b>5. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)</b>	75
<b>6. Modelagem Numérica de Terreno (MNT) – Visualização 3D</b>	89





# 1. Fundamentos de Sensoriamento Remoto

## 1.1 Definição e conceitos fundamentais



Figura 1 – Fonte de energia, sensores e recepção em SR.

### O QUE É SENSORIAMENTO REMOTO?

O Sensoriamento Remoto é a arte ou ciência que trata da aquisição de dados de um objeto ou cena por um sensor que está distante dos alvos. Fotografias aéreas, imagens de satélite e de radar são exemplos de produtos gerados a partir de dispositivos remotamente controlados.

Os sensores utilizados em Sensoriamento Remoto basicamente registram a radiação eletromagnética – uma energia transmitida pelo espaço na forma de ondas elétricas e magnéticas. JENSEN (2005) afirma que os sensores remotos são feitos por detectores que registram comprimentos de onda específicos no espectro eletromagnético (Figura 2). Este espectro abrange o intervalo de radiação eletromagnética que vai desde as ondas cósmicas, até as ondas de rádio.

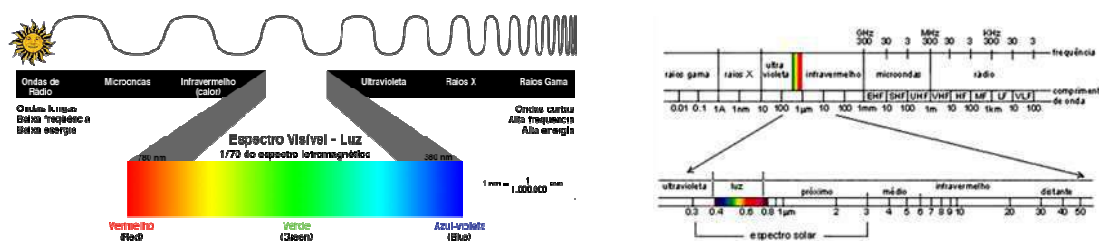


Figura 2 – Espectro eletromagnético.

Podemos destacar algumas bandas do espectro e suas características mais notáveis:<sup>1</sup>

1. A pequena banda denominada **luz** compreende o conjunto de radiações para as quais o sistema visual humano é sensível;
2. A banda do **ultravioleta** é formada por radiações mais energéticas que a luz (tem menor comprimento de onda); é por isso que penetra mais profundamente na pele, causando queimaduras quando você fica muito tempo exposto à radiação solar.
3. A banda de **raios X** é mais energética que a ultravioleta e mais penetrante; isso explica porque é utilizada em medicina para produzir imagens do interior do corpo humano.
4. As radiações da banda **infravermelha** são geradas em grande quantidade pelo Sol, devido à sua temperatura elevada; entretanto podem também ser produzidas por objetos aquecidos (como filamentos de lâmpadas).
5. O conjunto de radiações geradas pelo Sol se estende de 300 até cerca de 3000nm e essa banda é denominada **espectro solar**.

Segundo MOREIRA (2003), “para o sensoriamento remoto, a energia solar é a base de todos os princípios em que se fundamenta essa tecnologia”, pois mesmo os sensores ativos, como os radares, necessitam da radiação solar para manter suas reservas de energia, necessárias ao funcionamento dos equipamentos e permanência em órbita da Terra. “Quando o Sol é utilizado

<sup>1</sup> Fonte: <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm> Acesso: 20/03/2017.

como fonte de energia, em Sensoriamento Remoto, o que se mede é a energia refletida pelos diversos objetos da superfície terrestre” (INPE, 2015).

O Sol é a principal fonte de energia para todo o sistema solar e, devido à sua elevada temperatura, gera uma grande quantidade de energia que é irradiada para todo o espaço. Propagando-se pelo vácuo com uma velocidade próxima de 300.000 km/s, a **energia radiante**, também chamada **radiação solar**, atinge a Terra onde é em parte refletida de volta para o espaço e em parte absorvida pelos objetos terrestres, transformando-se em calor ou outras formas de energia.

O Sensoriamento Remoto envolve dois processos básicos:

1º) Aquisição de dados através de plataformas com sensores adequados (figura 3), e

2º) Análises e correção dos dados mediante parâmetros matemáticos e físicos (figura 4) e a utilização de dispositivos digitais. Muitas vezes a informação adquirida se complementa com dados de referência, ou **validação**, já existentes da região em estudo (mapas de solos, estatísticas de safras, plantas cadastrais, etc.) Toda esta informação é usualmente combinada em forma de camadas de informação georreferenciada (mapas, imagens de satélite, tabelas), que fazem parte do que se denomina de um SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Os **sensores** são equipamentos formados por sistemas fotográficos ou óptico-eletrônicos utilizados para a coleta da energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos terrestres, convertendo-a em sinal passível de ser registrado para uma posterior extração de informações do ambiente. Os elementos básicos da fase de aquisição de dados pelos sensores são: “energia radiante, fonte de radiação, objeto (alvo), trajetória e sensor (sistema de imageamento óptico e detector)”.

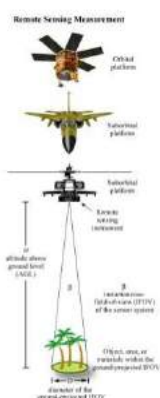


Figura 3 – Diferente níveis de aquisição em SR

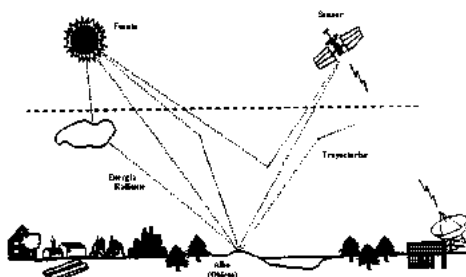


Figura 4 – Trajetórias da Radiação Eletromagnética em SR (SPRING, INPE, Brasil, 2011)

## 1.2 SIG e Sensoriamento Remoto

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR) tratam de temas diferentes! O SIG é um sistema de informações onde se integram pessoas, conhecimentos, dados, equipamentos e programas. Já o SR é uma ciência dedicada a extrair informações de objetos geográficos sem estar em contatos diretamente com eles. Então, o SR está localizado dentro dos SIGs, porém é uma área de conhecimento bem diferente e com aplicações científicas de alto nível para o desenvolvimento da sociedade.

Muitas são as definições clássicas de SIG, passando pelos conceitos básicos de coleta, armazenamento, visualização, análise e recuperação de dados espaciais. Alguns exemplos destas definições são:

- “Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (ARONOFF, 1989).
- “Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (BURROUGH, 1986).
- “Sistema integrado para capturar, armazenar, manipular e analisar informações referentes às relações em uma natureza geográfica” (GOODCHILD, 1985)

Simplificando, pode-se afirmar que um SIG é composto por mapas visíveis, cuja geometria está armazenada em arquivos, combinadas com atributos registrados em bancos de dados de computadores, o que caracteriza sua dualidade.

As tecnologias que permitem tratar e manipular dados espaciais pertencem à área do conhecimento da Geoinformação, ou Geoprocessamento (Figura 5). Por outro lado, a integração de pessoas (*peopleware*), dados (*dataware*), equipamentos (*hardware*), programas computacionais (*software*) e conhecimento (*knowledge*) permite ao SIG (Figura 6) abstrair aspectos do mundo real e desenvolver modelos conceituais que permitam responder às demandas de análise geográfica, planejamento territorial e tomadas de decisão em uma determinada área ou região em estudo.

Os tipos de dados em geoprocessamento envolvem uma diversidade de fontes e formatos. “Entretanto, os sistemas se restringem a tratar um ou mais dos seguintes tipos de dados: temáticos, imagens, numéricos, cadastrais e redes” (INPE, 2001).



Figura 5 – Geoprocessamento como um conjunto de técnicas.



Figura 6 – SIG como elemento integrador.

Um aspecto importante do SIG diz respeito à modelagem dos dados espaciais que representará a realidade geográfica no universo computacional. Segundo o INPE (2001), quatro universos definem as fases do processo de modelagem em SIG, conforme ilustra a Figura 7.

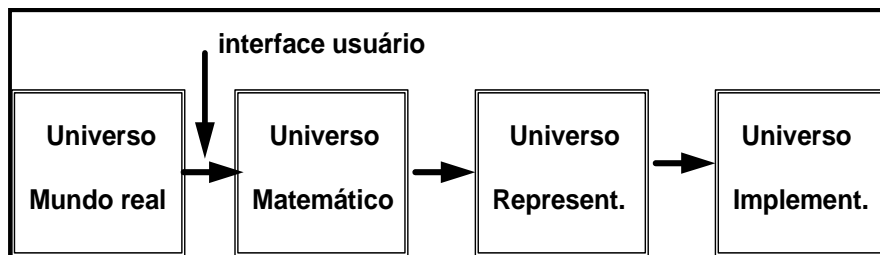


Figura 7 – Fases do processo de modelagem em SIG.

### 1.3 Raster versus vector

*Raster* e *vector* são dados geoespaciais com estruturas matemáticas e de representação gráfica diferentes.

**Raster** são imagens matriciais, uma grade com linhas e colunas com algum valor agregado em cada célula, tais como fotografias aéreas e imagens de satélite, por exemplo.

**Vector** é um “desenho” digital contínuo com uma estrutura de pontos e/ou vértices  $x,y,z$  (que, em cartografia, usualmente representa coordenadas em um determinado sistema geodésico [tais como coordenadas geográficas, latitude e longitude] e a altitude em relação ao nível do mar). Esta estrutura é definida por equações matemáticas espaciais (própria das ciências geodésicas) que permitem aos programas desenhar linhas (ou arcos), pontos ou polígonos, associando cada entidade gráfica vetorial a valores em um banco de dados, dentro de um modelo topológico, configurando a essência de um SIG. A figura 8 exemplifica a diferença conceitual entre esses dois universos de dados georreferenciados.

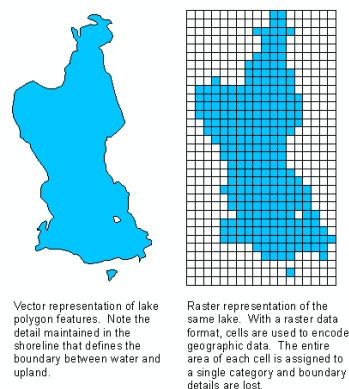


Figura 8 – Diferentes representações em *vector* e *raster* de um lago.

## 1.4 Radiação eletromagnética, interação com a atmosfera terrestre e origem dos espectros

### Fontes de radiação eletromagnética

As fontes de radiação eletromagnética (REM) podem ser divididas em naturais (Sol, Terra, radioatividade) e artificiais (radar, laser, entre outras).

O Sol é a fonte natural mais importante, já que ao interagir sua energia com os diversos alvos da superfície da Terra, origina uma série de fenômenos (reflexão, absorção, transmissão, luminescência, aquecimento...) investigados pelo Sensoriamento Remoto.

Qualquer fonte de energia eletromagnética é caracterizada pelo seu espectro de emissão, o qual pode ser contínuo ou distribuído em faixas discretas (ou específicas). O Sol, por exemplo, emite radiação distribuída continuamente em uma faixa que vai dos raios X, até a região de microondas, embora concentrado no intervalo de  $0,35 \mu\text{m}$  -  $2,5 \mu\text{m}$ .

### Digital Number e Assinatura Espectral

Toda substância com temperatura superior ao zero absoluto ( $0 \text{ K}$  ou  $-273^\circ \text{ C}$ ) emite radiação eletromagnética, como resultado de suas oscilações atômicas e moleculares. Esta radiação emitida pode incidir sobre a superfície de outra substância (ou alvo), podendo refletida, absorvida ou transmitida. No caso da absorção, a energia é geralmente reemitida, com diferentes longitudes de onda.

Na prática, os quatro processos (emissão, absorção, reflexão e transmissão) ocorrem simultaneamente e suas intensidades relativas caracterizam o alvo que está sendo investigado. De fato, devido às diferentes propriedades bio-físico-químicas, todos os alvos da superfície terrestre (rochas, corpos d'água, vegetação, etc.) absorvem uma porção específica do espectro eletromagnético, permitindo uma assinatura identificável de radiação eletromagnética. Assim, conhecendo qual comprimento de onda é absorvido por um determinado alvo e também qual a intensidade de sua reflectância, torna-se possível analisar uma imagem de Sensoriamento Remoto e obterem-se interpretações acuradas de uma determinada cena orbital (SUITS, 1983; STAR & ESTES, 1990).

Esse comportamento espectral dos alvos é chamado de “**assinatura espectral**”, ou seja, um valor específico de reflectância dentro do espectro eletromagnético (Figura 9). Esta assinatura é formada por um conjunto de valores para cada faixa do REM (que no caso do SR será determinada pelas bandas espectrais de cada satélite). Cada registro de energia em nível do pixel para cada banda espectral assume um valor específico, ou **nível de cinza**, também conhecido por *Digital Number*. Esta variabilidade espectral (específica para cada alvo e seu estado) permite ao Sensoriamento Remoto distinguir os diversos materiais ou alvos entre si – um princípio básico do mapeamento temático que tem como fonte imagens satelitais.

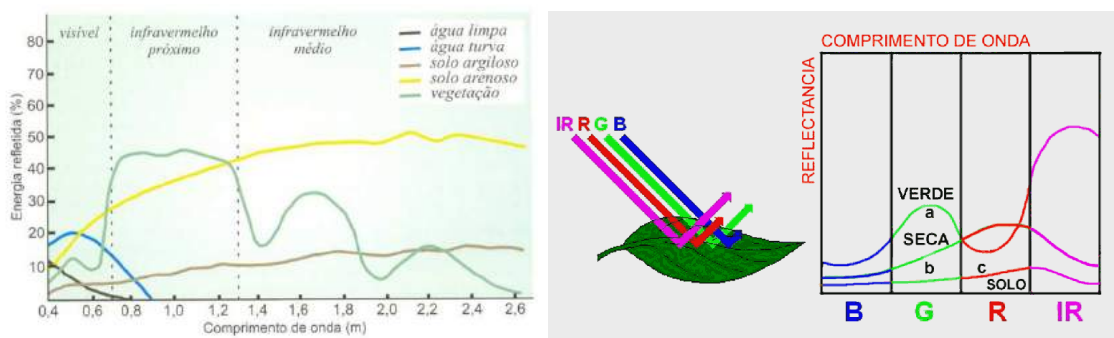


Figura 9 – Curvas espectrais de diferentes alvos (esquerda) e assinatura espectral (direita).  
Fontes: FLORENZANO (2002) e INPE (2017).

## Efeitos atmosféricos na propagação da Radiação Eletromagnética

Quando se coleta uma informação através de um sensor remoto, seja em nível de satélite ou aeronave, na maioria das vezes o sinal coletado corresponde à radiação proveniente do Sol, que interage com a atmosfera até alcançar o alvo e retornar ao sensor, interagindo novamente com a atmosfera. Assim, o sinal medido pela radiação emitida pelo alvo sempre interage com a atmosfera, até alcançar o sensor.

Existem regiões do espectro eletromagnético nas quais a atmosfera é opaca, ou seja, não permite a passagem da radiação eletromagnética. Estas regiões definem as "bandas de absorção da atmosfera". As regiões do espectro eletromagnético nas quais a atmosfera é transparente à radiação eletromagnética proveniente do Sol são conhecidas como "janelas atmosféricas".

Desta maneira, os seguintes fatores interferem em SR e sempre devem ser associados com a atmosfera: absorção, efeitos de massa de ar, dispersões devido a moléculas gasosas ou partículas em suspensão, refração, turbulências, emissão de radiação pelos constituintes atmosféricos, entre outros.

Quando a radiação incide sobre um dado objeto da superfície terrestre, podemos considerar os três tipos fundamentais de interações, como mostra a figura 10, com o correspondente balanço energético, segundo a lei de conservação de energia.

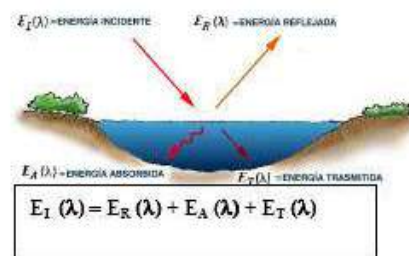


Figura 7 – Radiação e energia

Isto quer dizer que a energia incidente se fraciona em vários componentes: energia refletida, absorvida e/ou transmitida, sendo todos estes componentes dependentes da longitude de onda.

Convém aqui destacar que a proporção de energia refletida, absorvida ou transmitida variará com os diferentes objetos, dependendo do tipo de material que compõe tais objetos, assim como de sua condição. Isto permite identificar diferentes objetos em uma imagem.

### 1.5 Sensores

Cada satélite carrega a bordo equipamentos, chamados de “sensores”, que vão registrar a energia eletromagnética refletida ou emitida pelos diferentes alvos da superfície terrestre. Os sensores podem ser classificados em passivos ou ativos. Os sensores passivos detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos objetos da superfície terrestre, dependendo, portanto, “de uma fonte de radiação externa para que possam operar”, como, por exemplo, os sistemas fotográficos. Por outro lado, os sensores ativos produzem sua própria radiação, como os radares, por exemplo. Assim, por exemplo, a plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores: Operacional Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS)

### 1.6 PDI e Extração de Informações em imagens de satélite

A função primordial do Processamento Digital de Imagem (PDI) é “facilitar a identificação e a extração de informações contidas nas imagens de satélite” (CRÓSTA, 1993), removendo barreiras inerentes ao sistema visual humano (SVH) e objetivando uma posterior interpretação pelo usuário. Para isso são utilizados sistemas computacionais dedicados, onde as imagens



brutas são processadas, analisadas e manipuladas, resultando em outras imagens com as informações específicas desejadas, após diversas técnicas de realce e modificação de sua estrutura espectral.

Embora o ser humano seja capaz de reconhecer padrões distintos, o grande volume de dados oriundos das imagens orbitais impossibilita um processamento sem o auxílio da tecnologia digital, que alcançou enorme evolução nas últimas décadas, diminuindo custos ao mesmo tempo em que aumentou a capacidade de armazenamento e processamento dos dados.

As imagens orbitais são diferentes de outras imagens digitais em sua estrutura e resolução. Segundo CRÓSTA (1993), estas imagens têm natureza discreta e são constituídas “por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou *grid*”, onde cada célula, chamada de *pixel* (de *picture element*, em inglês) tem sua localização definida por um sistema de coordenadas x, y (linha e coluna), representando sempre uma área com as mesmas dimensões na superfície terrestre. Associado ao *pixel* existe um atributo z, indicando seu nível de cinza, conhecido por DN (do inglês, *digital number*), que varia do branco ao preto. Assim, uma imagem pode ser vista como uma matriz composta por milhares de linhas e colunas, onde cada elemento possui um nível de cinza específico, de acordo com a assinatura espectral do alvo imageado.

## 1. 7 Diferentes resoluções em SR

O termo “resolução” em SR diz respeito à medida da habilidade que um determinado sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximas espacialmente (INPE, 2001). Divide-se em:

- a) **Resolução espacial:** é uma medida do objeto (ou conjunto deles) que pode ser resolvido pelo sensor, ou a área na superfície terrestre que cobre cada *pixel*<sup>2</sup>; medida em metros, é “definida pela capacidade do sistema sensor em ‘enxergar’ objetos na superfície terrestre”, sendo que quanto menor o objeto possível de ser observado, maior será sua resolução espacial (CRÓSTA, 1993); a maneira mais comum de ser determinada é pelo campo instantâneo de visada (IFOV) que define a área do terreno imageada a uma dada altitude num dado instante (*pixel*), um conceito teórico baseado nas propriedades geométricas do sistema sensor; para as imagens LandSAT 5 TM, por exemplo, a resolução das bandas multiespectrais é de 30m (isto é, cada “*pixel*” da imagem representa uma área no terreno de 0,09 ha). Para a banda 6, a resolução é de 120 m (cada “*pixel*” representa 1,4 ha); Produtos LandSAT 8 OLI consistem de nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9).

*A Figura 8 ilustra o contraste visual entre diferentes resoluções em áreas urbanas. Na fotografia aérea com resolução espacial de 0,5 m e a imagem do [IKONOS II](#), de 1 m, ambos considerados de alta resolução, consegue-se verificar a grande quantidade de detalhes e a distinção dos elementos urbanos (casas, ruas, quadras, vegetação, calçadas, loteamentos). A imagem do [SPOT 4](#), com resolução espacial de 10 m é considerada de média resolução, possibilitando identificar elementos urbanos, como a rede viária, aeroportos, indústrias, edifícios. Porém, ao colocar a imagem na mesma escala das imagens de alta resolução, observa-se o tamanho do pixel.*

*Por último, na imagem do [Landsat 7](#), com pixel de 30 m, de baixa resolução, numa escala grande pode-se distinguir alguns elementos urbanos, avenidas e galpões, já na mesma escala de detalhe ocorre o mesmo que com a imagem do SPOT 4. Portanto, quanto maior a resolução espacial, maior o nível de detalhes perceptível na imagem, desde que o sinal de saída de um detector esteja relacionado com a média da energia radiante dentro da área projetada.*

---

<sup>2</sup> Pixel: “Sensores remotos possuem estrutura matricial, onde seu elemento principal é denominado **pixel** e representa sempre uma mesma área com as mesmas dimensões na superfície da Terra”. Fonte: [www.ufjf.br/lga/files/2011/03/10- Características-da-Imagens.pdf](http://www.ufjf.br/lga/files/2011/03/10- Características-da-Imagens.pdf)

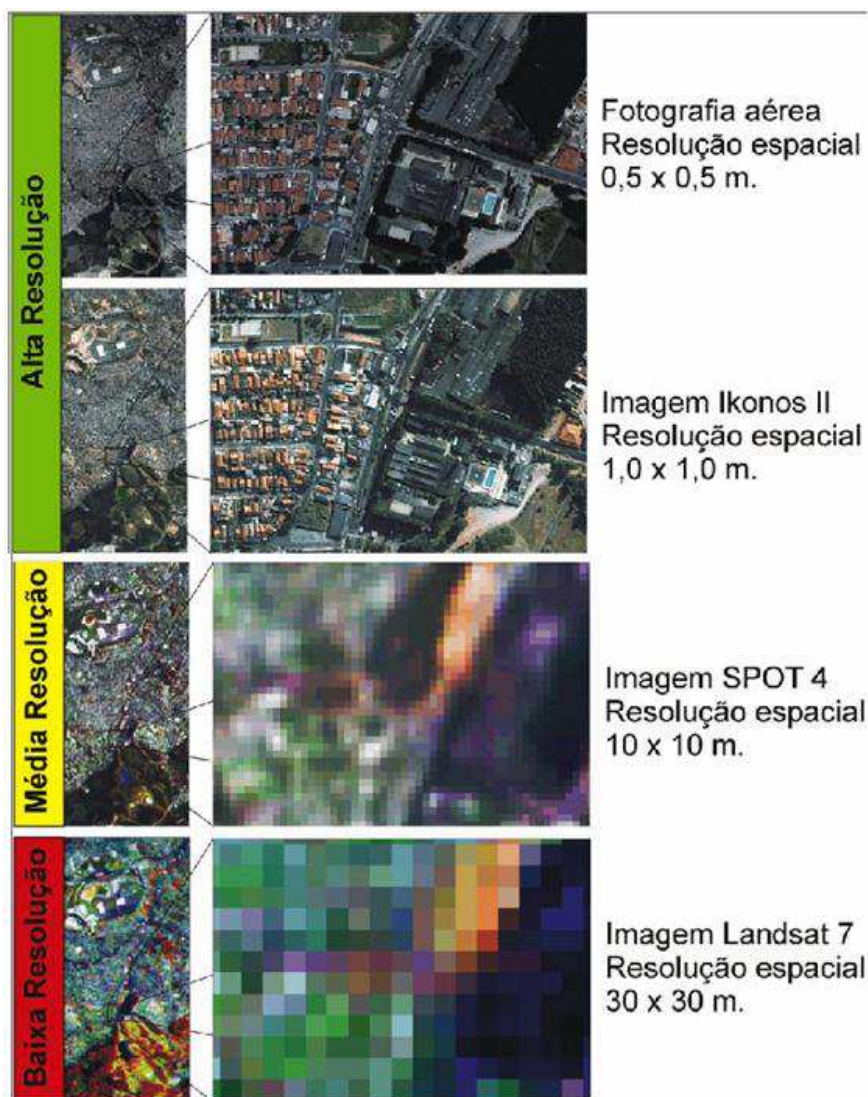


Figura 8: Imagens de diferentes sensores e resoluções espaciais para discriminar áreas urbanas.

Fonte: MELO, D. H. C. T. B. Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo / D. H. C. T. B. Melo. - São José dos Campos: INPE, 2002. 146p. - (INPE-9865-TDI/870).

- b) **Resolução espectral:** definida pelo número de bandas espectrais de acordo com sua largura do intervalo de comprimento de onda no EEM; quanto menor a largura do intervalo, maior será a resolução espectral do sensor; Os sensores TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 e 7 possuem sete bandas, com numeração de 1 a 7, sendo que cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite.
- c) **Resolução radiométrica:** definida pelo número de níveis digitais que representam os níveis de cinza de um *pixel*; “quanto maior o número de níveis, maior é a resolução radiométrica” (CRÓSTA, 1993); Para as imagens LandSAT 5 TM, a resolução radiométrica é de 8 bits ou 264 níveis de cinza para cada pixel em cada banda espectral. As imagens Landsat-8 são entregues em 16 Bits (softwares como AutoCAD/Photoshop/Gimp não são capazes de exibir essas imagens). É necessário realizar um **Rescale** para 8 bits (Conversão Radiométrica). O número de níveis de cinza está expresso em bits, ou seja, expresso em função do número de dígitos binários necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo de cinza. O seu valor é sempre em potência de 2, por exemplo 8 bits significam  $2^8 = 256$  níveis de cinza. As diferenças são maiores nos níveis 2 e 4 do que nos níveis 256 e 2048, devido ao fato do olho humano não possuir sensibilidade às mudanças de



intensidade acima de 30 níveis de cinza<sup>3</sup>. A Figura 9 ilustra essa diferença de níveis de cinza.

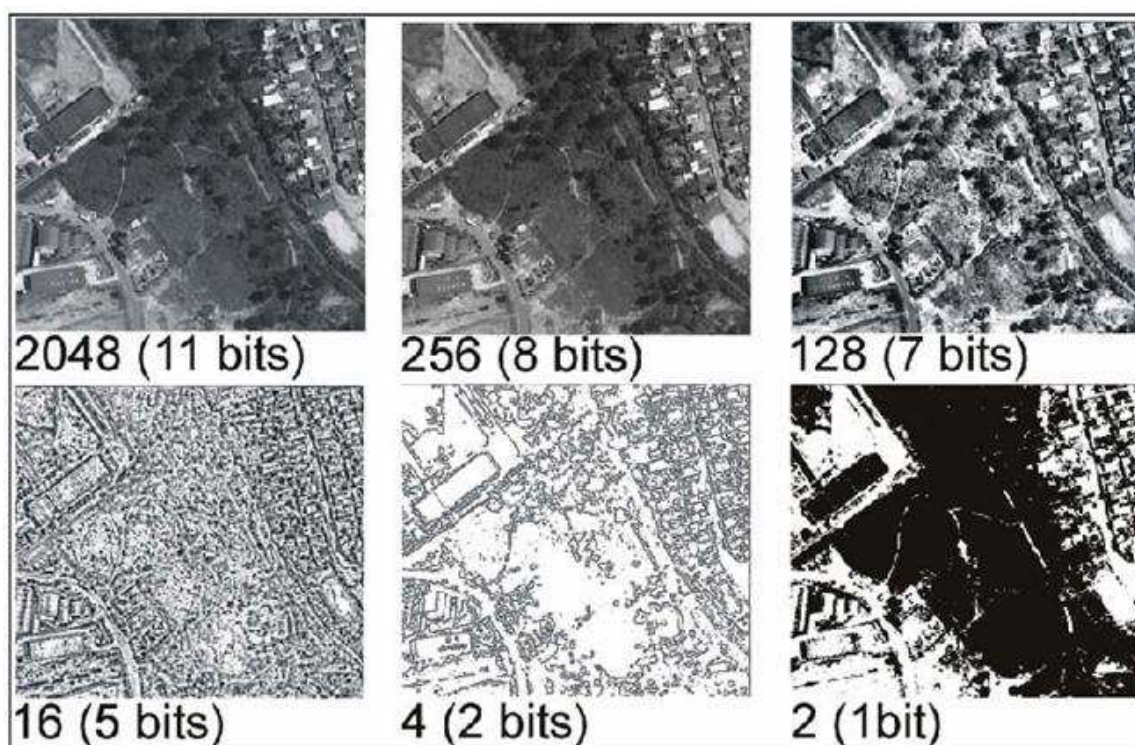
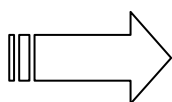


Figura 9: Diferença de resolução radiométrica, em área urbana.

Fonte: [MELO, 2002](#)

- d) **Resolução temporal:** determinada pela frequência com que o sensor volta a imagear a mesma cena (medida em dias ou horas). Para as imagens LandSAT 5 TM, a resolução temporal é de 16 dias.

O mapeamento temático a partir de cada uma das bandas espectrais depende ainda das características da área em estudo (região plana ou acidentada); época do ano (inverno ou verão); ou de variações regionais (Nordeste, Sudeste, Sul, Amazônia, Pantanal). Portanto, os trabalhos de interpretação das imagens tornam-se mais fáceis quando se dispõe de conhecimento de campo.



*Neste curso utilizaremos imagens multiespectrais geradas pelos sensores TM (Thematic Mapper) do satélite LandSAT 5 e OLI (Operational Land Imager) do satélite LandSAT 8. Mediante a aplicação de técnicas de classificação supervisionada, vamos gerar mapas de uso do solo de diferentes datas de aquisição de imagem e realizar uma Análise Espacial que permita identificar e quantificar as mudanças.*

<sup>3</sup> Fonte: CROSTA, Álvaro Penteadó - Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Ed. Rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993.

Órbita do Landsat 8 (2013 até o presente):



<https://www.youtube.com/watch?v=yIQSfOLNV8g>

Anatomia do Landsat 8:



<https://www.youtube.com/watch?v=1b1q3LHb6-8>

## 2. Processamento Digital de Imagens

Antes de iniciar com o software SPRING, vamos aprender como escolher e baixar imagens de satélite.

Basicamente, há duas opções de acesso: a página do INPE e a página do USGS (*United States Geological Survey*). Ambas disponibilizam acesso gratuito a imagens de vários satélites/sensores. Entretanto, para baixar as imagens exige-se um cadastro *on line*.

### 2.1 Parâmetros de busca e aquisição de imagens pela Internet

- ❖ Para selecionar e baixar imagens pelo site do **INPE**:
  - Acesse [www.inpe.br](http://www.inpe.br), selecione “Dados de Satélite”, depois “Catálogo de imagens”:



Em “Catálogos”, escolha “Outros Satélites”:



Em “Catálogos de Imagens”, preencha os dados. Por exemplo: País: Brasil e Município: Buíque. Clique no nome Buíque-PE e, depois, dentro da imagem, clique em algum dos losangos formados (que representam o ponto central da cena), como mostra a seta na figura a seguir:



A seguir, escolha uma ou mais das imagens do catálogo e proceda conforme instruções do site.



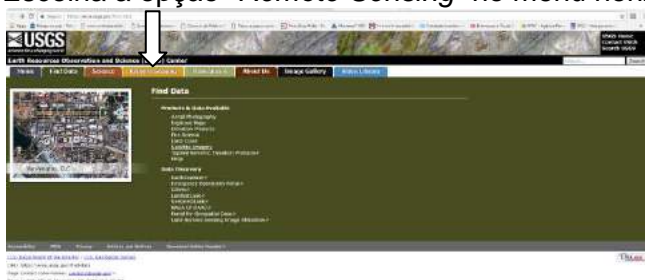
Depois de escolher as imagens e confirmar o pedido, você receberá um email dando instruções para baixar por FTP os arquivos.

- ❖ Para seleccionar e baixar imagens pelo site do **USGS**:

Acesse <https://remotesensing.usgs.gov/index.php> e escolha a opção “Data” no menu horizontal superior:



Escolha a opção “Remote Sensing” no menu horizontal superior:



Em Remote Sensing, escolha “Landsat” (observe que aqui você poderá ter acesso gratuito a outras imagens de outros satélites/sensores):





Na página “Landsat Collections”, escolha “Download Data Now”:



Entretanto, para obter as imagens é necessário fazer um registro e efetuar *login* no site:



Após logar, utilize a interface Earth Explorer para pesquisar o local e as imagens desejadas. Por exemplo, digite simplesmente “Buíque” no menu lateral esquerdo, em *Search Criteria*, 1. *Enter Search Criteria*, *Address/Place*, e, depois, clique em “Show”. Após clicar, aparecerá o nome do município Buíque-PE, Brasil (observe que há outras maneiras de pesquisar, inclusive você pode carregar um arquivo SHAPEFILE.SHP (em *Select ShapeFile*). **Clique no município de Buíque-PE, Brasil, para que apareçam as coordenadas Lat, Long.**

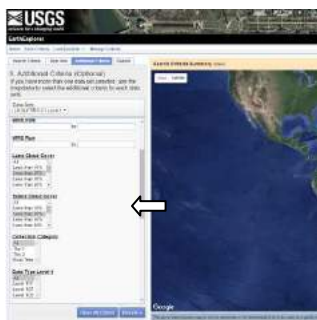
Como queremos adquirir a imagem mais recente, vamos adicionar o critério de tempo de aquisição das imagens de 01/01/2016 a 29/03/2017, por exemplo; como neste estudo, devido às variações da vegetação de caatinga, também vamos adicionar o critério de meses que correspondem ao período chuvoso no Parna do Catimbau, ou seja, de abril a agosto (veja as setas na figura a seguir):



A seguir, vamos selecionar o satélite/sensor, clicando em *Data Sets>>* e escolhendo a opção *Landsat Archive, Collection 1 Level-1*, marcando a opção *L8 OLI/TIRS C1 Level-1*:



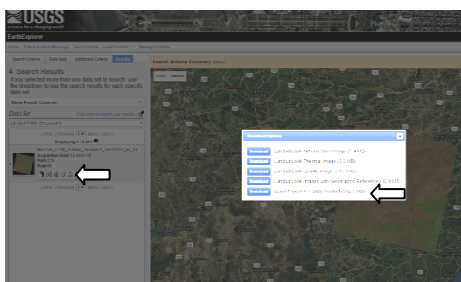
Vamos, ainda, adicionar outro critério muito importante em SR: a cobertura de nuvens. Assim, em *Additional Criteria*, como queremos adquirir a imagem mais recente e com menor cobertura de nuvens, selecione *Less than 20%* para *Land Cloud Cover* e *Scene Cloud Cover* (terra e cena, respectivamente):



Após clicar em *Results*, aparecerá no menu lateral esquerdo as imagens resultantes. Neste caso, devido aos filtros utilizados, apenas uma cena está disponível. Use o mouse no mapa para se aproximar do ponto marcador em VERMELHO e observe a toponímia do Parque Nacional do Catimbau no Google Map. Clique na segunda opção ao lado da imagem resultante, *Show Browse Overlay*, e aparecerá sobre o Google Map a cena selecionada.



Observe que a data de aquisição desta cena Landsat 8 é 12/08/2016, sendo, portanto, a melhor opção para nosso estudo mais recente. Para baixar todas as bandas espectrais desta cena Landsat 8, clique em *Download Options* no pequeno menu ao lado da quick view da cena e, depois, escolha a opção **Download** *Level-1 GeoTIFF Data Product (932.6 MB)*:



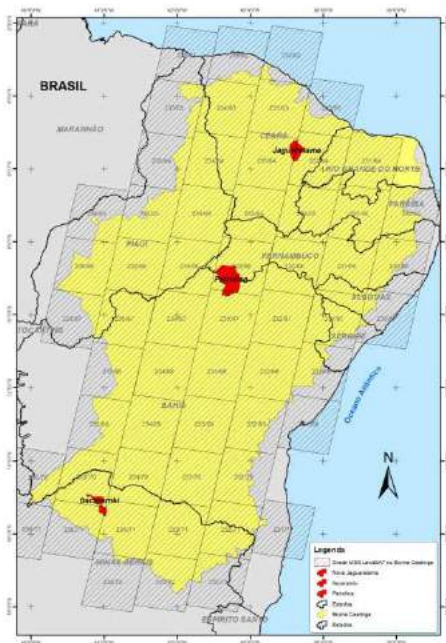
Neste curso, por questão de tempo, não será necessário baixar nenhuma cena/imagem. As imagens originais estão armazenadas no seu computador na pasta:

**C:/Curso\_SR/Imagens/Originais**

- Como vamos investigar as mudanças ocorridas no uso do solo, precisaremos de no mínimo duas datas para mapearmos as mudanças ambientais, em especial no que se refere à vegetação de Caatinga. A data mais recente será a anteriormente vista (12/08/2016) e a mais antiga será 25/08/2003. Este período (13 anos) corresponde aproximadamente à criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação do Ministério do Meio Ambiente - SNUC/MMA – (Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de

2000) e, também, à criação do Parna do Catimbau (Decreto Lei Nº 4.340, de 22/08/2002).

✓ **Grade TM no Bioma Caatinga:**



## 2.2 Introdução ao SPRING (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Brasil)

Agora que já adquirimos as imagens de satélite que vamos usar em nosso estudo de caso, precisamos baixar e instalar o software SPRING.

➤ **O que é o SPRING?**

O produto SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas) é um banco de dados geográfico de 2ª geração, desenvolvido pelo [INPE \(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais\)](http://www.inpe.br) para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suportar grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais ("raster"), e realizar a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- Prove um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra).;
- Consegue escalonabilidade completa, isto é, ser capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro-computadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

Para alcançar estes objetivos, o SPRING é baseado num modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL. Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações.

Outra característica, considerada extremamente importante, é que a base de dados é única, isto é, a estrutura de dados é a mesma quando o usuário trabalha em um micro computador

(IBM-PC) e em uma máquina RISC (Estações de Trabalho UNIX), não havendo necessidade alguma de conversão de dados. O mesmo ocorre com a interface, a qual é exatamente a mesma, de maneira que não existe diferença no modo de operar o produto SPRING.

O SPRING é um sistema inovador, projetado inicialmente para redes de estações de trabalho baseadas na arquitetura RISC e ambiente operacional UNIX. Desenvolvido usando técnicas avançadas de programação, o SPRING combina interface altamente interativa.

A motivação básica para o desenvolvimento do SPRING baseia-se em duas premissas: *integração de dados e facilidade de uso*. No primeiro caso, constatamos que a complexidade dos problemas ambientais do Brasil requer uma forte capacidade de integração de dados entre imagens de satélite, mapas temáticos e cadastrais, e modelos numéricos de terreno. Adicionalmente, muitos dos sistemas disponíveis no mercado nacional apresentam alta complexidade de uso e demandam tempo de aprendizado muito longo. Os objetivos do sistema SPRING são (Câmara et al., 1993):

- a) Integrar as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica.
- b) Utilizar modelo de dados orientado-a-objetos, que melhor reflete a metodologia de trabalho de estudos ambientais e cadastrais.
- c) Fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos.

O SPRING foi construído para ser um SIG de *segunda geração*. Os sistemas desta geração são concebidos para uso em conjunto com ambientes cliente-servidor. Usualmente, tais sistemas funcionam acoplados a gerenciadores de bancos de dados relacionais (Câmara e Freitas, 1995).

Como destaque, podemos citar:

- a) Dar suporte a um banco de dados geográficos de grande porte, sem estar limitado pelo recorte de projeções cartográficas. A identidade dos objetos é mantida em todo o banco de dados.
- b) Aprimorar a integração de dados geográficos, com a introdução explícita do conceito de objetos geográficos (entidades individuais), de mapas cadastrais e mapas de redes.
- c) Obter completa escalabilidade, isto é, o sistema deve ser capaz de operar com funcionalidade plena tanto em PCs rodando Windows, como em estações de trabalho UNIX de alto desempenho.
- d) Prover uma interface que combine aplicações comandadas por “menus” e uma linguagem de consulta e manipulação espacial.

Para alcançar estes objetivos, o SPRING está baseado em um modelo de dados orientado-a-objetos, que combina as idéias de “campos” e “objetos geográficos”. Deste modo, derivamos tanto a interface dirigida por menus, quanto a linguagem LEGAL.

Algoritmos inovadores como segmentação de imagens e classificação por regiões (Bins et al., 1995) e modelagem por triangulação com restrições (Namikawa, 1995) complementam os métodos tradicionais de processamento de imagens e análise geográfica.

Baseado nessas características o SPRING tem se mostrado uma opção altamente atrativa na área de geoprocessamento, pois é um software de domínio público, podendo ser adquirido pela internet (" <http://www.dpi.inpe.br/spring>"), bastando se cadastrar na própria "home-page".



## ❖ Baixar e instalar o Spring (www.inpe.br)



O software Spring é gratuito e você pode baixá-lo pela Internet nas versões em português, inglês, francês e espanhol. Antes de efetuar o Download do Spring, torna-se necessário efetuar um Registro de Usuário no próprio site do INPE.

*Passos para a correta instalação:*

- 1 – Escolha a versão correta do Spring, segundo idioma e Sistema Operacional (Windows, Linux, etc)
- 2 – Baixe e instale a versão completa do Spring no seu computador.



*Nota – Neste curso vamos utilizar a versão SPRING 5.5.0 Windows 64 Bits (março de 2017).*

## ❖ VISÃO GERAL DO SPRING

- *Como devemos iniciar nosso trabalho?*

Segundo o site do USGS, o fluxograma para execução de trabalhos com SR é:



Onde as fases são:

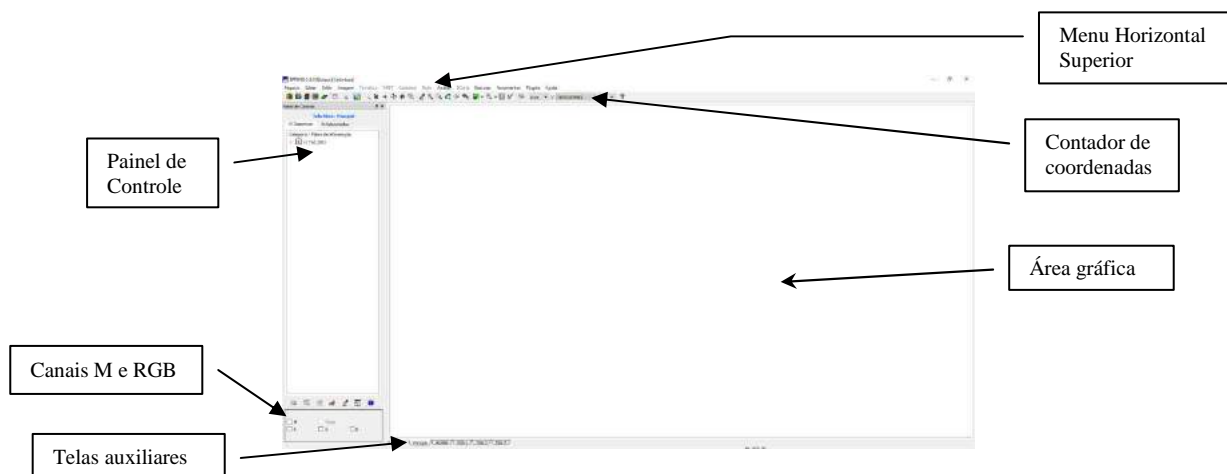
- ✓ **Planejar:** Uma seqüência documentada de ações pretendidas para identificar e proteger recursos e reunir, manter, proteger e utilizar as explorações de dados inclui um Plano de Gerenciamento de Dados. Isso também inclui a obtenção de financiamento e a identificação de recursos técnicos e de pessoal para o gerenciamento completo dos dados do ciclo de vida. Uma vez determinadas as necessidades de dados, um sistema para armazenar e manipular os dados pode ser identificado e desenvolvido.

- ✓ **Adquirir:** A aquisição envolve a coleta ou a adição de dados às explorações. Existem quatro métodos de aquisição de dados: coleta de novos dados; Converter / transformar dados herdados; Partilha / troca de dados; e aquisição de dados.
- ✓ **Processar:** Processamento denota ações ou etapas executadas em dados para verificar, organizar, transformar, integrar e extrair dados em um formulário de saída apropriado para uso subsequente. Isso inclui arquivos de dados e organização de conteúdo e síntese ou integração de dados, transformações de formato e pode incluir atividades de calibração (de sensores e outros instrumentos de campo e laboratório). Tanto dados brutos como processados requerem metadados completos para garantir que os resultados possam ser duplicados. Os métodos de processamento devem ser rigorosamente documentados para garantir a utilidade e a integridade dos dados.
- ✓ **Analisar:** A análise envolve ações e métodos realizados em dados que ajudam a descrever fatos, detectar padrões, desenvolver explicações e testar hipóteses. Isso inclui a garantia da qualidade dos dados, análise de dados estatísticos, modelagem e interpretação dos resultados da análise.
- ✓ **Preservar:** A preservação envolve ações e procedimentos para manter os dados por algum período de tempo e / ou para definir dados de lado para uso futuro, e inclui o arquivamento de dados e / ou apresentação de dados para um repositório de dados. Um objetivo primário USGS é preservar conjuntos de dados bem organizados e documentados que suportam interpretações de pesquisa que podem ser reutilizadas por outros; Todas as publicações de pesquisa devem ser apoiadas por conjuntos de dados associados e acessíveis. Os dados devem ser eliminados de acordo com uma política escrita que esteja em conformidade com os requisitos da *National Archives and Records Administration (NARA)*.

## 2.3 Iniciando os trabalhos com o SPRING

Clique no atalho: **Spring 5.5** na área de trabalho do Windows e inicie o programa.

A figura a seguir apresenta a Tela Principal do Spring e suas principais funções:



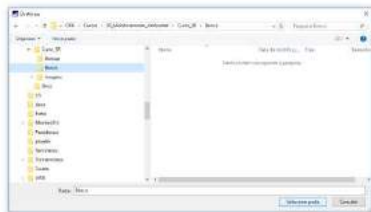
A sequência correta para o início dos trabalhos no SPRING exige as seguintes definições (ver abaixo do Menu superior, da esquerda para a direita):



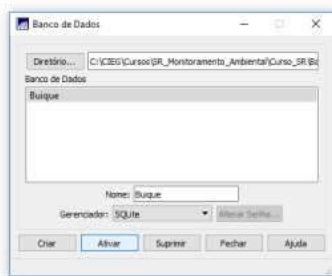
- 1) Banco de Dados
- 2) Projeto
- 3) Modelo de Dados
- 4) Plano de Informação

➤ **PASSO 1: Criando o Banco de Dados “Buique”:**

- **Faça** um click no botão *Banco de Dados*. Na tela Banco de Dados, escolha **Diretorios**. Na tela Diretorios, escolha o caminho: /Curso\_SR/Banco e, depois, clique em *Selecionar pasta*:



- De volta à tela Banco de Dados, digite **Buique** em *Nome*. Clique em *Criar* e, depois, *Ativar*:



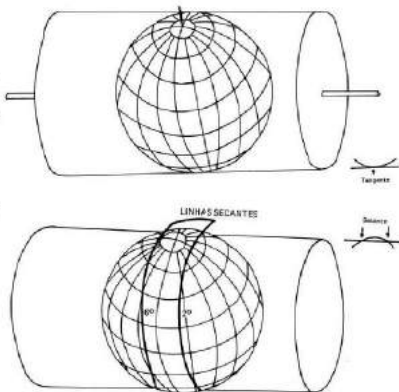
➤ **PASSO 2: Criando o Projeto “Catimbau”:**

- De volta à tela principal do SPRING, clique no botão *Projeto* (segundo da esquerda para a direita no Menu Superior horizontal). Na tela Projeto, em *Nome*, digite Catimbau.
- Clique no botão *Projeção*. Entretanto, como vamos utilizar a Projeção UTM e o Datum SAD-69, convém uma pequena revisão sobre esta projeção cartográfica.

### PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

A Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), é uma projeção cilíndrica que passa pelos pólos da Terra, seguindo tangente a um "meridiano central" e o seu anti meridiano.

A precisão é melhorada quando se usa um cilindro secante.



### O BRASIL DIVIDIDO EM FUSOS DE 6°



FUSOS	MERIDIANO CENTRAL	LIMITES
21	-57°	-60° -54°
22	-51°	-54° -48°
23	-45°	-48° -42°

### CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO SISTEMA UTM:

- 1) O mundo é dividido em 60 fusos, onde cada um se estende por 6° de longitude. Os fusos são numerados de um a sessenta começando no fuso 180° a 174° W Gr. e continuando para este. Cada um destes fusos é gerado a partir de uma rotação do cilindro de forma que o meridiano de tangência divide o fuso em duas partes iguais de 3° de amplitude.
- 2) O quadriculado UTM está associado ao sistema de coordenadas plano-retangulares, tal que um eixo coincide com a projeção do Meridiano Central do fuso (eixo N apontando para Norte) e o outro eixo, com o do Equador. Assim cada ponto do elipsóide de referência (descrito por latitude, longitude) estará biunivocamente associado ao terno de valores Meridiano Central, coordenada E e coordenada N.
- 3) Avaliando-se a deformação de escala em um fuso UTM (tangente), pode-se verificar que o fator de escala é igual a 1(um) no meridiano central e aproximadamente igual a 1.0015 (1/666) nos extremos do fuso. Desta forma, atribuindo-se a um fator de escala  $k = 0,9996$  ao meridiano central do sistema UTM (o que faz com que o cilindro tangente se torne secante), torna-se possível assegurar um padrão mais favorável de deformação em escala ao longo do fuso. O erro de escala fica limitado a 1/2.500 no meridiano central, e a 1/1030 nos extremos do fuso.
- 4) A cada fuso associamos um sistema cartesiano métrico de referência, atribuindo à origem do sistema (interseção da linha do Equador com o meridiano central) as coordenadas 500.000 m, para contagem de coordenadas ao longo do Equador, e 10.000.000 m ou 0 (zero) m, para contagem de coordenadas ao longo do meridiano central, para os hemisfério sul e norte respectivamente. Isto elimina a possibilidade de ocorrência de valores negativos de coordenadas.
- 5) Cada fuso deve ser prolongado até 30' sobre os fusos adjacentes criando-se assim uma área de superposição de 1° de largura. Esta área de superposição serve para facilitar o trabalho de campo em certas atividades.
- 6) O sistema UTM é usado entre as latitudes 84° N e 80° S.

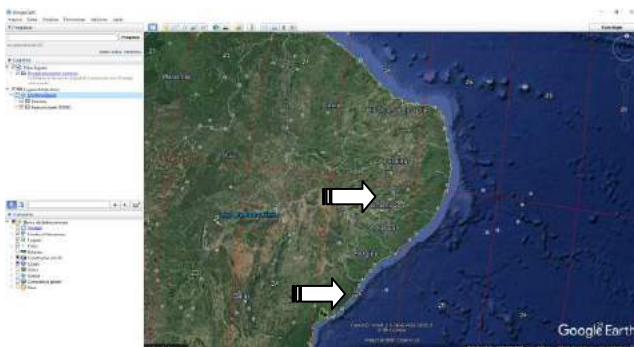
Além desses paralelos a projeção adotada mundialmente é a Estereográfica Polar Universal.

– Aplicações: Indicada para regiões de predominância na extensão Norte-Sul entretanto mesmo na representação de áreas de grande longitude poderá ser utilizada.

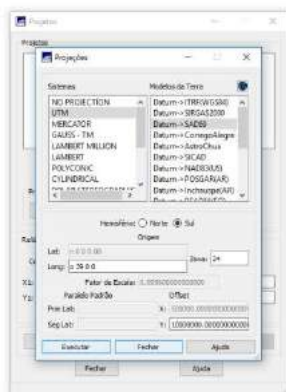
É a mais indicada para o mapeamento topográfico a grande escala, e é o Sistema de Projeção adotado para o Mapeamento Sistemático Brasileiro.

Fonte: [IBGE: Noções Básicas de Cartografia](#)

- ✓ Para facilitar nossa pesquisa, na pasta /Curso\_SR/Docs há um arquivo do Google Earth \*.KLM com a malha de fusos UTM do mundo. Abra o Explorer do Windows e dê um duplo clique no arquivo "UTMWorldZone". Observe, manipulando o mouse, que Buíque está situada no Fuso UTM 24 desta projeção cartográfica:



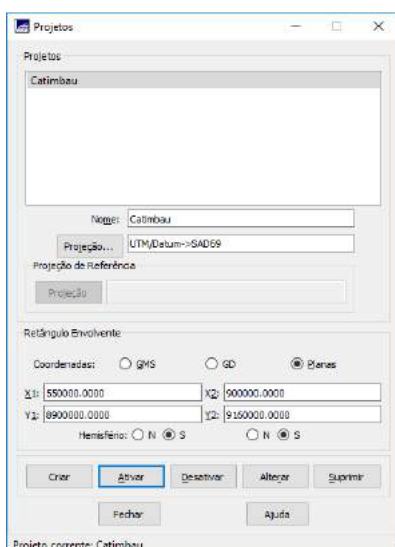
- Agora defina a projeção UTM/Datum SAD-69, Zona 24. Clique em *Executar* e, depois, em *Fechar*.



De volta à tela “Projetos”, agora vamos definir o “Retângulo Envolvente” do nosso Projeto Catimbu. A área definida pelas coordenadas UTM dos pontos inferior esquerdo (X1, Y1) e superior direito (X2, Y2) deverá abranger toda a cena Landsat (aproximadamente 180 x 180 km). Então, podemos utilizar os seguintes parâmetros (coordenadas UTM do Fuso 24):

X1 = 550000, Y1 = 8900000 | X2 = 900000, Y2 = 9160000

Marque, ainda, o hemisfério **Sul** para ambos os pontos. A tela completa deverá estar como na figura abaixo. Após completar os dados, clique em *Criar* e, depois, em *Ativar*.



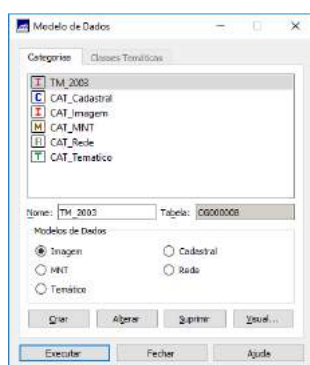
➤ **PASSO 3: Criando o Modelo de Dados “TM\_2003”:**

Neste passo, vamos criar um Modelo de Dados do tipo Imagem, onde estarão armazenadas as imagens das bandas espectrais do satélite Landsat 5 TM do ano de 2003 que baixamos do site do USGS.

- Clique no botão *Modelo de Dados* (o terceiro botão da esquerda para a direita no Menu Superior Horizontal da tela principal do Spring):



Na tela “Modelo de Dados”, em “Categorias”, escolha *CAT\_Imagem*. Depois, em *Nome*, digite “TM\_2003”. Clique em *Criar* e, depois, em *Executar* e *Fechar*, para salvar no Banco de Dados:



### ➤ PASSO 4: Importando as bandas espectrais originais para o Modelo de Dados “TM 2003”:

Nesta etapa, vamos importar os arquivos originais, chamados de “bandas espectrais”, que baixamos do site USGS. As imagens foram arquivadas na pasta **/Curso\_SR/Imagens/Orginais/2003**. Por favor, utilize os seguintes nomes de arquivo, de acordo com os nomes de arquivos originais em TIFF:

- 2003\_B1
- 2003\_B2
- 2003\_B3
- 2003\_B4
- 2003\_B5
- 2003\_B7

➤ Observe que não vamos importar a banda 6 (termal).

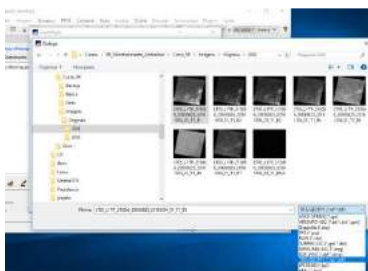
Para realizar a importação, clique no menu “Arquivo”, escolha a opção *Importar*, e depois , *Importar dados vetoriais e matriciais...*



Na tela “Importação”, clicar em **Arquivo...**



Na tela “Diálogo”, procurar a pasta **/Curso\_SR/Imagens/Originais/2003**. Mude para arquivos tipo TIFF/GEOTIFF (\*.tif \*.tiff) e escolha o primeiro arquivo de imagem (LT05\_L1TP\_215066\_20030825\_20161204\_01\_T1\_B1) que corresponde à banda espectral 1 do Landsat TM 5; depois, clique em **Abrir**.



Na tela “Importação”, em “Tamaho de Pixel”, dê um clique em “X:” e o Spring irá ler o cabeçalho do arquivo de imagem que contém a informação referente à RESOLUÇÃO ESPACIAL da imagem, ou seja, 30m; depois clique na aba “Conversão” e escolha a opção “Vizinho + Próximo”.

#### *Nota – O QUE É O INTERPOLADOR VIZINHO MAIS PRÓXIMO?*

*O vizinho mais próximo é o mais simples dos interpoladores. Apenas usa o valor do ponto mais próximo do nó da grade para estimar o valor interpolado. Os valores observados não são modificados, havendo apenas uma redistribuição dos mesmos em uma grade regular. É usado quando desejamos transformar dados brutos em grade regular sem modificação dos valores observados.*

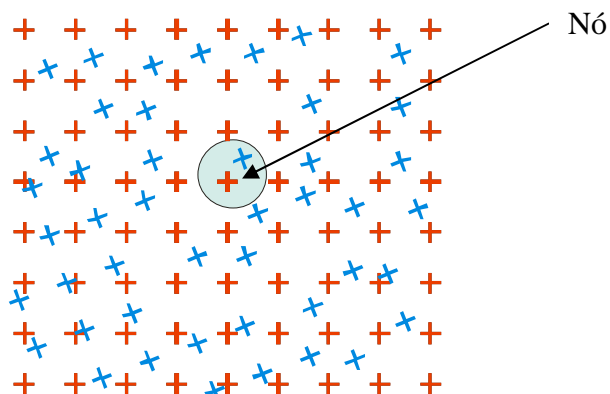
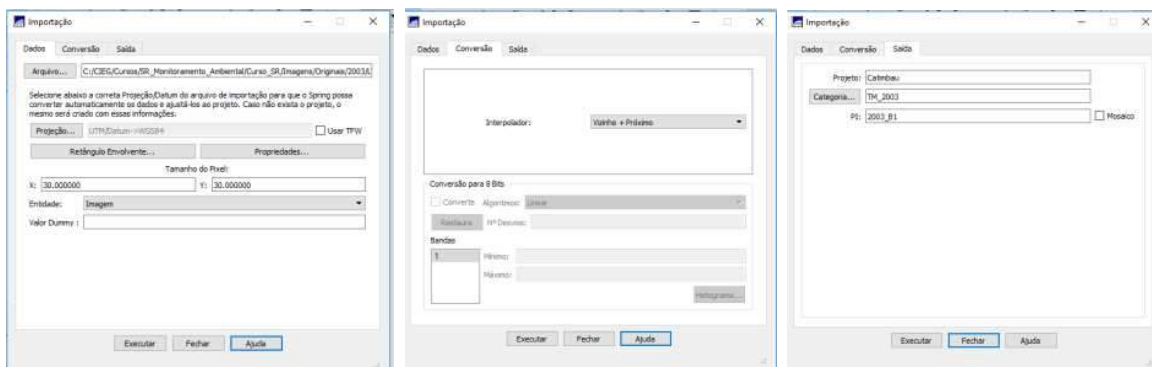


Figura. Interpolação pelo método do vizinho mais próximo.

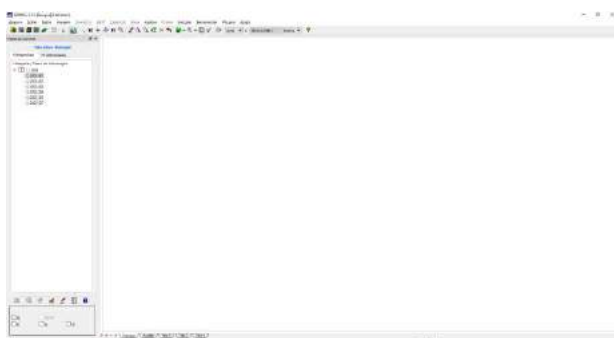
Fonte: [www.ufrj.br/institutos/.../mapeamento%20da%20variabilidade%20espacial.doc](http://www.ufrj.br/institutos/.../mapeamento%20da%20variabilidade%20espacial.doc)

Depois, clique na aba “Saída”, certifique-se que a categoria selecionada é “TM\_2003”, e, em “PI”, digite: 2003\_B1 (ou seja, o Spring irá importar o arquivo original em formato GEOTIFF correspondente à banda 1 do Landsat 5 TM de 2003 para este Plano de Informação, convertendo o arquivo para o formativo nativo do Spring, **SPG**. A sequência das três telas estão a seguir. Após configurar os parâmetros para a importação, clique em **Executar**.





- Repita a operação para importar cada banda espectral original para os respectivos PIs, da banda 1 à 5, e a banda 7. A banda 6 (termal) não deverá ser importada, pois não iremos utilizá-la neste curso. Ao final, o Painel de Controle da tela principal do Spring deverá estar como na figura a seguir:



#### ➤ **PASSO 5: Fazendo uma Combinação Multiespectral no Modelo de Dados “TM\_2003”:**

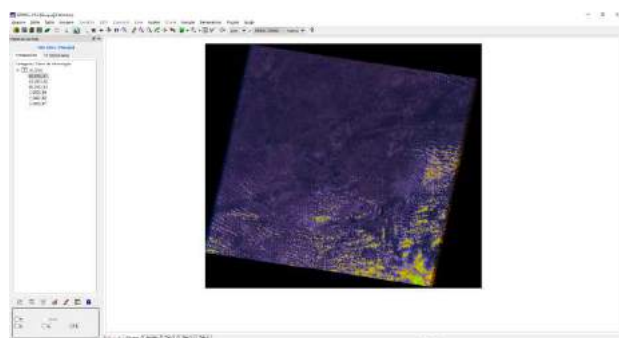
Nesta etapa, vamos aprender a fazer uma combinação de bandas multiespectrais. Basicamente, há duas possibilidades:

1ª) Cor verdadeira: a associação das bandas com os canais RGB (**Red**, **Green** e **Blue**) coincidem com as respectivas faixas de imageamento do espectro eletromagnético.

2ª) Pseudo color: a associação das bandas com os canais RGB (**Red**, **Green** e **Blue**) NÃO coincidem as respectivas faixas de imageamento do espectro eletromagnético e tem por objetivo realçar algum alvo específico, como, por exemplo, a vegetação verde (com resposta na banda 7 – infravermelho próximo e, portanto, fora da região do visível).

#### ✓ **Fazendo uma combinação em cor verdadeira RGB 321 (ou R3G2B1):**

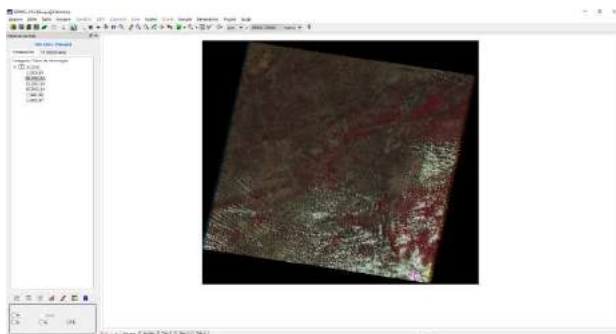
No Painel de Controle da Tela principal do Spring clique no PI “2003\_B3” e, depois, marque a opção “R”. Repita a operação, associando o PI “2003\_B2” ao canal “G” e o PI “2003\_B1” ao canal “B”. Ao final desta operação, a tela principal deverá apresentar a combinação RGB 321 a seguir:



*Nesta combinação no Spring, as áreas se apresentam escuras, com destaque para as nuvens.*

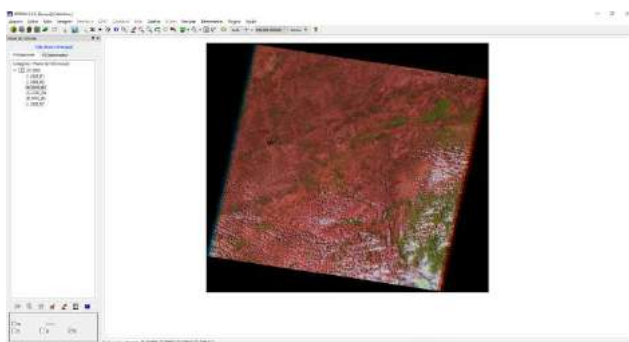


- ✓ **Fazendo uma combinação em falsa cor R4G3B2:**



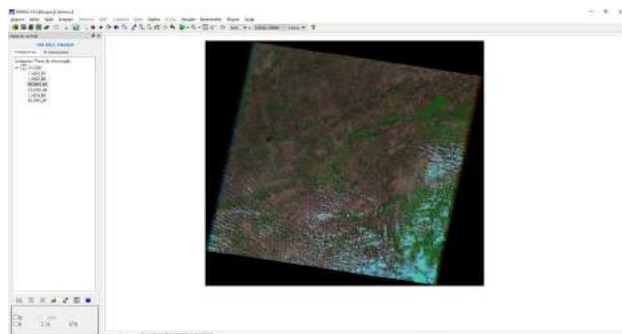
*Realce dos solos expostos em cor vermelho escuro; caatinga herbácea em verde escuro.*

- ✓ **Fazendo uma combinação em falsa cor natural R5G4B3:**





*Realce para a caatinga arbustiva/arbórea e solos expostos. Corpos d'água em cor escura.*

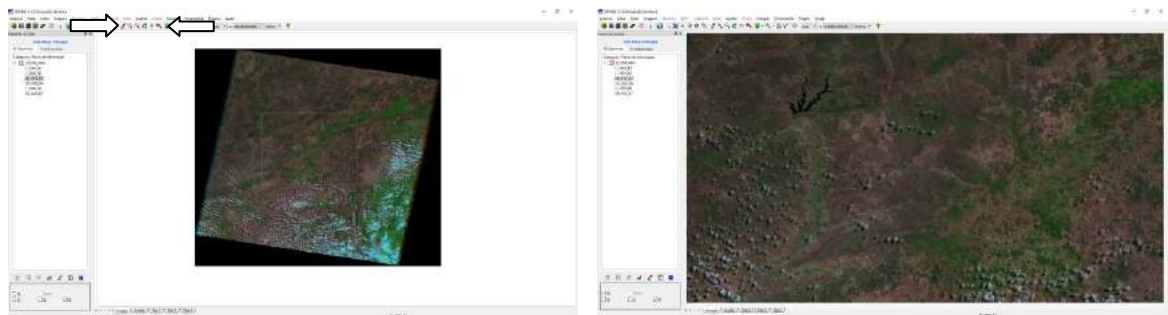
- ✓ **Fazendo uma combinação em falsa cor com realce para a vegetação verde R7G4B3:**



*Realce para a vegetação de caatinga arbustiva/herbácea e corpos d'água; suavização das áreas com solo exposto.*

- **Aplicando Zoom na cena:**

No menu superior, ative o “Cursor de Área” e defina, com o mouse, um retângulo sobre a imagem. Após, clique no botão “Desenhar”  do menu superior. Para retornar à área original (Retângulo envolvente), clique no botão “Recompor”  do menu superior:



Aplicando zoom e o resultado na tela principal.

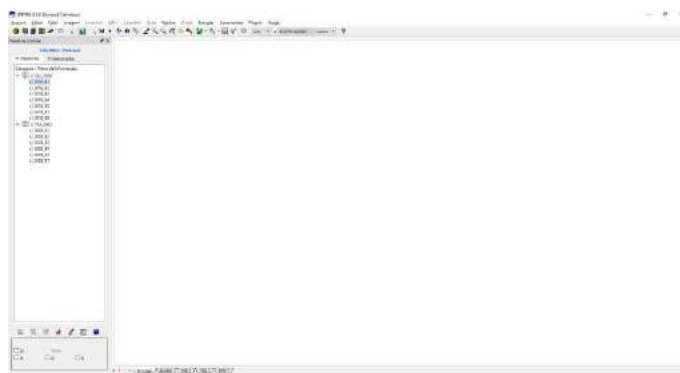
### ➤ PASSO 6: Criar o Modelo de Dados “OLI\_2016” e os respectivos PI’s:

Repita os passos 3 e 4. Abra as imagens Landsat 8 OLI \*.TIFF de Buíque-PE de 2016, importando-as da pasta **/Curso\_SR/Imagens/Originais/2016**. Por favor, utilize os seguintes nomes de PI’s, de acordo com os nomes de arquivos originais em TIFF:

- 2016\_B1
- 2016\_B2
- 2016\_B3
- 2016\_B4
- 2016\_B5
- 2016\_B7
- 2016\_B8

Note que, neste caso, vamos importar a banda 8.

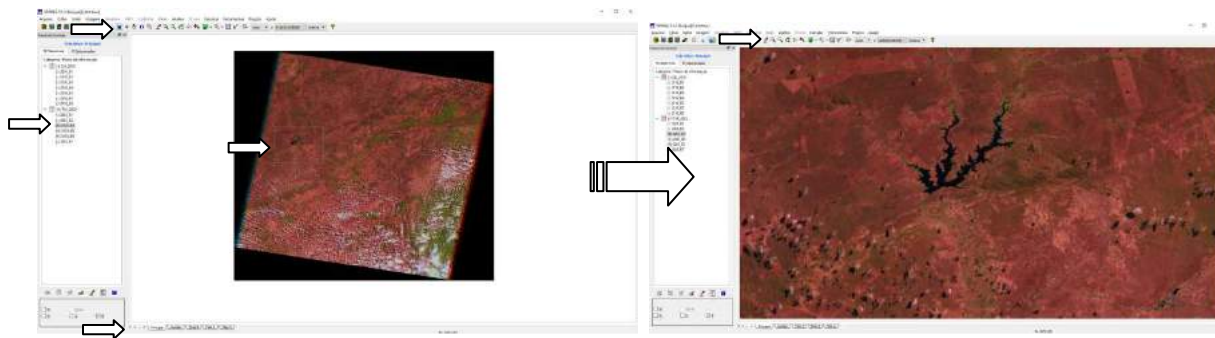
Ao final, o Painel de Controle deverá estar igual à figura a seguir:



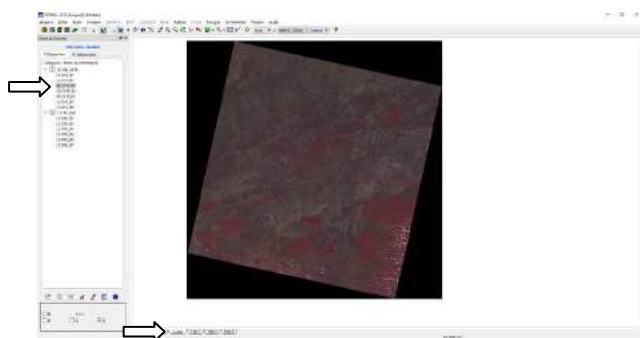
### ➤ PASSO 7: Visualizar e acoplar diferentes imagens

Nesta etapa vamos visualizar uma combinação multiespectral de uma data (2003) e comparar a mesma combinação com outra data (2016). Para fazermos isto, será necessário utilizar algumas funcionalidades do Spring: visualização em telas distintas e acoplamento.

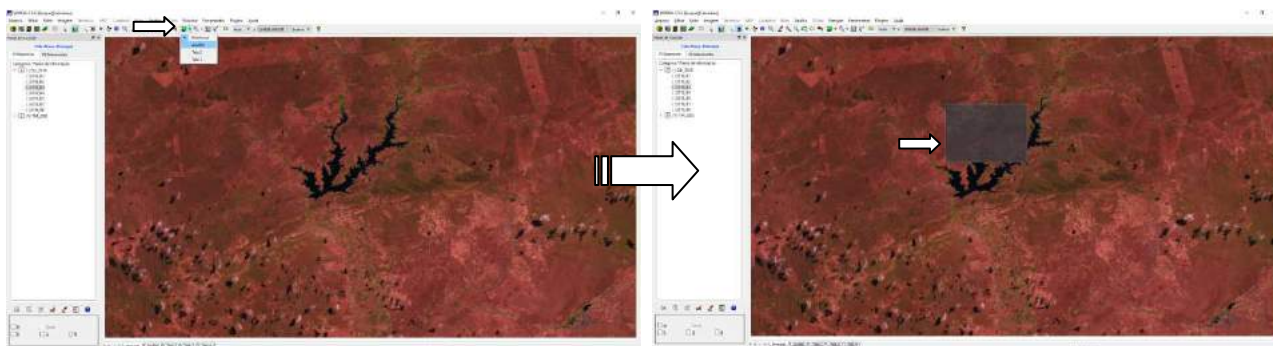
Na aba inferior “Principal”, faça uma combinação RGB 543 com o Modelo TM\_2003 e execute um zoom à oeste da cena, tomando uma represa no centro do zoom:



Mude para a tela “Auxiliar” no menu inferior e faça a mesma combinação RGB 543 com o Modelo “OLI\_2016” (não precisa fazer o zoom):



Agora retorne à tela “Principal”, clique em “Acoplar” no menu horizontal superior, e escolha “Auxiliar”. Abra um pequeno retângulo diretamente sobre a imagem e observe que, dentro deste retângulo, estará a mesma área, porém com a imagem de 2016 (veja a redução do espelho d’água desta represa entre uma data e outra, resultado de um longo processo de seca na região):

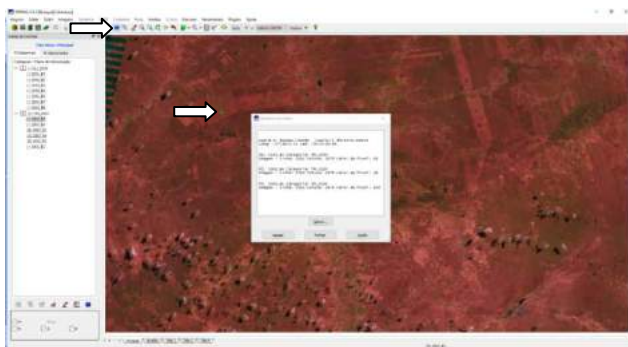


### ➤ PASSO 8: Explorar funcionalidades do Menu Superior

Nesta etapa, vamos explorar algumas funcionalidades do Spring que estão disponíveis no Menu Horizontal Superior.

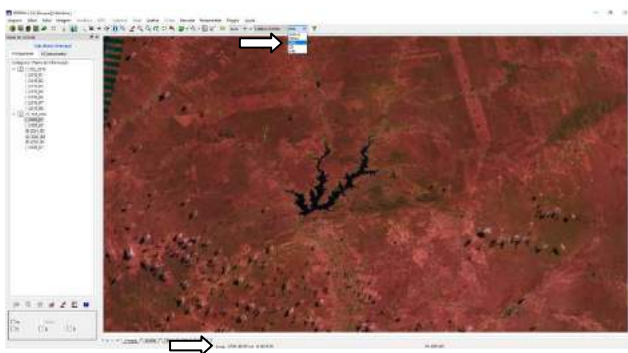
- Obtendo informações sobre um ponto qualquer:

Faça uma combinação RGB 543 no Modelo TM\_2003, clique no botão “Cursor de Info” e, depois, clique em qualquer local na tela principal. A tela “Relatório de Dados” irá mostrar todas as informações relativas aos PI’s ligados (neste caso, as respostas de NC para cada banda espectral), bem como as coordenadas geográficas e geodésicas:



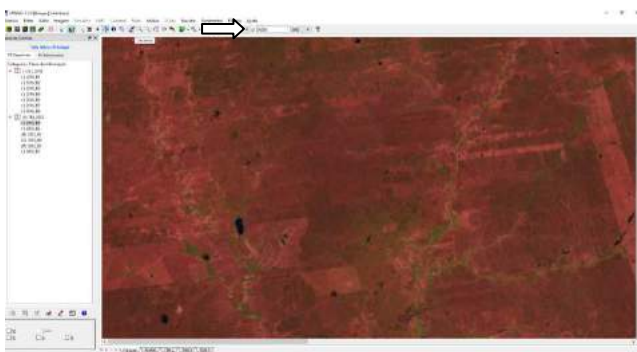
- Ativando o contador de coordenadas planas, GMS ou GD:

No Menu Horizontal Superior, escolha a opção GMS em “Escala”, depois, clique em qualquer ponto na imagem e, em seguida, mova o cursor e observe o contador de coordenadas na parte inferior da tela principal:



Fixando a escala de visualização na tela principal.

No Menu Horizontal Superior, escolha a opção Escala em “Amostragem”, depois, digite 50000 em “1/50000” e, em seguida, clique no botão “Desenhar” no Menu Horizontal Superior. Observe que a escala resultante está fixa em 1/50.000 na tela principal:



## 2.4 Filtragem espacial, Manipulação de Histogramas de Frequência, Realce de Contraste e Combinação Multiespectral (Cor Verdadeira e Pseudo-color)

É possível melhorar a acuidade visual dos alvos nas imagens brutas pré-processadas (georreferenciadas e corrigidas geometricamente) através de técnicas de Processamento Digital de Imagens, conhecidas, genericamente, pela sigla PDI. Estas técnicas são importantes para as etapas seguintes do processo de extração de informações das imagens satelitais. Entretanto, convém registrar que tais técnicas certamente irão alterar os valores originais de reflectância dos

pixels. Alguns autores argumentam que tais alterações nos valores dos níveis de cinza (NC's) são, na verdade, correções necessárias à correta interpretação das imagens originais.

Usamos essas técnicas para melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e para fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

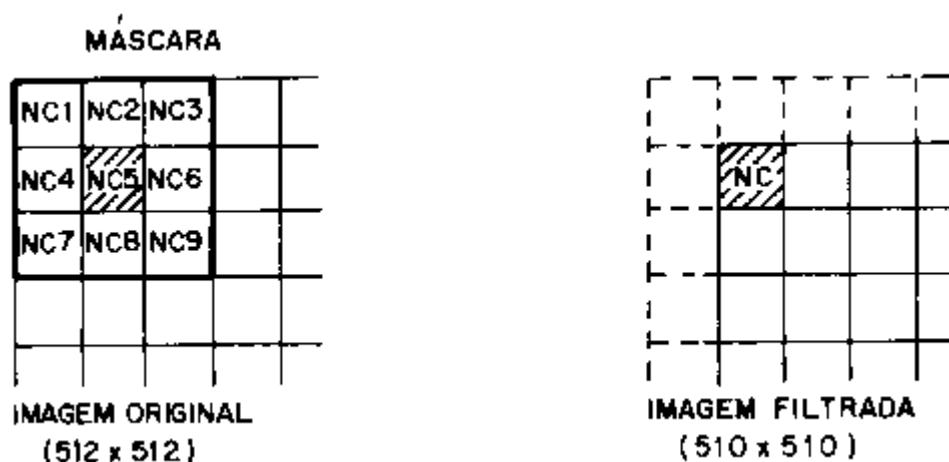
Neste curso, vamos introduzir algumas dessas técnicas, porém, recomenda-se testar e investigar outras técnicas de PDI, pois variações nos sensores, nas imagens, nos locais e, principalmente, nas condições climáticas do momento da tomada das cenas podem resultar em diferentes resultados. No nosso caso, as técnicas que iremos utilizar foram testadas previamente para o Parna do Catimbu com data de aquisição das imagens em período úmido, conforme as condições edáficas<sup>4</sup> do bioma Caatinga.

### ➤ PASSO 9: Filtragem espacial

As técnicas de filtragem são transformações da imagem "*pixel*" a "*pixel*", que não dependem apenas do nível de cinza de um determinado "*pixel*", mas também do valor dos níveis de cinza dos "**pixels**" vizinhos, na imagem original (Spring).

O processo de filtragem é feito utilizando-se matrizes denominadas **máscaras** que são aplicadas sobre a imagem. Exemplo: à imagem original formada por uma matriz de 512 linhas por 512 colunas de valores numéricos, aplica-se uma máscara matricial de 3 linhas por 3 colunas; à cada valor da matriz 3x3 da máscara corresponde um peso.

Ex: Máscara com centro na posição (2,2).



- A aplicação da **máscara** com centro na posição **(i,j)**, sendo **i** o número de uma dada linha e **j** o número de uma dada coluna sobre a imagem, consiste na substituição do valor do "pixel" na posição **(i,j)** por um novo valor, o qual depende dos valores dos "pixels" vizinhos e dos pesos da máscara.
- A imagem resultante da aplicação de um filtro é uma nova imagem com a eliminação das linhas e colunas iniciais e finais da imagem original.
- Os filtros espaciais podem ser classificados em passa-baixa, passa-alta ou passa-banda. Os dois primeiros são os mais utilizados em processamento de imagens. O filtro passa-banda é mais utilizado em processamentos específicos, principalmente para remover ruídos periódicos.

<sup>4</sup> "Adjetivo. Que pertence ou pode estar relacionado ao solo. Que está compreendido nos limites do solo; diz-se da água. [Biologia] Diz-se daquilo que pode ser influenciado pelo solo; diz-se dos vegetais."

Fonte: <https://www.dicio.com.br/edafico/>

No módulo de filtragem do SPRING, estão disponíveis três classes de operações: filtragem linear, filtragem não-linear e filtros p/ Radar, descritas a seguir:

- [Filtros lineares](#)
  - [Passa-Baixa](#)
  - [Passa-Alta](#)
  - [Editor de máscaras](#)
  - [Normalizar uma máscara](#)
- [Filtros não-lineares](#)
  - [Operadores para detecção de bordas](#)
  - [Filtros morfológicos](#)
  - [Editor de elementos estruturantes](#)
- [Filtro Radar](#)

**NOTA** - Neste curso vamos utilizar apenas o Filtro “Realce de Imagem TM”.

Segundo a Ajuda do Spring, o **Realce de imagens** corresponde à utilização de máscaras apropriadas ao realce de características de imagens obtidas por sensores específicos.

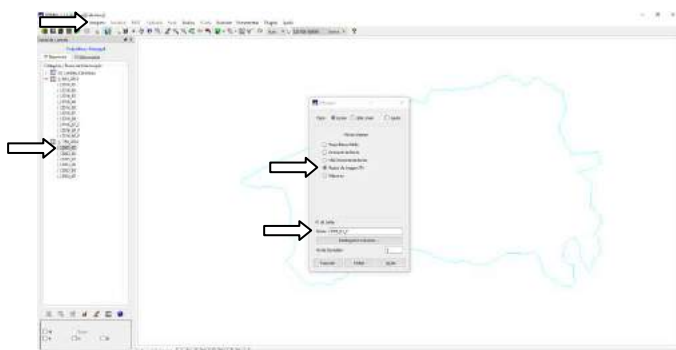
Atualmente, está disponível somente para imagens TM/Landsat<sup>5</sup>. A máscara utilizada neste caso é:

```
3  -7  -7  3
-7  13 13 -7
-7  13 13 -7
3  -7  -7  3
```

Este realce foi definido para compensar distorções radiométricas do sensor TM (trabalho desenvolvido por Banon, em 1992). O “*pixel*” que terá seu valor digital substituído pela aplicação da máscara, corresponde à posição sombreada.

Assim, podemos afirmar que a técnica de Realce TM visa melhorar a qualidade da imagem, permitindo uma melhor discriminação dos objetos presentes na imagem.

**Ative o PI 2003\_B1** (basta clicar nele no Painel de Controle) e, depois, no Menu Superior Horizontal, clique no menu “Imagem”. Na caixa de diálogo “Filtragem”, marque a opção “Realce de Imagem TM”. Em “PI de Saída”, digite: 2003\_B1\_F; em “No de Interações”, deixe 1; depois clique em “Executar”:

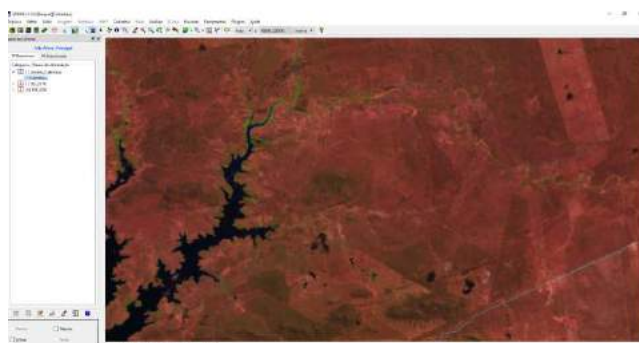


- ✓ Repita a operação par todas as bandas das categorias “TM\_2003” e “OLI\_2016”. Cuidado ao ativar o PI e o correspondente nome do PI de Saída, devendo ser o mesmo da banda original, acrescentando o sufixo “\_F” para o novo PI ser criado neste processamento.

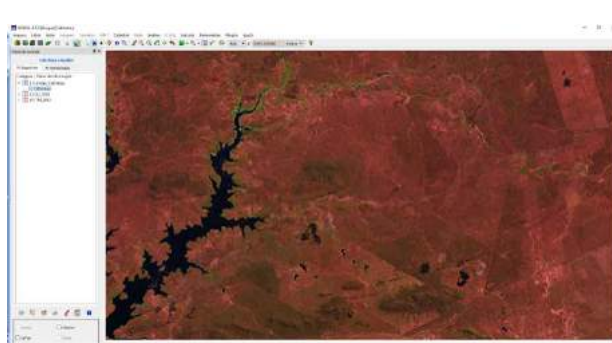
<sup>5</sup> No CIEG, testamos o mesmo filtro para imagem OLI do LandSAT 8 e os resultados foram satisfatórios.



- ✓ Faça uma Combinação RGB 543 na Tela principal com as imagens brutas e, na Tela Auxiliar, a mesma combinação, porém com as imagens realçadas.
- ✓ Acople, na Tela Principal, a Tela Auxiliar, e compare as imagens brutas com as realçadas; verifique se houve melhora na acuidade visual dos alvos.



"TM\_2003" RGB 543 com imagens brutas



"TM\_2003" RGB 543 com imagens realçadas TM

- ✓ Repita o processamento acima para cada PI na categoria "OLI\_2016".
- ✓ Ao final, o Painel de Controle terá, além das imagens brutas, as imagens com Realce TM.

### ➤ PASSO 10: Manipulação de Histogramas de Frequência

Outra técnica muito utilizada no melhoramento visual das imagens de satélite trata da manipulação de **histogramas de frequência**.

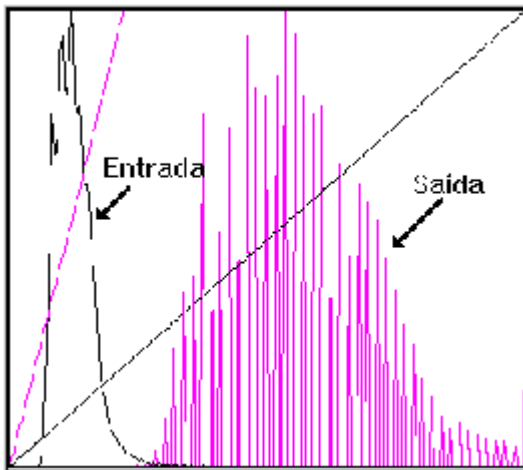
A manipulação **Linear** de histograma é definida por uma função de transferência linear, onde  $y = f(x)$ . Assim, quanto maior é a inclinação da reta no histograma de frequências, maior será o realce da imagem (CRÓSTA, 1993; MOREIRA, 2003). A forma do histograma da imagem realçada é a mesma da imagem original, pois cada barra do histograma continua tendo a mesma altura, porém em uma posição diferente. Segundo o Spring:

- A **manipulação do contraste** consiste numa transferência radiométrica em cada "pixel", com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Realiza-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança.
- A escolha do mapeamento direto adequado é, em geral, essencialmente empírica. Entretanto, um exame prévio do histograma da imagem pode ser útil. O **histograma** de uma imagem descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza em termos do número de amostras ("pixels") com cada nível. A distribuição pode também ser dada em termos da percentagem do número total de "pixels" na imagem. Pode ser estabelecida uma analogia entre o histograma de uma imagem e a função densidade de probabilidade, que é um modelo matemático da distribuição de tons de cinza de uma classe de imagens.
- A cada histograma está associado o contraste da imagem.

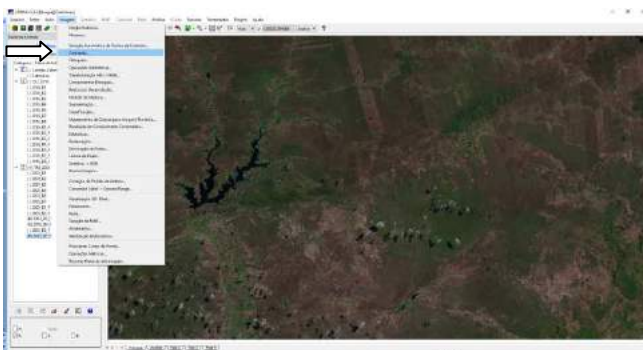


### Quais são as características do realce Linear?

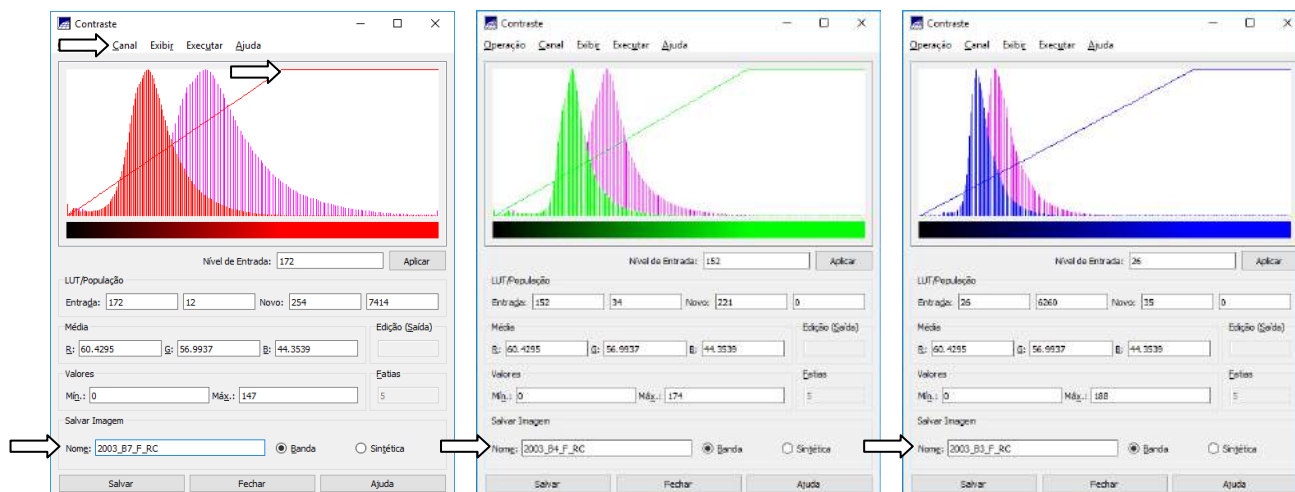
- O aumento de contraste por uma transformação linear é a forma mais simples das opções. A função de transferência é uma reta e apenas dois parâmetros são controlados: a inclinação da reta e o ponto de interseção com o eixo X (veja figura abaixo). A inclinação controla a quantidade de aumento de contraste e o ponto de interseção com o eixo X controla a intensidade média da imagem final.
- A função de mapeamento linear pode ser representada por:  
 $Y = AX + B$
- onde:
  - Y = novo valor de nível de cinza;
  - X = valor original de nível de cinza;
  - A = inclinação da reta (tangente do ângulo);
  - B = fator de incremento, definido pelos limites mínimo e máximo fornecidos pelo usuário.



- No aumento linear de contraste as barras que formam o histograma da imagem de saída são espaçadas igualmente, uma vez que a função de transferência é uma reta. O histograma de saída será idêntico em formato ao histograma de entrada, exceto que ele terá um valor médio e um espalhamento diferentes.
- ✓ Faça uma Combinação RGB 743 na Tela principal. No Menu Superior Horizontal escolha "Imagem", depois "Contraste". No Canal "Vermelho", clique com o botão direito do mouse à direita do histograma e, depois, clique em "Aplicar". O objetivo é deslocar o histograma para a direita, com níveis mais claros de cinza e mais espalhados. Observe o resultado na Tela Principal. Não feche ainda a caixa "Contraste". Em "Salvar Imagem", "Nome", digite: 2003\_B7\_F\_RC; deixe marcada a opção "Banda". Clique no botão "Salvar". Esta operação irá criar um novo PI com o Realce de Contraste aplicado.



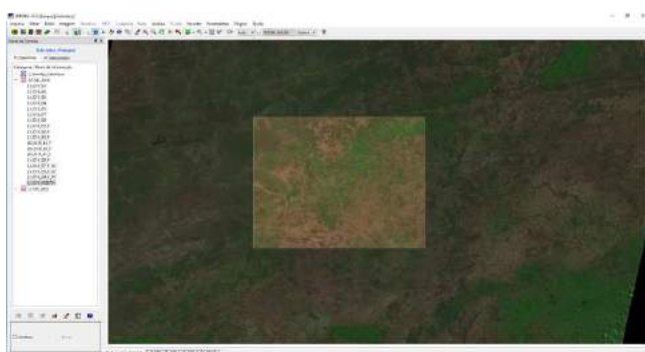




- ✓ Feche a caixa de diálogo “Contraste” SEM salvar. Responda “Não” à caixa “Deseja manter o contraste aplicado”.
- ✓ Compare as imagens não contrastadas com aquelas que foram criadas, mediante o acoplamento (tela Principal use as imagens não contrastadas e na tela Auxiliar as recém-criadas com os contrastes aplicados).



- ✓ Repita a operação acima para os PIs “2016\_B4\_F”, “2016\_B5\_F” e “2016\_B7\_F” da categoria “OLI\_2016” (observe a mudança na combinação espectral em relação à categoria “TM\_2003”).



## 2.5 Fusão de bandas espectrais e geração de carta-imagem

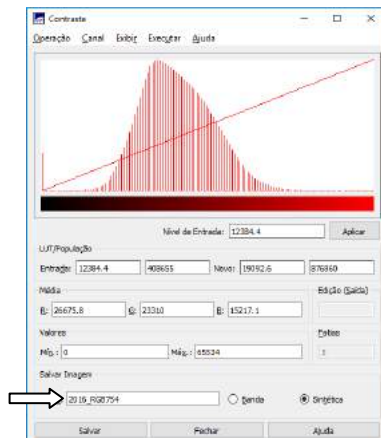
Um dos produtos de SR mais procurado pelo mercado de geotecnologias é a carta-imagem, ou seja, um documento cartográfico com escala, canevas (coordenadas), sistema de projeção, datum, orientação, legenda, etc.

Inicialmente, no Spring, vamos realizar uma fusão de bandas espectrais já realçadas para gerar um arquivo no formato \*.GEOTIFF (portanto, georreferenciado), que será utilizado no software Quantum GIS para a geração da carta-imagem.

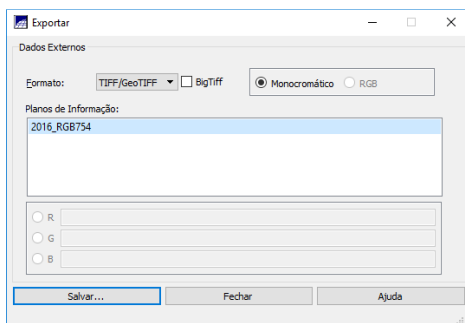
## ➤ PASSO 11: Fusionando bandas multiespectrais e exportando em formato \*.GEOTIFF

Nessa etapa, vamos criar uma imagem fusionada a partir das bandas **RGB754** realçadas; depois, exportá-la em formato \*.GEOTIFF e importá-la no Quantum GIS.

- ✓ Faça uma combinação com os últimos PIs criados no modelo “OLI\_2016”:
  - **R2016\_B7\_F\_RC**, **G2016\_B5\_F\_RC** e **B2016\_B4\_F\_RC**.
- ✓ No menu superior, clique em “Imagem”;
- ✓ Na caixa “Contraste”, em “Salvar Imagem”, “Nome”, digite: 2016\_RGB754;
- ✓ Marque a opção “Sintética”;
- ✓ Salvar:



- ✓ Desmarque os outros PIs no Painel de Controle e deixe ativo apenas o PI criado: “2016\_RGB754”; marque a opção “Sintética” no mesmo painel abaixo dos PIs.
- ✓ No Menu Superior Horizontal clique em “Arquivo”, “Exportar”, “Exportar Dados Vetoriais e Matriciais...”
- ✓ Escolha em “Planos de Informação” a opção “2016\_RGB754” e, depois, “Salvar...”:

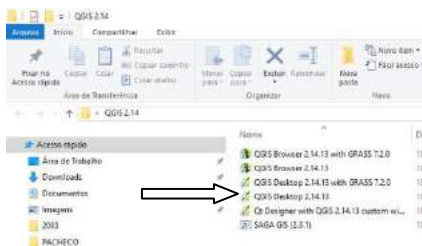


- ✓ Salve em formato TIFF na pasta /Curso\_SR/Imagens com o nome “2016\_RGB754”.

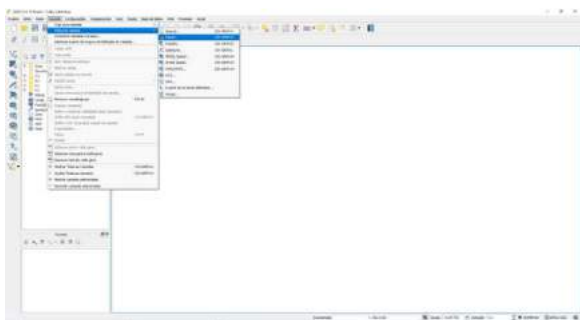
## ➤ PASSO 12: Gerando a carta-imagem no Quantum GIS 14

Com as imagens processadas, realçadas, recortadas, fusionadas e exportada vamos, então, gerar um produto cartográfico conhecido como “Carta-imagem Multiespectral”.

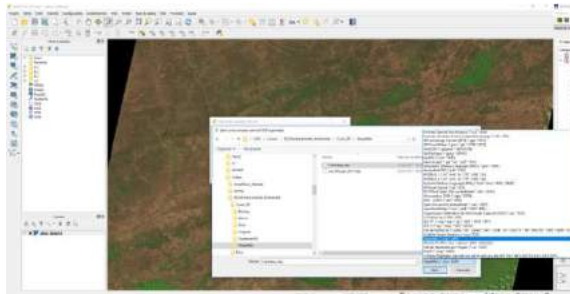
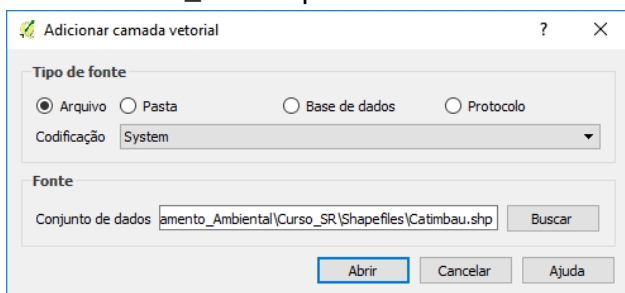
- ✓ Abra o programa Quantum GIS 14, clicando na opção “QGIS Desktop 2.14.13”:



- ✓ Salve o Projeto na pasta \Curso\_SR\QuantumGIS com o nome “Carta\_Catimbau\_2016”
- ✓ No menu superior, em “Camadas”, escolher a opção “Adicionar camada”, “Raster...”



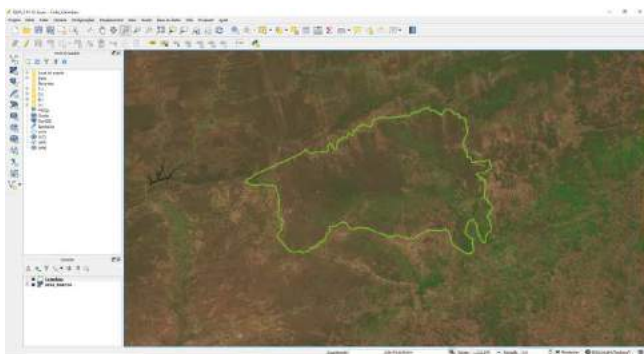
- ✓ Adicione o arquivo **2016\_RGB754.TIFF** que você criou no PASSO 11 anterior;
- ✓ Adicione o arquivo vetor SHAPEFILE Catimbau.shp que está na pasta \Curso\_SR\Shapefiles:



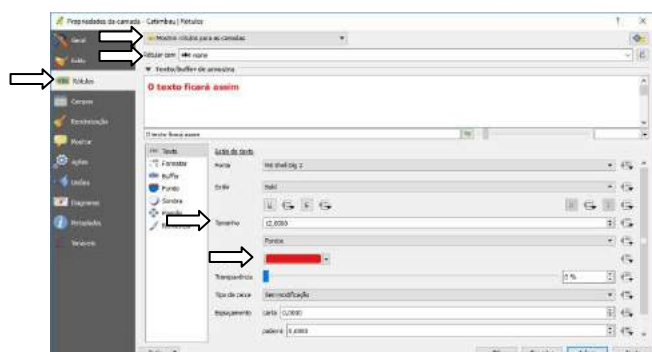
- ✓ Dê um clique na camada “Catimbau”, mude o “Estilo do preenchimento” para “Transparente” e a cor da “Borda” para vermelho (ou outra cor de sua preferência); mude a “Espessura da borda” para 0,5mm; clique em “Aplicar” e, depois, “OK”:



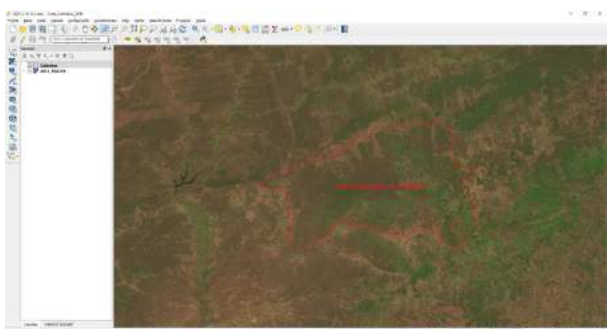
- ✓ Aplique um zoom na área do Parna do Catimbau e entorno:



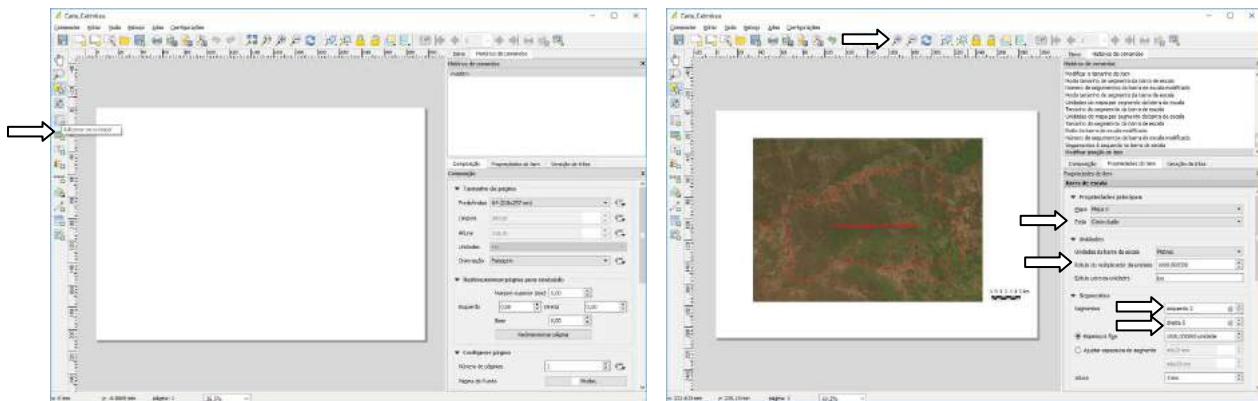
- ✓ Clique na camada “Catimbau”, depois escolha no menu lateral à esquerda a opção “Rótulos”, escolha a opção “Mostrar rótulos para as camadas”, “Rotular com” escolha o campo “nome” (que está no SHAPEFILE “Catimbau.shp”), mude a cor do texto para vermelho e o Tamanho da fonte para 12; clique “Aplicar” e verifique se está tudo OK:



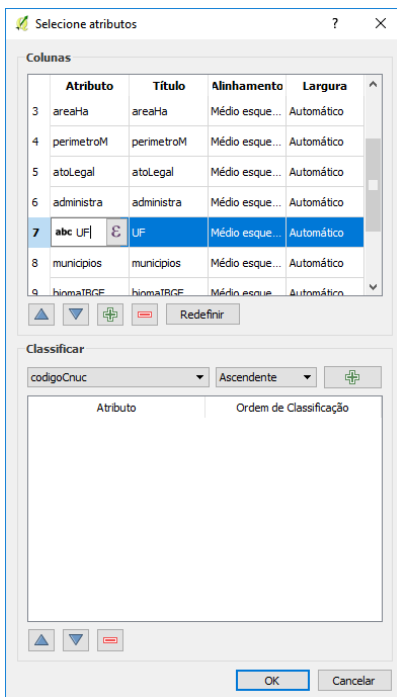
- ✓ No menu superior, escolha a opção “Novo compositor de impressão” e digite o título “Carta\_Catimbau”:



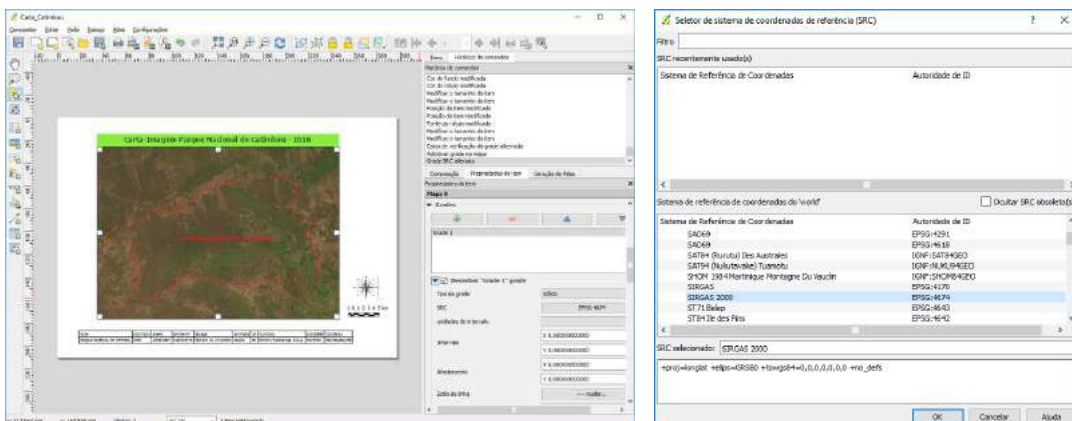
- ✓ No Compositor de Impressão “Carta\_Catimbau”, clique no menu vertical lateral à esquerda na opção “Adicionar novo mapa”, clique e arraste com o mouse na tela branca, abrindo uma janela; uso o scroll do mouse para ajustar o zoom; clique em “adicionar nova barra de escala” e ajuste seus parâmetros conforme a figura a seguir:



- ✓ Adicione a Tabela de Atributos e retire (com o “-”) alguns campos desnecessários; ajuste as configurações:

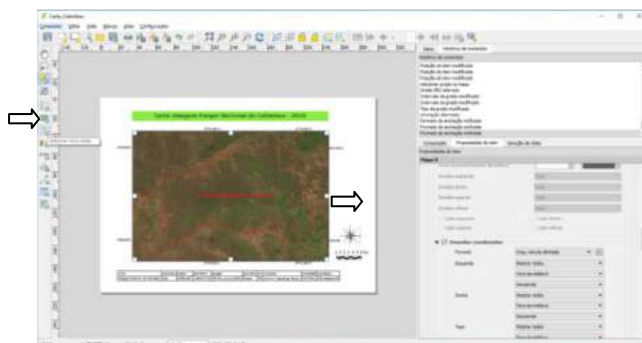


- ✓ Clique na imagem e, depois, adicione uma Grade, depois marque “Desenhar Grade 1”; tipo de grade escolha “cruz”; em “SRC” escolha o “Sistema de Coordenadas Geográfica”, com o Elipsóide Referência SIRGAS2000:

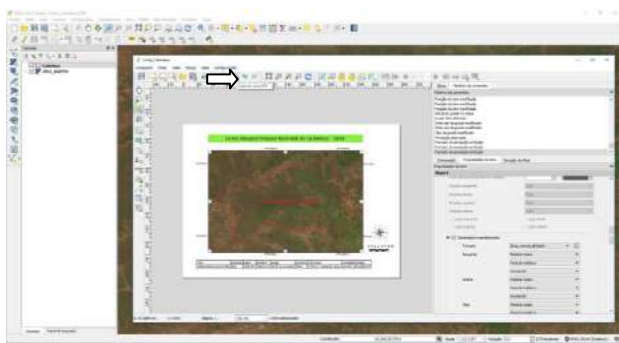




- ✓ Ajustes para o grid de coordenadas da carta-imagem: Intervalo X = 0,2; Y = 0,2; marque a opção “Desenhar coordenadas”; escolha em “Formato” a opção “Grau, minuto alinhado”;
- ✓ Adicione um título, clicando no botão “Adicionar novo rótulo” e faça os ajustes de cor e tamanho da fonte;
- ✓ Mude a “Precisão da coordenada” para 0:



- ✓ Salve o Compositor;
- ✓ Exporte no formato PDF, clicando no botão do menu horizontal:



- ✓ Salve o arquivo em PDF com o nome “Carta\_Catimbau\_2016” na pasta \Curso\_SR\Mapas e, depois, vá até a pasta e abra o arquivo gerado; feche o QuantumGIS:





## 2.6 Recorte Geográfico Vetorial

Nesta etapa vamos recortar as bandas espectrais para os limites do Parque Nacional do Catimbau. Este procedimento é importante para reduzir o tempo de processamento das etapas posteriores, uma vez que o nosso estudo está orientado para as mudanças no uso e ocupação do solo do Catimbau.

Para fazermos o recorte vetorial é necessário um arquivo georrreferenciado com um ou mais polígonos que servirá como recorte das imagens. Esse arquivo pode estar em formato \*.DXF, \*.SHP ou \*.DGN. É necessário, ainda, saber qual a projeção cartográfica e datum deste arquivo para importá-lo a um respectivo PI do tipo cadastral.

Nesse curso, os limites do Catimbau foram obtidos no formato SHAPEFILE diretamente do site do ICMBio <http://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>

Os metadados estão disponíveis na pasta:

\\Curso\_SR\Docs\Perfil MGB\_Formulario\_Limite\_UCs\_shp.dxf

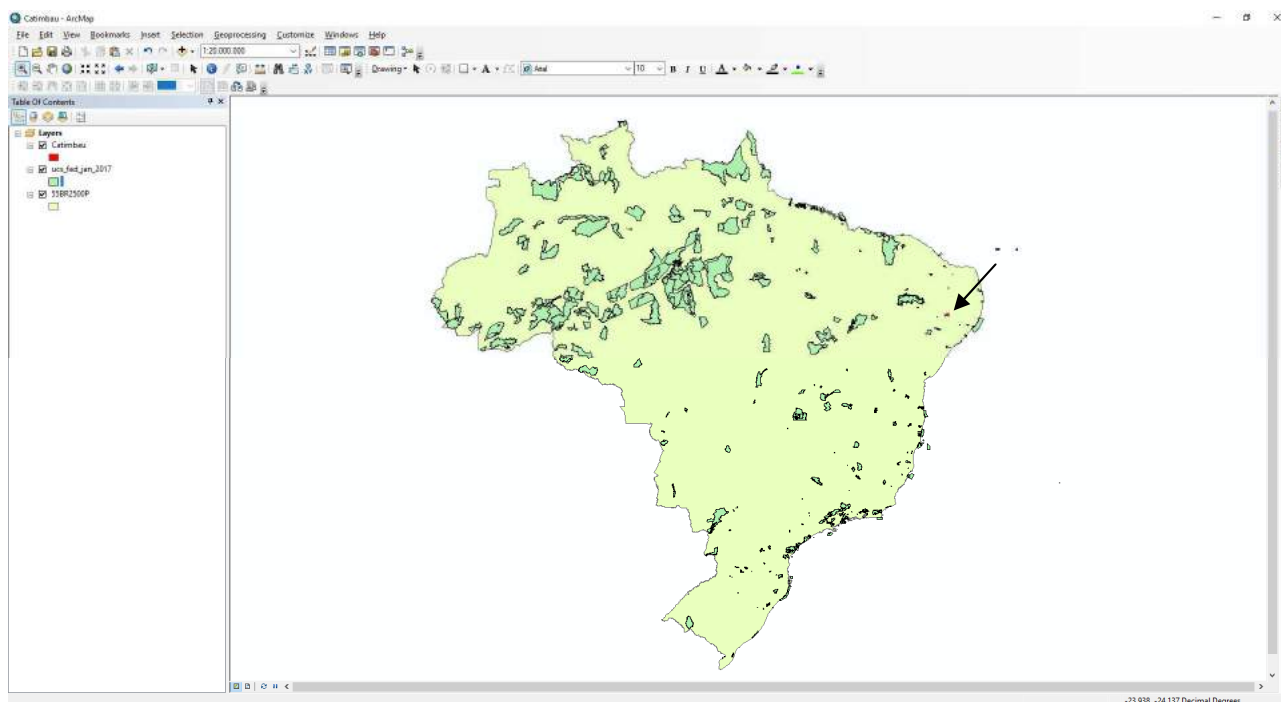
Segundo este documento:

### Informação do sistema de Referência Cartográfica

Sistema de Referência: Sirgas-2000


Sistema de Projeção: Geográfica

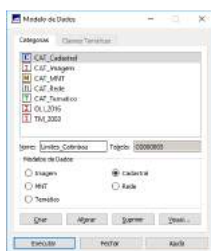
Na figura a seguir (ArcGIS 10.2) estão todas as UC federais do Brasil (ICMBio, 2017) e a indicação do Parna do Catimbau marcado na cor vermelha (seta):



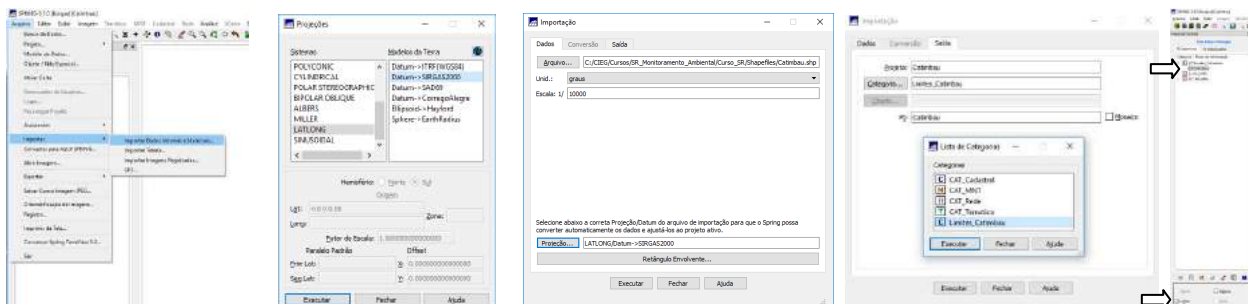
### ➤ PASSO 13: Importar um arquivo vetorial com os limites do Catimbau para o Spring

Para realizar um recorte vetorial em imagens matriciais (bandas espectrais) é preciso inicialmente importar um arquivo SHAPEFILE (ou outro do tipo vetorial) para um PI do tipo Cadastral.

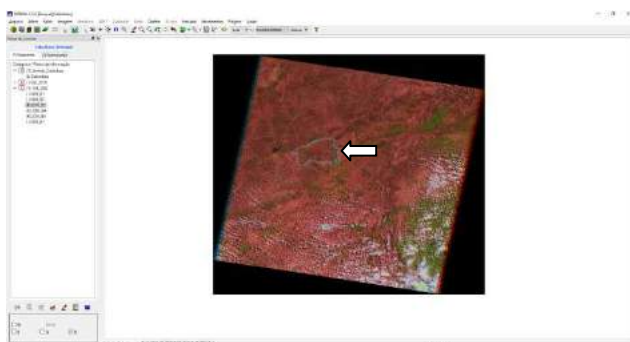
Para realizar tal passo, primeiro crie um Modelo de Dados  do tipo Cadastral com o nome "Limites\_Catimbau", depois clique em "Criar", depois "Executar" e "Fechar".



- ✓ Escolha o sub-menu "Arquivo" no Menu Horizontal Superior, depois "Importar", depois "Importar Dados Vetoriais e Matriciais..."
- ✓ Na caixa "Importação", escolha a aba "Dados", depois "Arquivo", mude para o tipo "Shapefile (\*.shp)" e procure o arquivo "Catimbau" na pasta \Curso\_SR\Shapefiles.
- ✓ Mude a Unid.: para "graus" e a "Escala" para "1/10000".
- ✓ Em seguida, configure a "Projeção", escolhendo como "Sistemas" a opção "LATLONG" e como "Modelos da Terra" a opção Datum -> SIRGAS2000. Clique em "Executar".
- ✓ A seguir, clique na aba "Saída" da caixa "Importação", depois em "Categorias..." e escolha o modelo recém criado "Limites\_Catimbau", depois "Executar".
- ✓ Na linha "PI" da caixa "Importação", na aba "Saída", digite o nome do PI que será criado durante o processo de importação do shapefile para o PI cadastral do Spring: "Catimbau".
- ✓ Clique em "Executar" na caixa "Importação" e aceite os avisos do sistema.
- ✓ Por fim, ative o PI "Catimbau" no Painel de Controle lateral, marcando a opção "Linhas" no menu inferior do próprio painel de controle.
- ✓ Mude a cor da linha para "azul água", utilizando a opção "Planos de Informação" no menu horizontal superior, selecionando a categoria "Limites\_Catimbau" e o Nome ""Catimbau", marcando a opção "Vetor", clicando no botão "Visual...", depois na caixa "Visuais de Apresentação Gráfica" escolha a aba "Linhas", em "Cor..." selecione amarelo (ou outras qualquer), depois "Substituir", "Executar" e "Fechar".
- ✓ Veja algumas das caixas de diálogos configuradas:

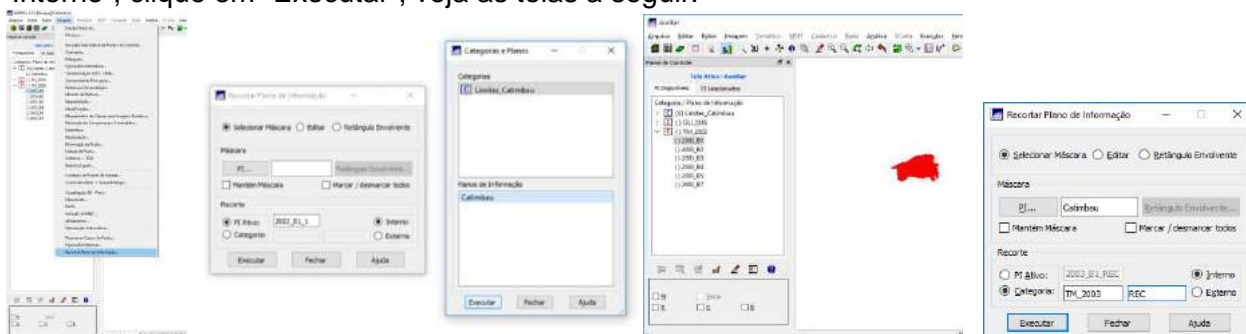


Ao final do processo de importação, a tela principal irá apresentar os limites vetoriais do Catimbau (seta), como na figura a seguir:

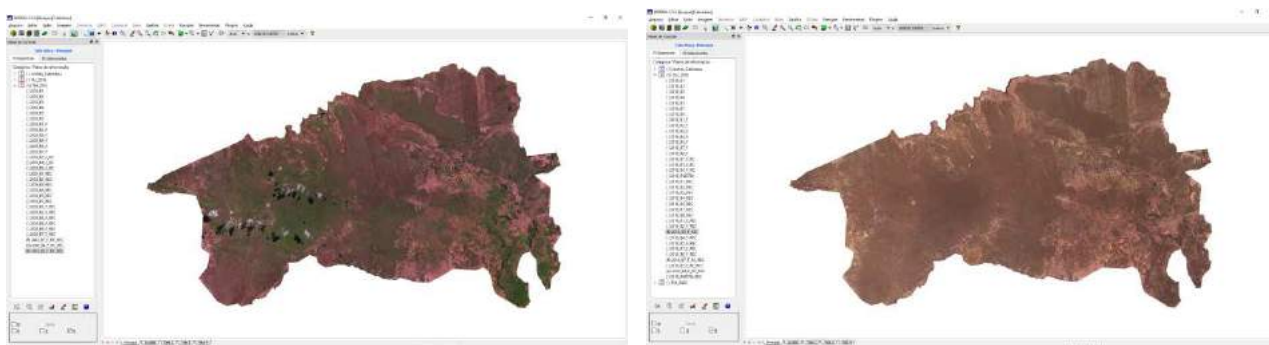


➤ **PASSO 14: Recortar as bandas dos modelos “TM\_2003” e “OLI\_2016” no Spring**

Clique no PI “2003\_B1\_F” da categoria “TM\_2003” e, depois, no sub-menu “Imagem”, opção “Recortar Plano de Informação”. Na caixa “Recortar Plano de Informação”, em “Máscara”, clique no botão “PI”, depois selecione o Plano de Informação “Catimbau”, depois “Executar”. Na tela “Auxiliar”, dê um clique DENTRO do polígono do Catimbau (que ficará marcado na cor VERMELHA) e depois feche a tela Auxiliar. Mude para a opção “Categoria” (assim vamos recortar todos os PIs desta categoria de uma única vez!) e acrescente o sufixo “REC”; marque a opção “Interno”; clique em “Executar”; veja as telas a seguir:



Ao final do processamento, o Spring irá criar novos PIs com a área do Catimbau. Veja na figura a seguir o recorte do Parna Catimbau em 2003, RGB743, com Filtragem Tm e Realce de Contraste aplicados:



Catimbau 2003 com RGB743

Catimbau 2016 com RGB 743

➤ Repita a operação anterior, recortando os PIs da categoria “OLI\_2016”.



### 3. Mapeamento e análise de mudanças no uso do solo

#### 3.1 Contextualização da área de estudo

A pergunta principal na nossa investigação neste curso é:

- ✓ **Quais foram as principais mudanças no uso e ocupação do solo do Parque Nacional do Catimbau entre os anos de 2003 e 2016?**

Para responder a esta pergunta, torna-se necessário contextualizar a área de estudo.

[O texto a seguir foi extraído da pesquisa “Mapeamento e Análise Espectro-Temporal das Unidades de Conservação de Proteção Integral da Administração Federal no Bioma Caatinga”];  
disponível em: [http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4874&Itemid=800](http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=4874&Itemid=800)

## Parque Nacional do Catimbau

### *A Geomorfologia construindo cenários exuberantes*

Uma das mais destacadas unidades de conservação (UC) do bioma Caatinga no Estado de Pernambuco é o **Parna do Catimbau**. Segundo o ICMBio, o Parque Nacional do Catimbau foi criado em 22 de agosto de 2002 com o objetivo de manter a preservação dos ecossistemas que lá coabitam.



O Parna do Catimbau possui uma área em forma poligonal com 623 km².  
Foto: Neison Freire (2013)

Localizado entre quatro municípios pernambucanos, Buíque, Ibimirim, Sertânia e Tupanatinga, o parque tem a paisagem natural marcada pela geomorfologia de seu relevo, que foi esculpida durante as eras geológicas pela erosão atuante do clima, formando elevações suaves e onduladas, de platôs, encostas abruptas *cuestiformes* e vales abertos. O parna é considerado pelo IPHAN um patrimônio arqueológico nacional, pois conserva diversos sítios arqueológicos datados de 6.000 anos A.P.





Pintura rupestre da Tradição Nordeste encontrada em uma gruta do Catimbau.  
Foto: Neison Freire (2013)

O parna incita uma preocupação ambiental por parte das instituições federais de ensino superior e pesquisa, como a UFPE, UFRPE e IFPE, que procuram entender a correlação entre a flora e a fauna, como também entre análises arqueológicas, geológicas e geomorfológicas com seus possíveis modificadores, antrópicos ou não.



Os estudos florísticos realizados nesta pesquisa revelaram novas espécies de uma flora endêmica e diversificada, que se adaptou aos condicionantes físicos do local.  
Foto: Neison Freire (2013)

A porção extremo norte do Parque Nacional do Catimbau apresenta o bioma caatinga preservado e de pouco acesso. Já a porção leste está mais preservada que a oeste, pois apresenta áreas úmidas, paredões e as principais trilhas de ecoturismo do Catimbau. Na porção oeste, a pesquisa registrou uma situação de tensão entre o ICMBio e áreas de pequenas agriculturas, onde há áreas de irrigação, também de áreas de agricultura familiar e de algumas comunidades indígenas, que tiveram seu território diminuído com a criação do Parque Nacional do Catimbau.

Feita esta breve introdução à área de estudo, vamos proceder ao marco teórico da Classificação Supervisionada – uma técnica para extração de informações contidas nas imagens de satélite que servirá para a confecção de mapas temáticos e, posteriormente, à análise espacial equantificação de áreas classificadas.



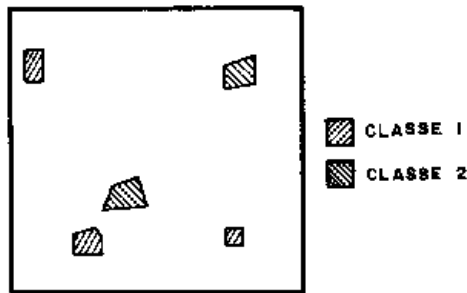
## 3.2 Classificação Supervisionada e Mapeamento de Classes Temáticas

### Classificação de Imagens (Spring, INPE, 2017)

*O que é classificação?*

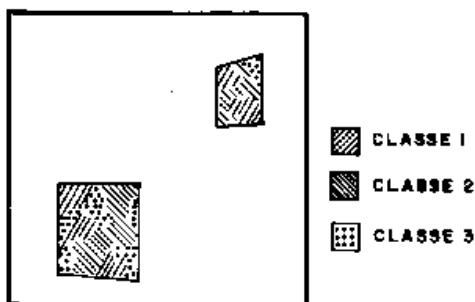
- Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos e são utilizados em Sensoriamento Remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse.
- A informação espectral de uma cena pode ser representada por uma imagem espectral, na qual cada "pixel" tem coordenadas espaciais x, y e uma espectral L, que representa a radiância do alvo em todas as bandas espectrais, ou seja para uma imagem de K bandas, existem K níveis de cinza associados a cada "pixel" sendo um para cada banda espectral. O conjunto de características espectrais de um "pixel" é denotado pelo termo atributos espectrais.
- Os classificadores podem ser divididos em classificadores "pixel a pixel" e classificadores por regiões.
  - **Classificadores "pixel a pixel":** Utilizam apenas a informação espectral de cada pixel para achar regiões homogêneas. Estes classificadores podem ser separados em métodos estatísticos (utilizam regras da teoria de probabilidade) e determinísticos (não utilizam probabilidade).
  - **Classificadores por regiões:** Utilizam, além de informação espectral de cada "pixel", a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos. Procuram simular o comportamento de um foto- intérprete, reconhecendo áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar regiões e as propriedades espaciais e espectrais irão unir áreas com mesma textura.
- O resultado da classificação digital é apresentado por meio de classes espectrais (áreas que possuem características espectrais semelhantes), uma vez que um alvo dificilmente é caracterizado por uma única assinatura espectral. É constituído por um mapa de "pixels" classificados, representados por símbolos gráficos ou cores, ou seja, o processo de classificação digital transforma um grande número de níveis de cinza em cada banda espectral em um pequeno número de classes em uma única imagem.
- As técnicas de classificação aplicadas apenas a um canal espectral (banda da imagem) são conhecidas como classificações unidimensionais. Quando o critério de decisão depende da distribuição de níveis de cinza em vários canais espectrais as técnicas são definidas como de classificação multiespectral.
- O primeiro passo em um processo de classificação multiespectral é o treinamento. Treinamento é o reconhecimento da assinatura espectral das classes. Existem basicamente duas formas de treinamento: supervisionado e não- supervisionado.
- Quando existem regiões da imagem em que o usuário dispõe de informações que permitem a identificação de uma classe de interesse, o treinamento é dito supervisionado. Para um treinamento supervisionado o usuário deve identificar na imagem uma área representativa de cada classe. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza. Recomenda-se que o usuário adquira mais de uma área de treinamento, utilizando o maior número de informações disponíveis, como trabalhos de campo, mapas, etc. Para a obtenção de classes estatisticamente confiáveis, são necessários de 10 a 100 "pixels" de treinamento por classe. O número de "pixels" de

treinamento necessário para a precisão do reconhecimento de uma classe aumenta com o aumento da variabilidade entre as classes.



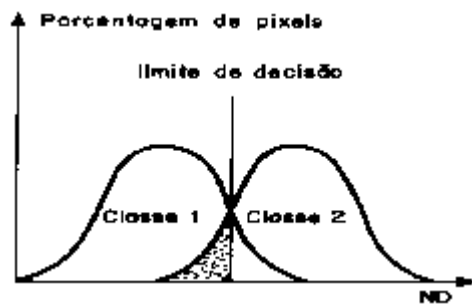
Exemplo de seleção de áreas no treinamento supervisionado.

Quando o usuário utiliza algoritmos para reconhecer as classes presentes na imagem, o treinamento é dito não-supervisionado. Ao definir áreas para o treinamento não-supervisionado, o usuário não deve se preocupar com a homogeneidade das classes. As áreas escolhidas devem ser heterogêneas para assegurar que todas as possíveis classes e suas variabilidades sejam incluídas. Os "pixels" dentro de uma área de treinamento são submetidos a um algoritmo de agrupamento ("clustering") que determina o agrupamento do dado, numa feição espacial de dimensão igual ao número de bandas presentes. Este algoritmo assume que cada grupo ("cluster") representa a distribuição de probabilidade de uma classe.



Exemplo de seleção de áreas no treinamento não-supervisionado.

- As técnicas de classificação multiespectral "pixel a pixel" mais comuns são: máxima verossimilhança (MAXVER), distância mínima e método do paralelepípedo.
- MAXVER é o método de classificação, que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos.
- Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento.
- Para duas classes (1 e 2) com distribuição de probabilidade distintas, as distribuições representam a probabilidade de um "pixel" pertencer a uma ou outra classe, dependendo da posição do "pixel" em relação a esta distribuição. Ocorre uma região onde as duas curvas sobrepõem-se, indicando que um determinado "pixel" tem igual probabilidade de pertencer às duas classes. Nesta situação estabelece-se um critério de decisão a partir da definição de limiares.



Exemplo de limite de aceitação de uma classificação, no ponto onde as duas distribuições se cruzam. Um "pixel" localizado na área sombreada, apesar de pertencer à classe 2, será classificado como classe 1.

- O limiar de aceitação indica a % de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a esta classe. Um limite de 99%, por exemplo, engloba 99% dos "pixels", sendo que 1% serão ignorados (os de menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns "pixels" terem sido introduzidos no treinamento por engano, nesta classe, ou estarem no limite entre duas classes. Um limiar de 100% resultará em uma imagem classificada sem rejeição, ou seja, todos os "pixels" serão classificados.
- Para diminuir a confusão entre as classes, ou seja, reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes, aconselha-se a aquisição de amostras significativas de alvos distintos e a avaliação da matriz de classificação das amostras.
- A matriz de classificação apresenta a distribuição de porcentagem de "pixels" classificados correta e erroneamente. No exemplo a seguir, apresenta-se uma matriz de classificação com as porcentagens de 4 classes definidas na aquisição de amostras, os valores de desempenho médio, abstenção (quanto não foi classificado) e confusão média.

	N	1	2	3	4
1	4.7	94.3	0.0	0.0	0.9
2	1.1	0.0	82.3	0.0	16.6
3	0.0	13.3	0.0	86.7	0.0
4	3.8	0.0	4.7	0.0	91.5

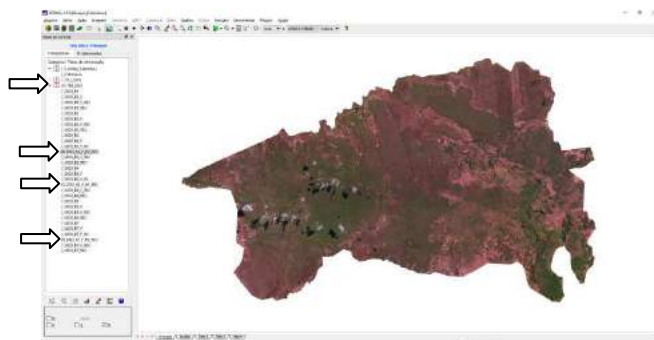
- Desempenho médio: 89.37
- Abstenção média: 3.15
- Confusão média: 7.48
- O valor de N representa a quantidade de cada classe (porcentagem de "pixels") que não foi classificada.
- A classe 1 corresponde à floresta, a classe 2 ao cerrado, a classe 3 ao rio e a classe 4 ao desmatamento.
- Uma matriz de classificação ideal deve apresentar os valores da diagonal principal próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes. Contudo esta é uma situação difícil em imagens com alvos de características espectrais semelhantes.
- O valor fora da diagonal principal, por exemplo 13.3 (classe linha 3 e coluna 1), significa que 13.3% da área da classe "rio" amostrada foi classificada como classe 1 (floresta). O mesmo raciocínio deve ser adotado para os outros valores.
- Para diminuir a confusão entre as classes, aconselha-se a análise das amostras.

	Amostras		
Classes	1	2	3
Floresta	90	50	87
Cerrado	5	50	0
Rio	5	0	0
Desmatamento	0	0	10

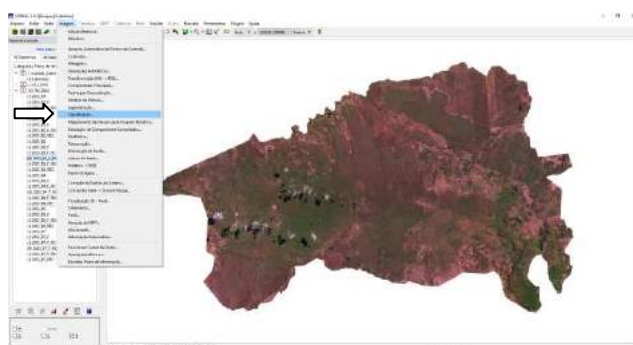
- Os valores em porcentagem indicam que na amostra 1, 90% dos "pixels" são classificados como floresta, 5% como cerrado e 5% como rio, o que resulta em uma amostra confiável. Por sua vez, a amostra 2 apresentou uma confusão de 50% entre as classes floresta e cerrado, indicando que esta deve ser eliminada.

➤ **PASSO 15: Realizando uma Classificação Supervisionada nas bandas espectrais de 2003**

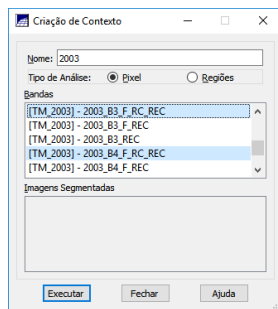
- ✓ Faça uma combinação RGB com as bandas 743 F RC REC da categoria "TM\_2003":



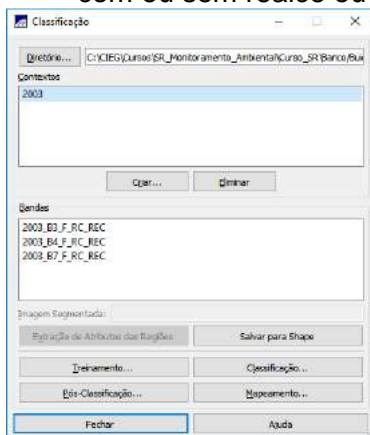
Clique no menu "Imagem", "classificação":



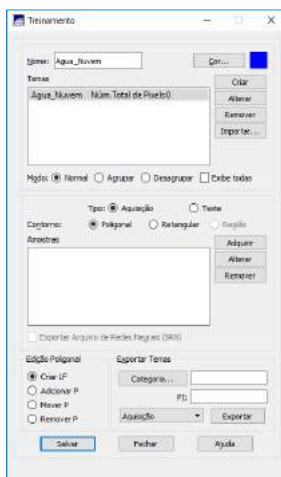
- ✓ Na caixa de diálogo "Classificação", clique no botão "Diretório", vá até a pasta \Curso\_SR\Banco e clique em "Selecionar pasta";
- ✓ De volta à caixa "Classificação", em "Contextos", clique em "Criar...";
- ✓ Em "Nome", digite: 2003;
- ✓ "Tipo de análise": marque a opção "Pixel";
- ✓ Em "Bandas", selecione as bandas:
  - [TM\_2003] – 2003\_B7\_F\_RC\_REC
  - [TM\_2003] – 2003\_B4\_F\_RC\_REC
  - [TM\_2003] – 2003\_B3\_F\_RC\_REC



- ✓ Clique no botão “Executar”;
- ✓ De volta à caixa “Classificação”, clique no contexto criado: 2003 e observe as bandas selecionadas para classificação (NOTA – Você pode optar por todas as bandas recortadas com ou sem realce ou filtragem):

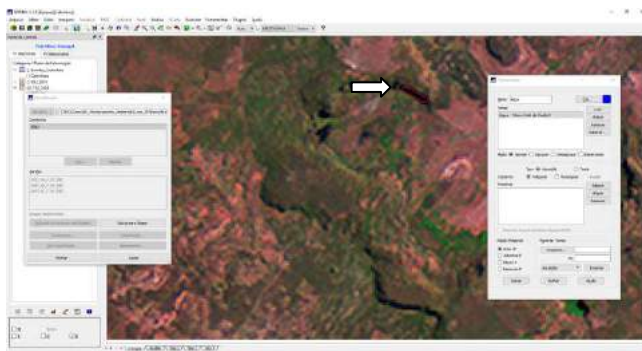


- ✓ Clique em “Treinamento”;
- ✓ Na caixa “Treinamento”, digite em “Nome”: Agua\_Nuvem; escolha uma cor azul; clique no botão “Criar”;

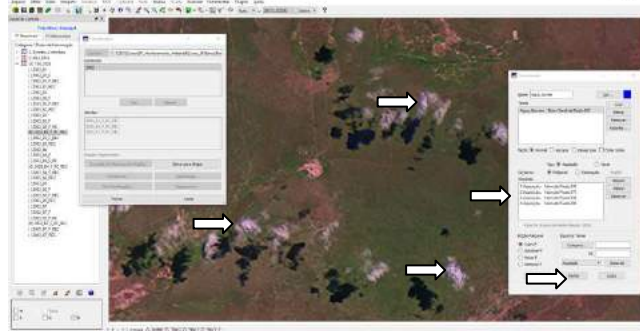


Clique na imagem da Tela principal; faça um zoom a sudeste e observe, na cor negra, uma pequeno riacho que é o único corpo d’água presente no parna; desmarque a opção “Cursor de área” no menu superior horizontal;

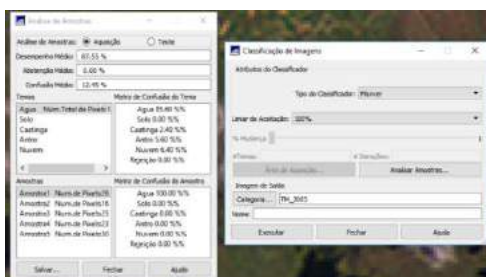
- ✓ Clique diretamente na imagem, conformando uma poligonal; ao final, clique com o botão direito do mouse para fechar a poligonal de aquisição desta amostra de água;
- ✓ Clique em “Adquirir” na caixa “Treinamento”:



- ✓ Adquira outras amostras de nuvem e sombra de nuvem (mínimo de 5);

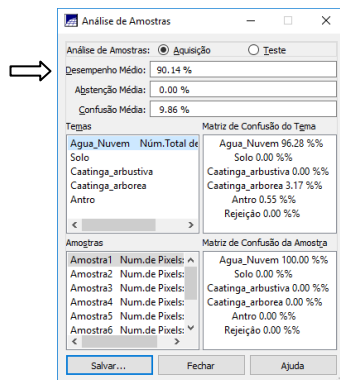


- ✓ Faça o mesmo para as seguintes amostras:
  - Solo (cor amarela)
  - Caatinga\_arbustiva (cor verde claro)
  - Caatinga\_arborea (cor verde escuro)
  - Antro (cor vermelha)
- ✓ Clique no botão “Salvar”; depois, “Fechar”;
- ✓ De volta à caixa “Classificação”, clique no botão “Classificação”;
- ✓ Na caixa “Classificação de Imagens”, use “Tipo do Classificador”: Maxver; Limiar de aceitação”; 100%;
- ✓ Clique em “analisar Amostras...” e observe a Matriz de Erros das amostras:

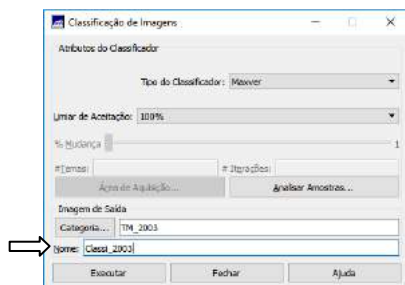


- ✓ Elimine as amostras que têm maior confusão com outros temas; salve e repita a análise até obter um Desempenho Médio > 90%:

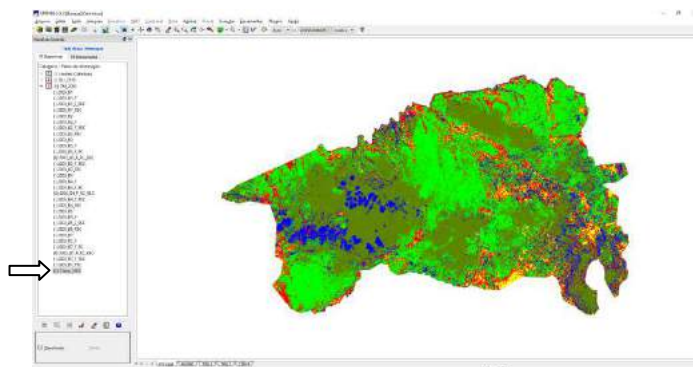




- ✓ Na caixa “Classificação de Imagens”, digite em “Imagem de Saída”, na “Categoria...” TM\_2003, “Nome”: Classi\_2003; “Executar”:



- ✓ Marque o PI criado no Painel de Controle como “Classificada” e analise os resultados obtidos:



## ➤ PASSO 16 Realizando uma Pós-Classificação Supervisionada

Uma primeira classificação supervisionada pode gerar “ilhas” de pixels, que poderá confundir a acuidade visual final do mapa temático. Assim, torna-se importante realizar uma pós-classificação na imagem raster.

Aplica-se este procedimento em uma imagem classificada, com o objetivo de uniformizar os temas, ou seja, eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança. Com isto, gera-se um imagem classificada com aparência menos ruidosa.

Em uma janela de 3 x 3 "pixels", o ponto central é avaliado quanto à frequência das classes (temas), em sua vizinhança. De acordo com os valores de peso e limiar, definidos pelo usuário, este ponto central terá ou não sua classe substituída pela classe de maior frequência na vizinhança.

O peso varia de 1 a 7, e define o número de vezes que será considerada a frequência do ponto central.

O limiar varia também de 1 a 7, e é o valor de frequência acima do qual o ponto central é modificado.

Por exemplo, para a janela de uma imagem classificada como o exemplo a seguir (cada número representa uma cor de uma classe), será avaliado o "pixel" central pertencente à classe 2:

3	3	1
5	2	3
5	5	5

Considera-se um peso e um limiar iguais a 3 e obtém-se a seguinte frequência de classes:

Classe	1	2	3	5
Frequência	1	3	3	4

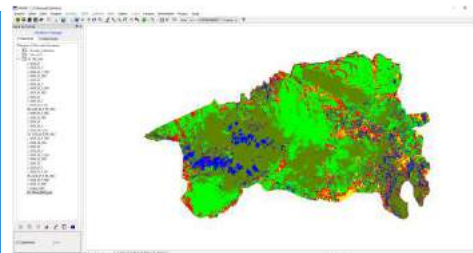
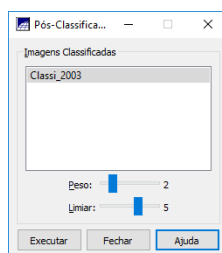
A tabela acima indica que a classe 1 ocorre uma vez; a classe 3 ocorre três vezes e a classe 5, quatro vezes. A frequência da classe 2 é considerada 3, pelo fato do peso definido ser 3. O limiar igual a 3 fará com que o ponto central (de classe 2) seja atribuído à classe 5, cuja frequência (4) é maior que o limiar definido.

A janela classificada com seus temas uniformizados torna-se:

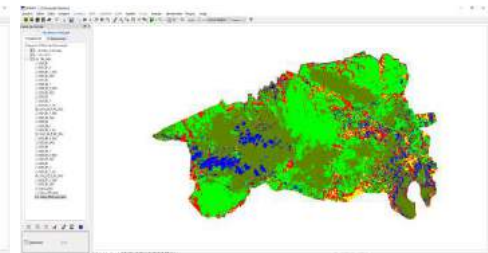
3	3	1
5	5	3
5	5	5

A definição de peso e limiar dependerá da experiência do usuário e das características da imagem classificada. Quanto menor o peso e menor o limiar, maior o número de substituições que serão realizadas.

- ✓ Ative o PI “Classi\_2003”; no menu superior horizontal escolha “Imagem”, depois, “Classificação”; clique no botão “Pós-Classificação...”; em “Imagens Classificadas” clique em “Classi\_2003”; aceite o Peso: 2 e Limiar: 5; “Executar”;
- ✓ Realize outra pós-classificação, desta vez escolhendo a imagem classificada “Classi\_2003\_pos” e mude o Peso: 1 e Limiar: 3 e compare os resultados:

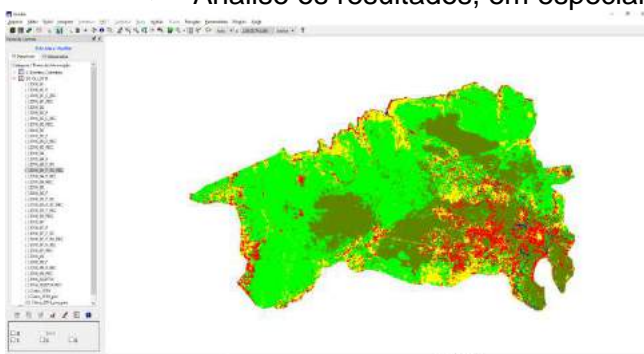


Classi\_2003\_pos | Peso=2 e Limiar=5



Classi\_2003\_pos\_pos | Peso=1 e Limiar=3

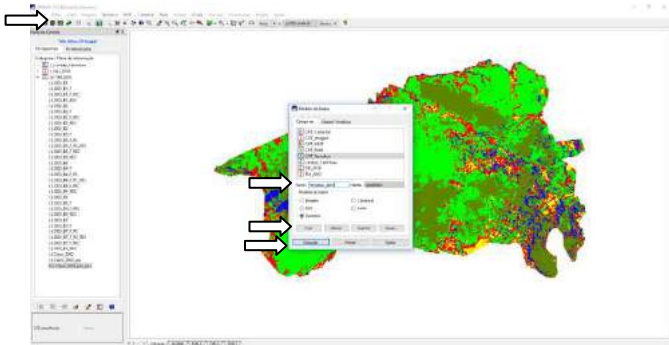
- ✓ Repita os passos 15 e 16 com a categoria “OLI\_2016” (dica: use RGB754);
- ✓ Analise os resultados, em especial a classe “Antro”:



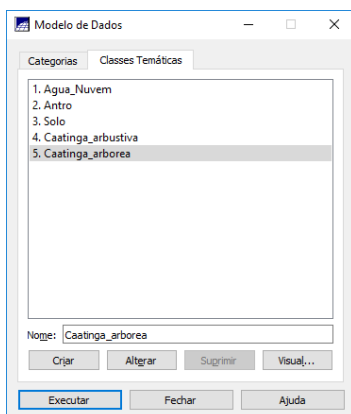
## ➤ PASSO 17: Realizando um Mapeamento Temático

Nesta etapa, vamos associar as áreas classificadas para as devidas classes temáticas no modelo de dados Temático. Este modelo é necessário para as etapas posteriores de quantificação e análise espacial.

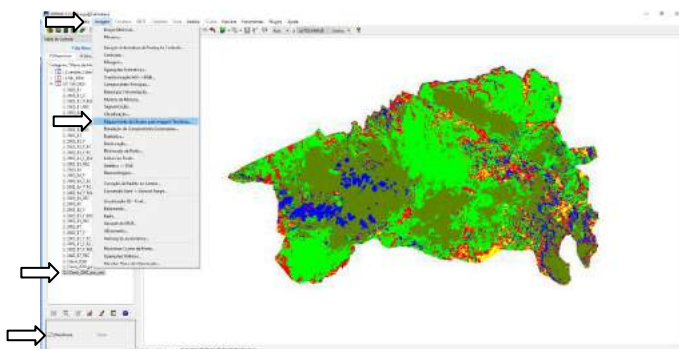
- ✓ Crie um Modelo de Dados tipo “temático” com o nome “Tematico\_2003”; “Criar”; “Executar”:



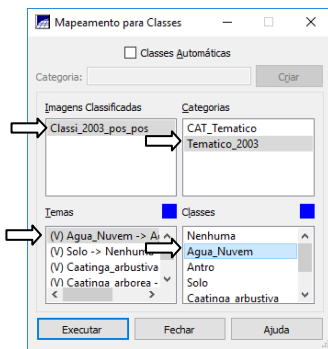
- ✓ Após, crie as seguintes Classes Temáticas, associando com as seguintes cores (podem ser as mesmas da classificação supervisionada):
- ✓ Após criar e executar a nova categoria no Modelo de Dados do Spring, clique na Categoria criada “Tematico\_2003”, depois na aba “Classes Temáticas” (após cada modificação, sempre clicar em “Executar” para confirmar a operação no Banco de Dados do Spring):



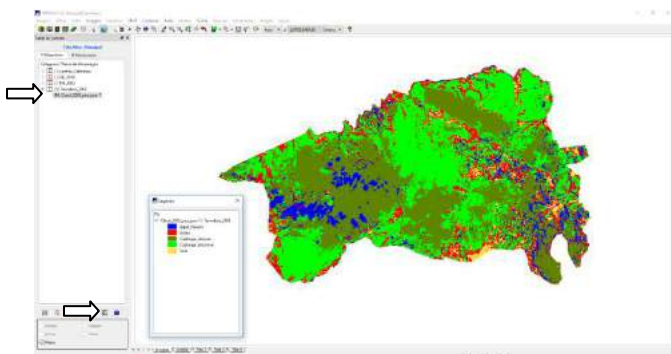
- ✓ No Menu Superior Horizontal, clique na opção “Imagem”, depois “Mapeamento de Classes para Imagem Temática” (deixe o último PI da pós-classificação ativo):



- ✓ Na caixa de diálogo “Mapeamento para Classes”, escolha a imagem classificada “Classi\_2003\_pos\_pos”, depois a categoria “Tematico\_2003”, e associe cada tema à classe correspondente, bastando clicar primeiro no tema e depois na classe respectiva; “Executar”:



- ✓ Observe, no Painel de Controle, que foi criado um novo PI temático; você pode ativar a legenda:

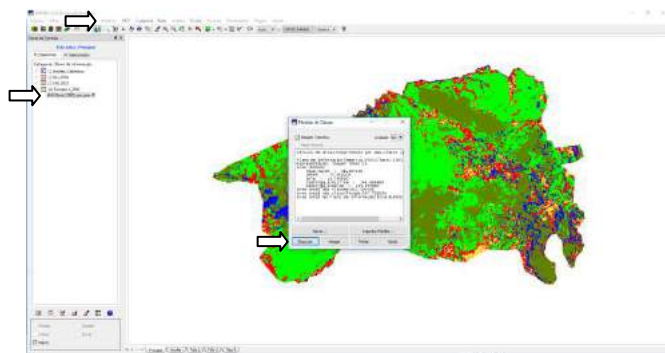


- ✓ Repita o mesmo passo anterior, aplicando no modelo “OLI\_2016”; utilize os mesmos nomes para as classes temáticas.

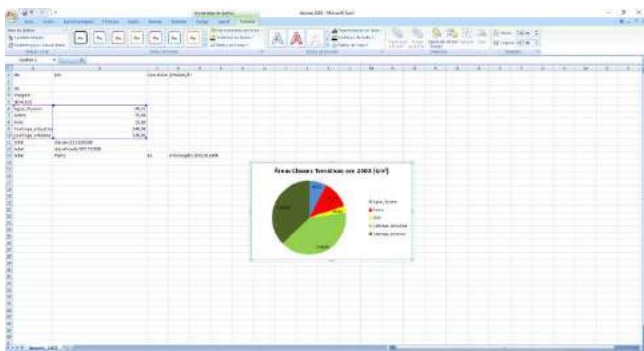
### ✓ PASSO 18: Quantificação de classes temáticas

Nesta etapa vamos quantificar as áreas temáticas para cada data, em km<sup>2</sup>, e editar os resultados numa planilha eletrônica Excel.

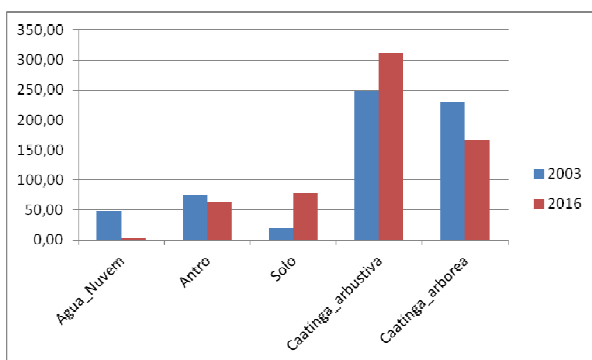
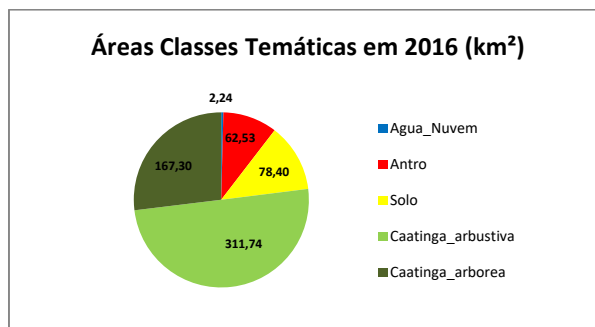
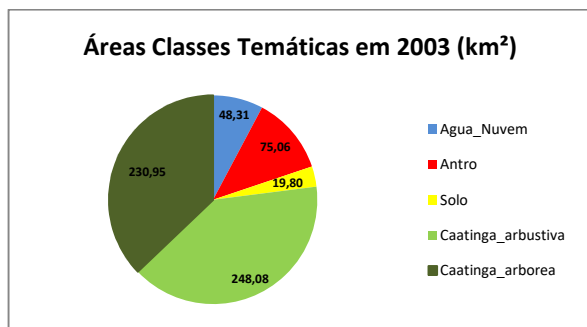
- ✓ Deixe ativo o PI temático “Classi\_2003\_pos\_pos\_T”; no menu superior horizontal, na opção “Temático”, escolha “Medidas de Classe”; “Executar”; salve na pasta /Curso\_SR/Docs com o nome “classes\_2003” no formato \*.txt:



- ✓ Abra o programa Excel, depois abra o arquivo criado, importando-o (vá até a pasta onde salvou o arquivo no passo anterior); importe-o com tabulação fixa, ignorando campos desnecessários; crie um gráfico de pizza com os dados; edite cores para coincidir com as classes temáticas no Spring:



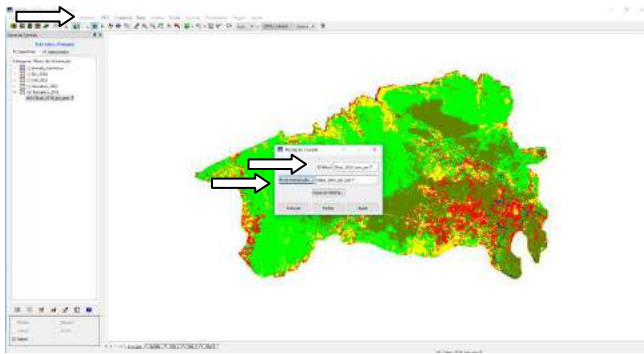
✓ Repita o passo anterior para a categoria “Temático\_2016”.



### ✓ PASSO 19: Tabulação Cruzada

Neste passo vamos cruzar as áreas das duas datas para avaliar as mudanças (ganhos e perdas) por cada área.

No menu superior horizontal, em “Temático”, escolha “Tabulação Cruzada”; o PI Ativo deverá ser “Classi\_2016\_pos\_pos\_T” e o “PI de Intersecção...” deverá ser o “Classi\_2003\_pos\_pos\_T”; “Executar”; observe o “Relatório de Dados”:



Vamos escolher a classe temática “Caatinga\_arborea” e verificar os ganhos e perdas desta classe entre os anos de 2003 e 2016:

Relatório de Dados

	Solo	Caatinga_arbustiva	Caatinga_arborea
Solo	3623	35812	14495
Caatinga_arbustiva	24220	17631	1395
Caatinga_arborea	17014	5846	460

Tabela cruzada de áreas (em KmXKm):

Plano-1 (nas linhas): Classi\_2016\_pos\_pos-T  
Plano-2 (nas colunas): Classi\_2003\_pos\_pos-T

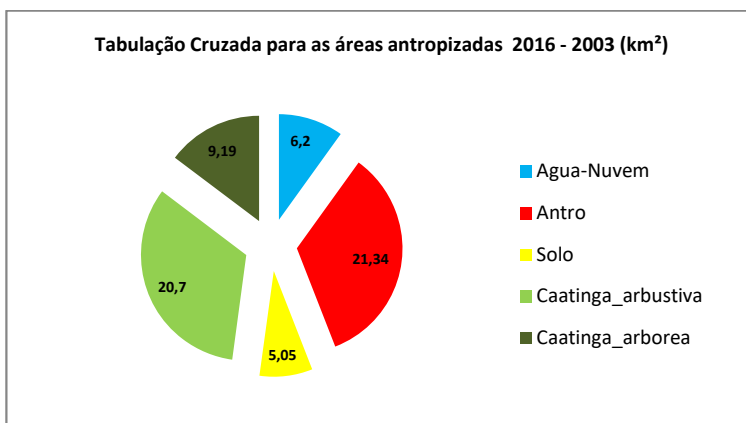
	Agua_Nuvem	Antro	Solo	Caatinga_arbustiva	Caatinga_arborea
Agua_Nuvem	1.7199	0.2988	0.0135	0.0558	
Antro	6.2037	21.3390	5.0517	20.7027	
Solo	3.2607	32.2308	13.0455	26.5716	
Caatinga_arbustiva	21.7980	15.8679	1.2555	169.6446	
Caatinga_arborea	15.3126	5.2614	0.4140	31.0626	

Tabela cruzada de áreas (em hectares):

Plano-1 (nas linhas): Classi\_2016\_pos\_pos-T  
Plano-2 (nas colunas): Classi\_2003\_pos\_pos-T

Salvar... Apagar Fechar Ajuda

- ✓ Edite os valores numa nova planilha Excel; gere um gráfico de pizza e analise os resultados:



Conclusão: Para esta classe específica (“Antropizadas”), 9,19 km² em 2016 eram áreas de caatinga arbórea em 2003 e 20,7 km² eram área com caatinga arbustiva em 2003. Logo, houve uma degradação ambiental no período observado, pois áreas com vegetação de caatinga em 2003 se converteram em áreas antropizadas em 2016.

Você também poderá escolher outras classes e analisar os resultados.



## 4. Análise Espacial – Aspectos teórico-metodológicos

### 4.1 Álgebra de mapas com LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – sobre as mudanças no uso e ocupação do solo do Parque Nacional do Catimbau: reflexão conceitual e aplicação em estudo de caso

#### Programação em LEGAL (INPE, 2017):

Em uma álgebra de mapas, operações podem ser descritas segundo expressões similares às utilizadas na matemática para a descrição de operações aritméticas e booleanas, exceto pelo fato de envolverem representações de dados espaciais ao invés de números. Uma linguagem para definir tais expressões algébricas deve permitir a descrição de operações **locais**, **focais** e **zonais**.

Operações **locais** são as que caracterizam cada posição de uma área de trabalho vista sob uma dada resolução espacial, em função de valores associados a posições equivalentes em uma ou mais representações de dados sobre a mesma área.

Operações **focais**, ou de vizinhança, na verdade não são explicitamente previstas na linguagem, podendo ser definida uma classe significativa de tais operações, através de um mecanismo de acesso a posições vizinhas de cada posição focal integrado às expressões que descrevem operações locais.

Operações **zonais** resultam na avaliação de estatísticas simples sobre valores definidos por operações pontuais e distribuídos por zonas dadas através de feições vetoriais (polígonos, linhas e pontos) ou por regiões definidas através de operações booleanas.

A linguagem LEGAL é fortemente baseada no modelo de dados Spring. Os operadores atuam sobre representações de dados dos modelos **Numérico** (grades regulares), **Imagem**, **Temático**, **Cadastral** e **Objeto**. Os modelos Objeto e Cadastral são complementares, e essencialmente permitem a espacialização de atributos de tabelas de bancos de dados sob a forma de mapas cadastrais. A coerência entre modelo de dados e operadores é considerada na interpretação de sentenças da linguagem, garantindo um maior controle semântico na definição de modelos espaciais. Mensagens de erro de sintaxe e execução ajudam o usuário na construção de programas.

Um **programa em LEGAL** consiste de uma sequência de **operações** descritas por **sentenças** organizadas segundo **regras gramaticais**, envolvendo **operadores**, **funções** e **dados** espaciais, categorizados segundo o modelo de dados Spring, e representados em **planos de informação** e **mapas cadastrais** de um mesmo banco de dados / projeto Spring. Planos das categorias **Numérico** e **Imagem** correspondem a representações em **formato matricial**. A maioria dos operadores sobre planos do modelo **Temático** também faz uso de representações matriciais. Mapas do modelo **Cadastral**, que representam espacialmente dados do modelo **Objeto**, fazem uso de representações no **formato vetorial**.

#### Estrutura de um Programa em LEGAL

Um programa em LEGAL é constituído de uma lista de sentenças que descreve um procedimento, isto é, um conjunto de ações sobre dados espaciais, que faça sentido no contexto de alguma disciplina de Sistemas de Informação Geográfica. Tais sentenças em LEGAL são estruturadas em quatro grupos:

- **Declarações** de variáveis:
- **Instanciações**: de variáveis:
- **Operações** da álgebra de mapas:
- **Comandos** de controle

As **declarações** definem variáveis que serão associadas aos dados fornecidos ou produzidos num programa. Uma **variável** consiste de um **nome**, que é então associado a um **modelo** e uma **categoria** que irão caracterizar os planos de informação, mapas cadastrais, objetos ou tabelas de transformação que possam ser por ela representados ao longo de um programa.

Nas **instanciações**, variáveis são efetivamente associadas a planos de informação, objetos, mapas cadastrais ou tabelas de transformação. Correspondem à uma operação de **recuperação** de dados já existentes no banco de dados, ou de **criação** de um novo dado representado em algum plano de informação ou mapa cadastral.

**Operações** correspondem à aplicação de um ou mais operadores ou funções sobre variáveis declaradas e instanciadas previamente; são descritas por **expressões** algébricas, segundo regras gramaticais que permitem a definição recursiva de operações complexas à partir de outras mais simples, com base nas propriedades dos dados e operadores envolvidos. Cada sentença envolvendo que defina uma operação, descreve uma **operação de atribuição**, que consiste de atribuir o resultado da avaliação de uma expressão algébrica a uma variável previamente definida de um programa.

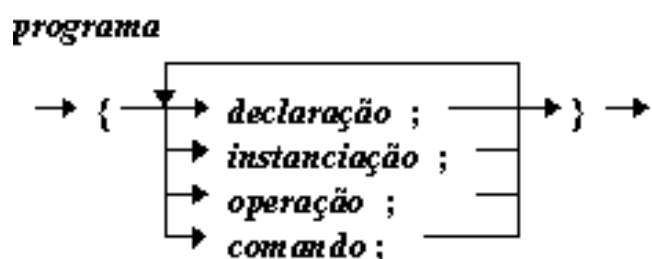
Os **Comandos** de controle permitem o controle do fluxo de processamento de um programa, não são algébricas por si só. Entretanto são fundamentais para a modelagem de situações que envolvam a execução alternativa, condicional ou repetitiva de conjuntos de operações.

## Diagramas Sintáticos

Cada sentença em Legal pode envolver **símbolos** (por exemplo, '{', '(', ';', ','); **operadores** (por exemplo, '+', '\*', '&&', '||', '<', '<=', '!='); **palavras reservadas** (Novo, Tematico, Nome, ResX, Atribua etc); **nomes de variáveis** (solos, veg, atitudes, ind\_verde etc); **nomes de itens** de um banco de dados Spring (planos de informação, mapas cadastrais, categorias, geoclasses, atributos etc)

A descrição de sentenças, sob a forma de diagramas sintáticos procura indicar, através das setas, os possíveis caminhos para compor sentenças válidas em LEGAL. Nesses diagramas as palavras em **negrito com inicial Maiúsculo**, indicam palavras reservadas de uso mandatório, da linguagem; as palavras **em minúsculos** indicam nomes de variáveis; as palavras **entre aspas** indicam nomes de itens do banco de dados, finalmente, as palavras em **itálico** indicam itens sintáticos que serão descritos por um diagrama à parte.

O item **programa** corresponde ao seguinte diagrama sintático:



O diagrama na figura acima indica que um programa em LEGAL inicia-se por um '{', pode ter várias **sentenças** dos tipos **declarações**, **instanciações** e **operações**, terminadas por ';' e encerra-se com um '}'.

### Exemplo:

Para ilustrar, veja a seguir um exemplo simples: um programa para determinar uma grade regular de índices de vegetação, calculados, para cada posição da grade, a partir de imagens correspondentes às bandas 3 e 4 do sensor LANDSAT TM, dado pela expressão.

$$\text{ivdn} = (\text{banda 4} - \text{banda 3}) / (\text{banda4} + \text{banda3}).$$

O Objetivo aqui é ilustrar com um exemplo simples as preocupações típicas ao representar uma expressão como acima em LEGAL.

É preciso **declarar** algumas **variáveis** que irão representar, para o programa, cada uma das imagens LANDSAT envolvidas (dados de entrada), bem como uma variável para representar a grade resultante (dado de saída).

Assim, é necessário definir tres variáveis, por exemplo: **banda3**, **banda4** e **ivdn**. As duas primeiras serão associadas à uma categoria do modelo **Imagem**, por exemplo, "**Landsat\_TM**", enquanto a terceira será associada a uma categoria do modelo **Numérico**, por exemplo, "**Indices**". As categorias entre "aspas" devem estar definidos no modelo de dados do BD Spring ativo.

Assim chegamos às declarações:

```
Imagem banda3, banda4 ("Landsat_TM");  
Numerico ivdn ("Indices");
```

É preciso **instanciar** as variáveis, isto é, associa-las a planos de informação do **projeto** Spring, contendo as representações a serem efetivamente envolvidas em operações "algébricas". Para o nosso exemplo é preciso:

1. associar as variáveis **banda3** e **banda4** a imagens existentes em planos de informação, de nomes, por exemplo: "**TM3**" e "**TM4**", através do operador **Recupere**.
2. associar a variável **ivdn**, através do operador **Novo**, a um plano de informação, de nome, por exemplo: "**IVDN**", que será criado para armazenar o resultado da operação.

O operador **Recupere** é usado para associar um **plano de informação existente** a uma variável, enquanto o operador **Novo** implica na criação de um **novos plano de informação**, a ser associado à variável.

Assim, chegamos às instanciações:

```
banda3 = Recupere (Nome = "TM3" );  
banda4 = Recupere (Nome = "TM4" );  
ivdn = Novo (Nome = "IVDN", ResX = 30, ResY = 30 );
```

Observe que alguns parâmetros além do nome devem ser informados no caso da criação de novos planos através da linguagem.

Finalmente, são definidas as **operações**, envolvendo as variáveis previamente declaradas e instanciadas. Isto significa descrever com base em regras sintáticas as expressões que traduzem as operações que se deseja avaliar. As expressões aritméticas sobre dados espaciais

satisfazem as mesmas regras quanto a prioridades e propriedades que suas análogas para domínios escalares, isto é:

1. A multiplicação e divisão têm prioridade de execução com relação à soma e subtração;
2. A introdução de parênteses ('(' e ')') permite alterar a ordem natural de prioridades.
3. Propriedades como a associatividade, comutatividade e distributividade dos operadores aritméticos e booleanos usuais se estendem naturalmente para domínios espaciais.

Assim chegamos à operação:

**ivdn = Numérico ((banda4 - banda3) / (banda4 + banda3));**

O termo Numérico aqui indica que os resultados obtidos através da uma expressão envolvendo imagens devem ser entendidos como valores a serem armazenados em uma grade regular, afim de permitir a representação de números reais, e não apenas inteiros como é o caso dos valores armazenados em uma imagem.

O programa completo em LEGAL teria as seguintes linhas:

```
{  
  Imagem banda3, banda4 ("Landsat_TM");  
  Numerico ivdn ("Indices");  
  banda3 = Recupere (Nome="TM3");  
  banda4 = Recupere (Nome="TM4");  
  ivdn = Novo (Nome = "IVDN", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 100000, Min = 0,  
Max = 1 );  
  ivdn = Numerico ( ( banda4 - banda3 ) / ( banda4 + banda3 ) );  
}
```

## Declarações

Uma declaração consiste da definição de variáveis que serão associadas aos planos de informação, mapas cadastrais, objetos, tabelas de transformação e valores reais envolvidos em um programa em LEGAL.

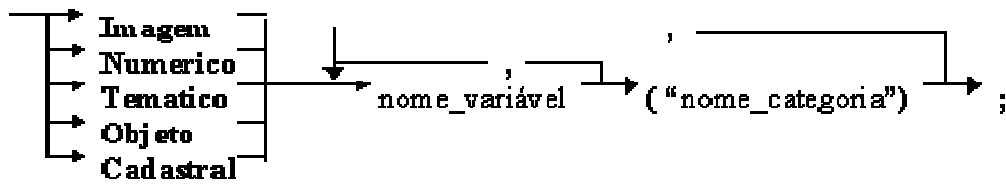
Uma variável: pode ser de modelo **Temático**, **Numérico**, **Imagem**; **Cadastral** e **Objeto**. Existem ainda as de tipos auxiliares, associadas a **Tabela**, declaradas de modo similar aos outros, e as associado a números **Reais**, que essencialmente não precisam ser declaradas.

As variáveis dos modelos **Temático**, **Numérico** e **Imagem** são frequentemente referidas por **variáveis de campo** e correspondem ao conceito de campo adotado no modelo de dados Spring referente a dados com extensão espacial. De uma certa forma, o modelo **Cadastral** pode ser visto também assim, embora tenha como finalidade principal oferecer um suporte para extensão espacial de objetos.

O modelo **Objeto** pode ser usado em operações envolvendo campos, através da associação entre objetos e feições vetoriais representadas em um mapa cadastral (pontos, linhas e polígonos). Entretanto é possível definir uma extensa classe de expressões algébricas envolvendo apenas objetos e seus atributos, sem nenhuma associação espacial com mapas.

A declaração de uma variável consiste em associar seu **nome** a um **modelo** e **categoria** do banco de dados **Spring** ativo..A partir daí essa variável poderá ser associada a planos de informação, mapas cadastrais ou objetos, da categoria e modelo especificados.

#### Sintaxe:



O primeiro termo indica o **modelo de dados** a ser associado à variável, o **nome\_variável** será seu identificador para todo o programa. O **nome\_categoria**, entre aspas e parênteses, indica a categoria no banco de dados ativo associada às representações (campos) instanciadas à variável ao longo de um programa.

#### Exemplos:

```

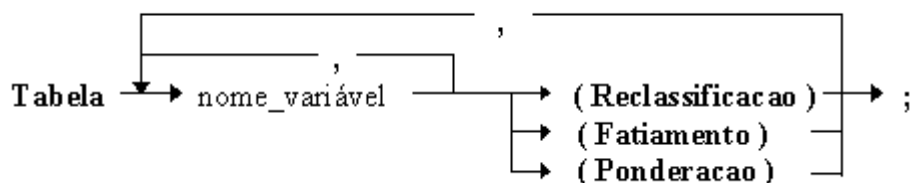
Tematico solo("Solos"), geo("Geologia");
Numerico alti1 ("Altimetria");
Imagem banda3, banda4 ("LandSat");
Objeto obj ("Estados");
Cadastral cad ("DivisaoEstadual");

```

#### Declaração de Variáveis de Tabelas.

Variáveis do tipo Tabelas de Transformação são usadas para definir operações baseadas no mapeamento entre campos de diferentes categorias do modelo de dados Spring (Tematico-Tematico, Numerico-Tematico e Tematico-Numerico). Na declaração de variáveis tabelas de transformação o termo **Tabela** é seguido de um nome da variável e de um termo indicando o tipo de transformação - **Reclassificacao**, **Fatiamento** ou **Ponderacao** - As categorias e valores que definem o mapeamento serão estabelecidos na fase de instanciação de **variáveis\_tabelas**.

#### Sintaxe:



#### Exemplos:

```

Tabela fatias (Fatiamento), pesos (Ponderacao);
Tabela reclass (Reclassificacao);

```

#### • Instanciações

A instanciação consiste da associação efetiva de planos de informação a variáveis dos modelos **Tematico**, **Numerico** e **Imagem**; ou mapas cadastrais a variáveis do modelo **Cadastral**, ou ainda tabelas de transformação a variáveis **Tabela** previamente declaradas.

Variáveis do modelo **Objeto**, não estão associadas a representações espaciais por si, são apenas declaradas, os atributos de objetos são referidos explicitamente pelo nome do atributo como definido no modelo de dados do banco Spring ativo.

Também no caso de variáveis **Reais**, não existe uma representação espacial envolvida, a declaração e instanciação se confundem, isto é, a simples atribuição de algum valor real a um nome de variável, que não tenha sido declarado anteriormente, define uma tal variável.

Através do operador **Novo**, novos planos de informação ou tabelas são criados e associados a variáveis previamente declaradas. A associação de variáveis a planos de informação e mapas cadastrais previamente criados, é feita através do operador **Recupere**.

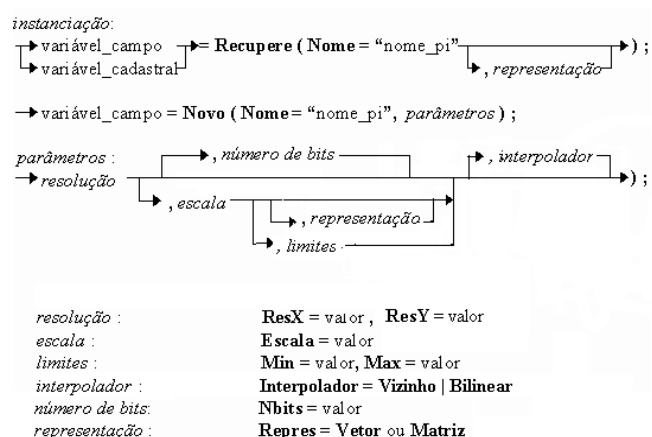
### Instanciação de Variáveis de Campos e Cadastrais

A criação, através do operador **Novo**, de um plano de informação associado à uma **variável** de modelo **Temático**, **Numérico** ou **Imagem**, exige o fornecimento de alguns parâmetros, além do nome, conforme o modelo de campo, a saber:

<b>Nome</b>	Plano de informação a ser associado à uma variável
<b>ResX e ResY</b>	Resolução sob a qual um plano será considerado em operações
<b>Escala</b>	Escala para planos temáticos e numéricos. Se omitido, o valor 1 é assumido
<b>Min e Max</b>	Faixa de valores estimados para uma grade numérica a ser criada
<b>Repres</b>	Representação a ser considerada. Pode assumir os valores <b>Matriz</b> ou <b>Vetor</b> . Se omitido, o valor <b>Matriz</b> será considerado
<b>Nbits</b>	Número de bits para pixels de imagens. Se omitido, o valor 8 sera considerado.
<b>Interpolador</b>	Modo de interpolação para geração de grades ou imagens. Pode assumir os valores <b>Vizinho</b> ou <b>Bilinear</b> . Se omitido, o valor Bilinear é assumido

Observe que não é prevista a criação de dados do modelo **Cadastral**, eles são apenas recuperados, nenhuma operação prevista na linguagem resulta em um novo mapa cadastral.

#### Sintaxe:



Para a instanciação de uma variável através do operador **Recupere**, deve ser indicado o termo **Nome** seguido do nome do plano de informação ou mapa cadastral existente no projeto ativo (indicados no **Painel de Controle do Spring**).



O tipo de *representação* quando omitido é entendido como **Matriz** para planos de informação, e **Vetor** para mapas cadastrais. Algumas operações sobre planos de informação temáticos podem fazer uso da representação vetorial, nesse caso, o termo **Repres = Vetor** deve ser indicado explicitamente.

Os parâmetros **Min** e **Max** consistem de estimativas feitas pelo usuário sobre a faixa de valores prevista para uma grade numérica definida pelo operador Novo. Entretanto, ao final das operações que resultam nessa grade, os valores mínimo e máximo efetivamente encontrados serão registrados no plano de informação correspondente. Para grade numéricas e imagens, pode-se ainda informar o tipo de interpolação a ser adotado quando existir diferença entre a resolução de uma nova grade ou imagem e a resolução de planos envolvidos em sua criação. Assim, o termo **Vizinho** irá indicar o modo de interpolação por **vizinho mais próximo** e o termo **Bilinear** indica uma interpolação **bilinear**. No caso de planos temáticos envolvidos em operações a interpolação por **vizinho mais próximo** será sempre adotada.

**NOTA:** Variáveis de campo instanciadas pelo operador **Recupere**, podem também ser usadas para armazenar resultados de operações de atribuição, nesse caso as posições de um plano são simplesmente alteradas com relação a um estado anterior do dado.

### Exemplos:

```
tema = Recupere (Nome = "baciashidrograficas");
alti = Recupere (Nome = "CotasAltimetricas");
ima = Recupere (Nome = "TM4");
```

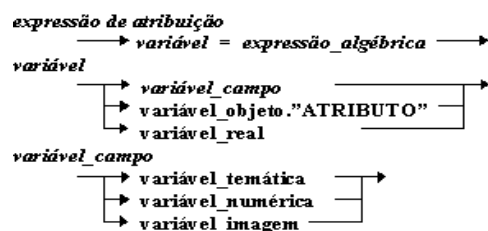
```
solo = Novo (Nome = "Solos_A", ResX=50, ResY=50, Escala=100000, Repres = Vetor);
alt1 = Novo (Nome = "Altimetria", ResX=50, ResY=50, Escala = 1000, Min=0, Max=100);
ima = Novo (Nome = "ImagemTM_Res", ResX=30, ResY=30);
ima = Novo (Nome = "ImagemTM_Res", ResX=30, ResY=30, Nbits = 16);
alt2 = Novo (Nome = "Altimetria", ResX=50, ResY=50, Escala = 1000, Min=0, Max=100, Interpolador = Vizinho);
```

## Operações

Após a declaração e instanciação de variáveis segue-se a definição das operações válidas sobre elas. **Operações** são sequências de um ou mais operadores sobre dados associados às variáveis declaradas e instanciadas previamente no programa. São descritas por **expressões algébricas** da linguagem

Uma sentença que descreve operações em LEGAL, corresponde à uma **expressão de atribuição**, na qual o resultado da avaliação de uma **expressão algébrica** é atribuído à uma **variável** previamente definida e instanciada.

### sintaxe:



Em função do modelo de dados resultante, tais expressões podem ser classificadas em: **expressões temáticas**, **numéricas**, **imagens**, **reais** e **objeto**.

As **expressões zonais**, têm também seus resultados atribuídos a variáveis dos modelos **Temático**, **Numérico**, **Objetos** e **Reais**. Entretanto, ainda não existem regras gramaticais na linguagem que permitam o sua participação em expressões algébricas mais complexas, envolvendo outros operadores da linguagem, em uma mesma sentença. Este é também o caso dos operadores **Espacialize** e **FatieAtributo**. Tais expressões serão consideradas juntas, no grupo das **expressões zonais**.

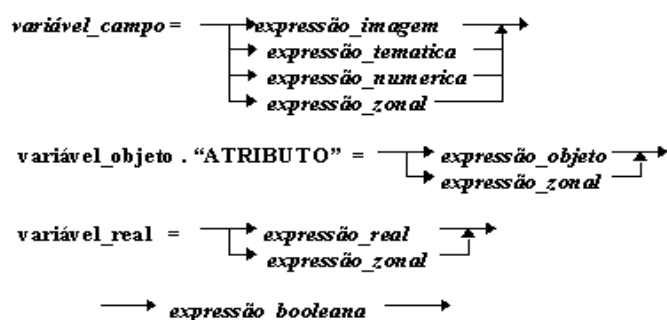
Nas *expressões\_objeto*, os objetos são tratados de modo independente de qualquer associação a mapas cadastrais. Isso oferece alguns recursos para a manipulação de **atributos** de um **mesmo objeto**, de uma maneira não espacial. Toda a funcionalidade válida para dados quantitativos e qualitativos está disponível para essa classe de expressões, sempre que os tipos de atributos envolvidos sejam consistentes com os operadores utilizados.

As *expressões\_reais* envolvem números e variáveis reais e toda funcionalidade de operadores e funções matemáticas disponíveis para dados quantitativos, podem ser usadas em operações não espaciais como no caso das expressões objetos, mas, principalmente, podem também participar de expressões mais complexas envolvendo campos quantitativos.

Talvez a mais significativa classe de operações disponível seja a das *expressões\_booleanas*. Seus resultados nunca são atribuídos a variáveis de qualquer tipo. São expressões auxiliares que permitem a definição de regiões a partir de comparações entre resultados de expressões dos outros tipos.

**sintaxe:**

*expressões de atribuição (mais detalhes)*



Todos os operadores envolvidos em expressões dos tipos associados a campos (**Temáticos**, **Imagens** e **Numéricos**), bem como as expressões **Booleanas**, pertencem à classe dos operadores **Locais**. Entre eles estão os **operadores aritméticos** '+', '-', '\*', '/' e '^', as **funções matemáticas** (sin, cos, asin, acos, atan, log, log10, exp, sqrt etc.), as **transformações por tabelas** (Fatie, Pondere e Reclassifique), os operadores **booleanos** (&&, ||, |, !, >, >=, ==, !=, <=, <) o operador **condicional** ('?'), o de **atribuição condicional** (Atribua) e outros definidos na linguagem. Tais operadores atuam sobre cada um dos elementos de representações matriciais de imagens, mapas temáticos ou grades numéricas.

Uma extensa classe de operações de **Vizinhança**, podem ser implementadas em LEGAL à partir da referência explícita aos elementos vizinhos a cada posição, num percorrimto pontual, como nas operações locais. Tal estratégia de posicionamento relativo consiste de indicar um valor de deslocamento, em termos do número de **linhas** e de **colunas**, relativo a cada posição caracterizada, de modo que elementos vizinhos, em um ou mais planos envolvidos em uma expressão algébrica, possam ser considerados na caracterização de cada posição resultante.

Assim, se uma variável aparece em uma expressão algébrica de forma indexada: ( por ex.: *variavel* [i, j] ), isso indica que o valor a ser considerado em sua avaliação refere-se ao da posição dada pelo deslocamento de 'i' linhas e 'j' colunas relativas a cada posição percorrida para obtenção do resultado ponto a ponto.

As operações **Zonais** permitem a avaliação de estatísticas simples (**maioria**, **media**, **maximo**, etc) sobre valores definidos por expressões aritméticas ou booleanas envolvendo campos (**Temáticos**, **Numéricos** ou **Imagens**) distribuídos sobre **zonas** definidas explicitamente por feições lineares (**polígonos**, **linhas** e **pontos**) de mapas cadastrais, ou implicitamente por expressões booleanas envolvendo variáveis de campos.

**Zonas** devem ser entendidas como regiões disjuntas que recobrem uma área de estudo, por exemplo: os temas de um mapa temático, as faixas de altitudes em uma grade altimétrica, os municípios em um mapa cadastral de divisão municipal, as regiões cujo tipo de solo dado por um mapa de solos coincidem com certas faixas de declividade dadas por um mapa de declividades, etc.

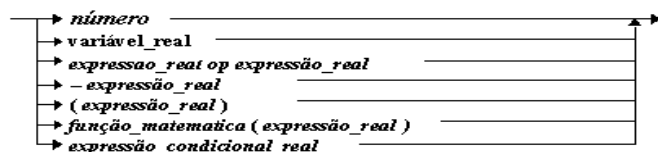
## Expressões Reais

As *expressões Reais* são definidas sobre constantes e variáveis reais (unidimensionais), como na aritmética usual e segundo suas regras usuais de formação de expressões e prioridades de operadores. Tais expressões podem ser vistas como auxiliares, já que o objetivo central da linguagem é trabalhar com dados espaciais. Os conceitos associados à variáveis e constantes unidimensionais serão extensivos ao de variáveis e constantes espaciais associadas aos domínios do modelo de dados Spring, e constituem o principal fundamento para a construção da linguagem LEGAL

A descrição sintática das *expressões reais* dada pelo diagrama abaixo, será útil neste texto também para ilustrar melhor o uso de diagramas sintáticos.

### Sintaxe:

**expressão\_real:**



**op :**

+ - \* / ^

**expressão\_condicional\_real:**

expressão\_booleana ? expressão\_real : expressão\_real

O item sintático principal, aqui é definido por *expressão\_real*; os símbolos +, -, \*, /, ^, representam operadores aritméticos; os parênteses, ( e ), permitem a alteração de prioridades entre operadores de uma expressão; **número** e **variável\_real**, representam operandos, que podem ser **números** ou **nomes de variáveis** e **constantes** que representam números; o item *função\_matemática* corresponde a nomes de funções matemáticas disponíveis:

sin, cos, tan	funções trigonométricas em radianos
asin, acos, atan	funções trigonométricas inversas
log, log10	funções logarítmicas na base <i>e</i> e na base 10
exp	exponencial na base <i>e</i>
sqrt	raiz quadrada
int	parte inteira de um número
abs	valor absoluto
rand	valor aleatório

### Exemplos:

- segundo as regras descritas pelo diagrama, é possível formar sentenças de tamanho ilimitado, bastando para isso seguir as setas indicadoras. Assim, vamos ilustrar a geração de uma operação simples como elevar ao quadrado, a soma de duas variáveis\_reais:

(A+B)^2 .....o quadrado da soma de duas variáveis:

Sejam A e B, duas variáveis reais previamente definidas, observe a sequência de passos para formação da expressão algébrica acima com base nas regras sintáticas:

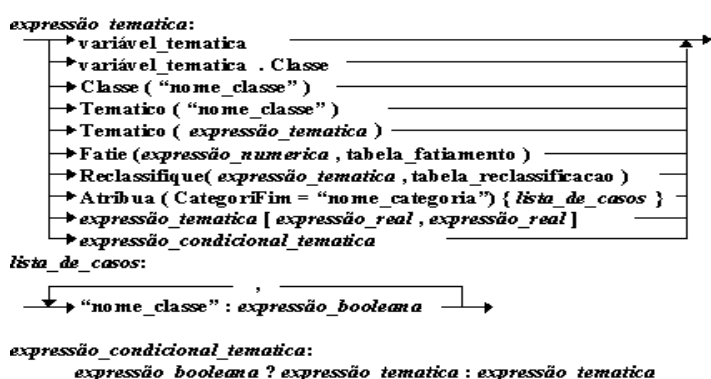
- A **segunda regra** implica que, isoladamente, **A** e **B** são **expressões\_reais**;
- A **terceira regra** implica que a soma **A + B** é uma **expressão\_real**;
- A **quinta regra**, implica que **(A+B)** é uma **expressão\_real**;
- A **primeira regra** implica que o número **2** é uma **expressão\_real**;

- A **terceira regra** implica que  $(A+B)^2$  é uma **expressão\_real**.

- **Expressão Real**
- **Expressão Imagem**
- **Expressão Numérica**
- **Expressão Temática**

No caso das **expressões de tipo Temático**, os operadores aritméticos perdem o sentido, já que os valores encontrados nos elementos de sua representação indicam geoclasses e não valores reais. Assim as expressões possíveis são aquelas que envolvem valores de geoclasses, tais como as transformações baseadas em tabelas e atribuição condicional.

### Sintaxe:



Qualquer palavra pode ser entendida como um **nome de geoclasse** desde que se use o operador **Temático** ou **Classe**, como mostram as regras 3 e 4. Um dado temático é normalmente entendido como qualitativo, os valores pontuais representam classes temáticas (**geoclasses**), identificadas por seus **nomes de geoclasse**, de modo que tais nomes são os próprios "valores" representados. Entretanto, é possível "maquear" os valores inteiros de uma imagem, vistos como índices de geo-classes, para geo-classes, como indica a regra 5.

Expressões booleanas, como será visto mais adiante, ao serem avaliadas, podem resultar em dois possíveis valores: VERDADEIRO ou FALSO.

O resultado da avaliação do operador **Atribua** depende da avaliação pontual de **expressões\_booleanas** associadas à classes temáticas. A primeira delas que resultar em um valor VERDADEIRO irá determinar a classe a ser tomada como resultado final.

O resultado da avaliação de uma **expressão\_condicional\_temática** depende da avaliação da **expressão\_booleana** que aparece antes do sinal "?". Se o resultado da **expressão\_booleana** for VERDADEIRO, a ação indicada pela **expressão\_temática1** que antecede do sinal ":" fornecerá o resultado final, caso contrário a **expressão\_temática2**, que segue-se ao sinal ":", fornecerá o resultado.

Exemplo de expressões temáticas:

- cl\_declividade = **Fatie** ( decliv , tab\_decliv ) ;  
desmat= **Reclassifique** ( cobertura , tab\_recl ) ;

```
aptidao= Atribua ( CategoriaFim = "Aptidao" )
{ "Boa" : (solo == "LatosoloRoxo" && decliv == "O-3" ) ,
  "Inapto" : (solo == "AreiaQuat" && decliv == ">8" ) };
```

- **Expressão Zonal**
- **Expressão Booleana**
- **Expressão Objeto**
- **Comandos**

### **Palavras Reservadas em LEGAL:**

São palavras reservadas da linguagem LEGAL:

- **DECLARAÇÃO**
  - [Imagem](#)
  - [Numérico](#)
  - [Temático](#)
  - [Objeto](#)
  - [Cadastral](#)
  - [Tabela](#)
  - [Atributo](#)
- **INSTANCIÇÃO**
  - [Recupere](#)
  - [Novo](#)
- **OPERAÇÃO**
  - [Atribua](#)
  - [Fatie](#)
  - [Pondere](#)
  - [Reclassifique](#)
  - [? : \(operador condicional\)](#)
  - [ReclAtrib](#)
  - [MediaZonal](#)
  - [MaxZonal](#)
  - [Espacialize](#)
  - [Atualize](#)
  - [MinZonal](#)
  - [VariedadeZonal](#)
  - [FaixaZonal](#)

- **PASSO 20: Escrevendo um algoritmo em LEGAL sobre as mudanças no Parna do Catimbau entre 2003 e 2016**

### ***Análise Geográfica***

As operações de consulta e manipulação de dados geográficos constituem a essência de um SIG, ao diferenciar o Geoprocessamento de tecnologias como Cartografia Automatizada e Projeto Auxiliado por Computador. O que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação são aquelas funções que possibilitam a realização de análises espaciais (geográficas). Tais funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais; buscando fazer simulações (modelos) sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos ou parâmetros.



O aspecto mais fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado geográfico possui uma *localização geográfica* (expressa como coordenadas em um mapa) e *atributos descritivos* (que podem ser representados num banco de dados convencional). Outro aspecto muito importante é que os dados geográficos não existem sozinhos no espaço: tão importante quanto localizá-los é descobrir e representar as relações entre os diversos dados. Alguns exemplos dos processos de análise espacial típicos de um SIG estão apresentados na tabela abaixo.

EXEMPLOS DE ANÁLISE ESPACIAL		
Análise	Pergunta Geral	Exemplo
Condição	O que está...	Qual a população desta cidade ?
Localização	Onde está...?	Quais as áreas com declividade acima de 20% ?
Tendência	O que mudou...?	Esta terra era produtiva há 5 anos atrás ?
Roteamento	Por onde ir.. ?	Qual o melhor caminho para o metrô ?
Padrões	Qual o padrão....?	Qual a distribuição da dengue em Fortaleza?
Modelos	O que acontece se...?	Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia ?

- ✓ Em nossa pesquisa vamos criar um novo Modelo de Dados Temático chamado “Análises” e algumas clases temáticas: *Recuperacao*, *Degradacao*, *Sem\_Mudancas* e *Nao\_se\_analisa*.

Para fazer isto, vamos escrever um programa em **LEGAL** para que você conheça o potencial desta linguagem de programação de álgebra espacial que está disponível no Spring.

Mas antes vamos fazer uma reflexão sobre as várias possibilidades de mudanças no uso e ocupação do solo do Parna do Catimbau. Esta reflexão teórico-conceitual é a chave de nossa pesquisa e aqui temos apenas um modelo de aprendizagem. Torna-se necessário antes de fazer a MATRIZ DE ANÁLISE uma pesquisa mais aprofundada sobre o tema que você está investigando, os modelos teóricos, autores, ideias, etc.

- ✓ Observe a tabela a seguir. Ela contém todas as possibilidades de cruzamento entre as classes temáticas de 2003 e 2016 que trabalhamos até o momento. Na coluna Análises está uma proposta de análises das mudanças:

Classi_2003_pos_pos-T	Classi_2016_pos_pos-T	Análise
Agua_Nuvem	Agua_Nuvem	Sem_Mudancas
Agua_Nuvem	Antro	Nao_se_analisa
Agua_Nuvem	Caatinga_arborea	Nao_se_analisa
Agua_Nuvem	Caatinga_arbustiva	Nao_se_analisa
Agua_Nuvem	Solo	Nao_se_analisa
Antro	Antro	Sem_Mudancas
Antro	Agua_Nuvem	Nao_se_analisa
Antro	Caatinga_arbustiva	Recuperacao
Antro	Caatinga_arborea	Recuperacao
Antro	Solo	Recuperacao
Caatinga_arbustiva	Caatinga_arbustiva	Sem_Mudancas
Caatinga_arbustiva	Agua_Nuvem	Nao_se_analisa
Caatinga_arbustiva	Caatinga_arborea	Recuperacao
Caatinga_arbustiva	Antro	Degradacao
Caatinga_arbustiva	Solo	Degradacao
Caatinga_arborea	Caatinga_arborea	Sem_Mudancas
Caatinga_arborea	Caatinga_arbustiva	Degradacao
Caatinga_arborea	Agua_Nuvem	Nao_se_analisa
Caatinga_arborea	Antro	Degradacao
Caatinga_arborea	Solo	Degradacao
Solo	Solo	Sem_Mudancas
Solo	Agua_Nuvem	Nao_se_analisa
Solo	Caatinga_arbustiva	Recuperacao
Solo	Caatinga_arborea	Recuperacao
Solo	Antro	Degradacao

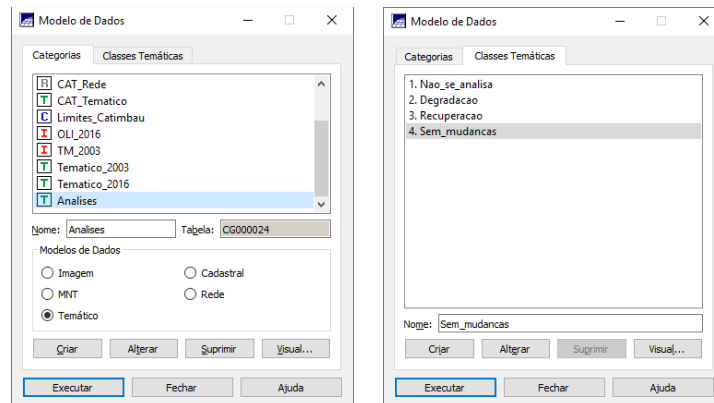


Desta tabela, resultam quatro novas classes:

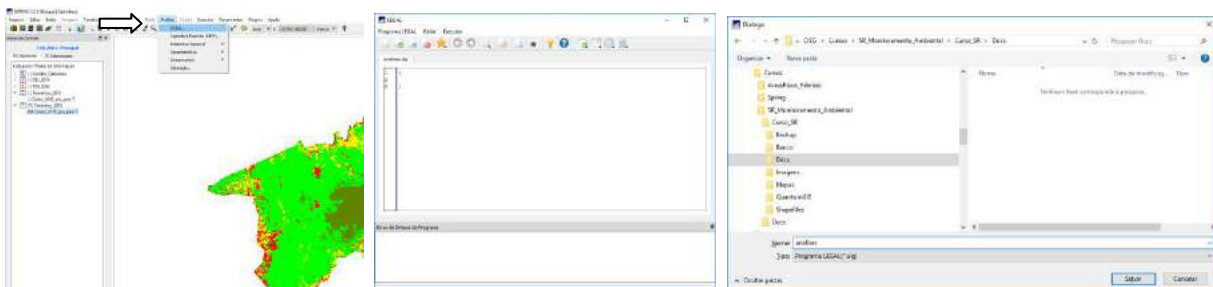
- ✓ Nao\_se\_analisa; Recuperacao; Degradacao; Sem\_Mudancas.

Agora vamos escrever um programa que faça as análises propostas e construa um PI com o mapeamento temático das quatro classes proposta na nossa reflexão conceitual.

Mas antes de escrever o programa, vamos criar um Modelo de Dados Temático Analises e depois vamos criar as quatro classes com diferentes cores (atenção com os nomes das classes: faça IGUAL à figura da direita abaixo):



- ✓ Clique em “Análise” no menu superior horizontal, depois “LEGAL”; em “Programa LEGAL”, clique em “Novo Programa LEGAL” e salve-o com o nome “analises” na pasta \Curso\SR\Docs:



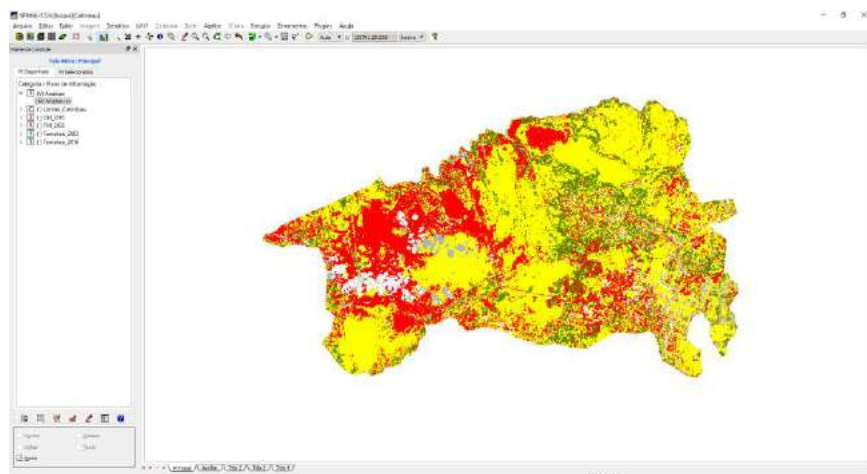
- ✓ Agora escreva o programa abaixo. Atenção com a sintaxe das variáveis, instanciações, comandos, PIs, etc:

```

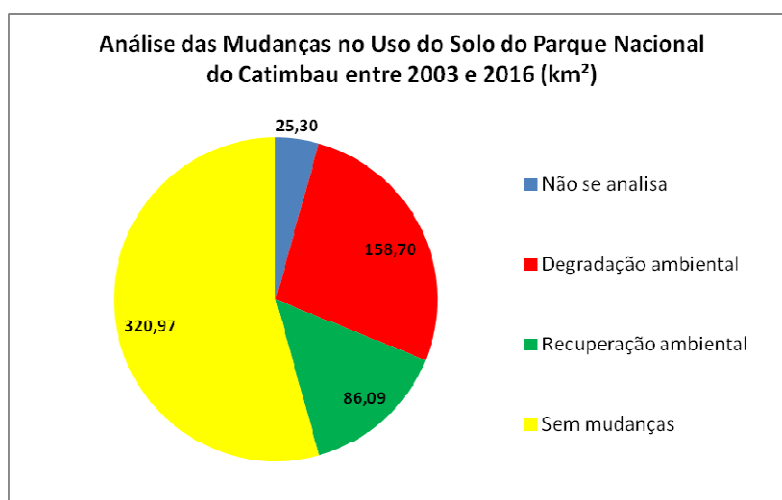
{
// Programa em LEGAL
// detecção de mudanças no uso do solo no Parna do Catimbau entre 203 e 2016
// Autor: (digite seu nome)
// Fundaj - CIEG
// Data: 03/05/2017
// Faz um cruzamento de Pis temáticos entre as classificações sup de 2003 e 2016
//
// Declaração de variáveis:
Tematico T2003 ("Tematico_2003");
Tematico T2016 ("Tematico_2016");
Tematico TMudancas ("Analises");
//Instanciações de variáveis:
T2003 = Recupere (Nome = "Classi_2003_pos-pos-T");
T2016 = Recupere (Nome = "Classi_2016_pos-pos-T");
//Operações:
TMudancas = Novo (Nome = "Mudancas", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
TMudancas = Atribua (CategoriaFim="Analises")
//Comandos:
{
"Nao_se_analisa":((T2003.Classe == "Agua_Nuvem" && T2016.Classe == "Antro")
|| (T2003.Classe == "Agua_Nuvem" && T2016.Classe == "Caatinga_arborea")
|| (T2003.Classe == "Agua_Nuvem" && T2016.Classe == "Caatinga_arborea")
|| (T2003.Classe == "Agua_Nuvem" && T2016.Classe == "Solo")
|| (T2003.Classe == "Antro" && T2016.Classe == "Agua_Nuvem")
|| (T2003.Classe == "Caatinga_arbustiva" && T2016.Classe == "Agua_Nuvem")
|| (T2003.Classe == "Caatinga_arborea" && T2016.Classe == "Agua_Nuvem")
|| (T2003.Classe == "Solo" && T2016.Classe == "Agua_Nuvem")
),
"Sem_mudancas":((T2003.Classe == "Agua_Nuvem" && T2016.Classe == "Agua_Nuvem")
|| (T2003.Classe == "Antro" && T2016.Classe == "Antro")
|| (T2003.Classe == "Caatinga_arbustiva" && T2016.Classe == "Caatinga_arbustiva")
|| (T2003.Classe == "Caatinga_arborea" && T2016.Classe == "Caatinga_arborea")
|| (T2003.Classe == "Solo" && T2016.Classe == "Solo")
),
"Recuperacao":((T2003.Classe == "Antro" && T2016.Classe == "Caatinga_arbustiva")
|| (T2003.Classe == "Antro" && T2016.Classe == "Caatinga_arborea")
|| (T2003.Classe == "Antro" && T2016.Classe == "Solo")
|| (T2003.Classe == "Caatinga_arbustiva" && T2016.Classe == "Caatinga_arborea")
|| (T2003.Classe == "Solo" && T2016.Classe == "Caatinga_arbustiva")
|| (T2003.Classe == "Solo" && T2016.Classe == "Caatinga_arborea")
),
"Degradacao":((T2003.Classe == "Caatinga_arbustiva" && T2016.Classe == "Antro")
|| (T2003.Classe == "Caatinga_arbustiva" && T2016.Classe == "Solo")
|| (T2003.Classe == "Caatinga_arborea" && T2016.Classe == "Caatinga_arbustiva")
|| (T2003.Classe == "Caatinga_arborea" && T2016.Classe == "Solo")
|| (T2003.Classe == "Solo" && T2016.Classe == "Antro")
)
};
}

```

- ✓ Clique em “Executar”; se houver erros de sintaxe o programa irá detectar e mostrar no console a linha do erro; verifique, corrija e execute-o novamente; veja o novo PI criado:



- ✓ Execute as Medidas de Classe (editadas no Excel) e analise os resultados do balanço ambiental e da metodologia utilizada neste curso:



#### 4.2 Conclusões (Relatório Parcial da Pesquisa “Mapeamento e Análise Espectro-Temporal das Unidades de Conservação de Proteção Integral da Administração Federal no Bioma Caatinga, Fundaj, 2017)

Como visto, o Parque Nacional do Catimbau apresenta uma beleza cênica em função de sua paisagem morfofodinâmica, na qual a Geomorfologia influencia na atividade de ecoturismo local, que consiste na relação da eficiência econômica e da proteção ambiental, proporcionando emprego e renda para a população local, mantendo a conservação de sua biodiversidade e, por conseguinte, do bioma Caatinga. Desta maneira, o Catimbau, embora marcado por conflitos socioambientais e constantes ameaças de incêndios florestais, consegue atingir seus objetivos legais quanto à preservação de sua flora e fauna característicos da Caatinga.

De fato, analisando as implicações socioambientais do Parna, foi verificado que as áreas protegidas proporciona conflitos e interesses das unidades gestoras ICMBio, a população local, aos grupos indígenas e governos municipais envolvidos na área. Estas relações envolvem percepções distintas que regem de forma distinta em valores e atitudes com o meio, em que a gestão dos recursos naturais renováveis e a conservação da biodiversidade, colidem com o interesse e a aceitação da comunidade direta ou indiretamente interessada ao acesso e uso destas áreas. A percepção e a educação ambiental é o caminho que apontam as estratégias de ações, de modelo de gestão mais participativa, entre os gestores e a população. Essas estratégias envolvem políticas, procedimentos e praticas que visem à manutenção dos sistemas naturais, de forma que a questão ambiental não seja negligenciada.

A questão ambiental na área do Parna Catimbau impulsiona os conflitos sobre a conservação da biodiversidade e a população do entorno, portanto, a categoria de proteção integral, fomenta em contribuir com a conservação dos recursos naturais da fauna e flora, principalmente as diversas fitofisionomias registradas na área. A vegetação existente na área se distribui entre os ecossistemas de Floresta Estacional, nas áreas a barlavento, ou nos brejos de exposição de ventos úmidos, Cerrado edáfico em função da base geológica sedimentar do Arenito e dos Neossolos Quartzarênicos e vegetação rupestre situadas no substrato que recobrem os afloramentos rochosos. O bioma predominante na área é a Caatinga, com fisionomias arbórea-arbustiva, arbustiva aberta e nas áreas degradadas arbustiva herbácea. Os estudos florísticos realizados apontam descoberta de novas espécies e de uma flora endêmica e diversificada, adaptadas aos condicionantes físicos do local.

Quanto ao mapeamento temático, observou-se a preocupante situação das áreas com degradação ambiental entre as datas de 2003 e 2016 (neste curso), especialmente devido às ações antrópicas. Estas ações foram caracterizadas pela presença de proprietários que aumentaram suas áreas de atividades agropastoris, como também pelos conflitos com as populações indígenas que se recusam a deixar a área do parna. Há, ainda, a incursão de atividades econômicas não compatíveis com áreas de proteção integral, especialmente nas bordas norte e porção sudoeste do parna, além de numerosos incêndios florestais que, ao longo do período estudado (13 anos), foram ocasionados pelos moradores de dentro e também do entorno do parque, para “limpar” áreas destinadas ao cultivo e criação extensivos.

## 5. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)

### 5.1 OPERAÇÕES ARITMÉTICAS

**Tema: Perda de vegetação natural (Caatinga) e biomassa no Parna do Catimbau entre 2003 e 2016 usando o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)**

➤ Contexto:

🌈 **O que é o NDVI?**

Em Sensoriamento Remoto existe um conjunto de parâmetros numéricos que permitem estimar e avaliar o estado de saúde da vegetação com base na medição da radiação que as plantas emitem ou refletem. Estes parâmetros permitem a construção de índices, dentro os quais o mais conhecido e utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN (ou NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*, em inglês).

Utiliza-se amplamente o NDVI para melhorar a discriminação de coberturas vegetais, medir o vigor das plantas e a produção de biomassa. O peculiar comportamento radiométrico da vegetação, relacionado com a atividade fotossintética e a estrutura foliar das plantas, permite determinar se a vegetação encontra saudável ou se tem algum grau de estresse<sup>6</sup>.

🌈 **Como funciona?**

O NDVI é importante no estudo de vegetação, pois evidencia, a partir do uso de imagens de satélite, o vigor e a caracterização da vegetação de uma área. Para realizar o cálculo de NDVI, é necessário ter as bandas 3 e 4 da imagem do satélite LandSAT 5 TM, por exemplo. Entretanto, para as imagens LandSAT 8 OLI são necessárias as bandas 5 e 4.

O cálculo do NDVI para LandSAT 5 é feito a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas 4 (infravermelho próximo) e 3 (visível – vermelho) dividido pela soma das reflectâncias dessas duas bandas. Veja as equações, conforme o sensor que está utilizando:

$$\begin{aligned}\text{NDVI}_{\text{Sentinel 2 MSI}} &= \frac{\text{Band}_8 - \text{Band}_4}{\text{Band}_8 + \text{Band}_4} \\ \text{NDVI}_{\text{Landsat 5 TM}} &= \frac{\text{Band}_4 - \text{Band}_3}{\text{Band}_4 + \text{Band}_3} \\ \text{NDVI}_{\text{Landsat 8 OLI}} &= \frac{\text{Band}_5 - \text{Band}_4}{\text{Band}_5 + \text{Band}_4}\end{aligned}$$

O resultado varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas.

Na faixa do vermelho a clorofila absorve a energia solar ocasionando uma baixa reflectância, enquanto na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam uma alta reflectância da energia solar incidente (LOURENÇO e LADIM, 2004, p.2). Portanto, **quanto maior o contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada.**

<sup>6</sup> [http://portal.sinavef.gob.mx/documentos/Que\\_es\\_NDVI.pdf](http://portal.sinavef.gob.mx/documentos/Que_es_NDVI.pdf)

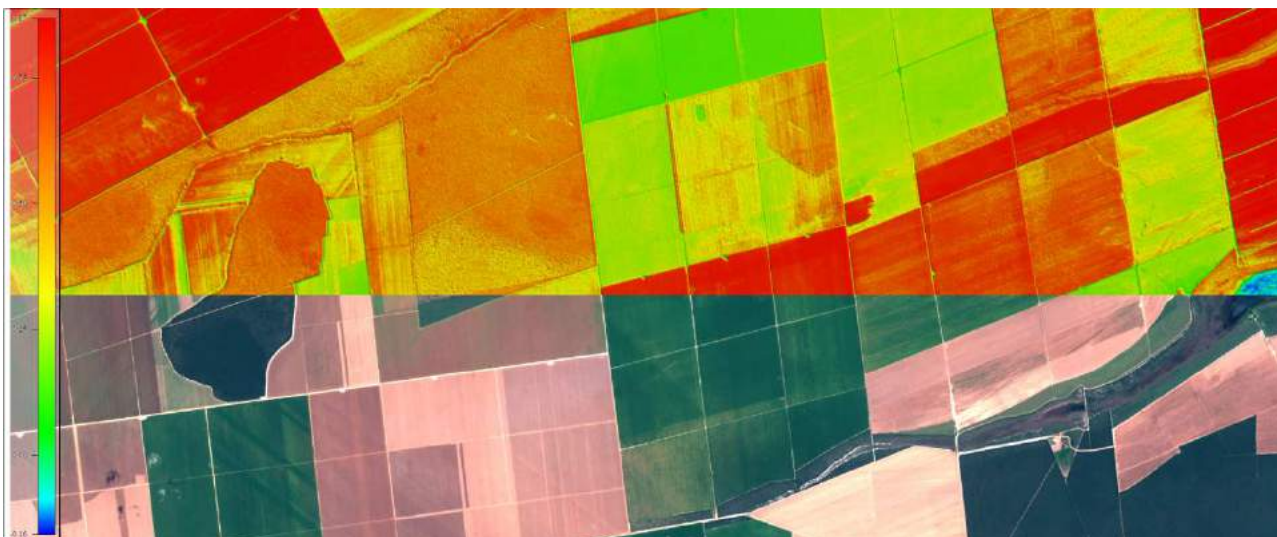


Figura: Comparativo Composição cores naturais e NDVI sobre área agrícola imaginada pelo Sentinel-2, 1:50.000.

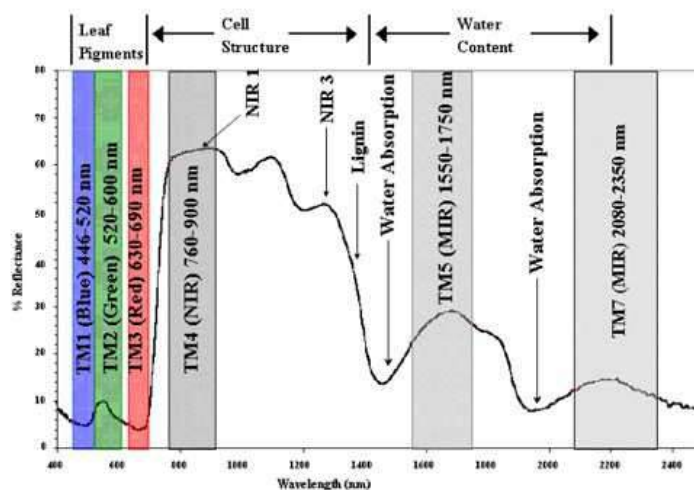
Fonte: <http://www.engesat.com.br/software/global-mapper/calculo-do-ndice-de-vegetacao-ndvi-no-global-mapper/>

Segundo KASMIERCZAK (1996), a equação do NDVI é:  $NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$ , onde TM representa uma determinada banda espectral do sistema LandsAT. Para a banda TM 3 (região do vermelho), a vegetação verde, densa e uniforme fica escura. Por outro lado, para a banda TM 4, os corpos d'água ficam escuros e a vegetação verde, densa e uniforme fica clara. Disto resulta uma nova banda espectral, representando a razão entre as bandas originais, onde as áreas claras indicam a presença de vegetação e as áreas escuras, sua ausência numa mesma data (FREIRE; PACHECO, 2005, pag. 06).

Os valores do NDVI estão em função da energia absorvida ou refletida pelas plantas em diversas partes do espectro eletromagnético. A resposta espectral que tem a vegetação saudável mostra um claro contraste no espectro do visível, especialmente a banda vermelha, e o Infravermelho Próximo (IVP). Enquanto que no visível os pigmentos da folha absorvem a maior parte da energia que recebem, no IVP as paredes das células das folhas, que se encontram cheias de água, refletem uma maior quantidade de energia.

Em contraste, quando a vegetação sofre algum tipo de estresse, seja por presença de pragas ou por secas, a quantidade de água diminui nas paredes celulares, ocasionando uma diminuição da refletividade no IVP e o aumento paralelamente na banda do vermelho, ao ter menor absorção de clorofila. Esta diferença na resposta espectral permite separar com relativa facilidade a vegetação saudável de outras coberturas.

A figura abaixo mostra as faixas do espectro eletromagnético na qual existe absorção pela vegetação.





O cálculo do NDVI implica no uso de uma fórmula simples com apenas duas bandas, sendo uma da região do visível e outra do IVP. Em uma imagem NDVI se realça a cobertura correspondente à vegetação e se atenuam as de outras coberturas, tais como o solo, água, rochas, etc.

De fato, todo organismo vegetal contém pigmentos que captam diversas ondas do espectro da luz que as utilizam nas suas reações fotossintéticas. Duas bandas do espectro, a azul (430 nm) e a vermelha (600nm) mostram a quantidade de energia absorvida pelas plantas. Estas duas frequências da luz são mais absorvidas pelas plantas, por conseguinte pouco refletidas. Em contraste, a banda do infravermelho próximo (750-1100nm) atua justo de forma inversa, refletindo em sua quase totalidade. A maior absorção do vermelho e do azul, junto com a forte reflexão do infravermelho próximo, traduz-se na diferença espectral da resposta de toda a vegetação. Nenhuma outra cobertura reflete de forma semelhante e, por tanto, esta peculiaridade tem sido utilizada durante muito tempo para poder diferenciar as superfícies com vegetação das demais superfícies<sup>7</sup>.

Portanto, o índice se comporta da seguinte maneira **em área de forte atividade clorofiliana**:

- Numerador: Infra Vermelho (alto) – Vermelho (baixo) => Valor resultante alto
- Denominador: Infra Vermelho (alto) + Vermelho (baixo) => Valor resultante alto
- Resultado final: NDVI => Valor resultante sobe em direção a 1

Já **em área de baixa atividade clorofiliana**:

- Numerador: Infra Vermelho (baixo) – Vermelho (alto) => Valor resultante baixo
- Denominador: Infra Vermelho (baixo) + Vermelho (alto) => Valor resultante alto
- Resultado final: NDVI => Valor resultante desce em direção a -1

Então, podemos concluir que o NDVI é representado pela faixa que vai de -1 a 1 e quanto mais próximo de -1 menor será o Índice de Vegetação e quanto mais próximo de 1 maior será o Índice de Vegetação.

#### NOTA TÉCNICA:

Convém observar que o procedimento correto para o cálculo do NDVI implica, **antes** da aplicação da fórmula, os devidos cálculos para conversão dos dados brutos (números digitais) em valores físicos (radiância e reflectância), gerando o NDVI a partir da reflectância calculada<sup>8</sup>.

Os valores digitais brutos (números digitais) das imagens Landsat TM são comumente utilizados para classificar estatisticamente tipos de cobertura, criar mosaicos digitais de várias imagens e detectar mudanças em imagens sucessivas de uma mesma área. Os ND são usados apenas por conveniência no processamento dos dados, pois eles não representam quantitativamente valores físicos reais (reflectância, radiância) (PEREIRA et al., 1996)...

Os valores físicos comumente derivados dos números digitais são: a radiância e a reflectância. As **radiâncias** representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medidas pelo satélite (BASTIAANSEN et al., 2000). Por outro lado a **reflectância** é que possibilita um melhor monitoramento do comportamento de uma determinada cobertura, uma vez que mudanças na sua resposta espectral estariam relacionadas somente às mudanças nas propriedades estruturais/espectrais da cobertura e não às mudanças no ângulo de iluminação solar ou variações dos sensores (degradação) (PEREIRA et al., 1996).

Já o Número Digital (ND) pode ser definido como a intensidade do pixel e sua amplitude muda de acordo com a resolução radiométrica do sensor. Os níveis digitais são relacionados com a intensidade da energia radiante refletida através de um modelo linear (calibração).

De acordo com Moreira (2000), **empregam-se mais comumente valores de reflectância**, devido às dificuldades em interpretar e obter os resultados das medidas calibradas com valores de voltagem de saída, número digital e radiância.

<sup>7</sup> [http://iesrsfra.educa.aragon.es/Archivos\\_Varios/Ciencias/Sigtel/Cambios\\_Fraga.PDF](http://iesrsfra.educa.aragon.es/Archivos_Varios/Ciencias/Sigtel/Cambios_Fraga.PDF)

<sup>8</sup> [https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII\\_CD/Organizado/sens\\_foto/091.pdf](https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/sens_foto/091.pdf)

Brito Neto et al. (2008), ao comparar resultados de NDVI realizados a partir de imagens brutas (Número Digital) com imagens corrigidas (Reflectância), concluíram que o NDVI gerado a partir dos dados de reflectância calculados, permite que se possa trabalhar com imagens temporais e conseguir resultados mais consistentes devido às correções que são realizadas no processo de conversão de valores brutos para valores físicos:

“A freqüente diferença observada entre os valores de NDVI obtidos pelos dois métodos de cálculo pode ser justificada fisicamente. No momento em que se determinam as reflectâncias nas imagens são acopladas uma série de correções de acordo com alguns parâmetros como, por exemplo, a influência da irradiância solar no topo da atmosfera, a inclinação solar no momento da II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008 p. 000-000 R. T. de Brito Neto; M. B. B. Barros Filho; H. L. Lopes; A. da P. Pacheco aquisição, a radiância espectral monocromática e a distância Terra-Sol. Além disso, ele pode proporcionar a comparação entre índices de vegetação gerados a partir de diferentes sensores.”

➤ **Objetivo:**

Fazer um mapeamento das perdas de vegetação no Parna do Catimbau entre as datas de 2003 e 2016, utilizando NDVI.

➤ **Metodologia:**

Para fazer os NDVI's de 2003 e 2016 é necessário, inicialmente, calcular a radiância e reflectância, e, em seguida, fazer uma operação aritmética de divisão entre bandas com alta correlação entre si para realçar os alvos (neste caso, a vegetação).

Segundo KASMIERCZAK (1996) & COSTA *et alli* (2001), a equação do NDVI com as bandas espectrais do Landsat 5 TM é:

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$

Para a banda TM 3 (região do vermelho), a vegetação verde, densa e uniforme fica escura. Por outro lado, na banda TM 4 os corpos d'água ficam escuros e a vegetação verde, densa e uniforme fica clara. Dessa operação aritmética resulta uma banda espectral nova que representa a divisão entre as bandas originais, donde as áreas claras indicam a presença de vegetação e as áreas escuras, sua ausência para a mesma data<sup>9</sup>.

➤ **PASSO 21: Cálculo dos parâmetros necessários para a conversão de dados brutos (ND) em dados de radiância e reflectância de 2003**

A seguir é descrita a fórmula para a conversão do número digital (ND) em **radiância monocromática**, de acordo com Markham e Barker (1987a):

---

<sup>9</sup> FREIRE, N. Desertificação na Região de Xingó – Análise e Mapeamento. [Dissertação de Mestrado]. Recife: UFPE, 2004.

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{máx} - L_{mín}}{DN_{máx} - DN_{mín}} \right) \times (DN - DN_{mín}) + L_{mín}$$

Onde:

$DN \rightarrow$  Número digital de cada pixel

$L_{máx}$  e  $L_{mín} \rightarrow$  São constantes de calibração de um determinado sensor

$DN_{máx}$  e  $DN_{mín} \rightarrow$  São os valores máx. e mín. que o ND pode alcançar

$L_{\lambda} \rightarrow$  Radiância espectral monocromática ( $W/m^2.sr.\mu m$ )

Para o TM/Landsat-5 temos o  $DN_{mín} = 0$  e o  $DN_{máx} = 255$ , já que sua resolução radiométrica é de oito bits. Portanto a radiância pode ser calculada pela seguinte equação:

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{máx} - L_{mín}}{DN_{máx}} \right) \times (DN) + L_{mín} \quad (1)$$

Já a **reflectância monocromática** pode ser encontrada usando-se:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda}}{E_{\lambda} \cdot \cos(z) \cdot d_r} \quad (2)$$

Onde:

$d_r \rightarrow$  Inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol em unidades astronômicas

$z \rightarrow$  Ângulo solar zenital (graus) no momento da aquisição

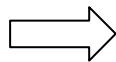
$E_{\lambda} \rightarrow$  Irradiância solar média no topo da atmosfera ( $mW/cm^2.\Omega.\mu m$ )

$L_{\lambda} \rightarrow$  Radiância espectral monocromática ( $W/m^2.sr.\mu m$ )

$\rho_{\lambda} \rightarrow$  Reflectância monocromática

Fazendo (1) em (2) é obtida uma fórmula para conversão direta de ND em reflectância:

*Fórmula final obtida a partir de simplificação das equações de radiância e reflectância.*



$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot \left[ \left( \frac{L_{máx} - L_{mín}}{DN_{máx}} \right) \times (DN) + L_{mín} \right]}{E_{\lambda} \cdot \cos(z) \cdot d_r}$$

10

Após a determinação dos valores físicos das imagens Landsat deve-se proceder com o cálculo do NDVI proposto por Rouse et al. (1973). Onde os valores obtidos com o cálculo do NDVI são contidos numa escala de valores entre -1 e 1. Para esse índice, adota-se a seguinte expressão:

<sup>10</sup> Fonte: R. T. de Brito Neto; M. B. B. Barros Filho; H. L. Lopes; A. da P. Pacheco. DETERMINAÇÃO DE VALORES FÍSICOS DE IMAGENS TM/LANDSAT- 5 UTILIZANDO A LINGUAGEM LEGAL PARA OBTER ÍNDICES DE VEGETAÇÃO. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, UFPE: 2008.

$$NDVI = \left( \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \right)$$

Onde:

$\rho_{IVP}$  → Valor da reflectância na faixa do Infravermelho próximo

$\rho_V$  → Valor da reflectância na faixa do Vermelha do visível

### Parâmetros necessários específicos da cena orbital:

O ângulo zenital solar (  $z$  ) é determinado pela diferença entre o zênite e a Elevação do Sol ( $SUN\_ELEVATION$ ), dado extraído do arquivo de metadados que acompanham as bandas espectrais da cena de 2003 (arquivo texto: LT05\_L1TP\_215066\_20030825\_20161204\_01\_T1\_MTL). Para a cena utilizada tem-se: Elevação do Sol = 50.56919887 (graus decimais). Assim o cosseno do ângulo zenital solar é determinado pela equação abaixo:

$$\cos(z) = \cos(90 - 50.5692) = 0.772392255$$

De acordo com a ferramenta de parametrização SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*), o termo  $d_r$  é definido como  $1/d_{e-s}^2$  onde  $d_{e-s}$  é a distância relativa Terra-Sol em Unidades Astronômicas (BASTIAANSEN et al., 2002). Allen et al. (1998) afirmam que  $d_r$  é obtido a partir da seguinte fórmula:

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left( DJ \frac{2\pi}{365} \right)$$

Onde DJ representa o Dia Juliano (dia sequencial do ano). Assim, para a cena em estudo (coletada em 28 de agosto de 2003) temos: DJ=237. Portanto  $d_r = 1,032916377$ .

A tabela 1 (abaixo) descreve dados das bandas 3 e 4 do Landsat 5 – TM, utilizadas no cálculo do NDVI.

Tabela 1. Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com os intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a; radiância máxima – b) e irradiancias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Comprimento de onda (µm)	Coeficientes de Calibração ( $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ )				Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera – $K\lambda_i$ ( $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ )
		a desde 1994)	b 01/03/1994 a 04/05/2003	b 05/05/2003 a 01/04/2007	b depois de 02/04/2007	
1 (azul)	0,452 – 0,518	-1,52	152,10	193,0	169,0	1983
2 (verde)	0,528 – 0,609	-2,84	296,81	365,0	333,0	1796
3 (vermelho)	0,626 – 0,693	-1,17	204,30	264,0	264,0	1536
4 (IV-próximo)	0,776 – 0,904	-1,51	206,20	221,0	221,0	1031
5 (IV-médio)	1,567 – 1,784	-0,37	27,19	30,2	30,2	220
6 (IV-termal)	10,450 – 12,420	1,2378	15,303	15,303	15,303	-
7 (IV-médio)	2,097 – 2,349	-0,15	14,38	16,5	16,5	83,44

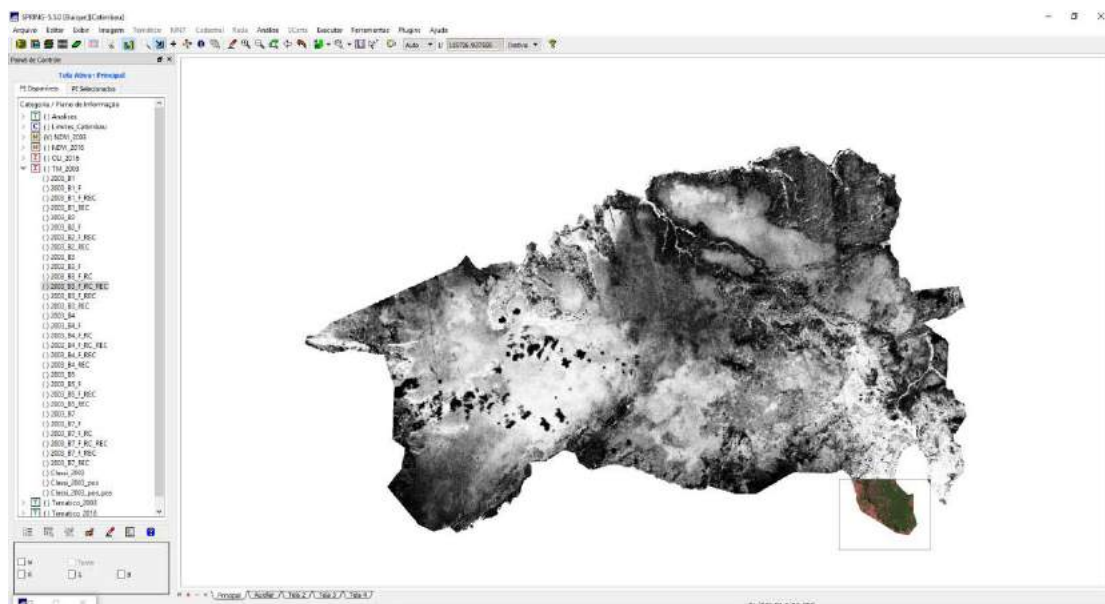
Fonte: Adaptado de Chander et al. (2009)

## ➤ PASSO 22: Escrevendo um Programa em LEGAL para cálculo de radiância, reflectância e NDVI para 2003

Abra o console LEGAL, crie um novo arquivo em \Curso\_SR\Docs com o nome NDVI.alg e escreva o Programa como se segue:

```
{
//Declaração de variáveis:
Imagem B32003 ("TM_2003");
Imagem B42003 ("TM_2003");
Numerico B3reflec ("NDVI_2003");
Numerico B4reflec ("NDVI_2003");
Numerico NDVIreflec ("NDVI_2003");
//Instanciações de variáveis:
B32003 = Recuperar (Nome = "2003_B3_REC");
B42003 = Recuperar (Nome = "2003_B4_REC");
pi = 3.1415926;
cosz = 0.772392255;
dr = 1.032916377;
lmin3 = -1.17;
lmax3 = 264;
lmin4 = -1.51;
lmax4 = 221;
e3 = 1536;
e4 = 1031;
ndmax = 255;
//Operações:
B3reflec = Novo (Nome = "2003_B3_REFLEC", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
B4reflec = Novo (Nome = "2003_B4_REFLEC", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
NDVIreflec = Novo (Nome = "2003_NDVI_REFLEC", ResX=30, ResY=30, Escala=100000, Min=-1, Max=1);
//Conversão de ND para reflectância
B3reflec = Numerico
((((lmax3-lmin3)/ndmax)*B32003)+lmin3)*pi)/(e3*cosz*dr));
B4reflec = Numerico
((((lmax4-lmin4)/ndmax)*B42003)+lmin4)*pi)/(e4*cosz*dr));
//Cálculo final NDVI com as reflectâncias
NDVIreflec = ((B4reflec-B3reflec)/(B4reflec+B3reflec));
}
```

Ative o PI **2003\_NDVI\_reflec** criado pelo Programa LEGAL que você escreveu, vá ao menu MNT, em Contraste, Operação, “Equalizar Histograma”, depois “Aplique”. Faça uma combinação RGB 754 de 2003 na tela Auxiliar. Acople e analise os resultados. O resultado na figura abaixo. Observe a presença de vegetação nas áreas claras, especialmente ao longo das margens dos corpos d’água no Parna do Catimbau (mata ciliar) – locais úmidos e com vegetação com biomassa e produção clorofila:



### ➤ PASSO 23: Escrevendo um Programa em LEGAL para cálculo de reflectância e NDVI para 2016

Segundo o USGS<sup>11</sup>, os valores da Irradiância no Topo da Atmosfera (*solar exoatmospheric spectral irradiances – ESUN*) não são fornecidos para os dados do Landsat 8 porque não são necessários para converter dados brutos em reflectância. O sensor do Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) adotou dois métodos independentes de coeficientes de calibração e reflexão definidos pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA (NIST). O arquivo de metadados do Landsat 8 (\*.MTL) fornece os coeficientes necessários para conversão em radiança e reflectância a partir dos Números Digitais (DNs) quantizados e calibrados do produto. Assim, os valores ESUN não são necessários para conversão de reflectância.

Dessa forma, os produtos de dados do Landsat 8 padrão fornecidos pelo Centro ERGS do USGS consistem em números digitais dimensionados e calibrados (DN) que representam dados de imagem multiespectral adquiridos tanto pelo *Operational Land Imager* (OLI) como pelo Sensor Infravermelho Térmico (TIRS). Os produtos são entregues em formato de números inteiros de 16 bits e podem ser redimensionados para a reflectância e / ou radiança do Topo da Atmosfera (TOA), usando coeficientes de reescalonamento radiométrico fornecidos no arquivo de metadados do produto (arquivo MTL), conforme descrito brevemente abaixo.

### Conversão para Reflectância do Topo da Atmosfera (TOA)

Os dados da banda OLI também podem ser convertidos em reflectância planetária do TOA usando coeficientes de reescalonamento de reflectância fornecidos no arquivo de metadados do produto (arquivo MTL). A seguinte equação é usada para converter valores DN em reflectância do TOA:

<sup>11</sup> <https://landsat.usgs.gov/where-can-i-find-solar-exoatmospheric-spectral-irradiances-esun-values-landsat-8-oli-data>



$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p$$

where:

$\rho\lambda'$  = TOA planetary reflectance, without correction for solar angle. Note that  $\rho\lambda'$  does not contain a correction for the sun angle.  
 $M_p$  = Band-specific multiplicative rescaling factor from the metadata (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x, where x is the band number)  
 $A_p$  = Band-specific additive rescaling factor from the metadata (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, where x is the band number)  
 $Q_{cal}$  = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

A reflectância do TOA com uma correção para o ângulo do sol pode, então, ser deduzida pela seguinte fórmula:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})}$$

Fórmula que será utilizada para o cálculo direto da reflectância das bandas 4 e 5 OLI

where:

$\rho\lambda$  = TOA planetary reflectance  
 $\theta_{SE}$  = Local sun elevation angle. The scene center sun elevation angle in degrees is provided in the metadata (SUN\_ELEVATION).  
 $\theta_{SZ}$  = Local solar zenith angle;  $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$

✓ Dados/**variáveis** a serem declaradas no Programa LEGAL:

Ver arquivo metadados MTL em \Curso\_SR\Imagens\Originais\2016; use a calculadora científica do Windows:

REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_4 = 2.0000E-05 = **RMB4 = 0.00002**;  
 REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_4 = -0.100000 = **RAB4 = -0.1**;  
 REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_5 = 2.0000E-05 = **RMB5 = 0.00002**;  
 REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_5 = -0.100000 = **RAB5 = -0.1**;

SUN\_ELEVATION = 52.63223190, logo, SenoSE = 0,794756176 = **senose = 0.794756176**

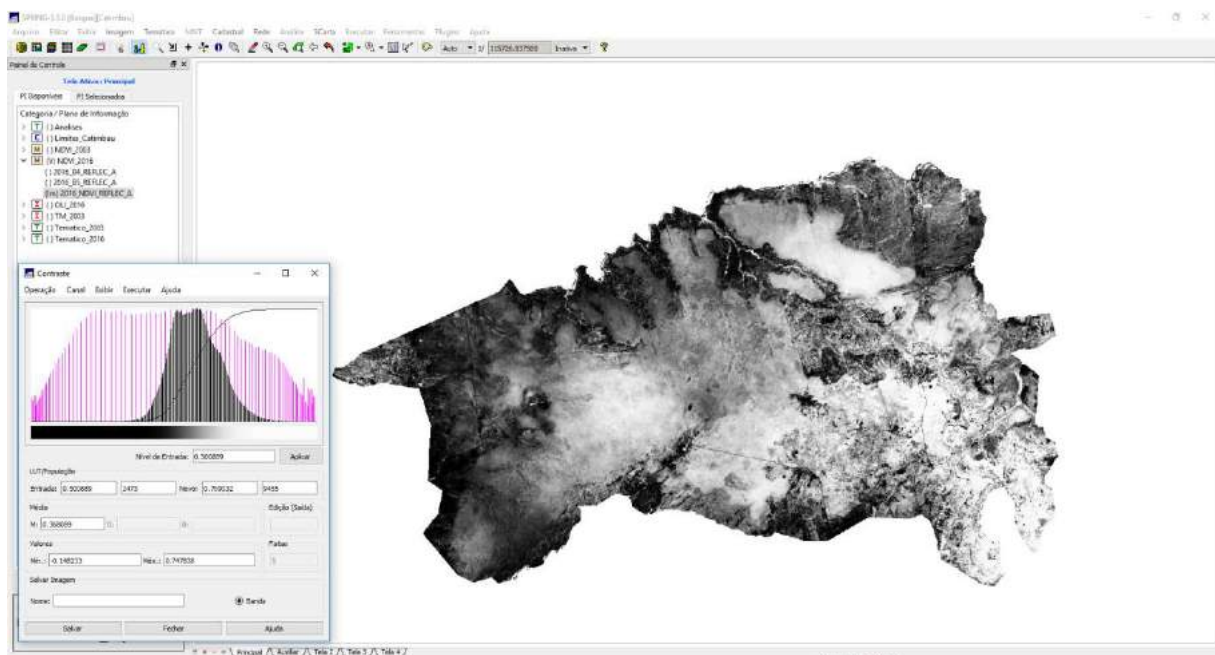
Agora, salve em \Curso\_SR\docs um novo programa em LEGAL com o nome NDVI2016.alg; após digitar o programa, "Execute":

```

{
//Declaração de variáveis:
Imagem B42016 ("OLI_2016");
Imagem B52016 ("OLI_2016");
Numerico B4reflecA ("NDVI_2016");
Numerico B5reflecA ("NDVI_2016");
Numerico NDVIreflecA ("NDVI_2016");
//Instanciações de variáveis:
B42016 = Recupere (Nome = "2016_B4_REC");
B52016 = Recupere (Nome = "2016_B5_REC");
RMB4 = 0.00002;
RAB4 = -0.1;
RMB5 = 0.00002;
RAB5 = -0.1;
senose = 0.794756176;
//Operações:
B4reflecA = Novo (Nome = "2016_B4_REFLEC_A", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
B5reflecA = Novo (Nome = "2016_B5_REFLEC_A", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
NDVIreflecA = Novo (Nome = "2016_NDVI_REFLEC_A", ResX=30, ResY=30, Escala=100000,
Min=-1, Max=1);
//Conversão de ND para reflectância com Elevação do Sol
B4reflecA = Numerico
(((RMB4 * B42016)+(RAB4))/(senose));
B5reflecA = Numerico
(((RMB5 * B52016)+(RAB5))/(senose));
//Cálculo final do NDVI com reflectância e correção Elevação do SOL:
NDVIreflecA = ((B5reflecA-B4reflecA)/(B5reflecA+B4reflecA));
}

```

Observe no Painel de Controle os Pls criados pelo programa em LEGAL na categoria NDVI\_2016:



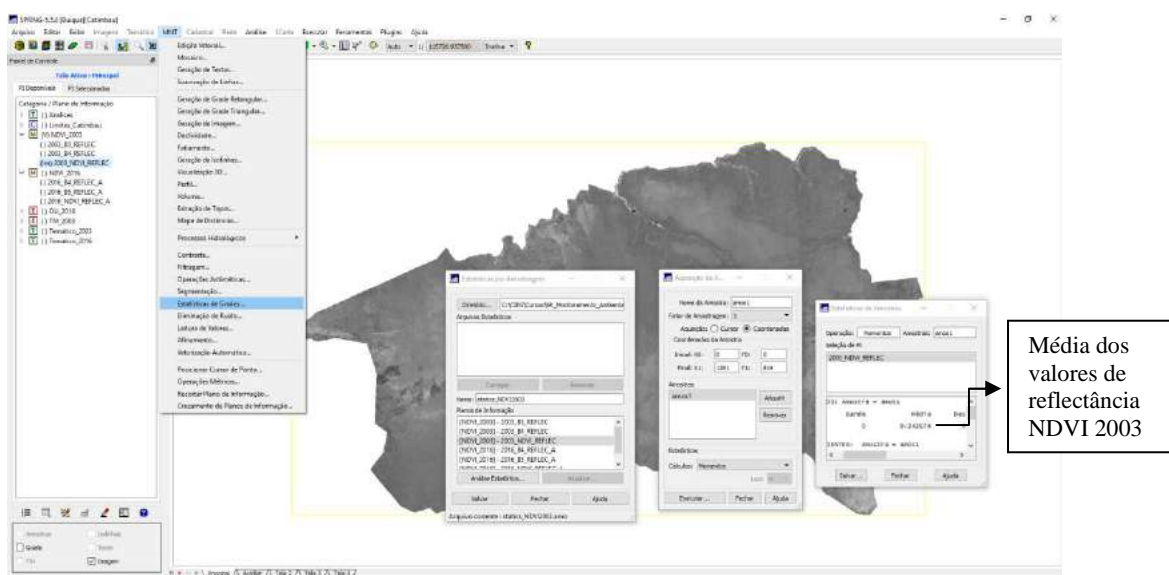
#### ➤ PASSO 24: Detecção de perda de vegetação utilizando os NDVIs de 2003 e 2016

Agora vamos aplicar uma técnica proposta por CRÓSTA (1993) e MOREIRA (2003) para mapear as áreas com perda de vegetação entre as datas de 2003 e 2016, baseada em dados de NDVI. Para realizar o procedimento, observe os passos metodológicos a seguir:

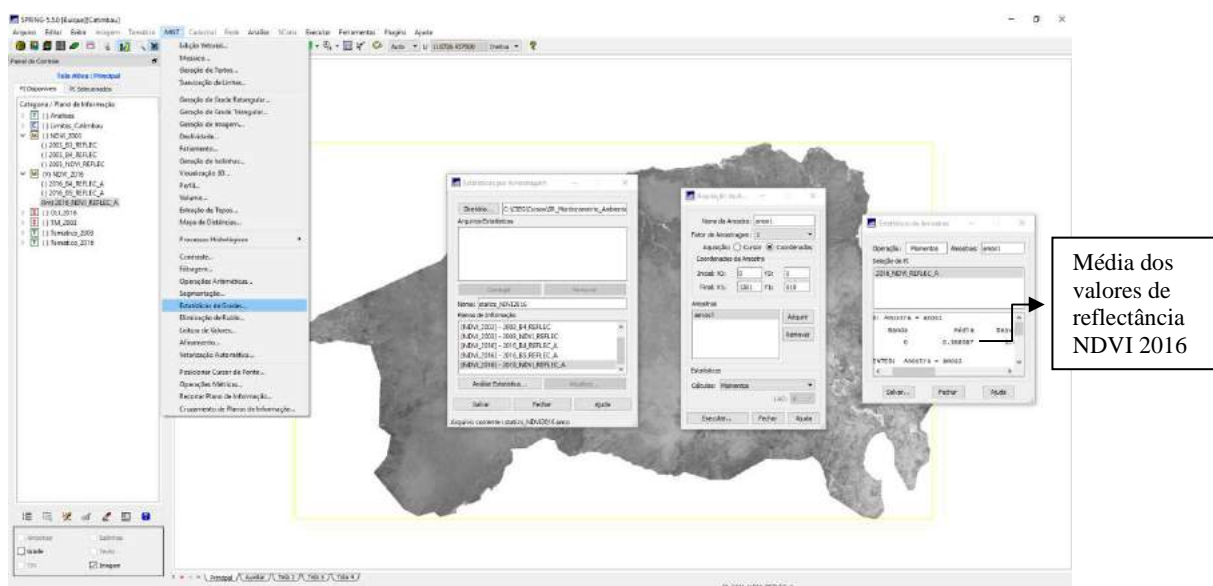
- Obtenção das estatísticas das imagens NDVI de 2003 e 2016, tomando como referência a banda NDVI de 2003 (mais antiga, portanto), para modificar a banda NDVI 2016.
- Cálculo de ganho e offset para que a média e a variância do NDVI mais novo (2016) coincidam com a média dos níveis de reflectância e variância do NDVI mais antigo (2003):
  - NDVI de 2003: Media = 0.242574
  - NDVI de 2016: Media = 0.368087
- Ganho =  $(V_{2003}/V_{2016})^{(1/2)}$
- Offset =  $M_{2003} - \text{ganho} \times M_{2016}$
- Ajuste da média e da variância:  $NDVI\_2016\_igual = \text{ganho} \times NDVI\_2016 + \text{offset}$
- Relação das bandas NDVI de 2003/2016\_igual
- Melhorar o contraste.

### Usando o SPRING:

Encontrando a média e a variância das reflectâncias dos NDVIs de 2003 e 2016:



Média 2003: 0.242574 | Variância 2003: 0.00394197



Média 2016: 0.368087 | Variância 2016: 0.00555187

Calculando e convertendo valores NDVIs:

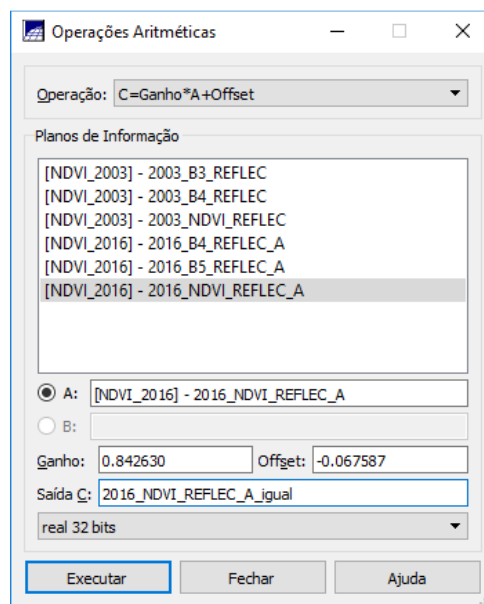
1. Usando a Calculadora Científica do Windows, calcule o ganho e o offset de ajuste para o NDVI de 2016.

Na Calculadora Científica:

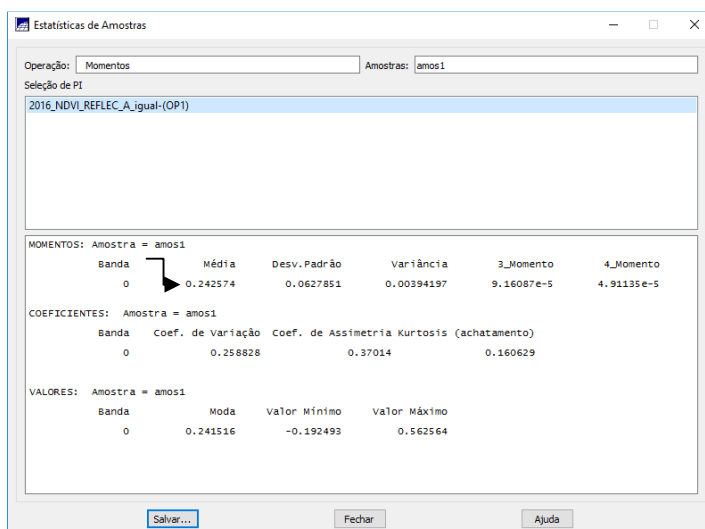
- Cálculo do Ganho:  $((0,00394197/0,00555187)^{(1/2)}) = 0,842630$
- Cálculo do Offset:  $0,242574 - (0,842630 \times 0,368087) = -0,067587$

2. Agora que igualamos, criaremos um novo PI do NDVI de 2016 com a média e a variância normalizadas.

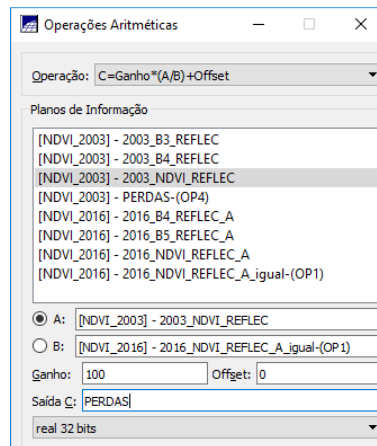
➤ Ative o PI **NDVI\_2016\_REFLEC\_A** | MNT | Operações Aritméticas | Operação:  $C=Ganho*A+Offset$  | Escolha A: [NDVI\_2016] – 2016\_NDVI\_REFLEC\_A | Ganho: 0.842630 | Offset: -0.067587 | Saída C: NDVI\_2016\_REFLEC\_A\_igual | Executar



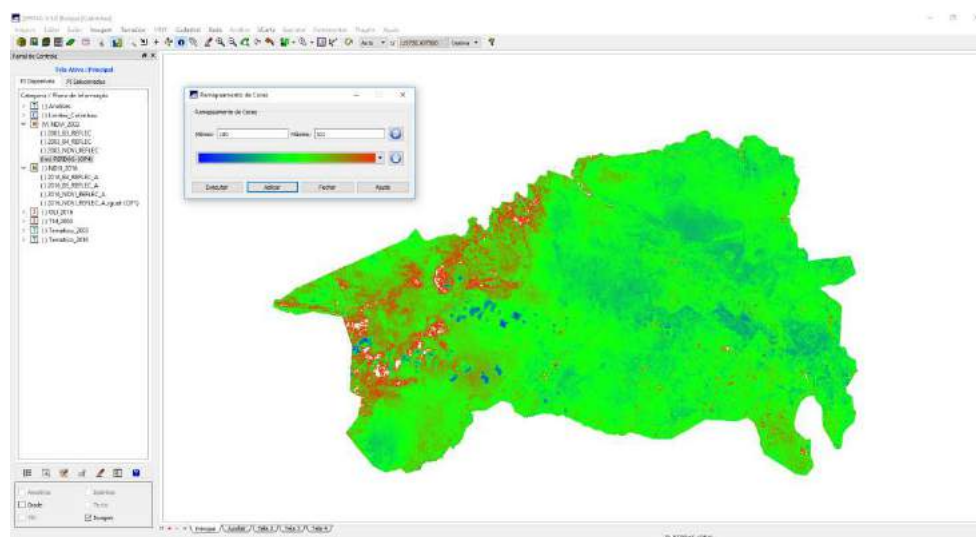
3. Agora verifique a média do novo PI criado: 2016\_NDVI\_REFLEC\_A\_igual que foi criado:



4. Concluindo, vamos fazer uma divisão entre os PIs dos NDVIs de 2003/2016\_igual. Esta razão entre bandas permite realçar as perdas de vegetação entre as duas datas. Isto ocorre, por exemplo, porque os pixels que têm valores semelhantes para as duas datas, isto é, que não houve mudanças na vegetação, terão baixos valores de NC no PI resultante; ao contrário, onde houve mudanças os pixels resultantes terão valores de NC maiores.
- Ative o PI 2003\_NDVI\_REFLEC | MNT | Operações Aritméticas | Operação:  **$C = \text{Ganho} * (A/B) + \text{Offset}$**  | A: [NDVI\_2003] – 2003\_NDVI\_REFLEC | B: [NDVI\_2016] – 2016\_NDVI\_REFLEC\_A\_igual-(OP1) | Ganho: 1 | Offset: 100 | Nome: **PERDAS** | Executar



5. Ative o novo PI criado; marque a opção “Imagem” no Painel de Controle (abaixo); use a palheta de cores, defina Mínimo: 100 e Máximo: 102; Aplicar:



6. **Conclusão:** as áreas em vermelho são aquelas onde houve PERDA de vegetação de caatinga entre os anos de 2003 e 2016.





## 6. Modelagem Numérica de Terreno (MNT) – Visualização 3D

Modelagem Numérica de Terreno ou modelo numérico de terreno - MNT (em inglês, DTM = “Digital Terrain Model”) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado.

Dentre alguns usos do MNT podemos citar:

- a) Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- b) Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- c) Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade;
- d) Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- e) **Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).**

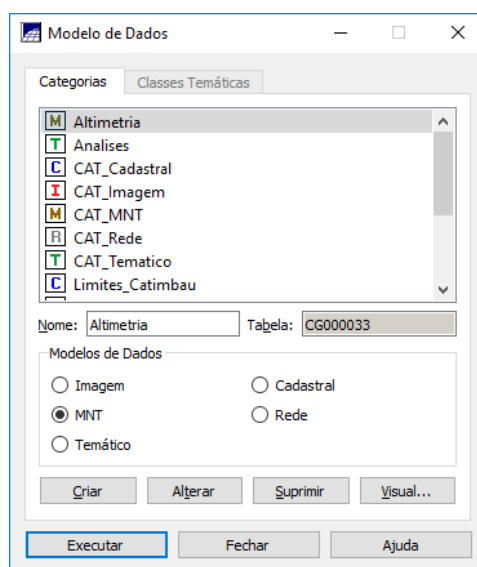
OBS: No processo de modelagem numérica de terreno, podemos distinguir três fases: aquisição dos dados (através de importação/aquisição dos dados ou edição de dados), geração de grades e elaboração de produtos dados que representam as informações obtidas.

Neste exercício vamos unicamente proceder à visualização em 3D do Parna do Catimbau.

Os dados do MNT foram adquiridos do site do USGS, a partir das imagens SRTM com Resolução 1-ARC (aproximadamente 30m). Os dados foram adquiridos do site: <https://lta.cr.usgs.gov/SRTM>

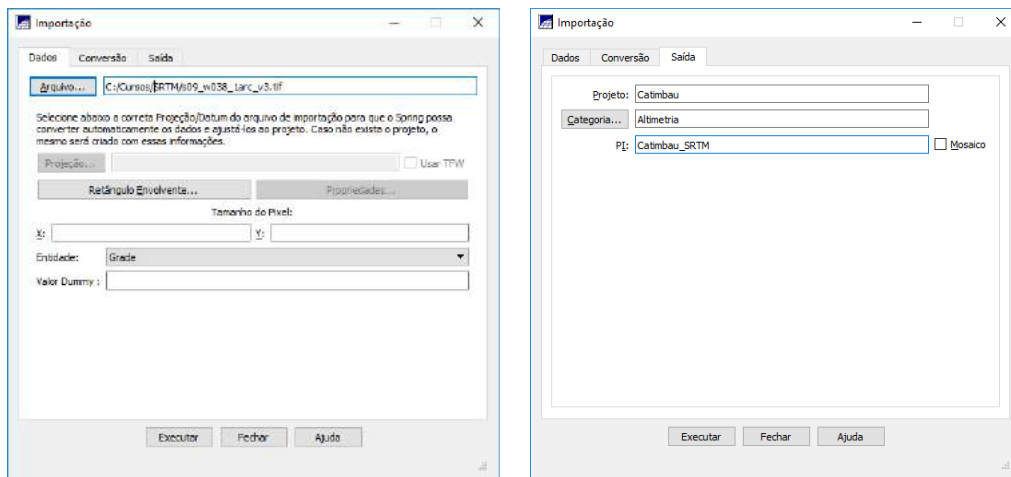
- **PASSO 1: Criando Modelo de Dados tipo MNT: Altimetria; depois crie um PI com o Nome “Catimbau\_SRTM”:**

Crie um Modelo de Dados tipo MNT com o Nome: “Altimetria”, Criar, Executar:

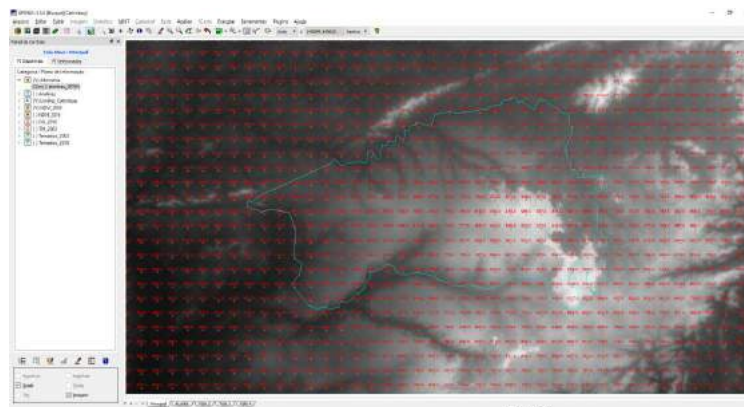


- **PASSO 25: Importar dados SRTM**

Na janela de Importação, escolha arquivo tipo TIFF, procure o arquivo “s09\_w038\_1arc\_v3” na pasta \Curso\_SR\SRTM; **Entidade: “Grade”**; depois, em “Saída”, Categoria: Altimetria, Nome: Catimbau\_SRTM:



Ative: Grade e Imagem do PI criado, e Limites\_Catimbau, no Painel de Controle; dê um zoom no Catimbau e observe as características de uma imagem SRTM:



Nota: cada valor da grade SRTM corresponde à altitude geométrica (em relação ao elipsóide de referência do Projeto - UTM/Datum SAD-69 -  $h$ ) e não em relação ao nível do mar (altura geoidal ou ondulação do geóide -  $N$ ).

- ✓ ALTITUDE ORTOMÉTRICA ( $H$ ): É a distância contada sobre a vertical entre o ponto e o geóide.
- ✓ ALTITUDE GEOMÉTRICA ( $h$ ): Distância contada sobre a normal entre o ponto e o elipsóide.
- ✓ ALTURA GEOIDAL ou ONDULAÇÃO DO GEÓIDE ( $N$ ): Distância contada sobre a normal, entre as superfícies geoidal e elipsoidal.<sup>12</sup>

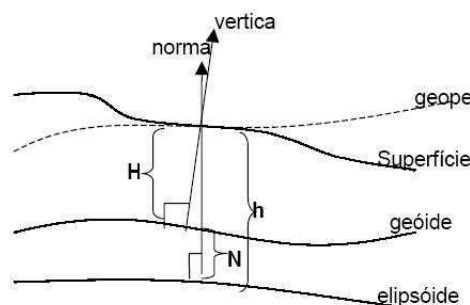
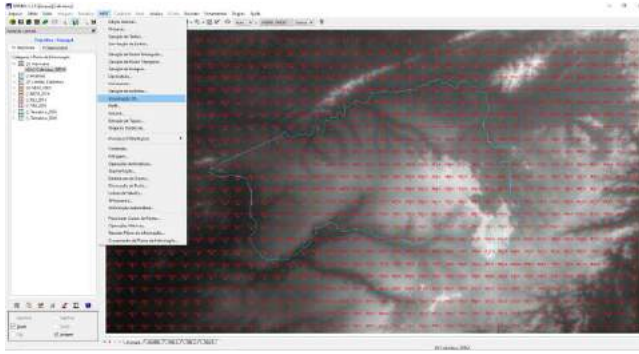


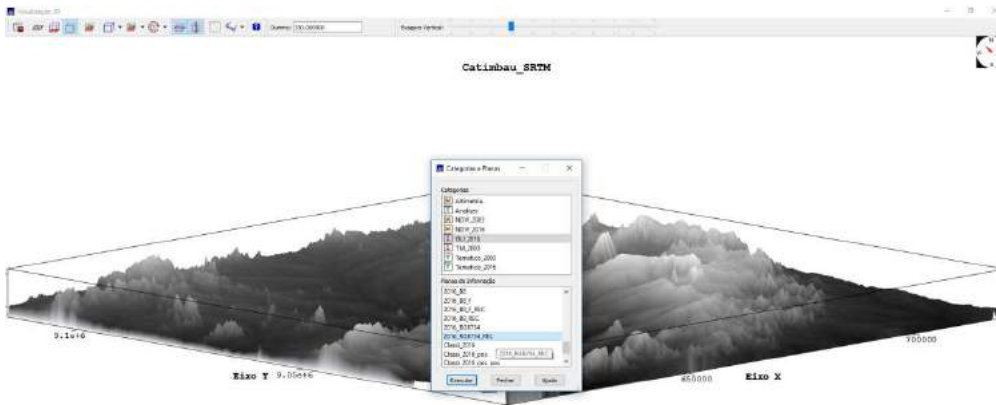
Figura: Superfícies de Referência em Geodésia

<sup>12</sup> Fonte: <http://www.ufrgs.br/engcart/Teste/conceitos.html>

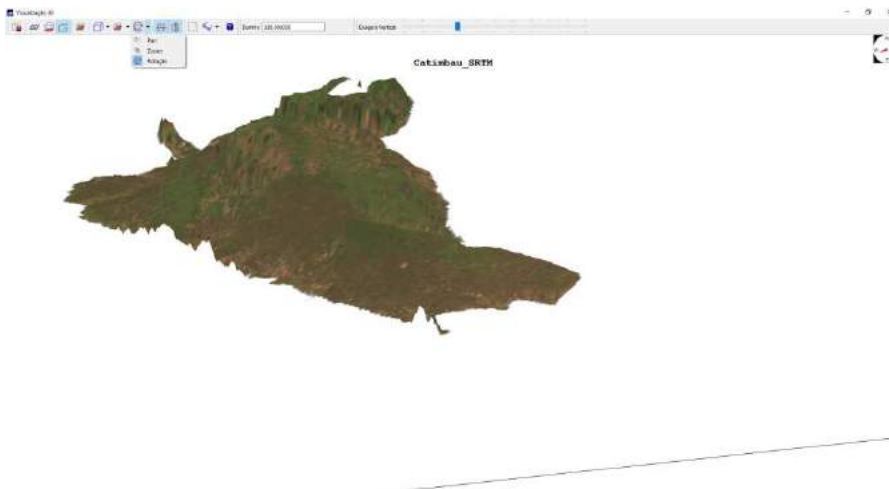
Clique no menu MNT, Visualização 3D:



Aumente o exagero vertical; clique no quarto botão da esquerda para a direita (“Definir textura”; escolha “OLI\_2016” e “2016\_RGB754\_REC”:



Use as opções de Pan, Zoom e Rotação:



Por fim, salve a imagem:



**Parabéns!**

Você concluiu o Curso “Sensoriamento Remoto e Monitoramento Ambiental”!

Obrigado pela assistência. Esperamos vê-lo novamente no CIEG.

**©Fundação Joaquim Nabuco (2017)**