Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Sistema para Modelagem Hidrológica Distribuída TerraHidro

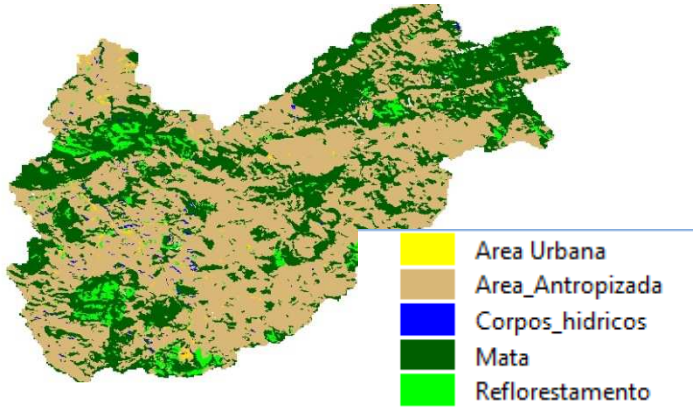
Sergio Rosim

UM POUCO DE REFLEXÃO

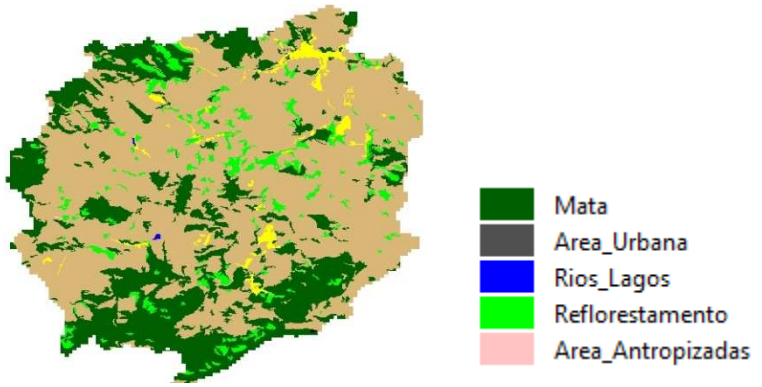
- Dado geográfico
  - Localização
  - Atributos
  - Metadados
  - Características peculiares
  - Resolução
    - Acurácia - Incerteza
      - Posicional

UM POUCO DE REFLEXÃO

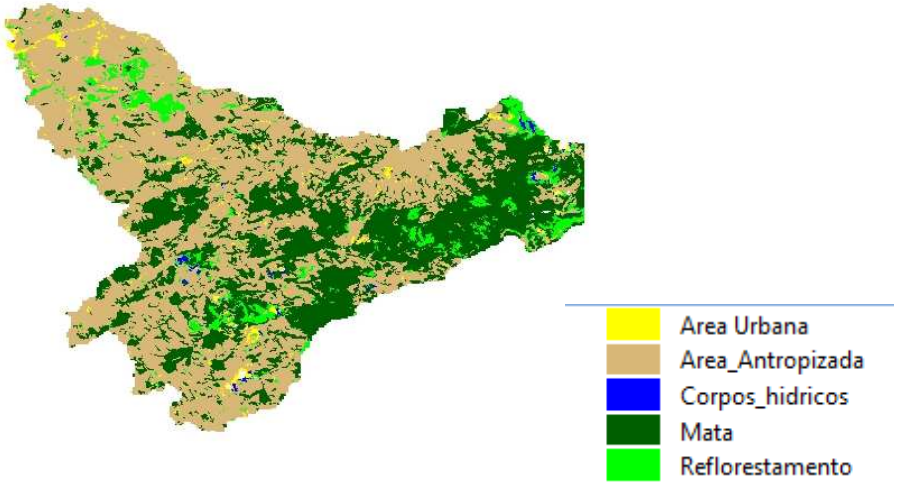
APA do Rio Una



APA do Ribeirão Vermelho



APA do Rio Bocaina



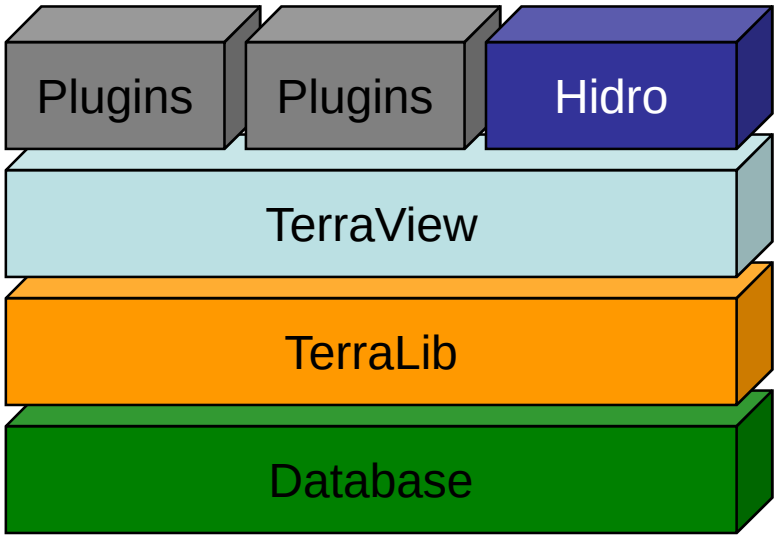
UM POUCO DE REFLEXÃO

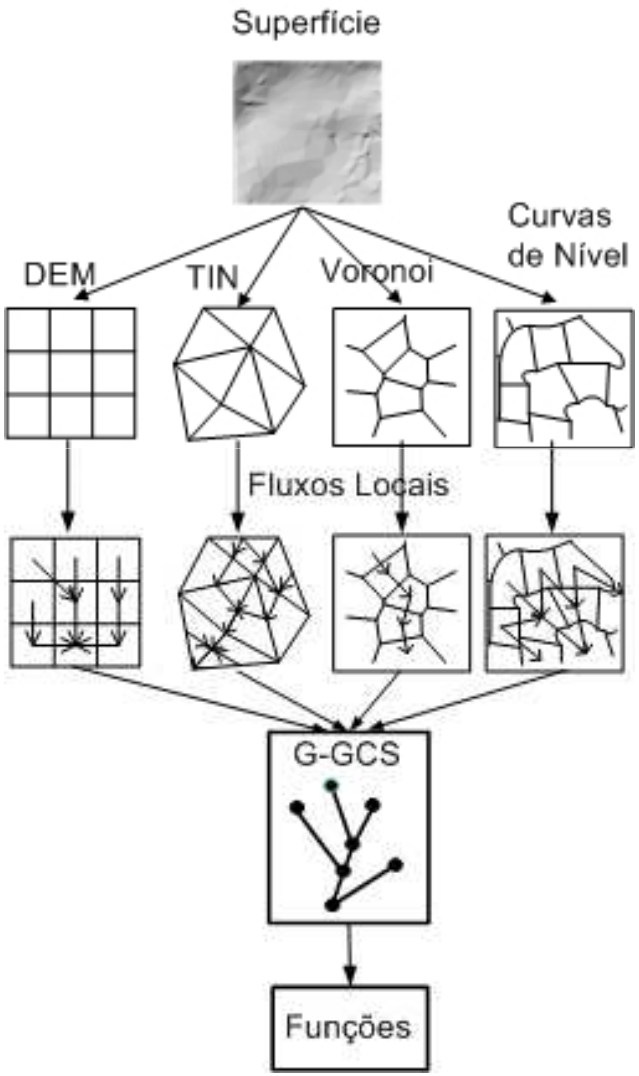
- Dado de altimetria
  - Resoluções
  - Tipos

- Sistemas de Informações Geográficas - SIG
  - Ferramentas
    - Funções
    - Dados e informações

TerraHidro - TerraView

Uma única estrutura para desenvolver aplicações





Graph -> drenagem

Boost Graph Library - BGL

TerraHidro – Decisões de Projeto

- Modelagem hidrológica distribuída
- Pequenas e grandes bacias
- Ambiente urbano e rural
- Grandes massas de dados

Extração e Correção de Fluxo no TerraHidro

Etapas

- Determinação da direção de fluxo local.

- Cálculo da área de contribuição.

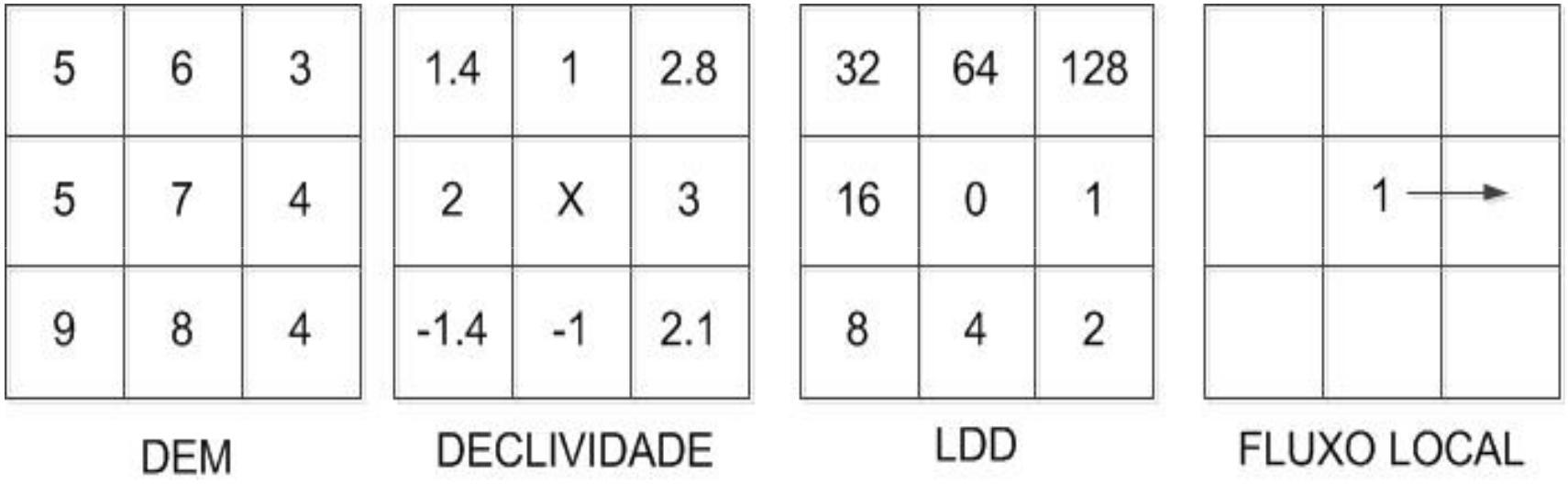
- Definição de uma rede de drenagem.

- Delimitação da bacia hidrográfica.

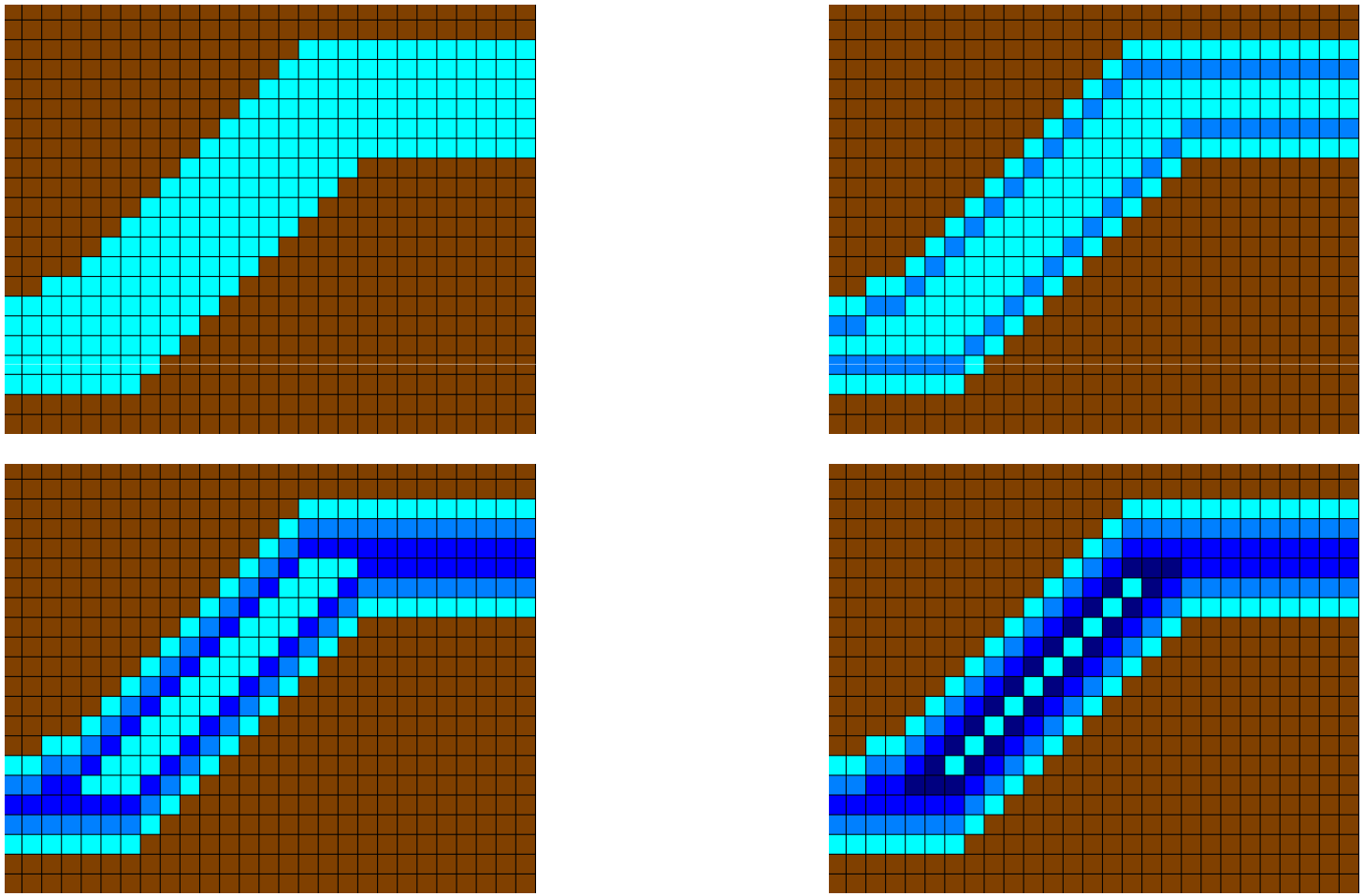
Determinação da direção de fluxo local

1. Calcular a direção de fluxo local.
2. Cavar canais centrais em áreas planas (espelhos d’água).
3. Resolver depressões por preenchimento quando possível.
4. Resolver depressões cavando quando não foi possível por preenchimento.

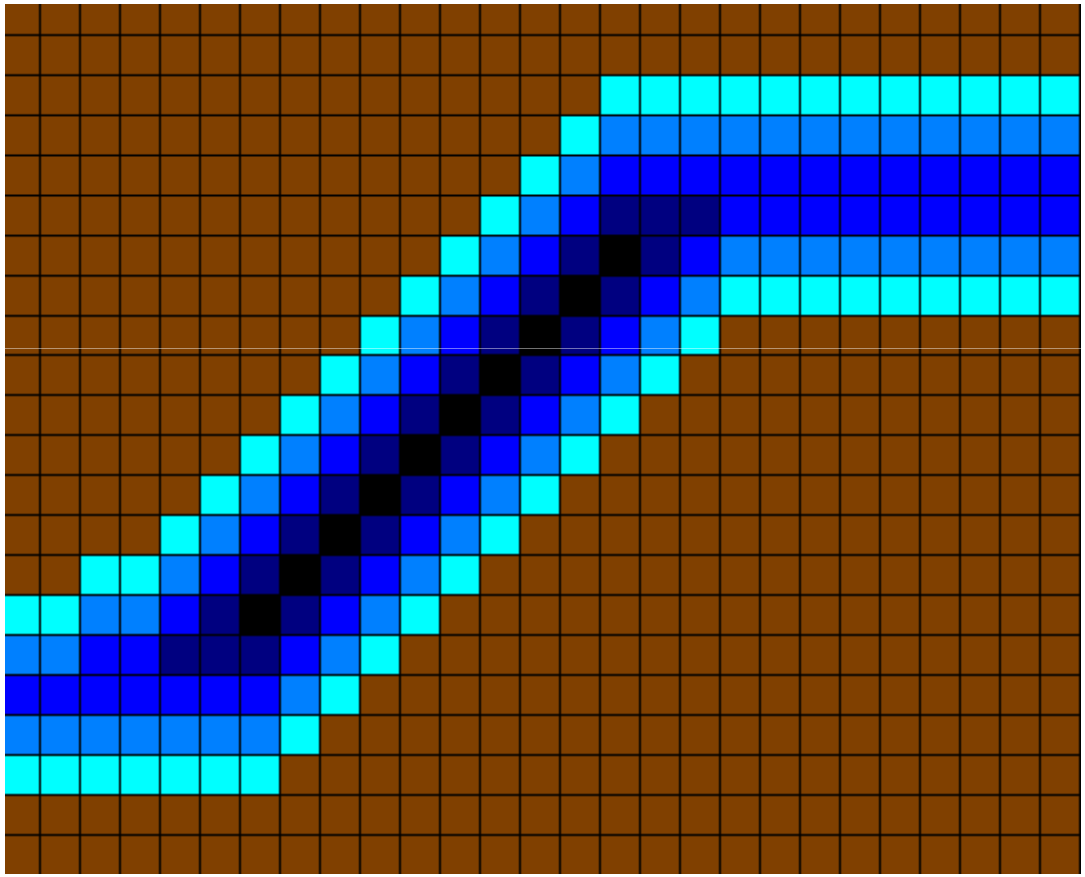
Determinação da direção de fluxo local



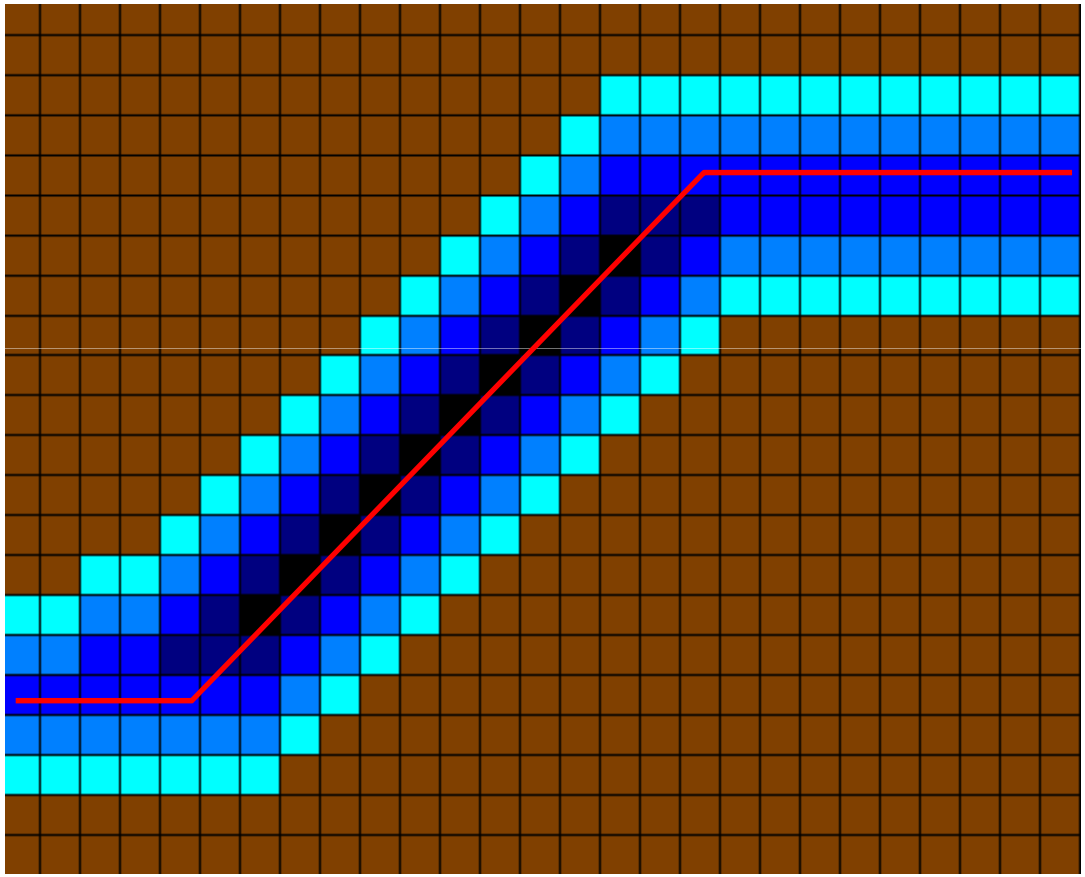
2. Cavar áreas planas



2. Cavar áreas planas



2. Cavar áreas planas



3. Resolver depressões por preenchimento

8	7	7
10	7	8
9	8	9

MNT

8 + 7 + 7 + 10 + 8 + 9 + 8 + 9 = 66

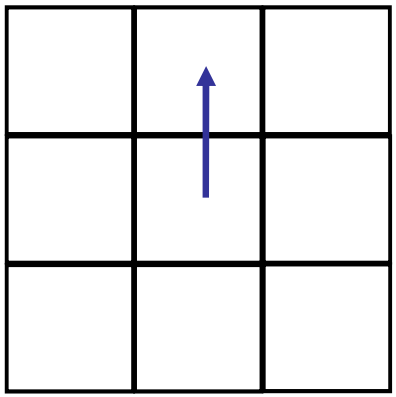
66 / 8 = 8.25

8	7	7
10	8.25	8
9	8	9

MNT

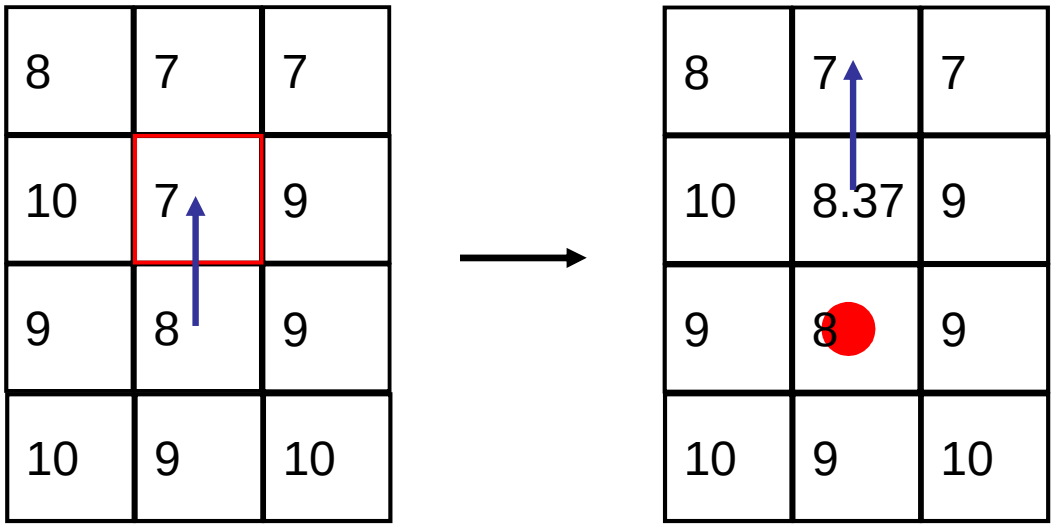
0.17	1.25	0.88
-1.7		0.25
-0.5	0.25	-0.5

Declividades



Fluxo Local

3. Resolver depressões por preenchimento



Quando resolver por preenchimento ocasionar outro fosso não utilizar esse método. Resolver “cavando” o MNT.

4. Resolver depressões “cavando”

Priority First Search - PFS

4.0	3.4	3.5	4.0
3.5	3.0	3.2	3.5
4.0	3.1	3.6	3.6
5.0	3.2	3.3	2.8
5.0	4.0	3.5	3.4

4.0	3.4	3.5	4.0
3.5	3.0	3.2	3.5
4.0	3.1	3.6	3.6
5.0	3.2	3.3	2.8
5.0	4.0	3.5	3.4

4. Resolver depressões “cavando”

Priority First Search - PFS

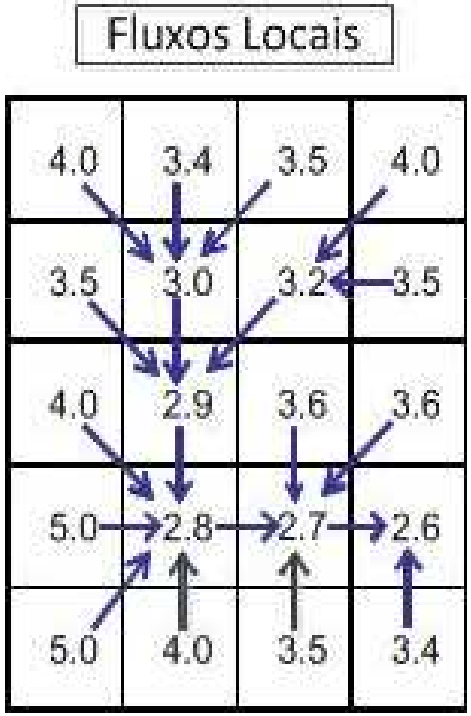
4.0	3.4	3.5	4.0
3.5	3.0	3.2	3.5
4.0	3.1	3.6	3.6
5.0	3.2	3.3	2.8
5.0	4.0	3.5	3.4

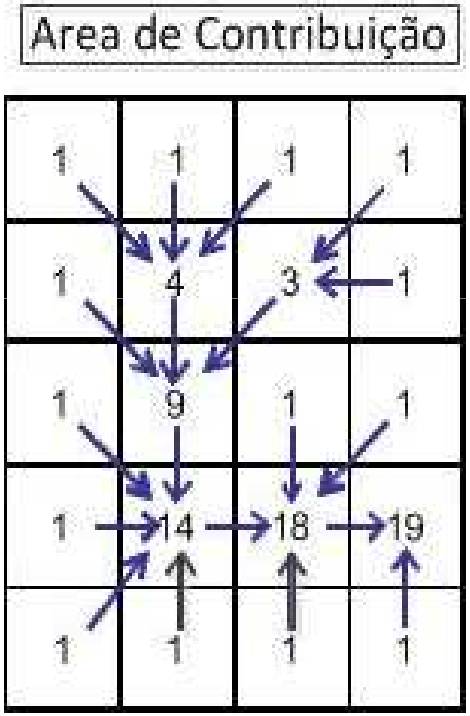
4.0	3.4	3.5	4.0
3.5	3.0	3.2	3.5
4.0	2.94	3.6	3.6
5.0	3.2	2.88	2.8
5.0	4.0	3.5	3.4

Cálculo da área de contribuição

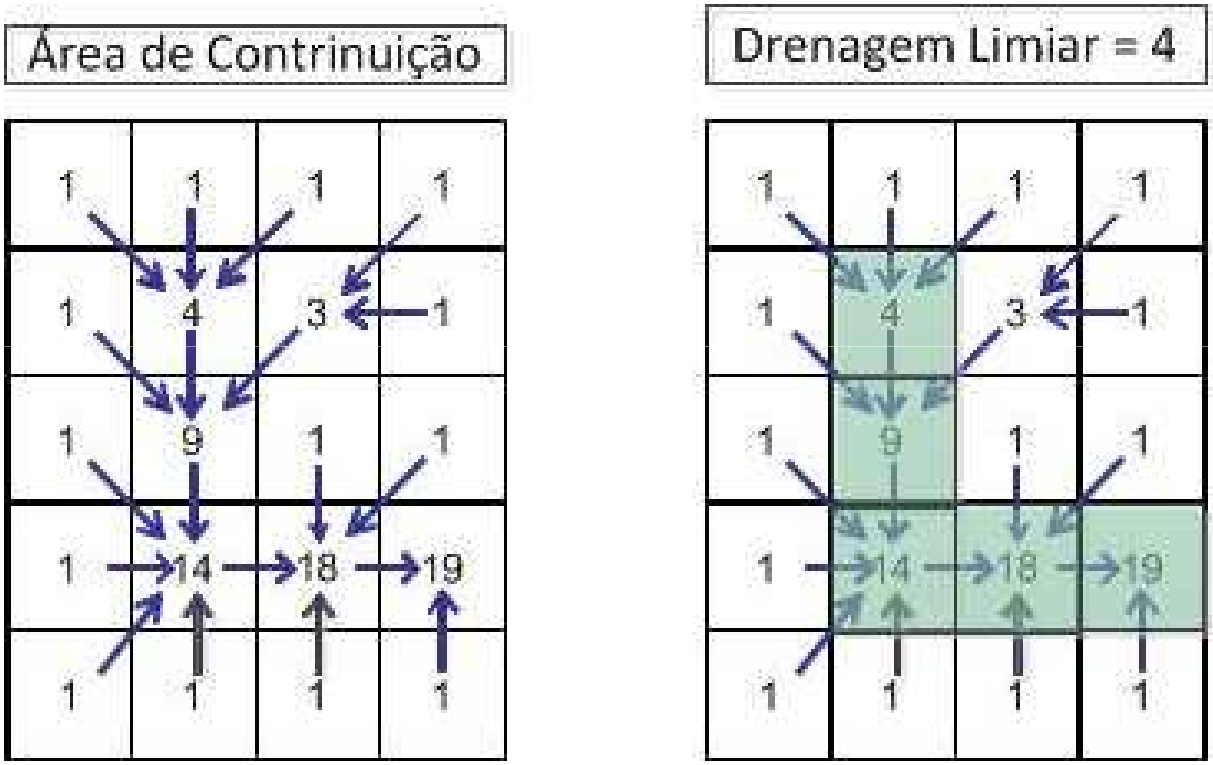
DEM

4.0	3.4	3.5	4.0
3.5	3.0	3.2	3.5
4.0	2.9	3.6	3.6
5.0	2.8	2.7	2.6
5.0	4.0	3.5	3.4

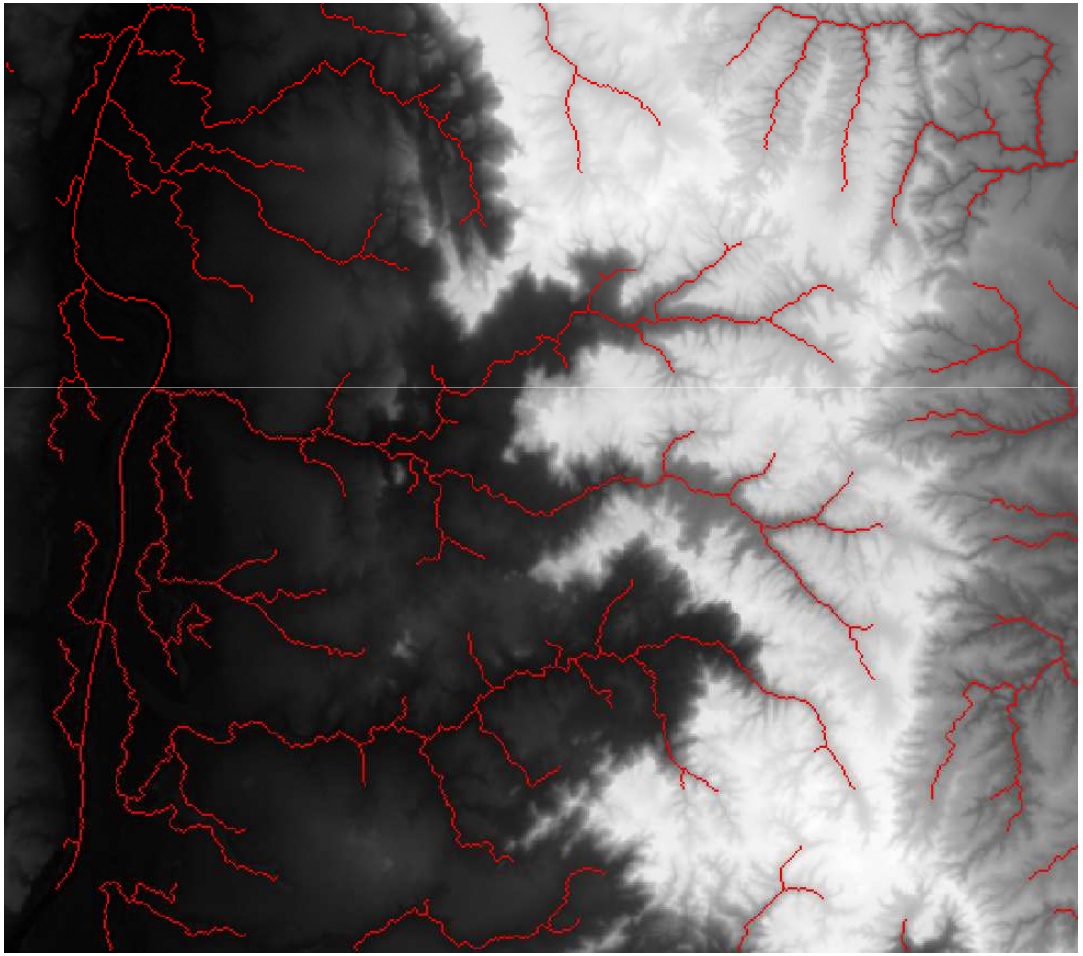




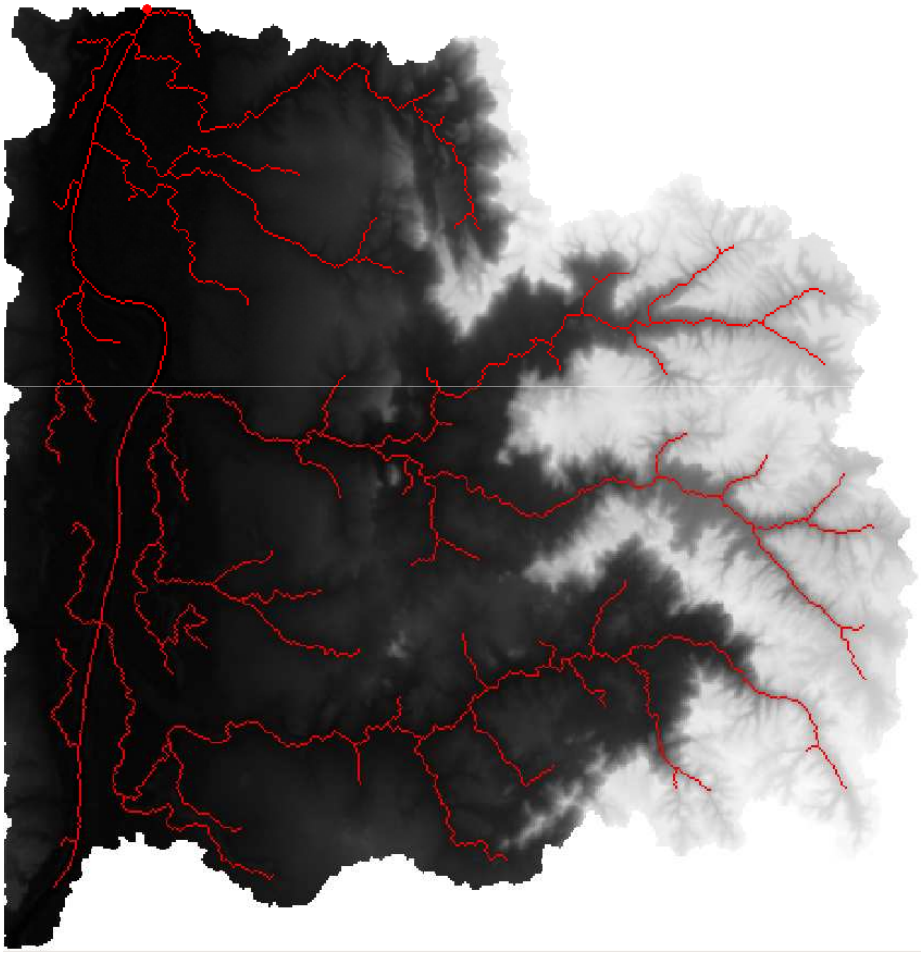
Definição de uma rede de drenagem



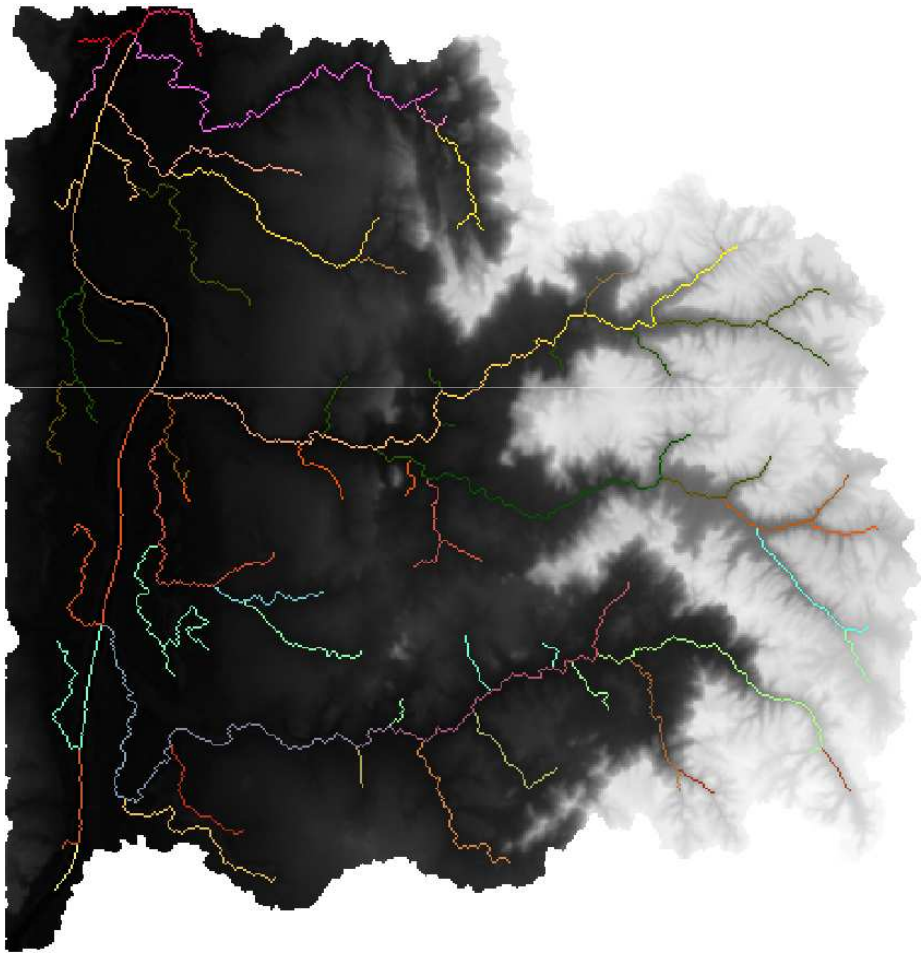
Área Acumulada / Drenagem



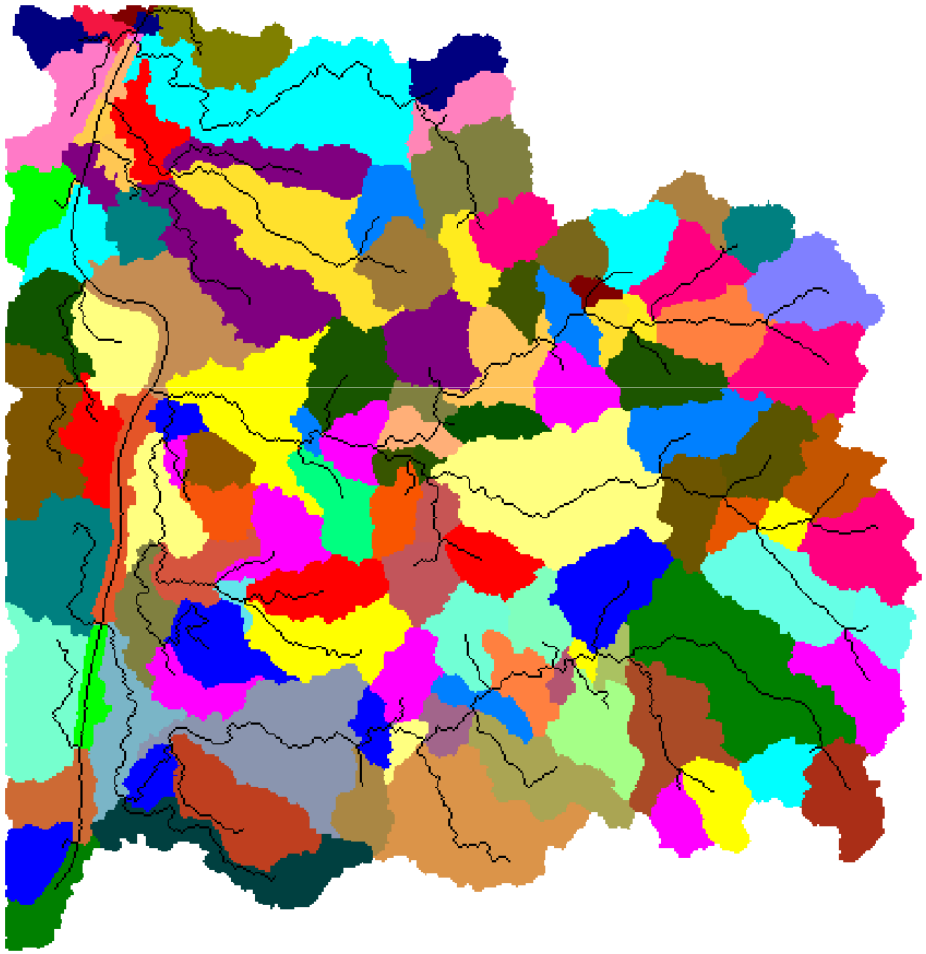
Delimitar a Bacia



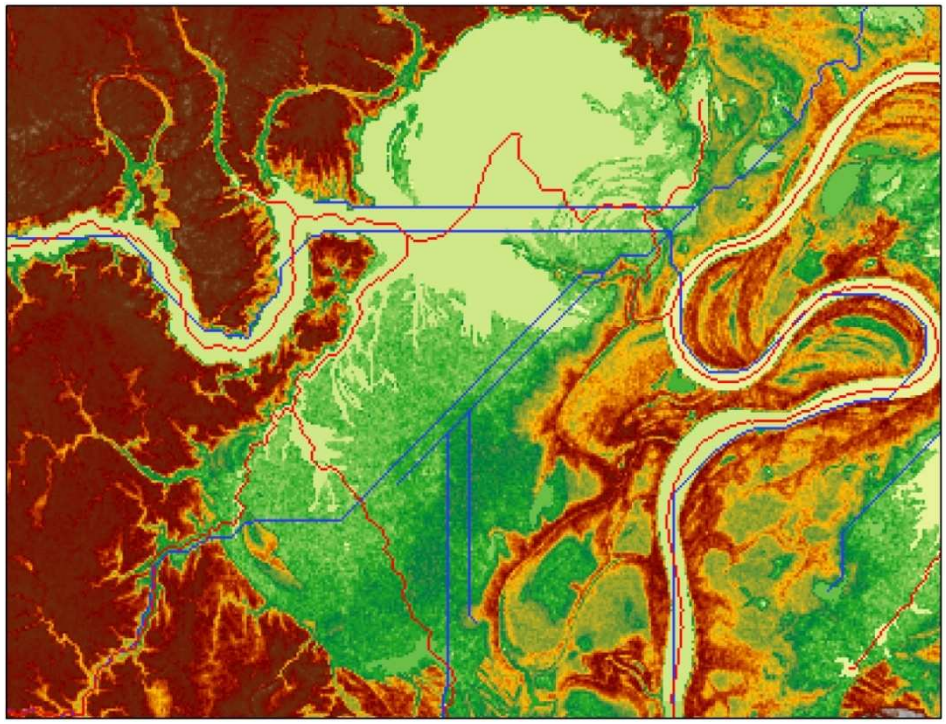
Trechos de Drenagem

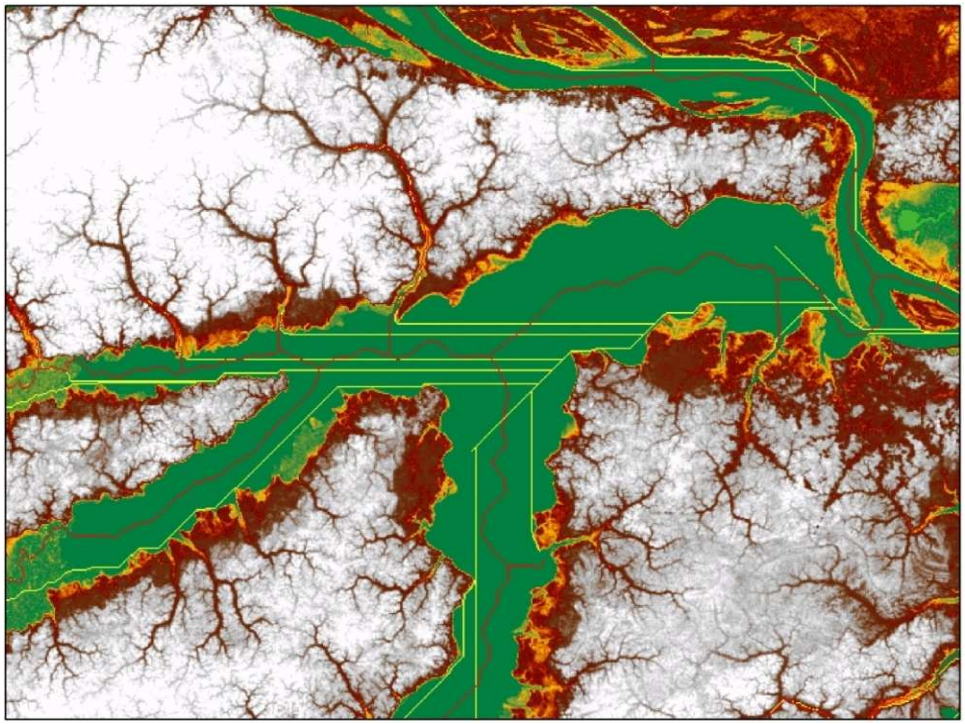


Minibacias



TerraHidro x ArcGis Hydro Tools – Rio Purus





TERRAHIDRO - OPÇÕES

- TerraHidro Interface
  - TerraLib v.4

- TerraHidro Linhas de Comandos
  - TerraLib v.5

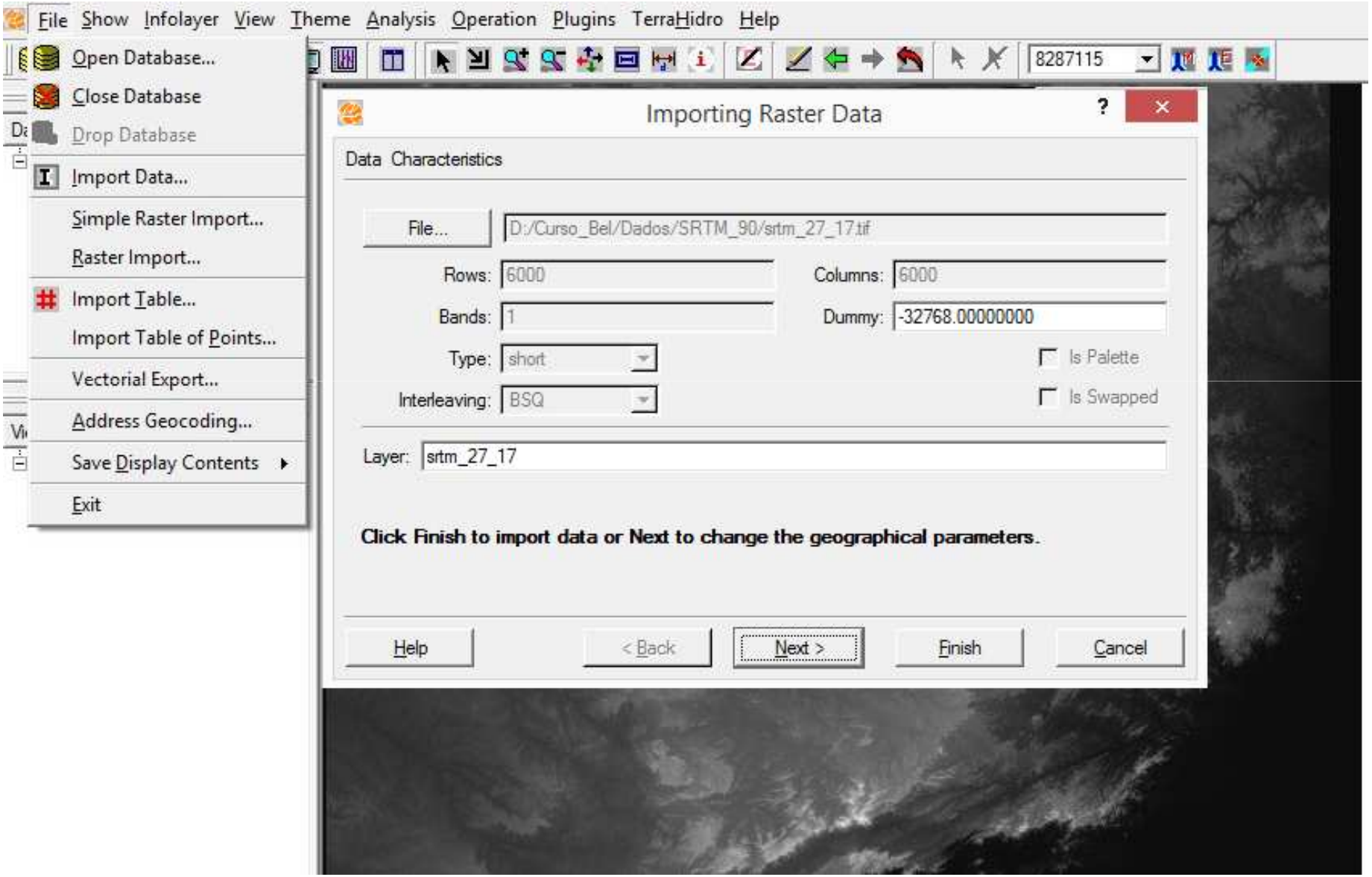
- TerraHidro Interface
  - TerraLib v.5

TerraHidro Interface v.4

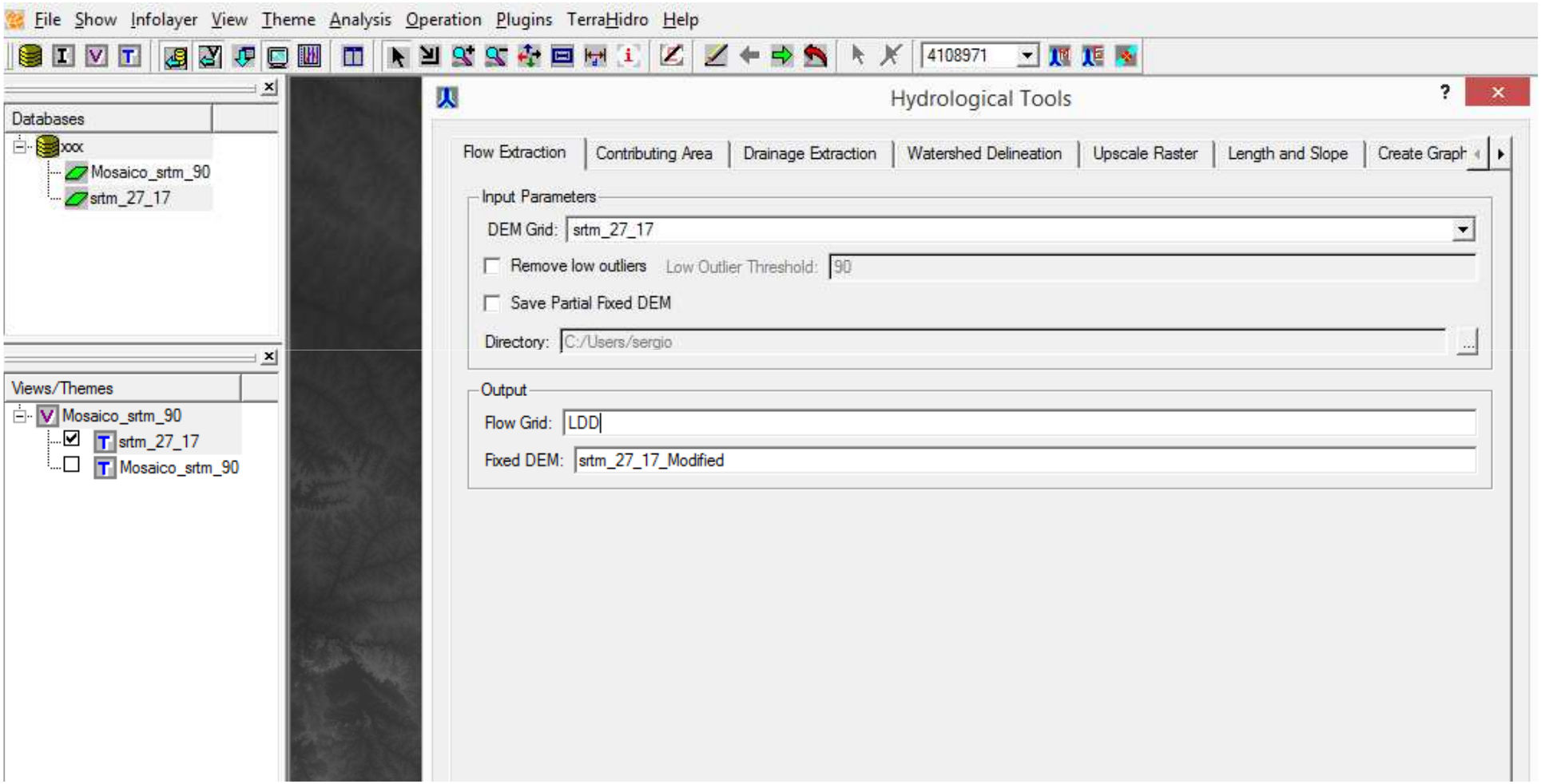
- Plugin do TerraView v.4 (TerraLib4)
- Arquitetura x86 - 32 bits
  - Endereça 4 GB de memória RAM
  - Tempo de processamento pode se tornar proibitivo
- Necessidade de utilização de um sistema gerenciador de banco de dados
  - Oracle, Access, Potsgres, etc.
- Pequena curva de aprendizado

- **VERSÃO CONGELADA**

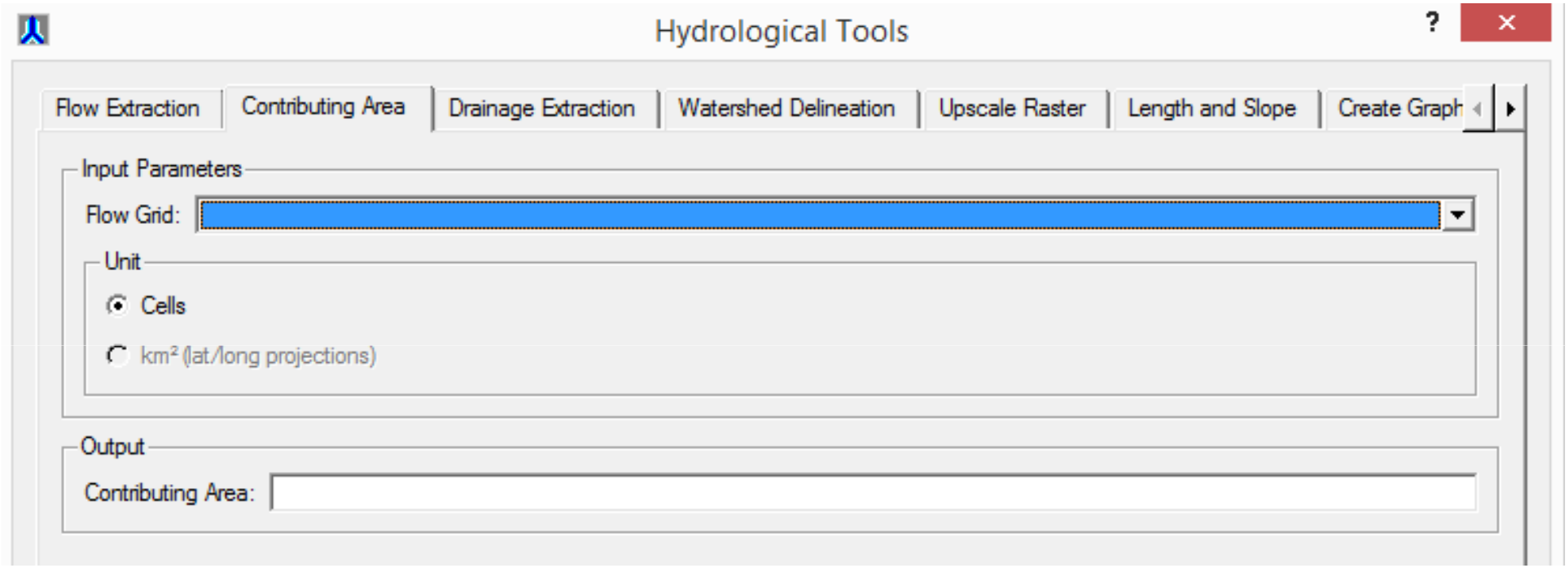
Import Raster



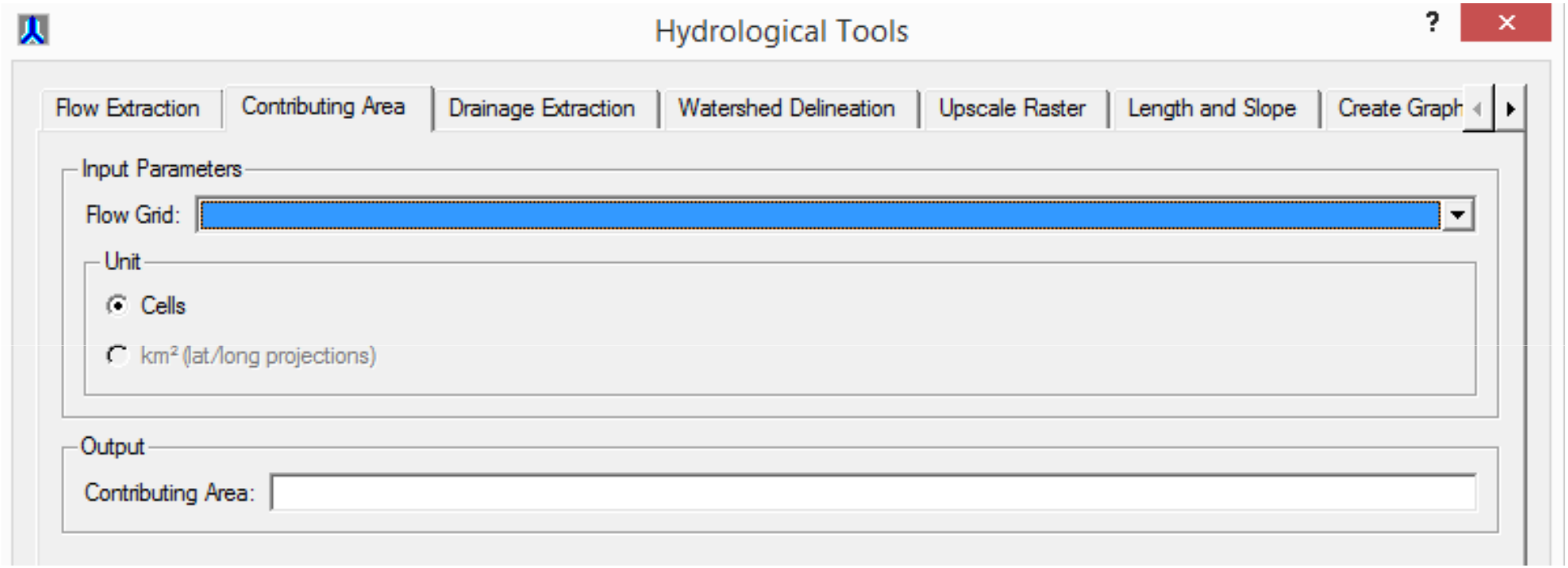
Flow Extraction



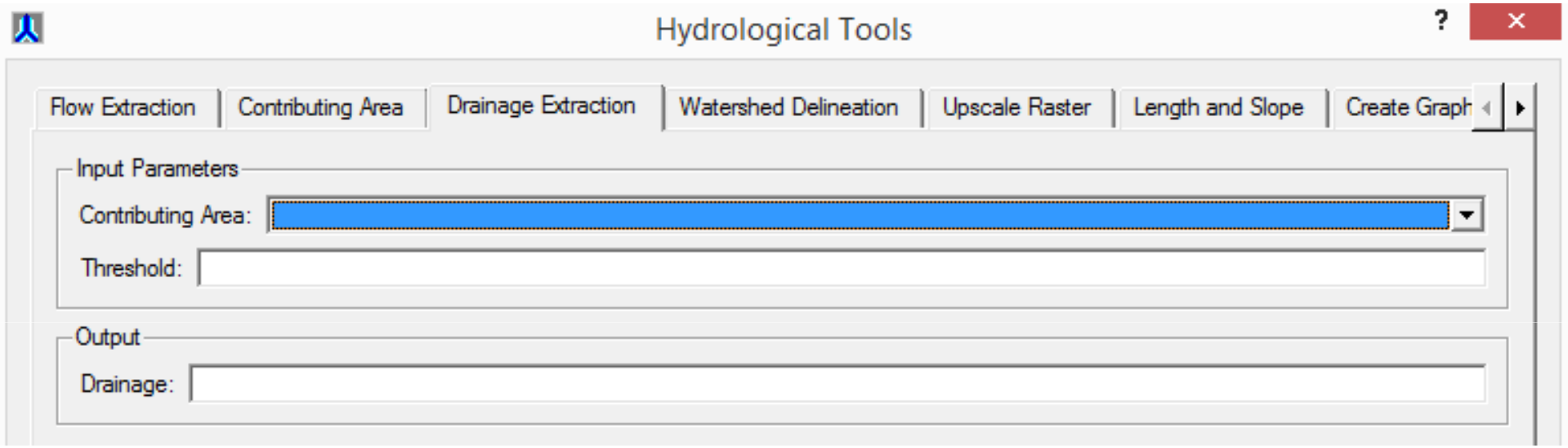
Contributing Area



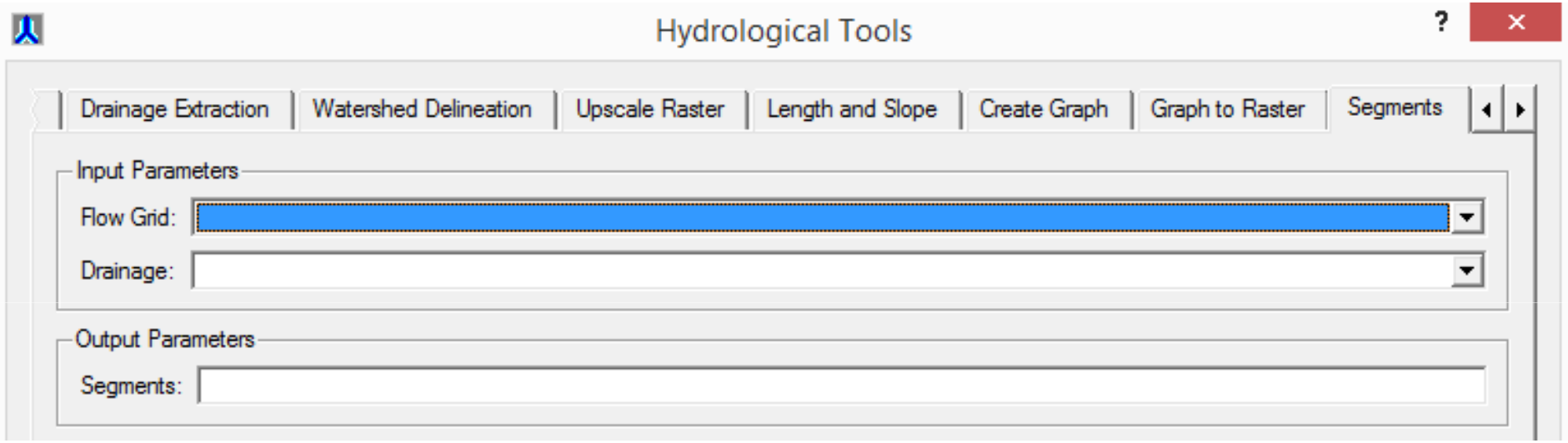
Contributing Area



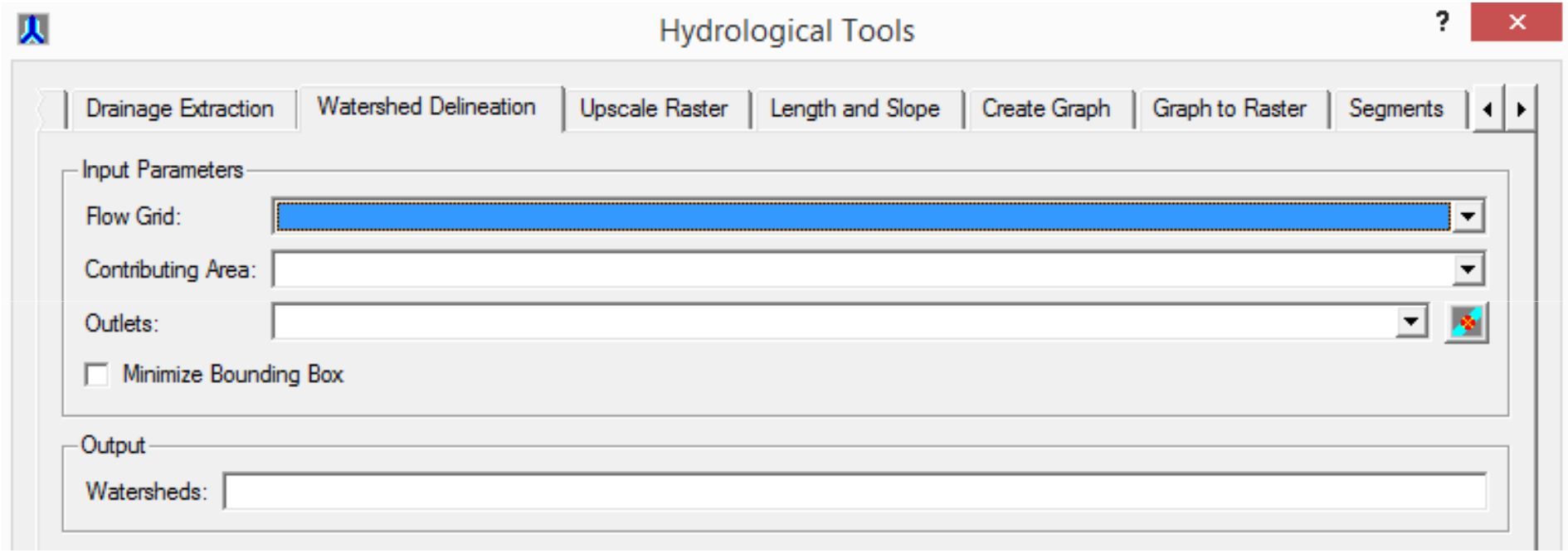
Drainage Extraction



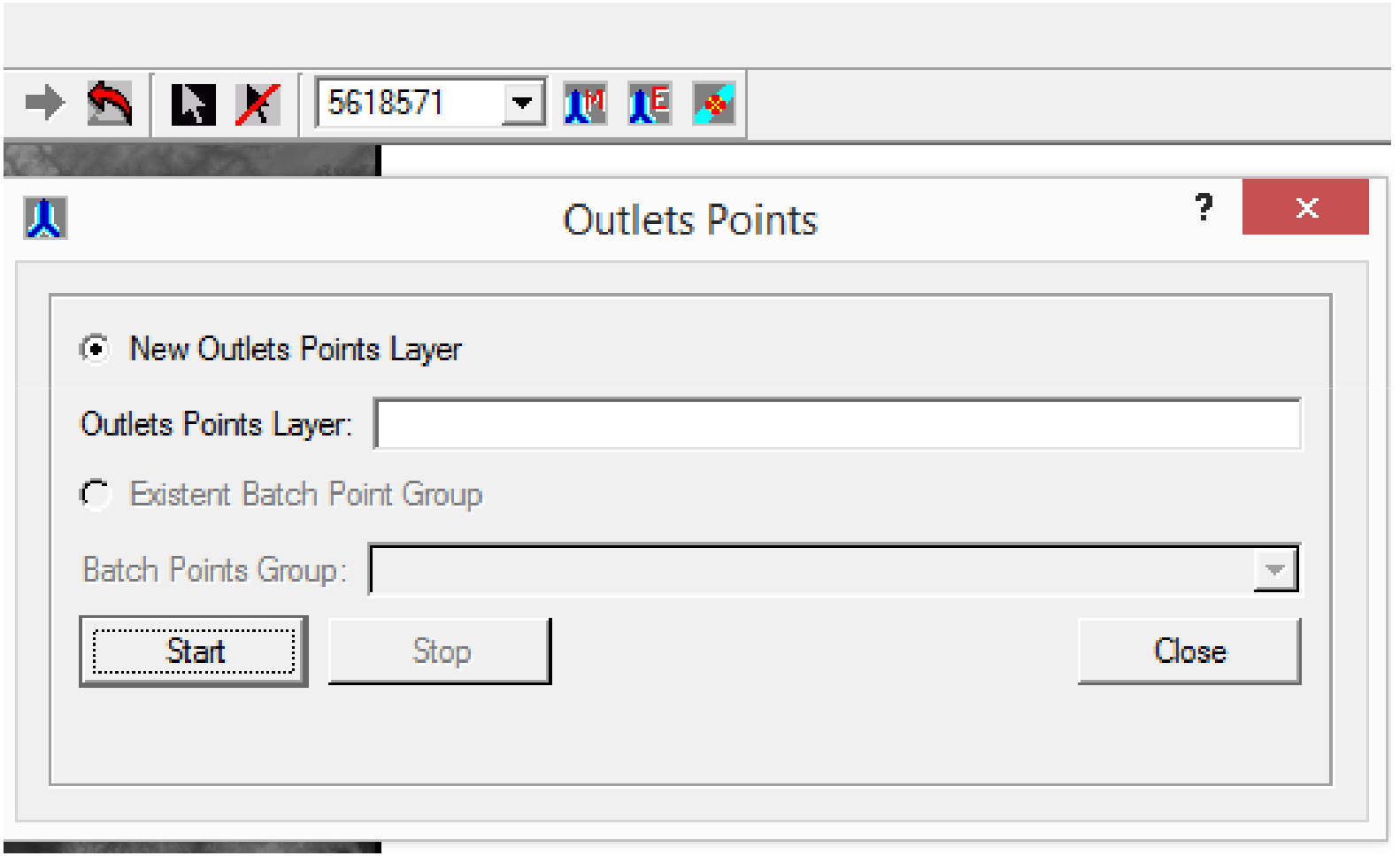
Segments


Hydrological Tools
Drainage Extraction
Watershed Delineation
Upscale Raster
Length and Slope
Create Graph
Graph to Raster
Segments
Input Parameters
Flow Grid:
Drainage:
Output Parameters
Segments:

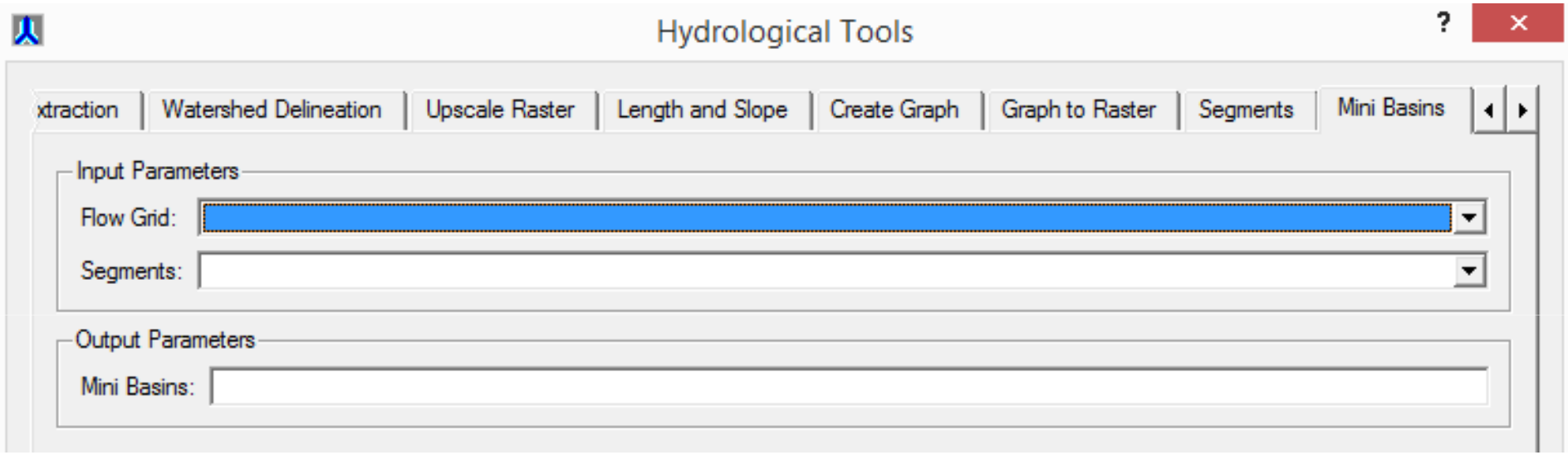
Watershed Delineation



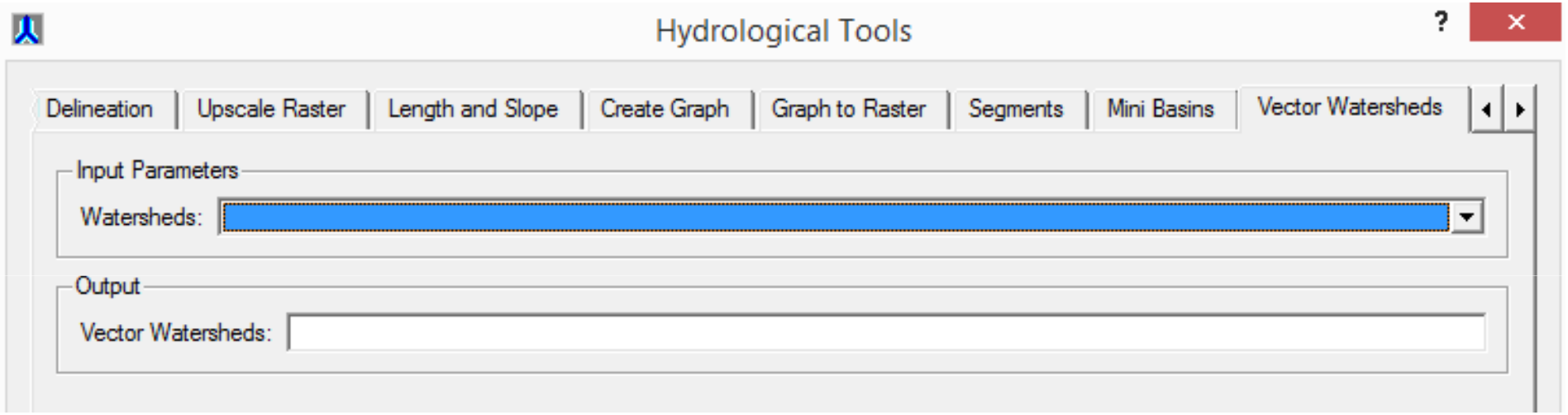
Outlet Points



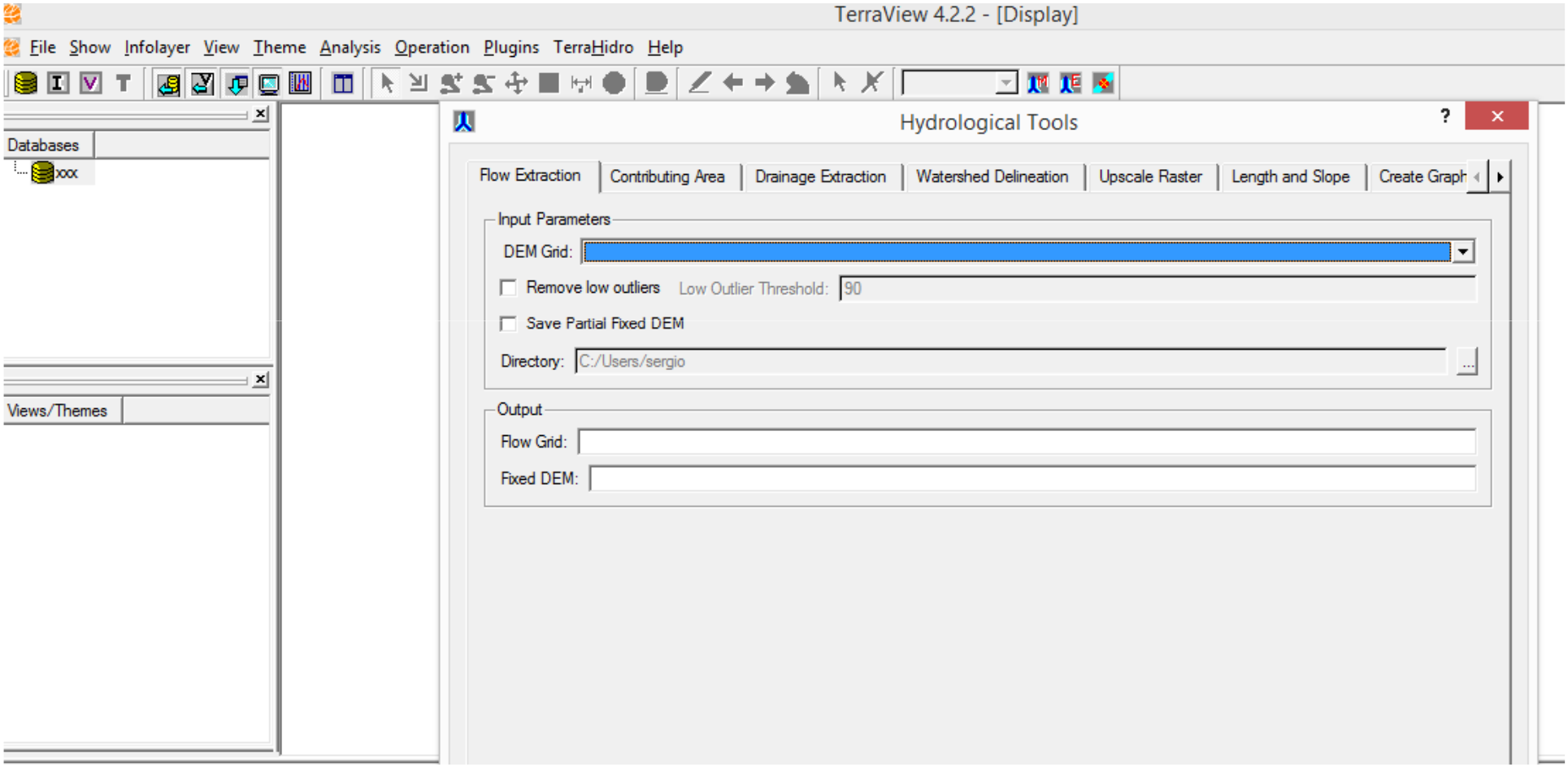
Mini Basins


Hydrological Tools
xtraction
Watershed Delineation
Upscale Raster
Length and Slope
Create Graph
Graph to Raster
Segments
Mini Basins
Input Parameters
Flow Grid:
Segments:
Output Parameters
Mini Basins:

Vector Watersheds



TerraHidro Interface v.4

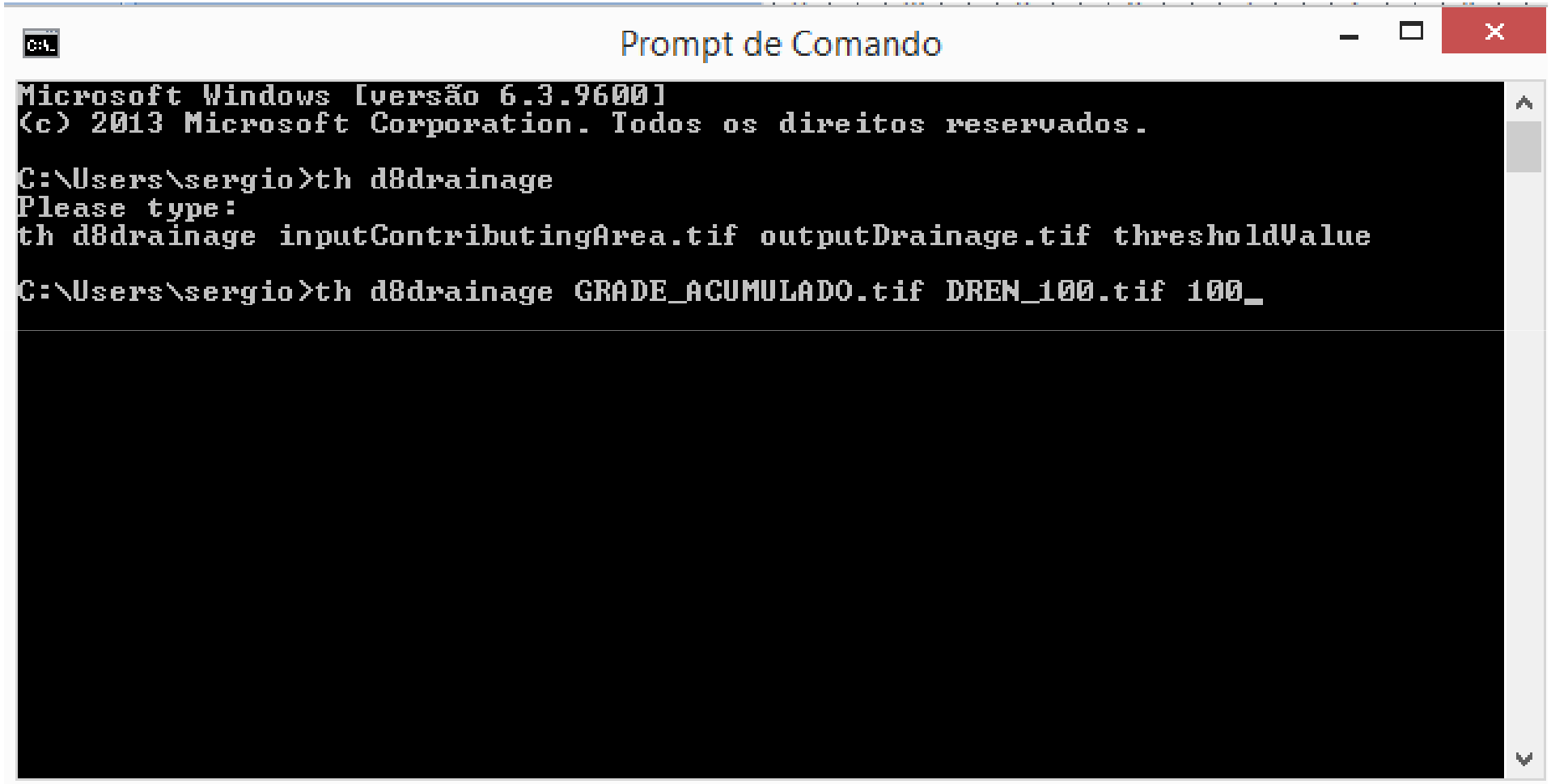


TerraHidro Linhas de Comandos

- TerraView v.5 (TerraLib5)
- Arquitetura x64 - 64 bits
  - Endereça 16EB (hexabytes), ou 16 bilhões de gigabytes de dados
  - 512 GB
  - Menor tempo de processamento
- Sem necessidade de utilização de um sistema gerenciador de banco de dados
- Mais difícil para não computeiros (inicialmente)

- **VERSÃO EM DESENVOLVIMENTO**

TerraHidro Linhas de Comandos



TERRAHIDRO – LINHAS DE COMANDOS

carvev - Finds and carves flat areas from a DEM in V-shaped format.

simplepits - Try to remove each pit by filling the pit cell. If this procedure does not generate a new pit, this pit is removed. Warning: This operation does not generate a pitless DEM.

pfs - Remove all pits using the PFS algorithm to carve a path to an outlet cell.

This operation generates a pitless DEM.

removepits - This is the preferred procedure to remove all pits from a DEM. This is equivalent to perform the carvev, simplepits and pfs precedures in sequence. This operation generates a pitless DEM.

TERRAHIDRO – LINHAS DE COMANDOS

d8 - Generates the D8 flow directions grid from a pitless DEM.

d8ca - Generates the contributing area grid from a D8 flow directions grid.

d8drainage - Generates the drainage network grid from a contributing area grid.

d8drainagev - Generates the drainage network vectors from a drainage network grid.

hand - Generates the HAND from a DEM grid, a D8 flow directions grid and a drainage network grid.

segments - Generates the segments from a D8 flow directions grid and a drainage network grid

Codificação de Otto Pfafstetter

- Metodologia para codificação de bacias hidrográficas
- Utilizada na gestão de recursos hídricos em diversos órgãos (e.g. USGS)
- Adotada pela ANA na Base Hidrográfica Ottocodificada
- Permite identificação das relações hierárquicas entre bacias em níveis
- Codificação inicial da América do Sul é pré-determinada (nível 1)
- Rios e bacias codificados são denominados *ottorios* e *ottobacias*
- Ottobacias estão associadas aos 4 maiores tributários do curso d'água

Codificação de Otto Pfafstetter

- Maiores tributários são identificados pela área de contribuição à jusante
- Ottobacias recebem codificação par, e trechos de rio codificação ímpar
- Ottobacias (2, 4, 6, 8), trechos de rio (1, 3, 5, 7, 9)
- Processamento pelo TerraHidro em 4 etapas: mouths, orderedmouths, ottorivers, ottobasins
- mouths: identifica os exutórios das bacias
- Orderedmouths: ordena exutórios pela área de contribuição (decrescente)
- Ottorivers: codifica os ottorios (trechos de rio e principais tributários)
- Ottobasins: codifica as ottobacias associadas aos ottorios

Funções do TerraHidro

- th mouths inputD8.tif inputDrainage.tif outputMouths.txt

- gera arquivo texto com coordenadas de grade dos exutórios

- th orderedmouths inputContributingArea.tif inputMouths.txt outputOrderedMouths.txt

- gera arquivo texto com coordenadas de grade dos exutórios ordenados pela área de contribuição

- th ottorivers inputD8upstream.tif inputDrainage.tif inputAccumulatedArea.tif inputMouths.txt outputOttoRivers.tif outputNewLevelMouths.txt

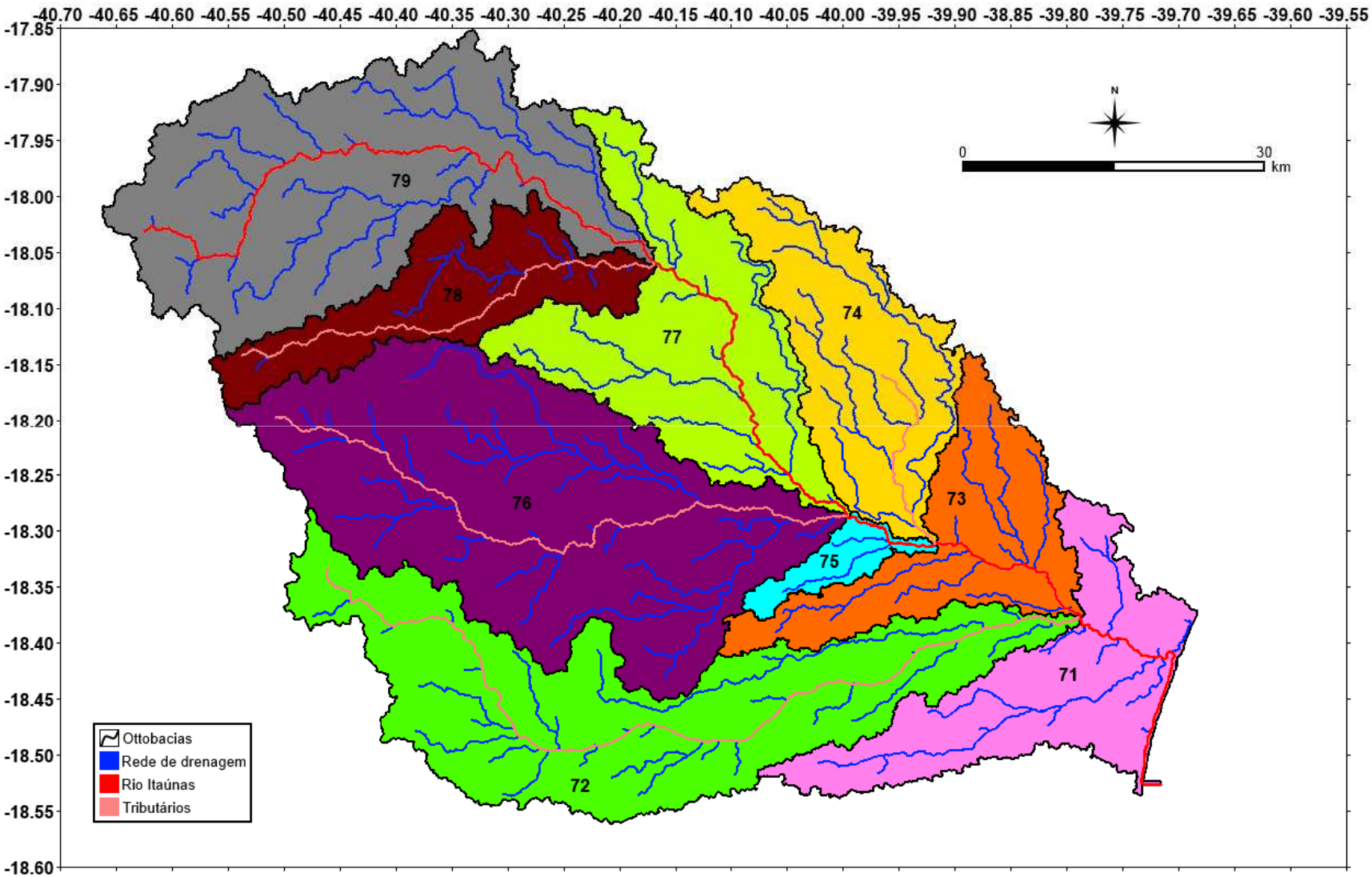
- gera ottorios codificados (raster) e arquivo texto com pontos à jusante de cada ottobacia para próximo nível da codificação

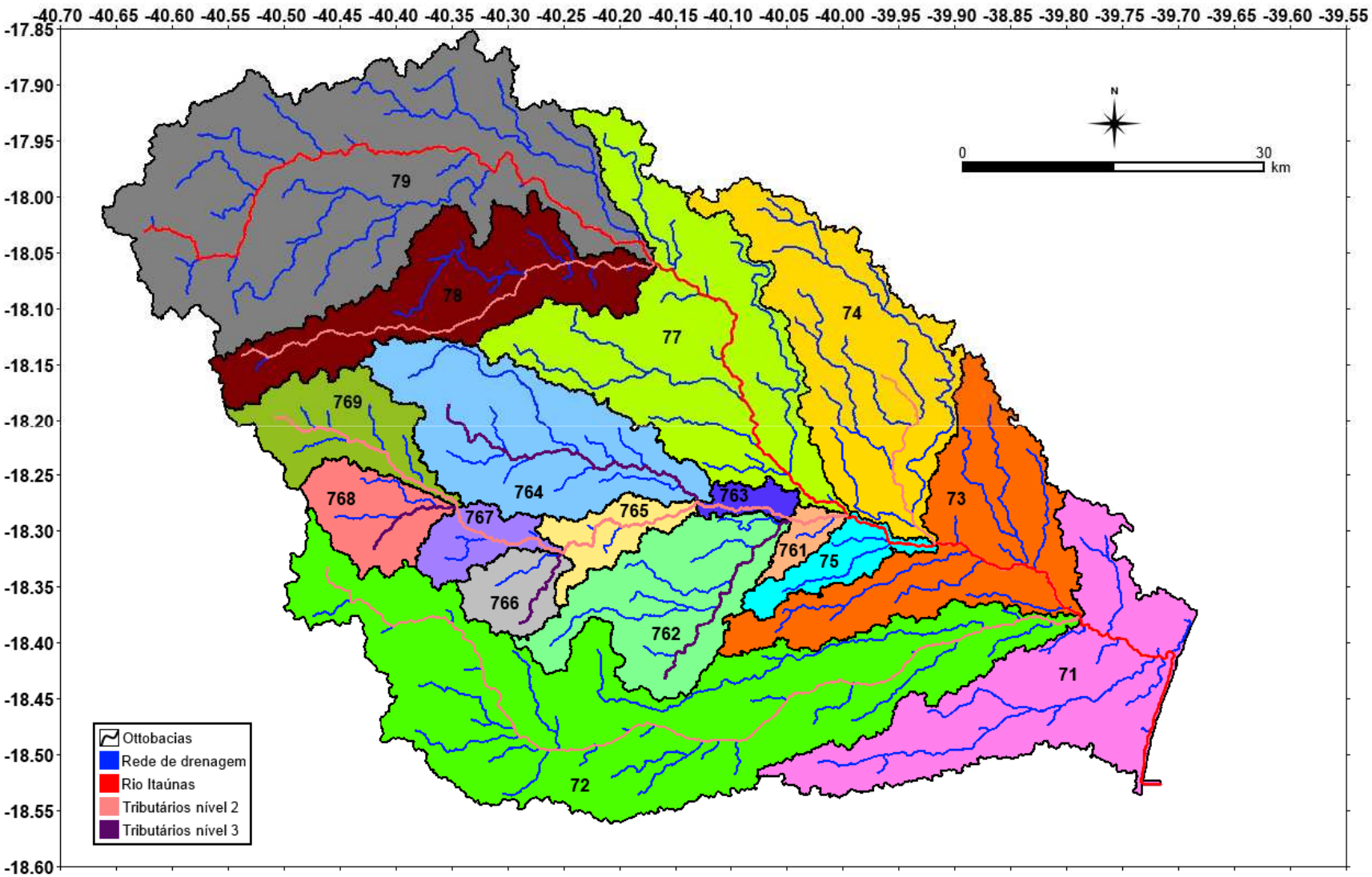
- th ottobasins inputD8.tif inputOttoRivers.tif outputOttoBasins.tif

- gera ottobacias codificadas (raster)

Sequência de Execução

- th removepits DEM.tif DEM_Sem_Pits.tif
- th d8 DEM_Sem_Pits.tif LDD.tif
- th d8ca LDD.tif ACM.tif
- th d8drainage ACM.tif Drain_100.tif 100
- th d8drainagev Drain_100.tif LDD.tif Vet_100.shp
- th segments LDD.tif Drain_100.tif Seg_100.tif
- th minibasins LDD.tif Seg_100.tif MB_100.tif
- th outletbasin LDD.tif ACM.tif 30 40 Basin_100_30_40.tif
- th hand DEM_Sem_Pits.tif LDD.tif Drain_100.tif Hand_100.tif


-40.70 -40.65 -40.60 -40.55 -40.50 -40.45 -40.40 -40.35 -40.30 -40.25 -40.20 -40.15 -40.10 -40.05 -40.00 -39.95 -39.90 -38.85 -39.80 -39.75 -39.70 -39.65 -39.60 -39.55
-17.85
-17.90
-17.95
-18.00
-18.05
-18.10
-18.15
-18.20
-18.25
-18.30
-18.35
-18.40
-18.45
-18.50
-18.55
-18.60
N
0
30
km
79
78
77
74
73
76
75
71
72
Ottobacias
Rede de drenagem
Rio Itaúnas
Tributários


-40.70 -40.65 -40.60 -40.55 -40.50 -40.45 -40.40 -40.35 -40.30 -40.25 -40.20 -40.15 -40.10 -40.05 -40.00 -39.95 -39.90 -38.85 -39.80 -39.75 -39.70 -39.65 -39.60 -39.55
-17.85
-17.90
-17.95
-18.00
-18.05
-18.10
-18.15
-18.20
-18.25
-18.30
-18.35
-18.40
-18.45
-18.50
-18.55
-18.60
N
0
30
km
79
78
77
74
769
764
763
73
768
767
765
761
75
766
762
71
72
Ottobacias
Rede de drenagem
Rio Itaúnas
Tributários nível 2
Tributários nível 3

Caminhos de fluxo (flowpath)

- gera caminhos de fluxo na grade (raster) a partir de pontos de origem (vetorial)

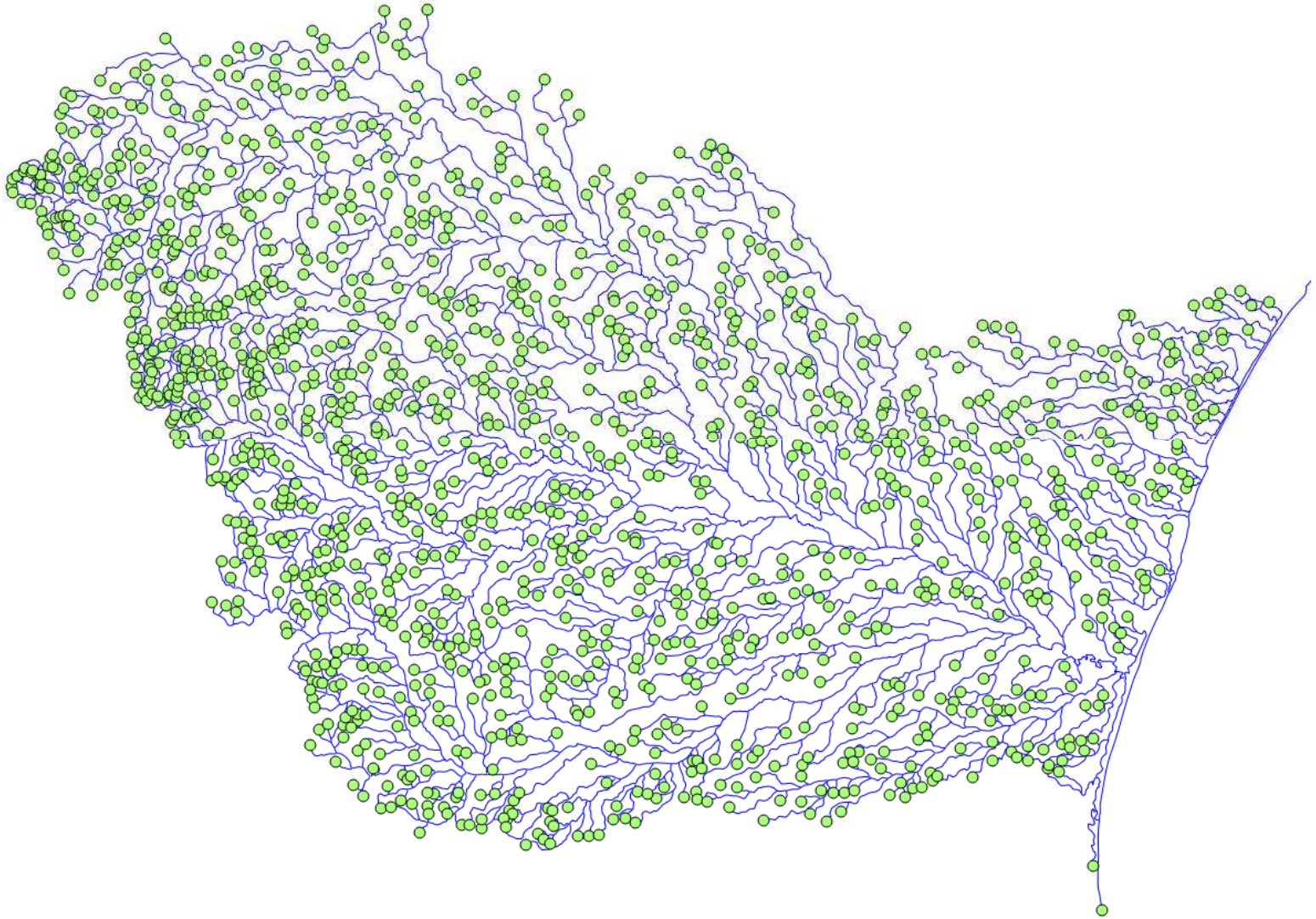
- caminhos são gerados seguindo as direções de fluxo (D8) obtidas da topografia

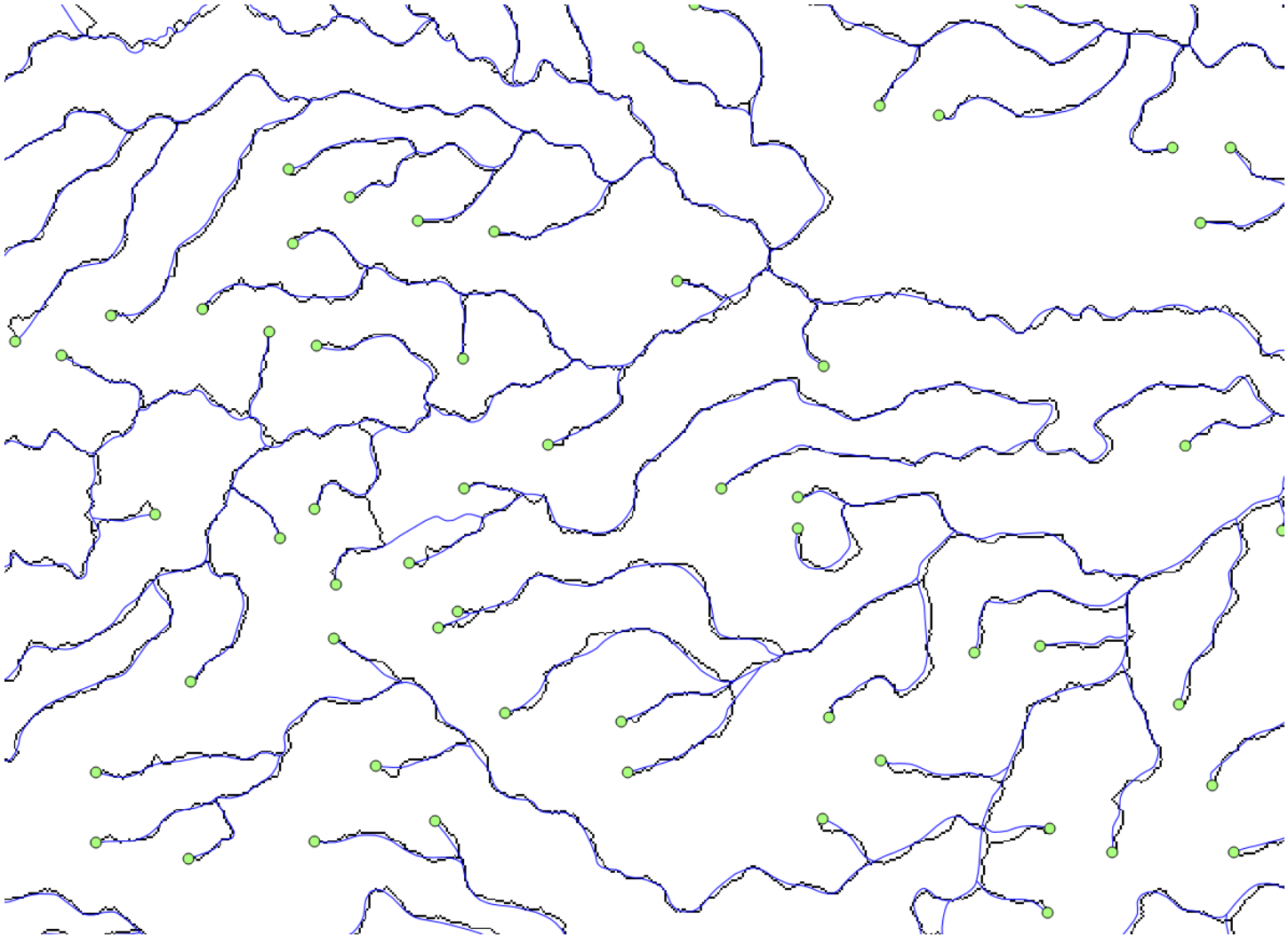
- um caminho sendo percorrido é definido se encontrar outro já processado

- caminhos podem ser comparados a uma drenagem vetorial de referência

- a drenagem de referência pode não estar de acordo com a topografia

➢ th flowpath inputD8.tif inputSources.shp outputFlowPaths.tif
- gera caminhos de fluxo (raster)

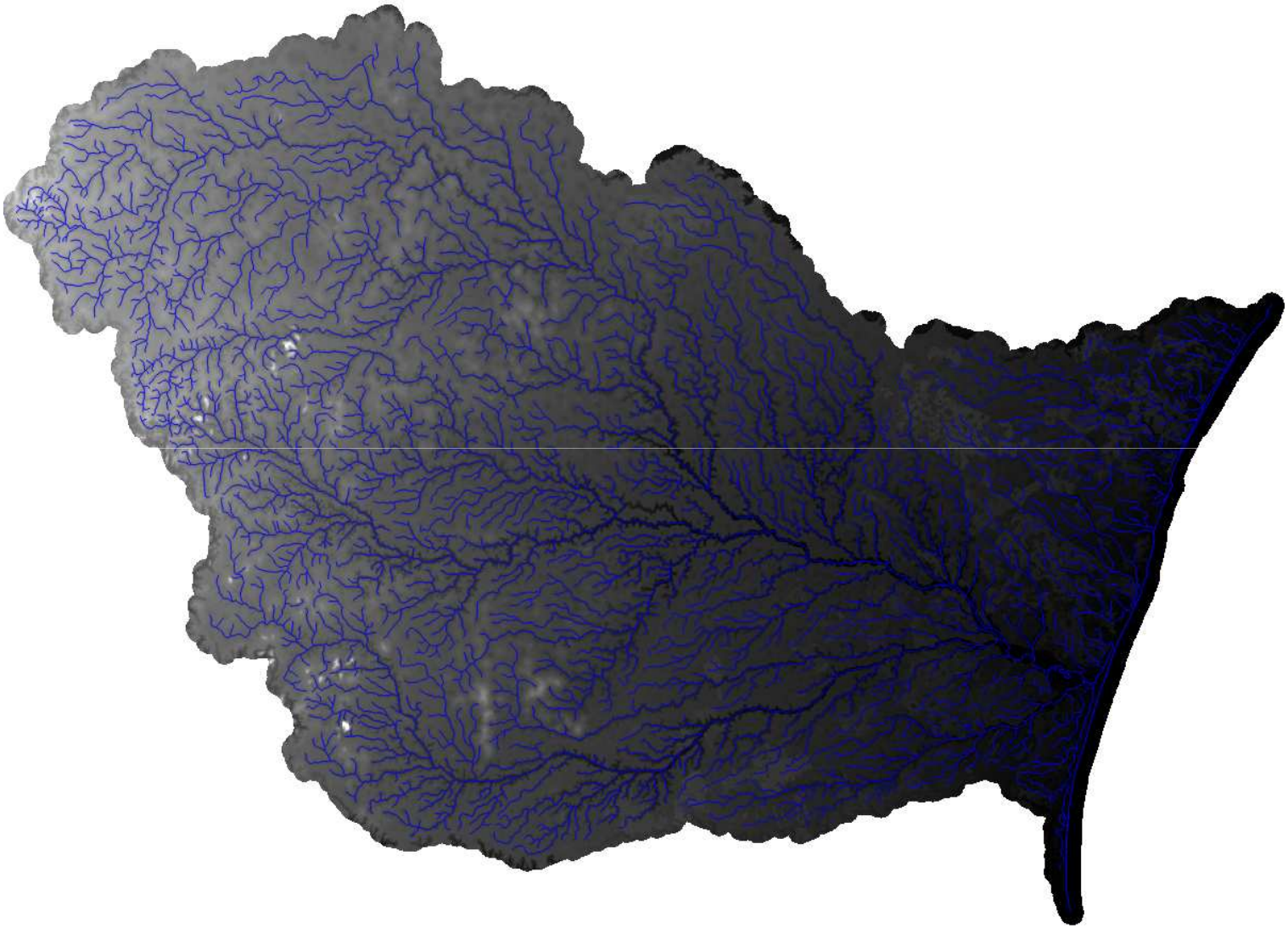


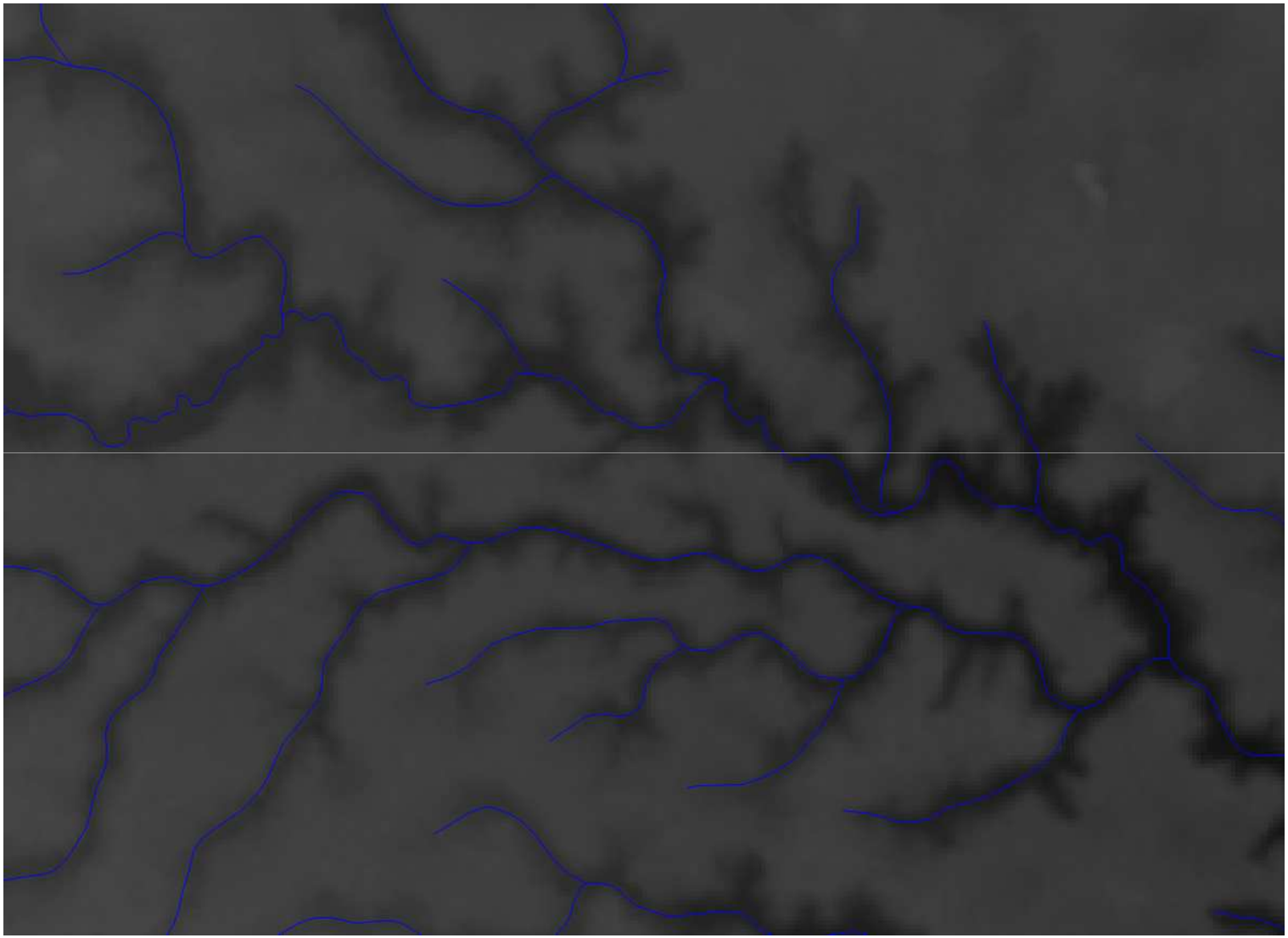


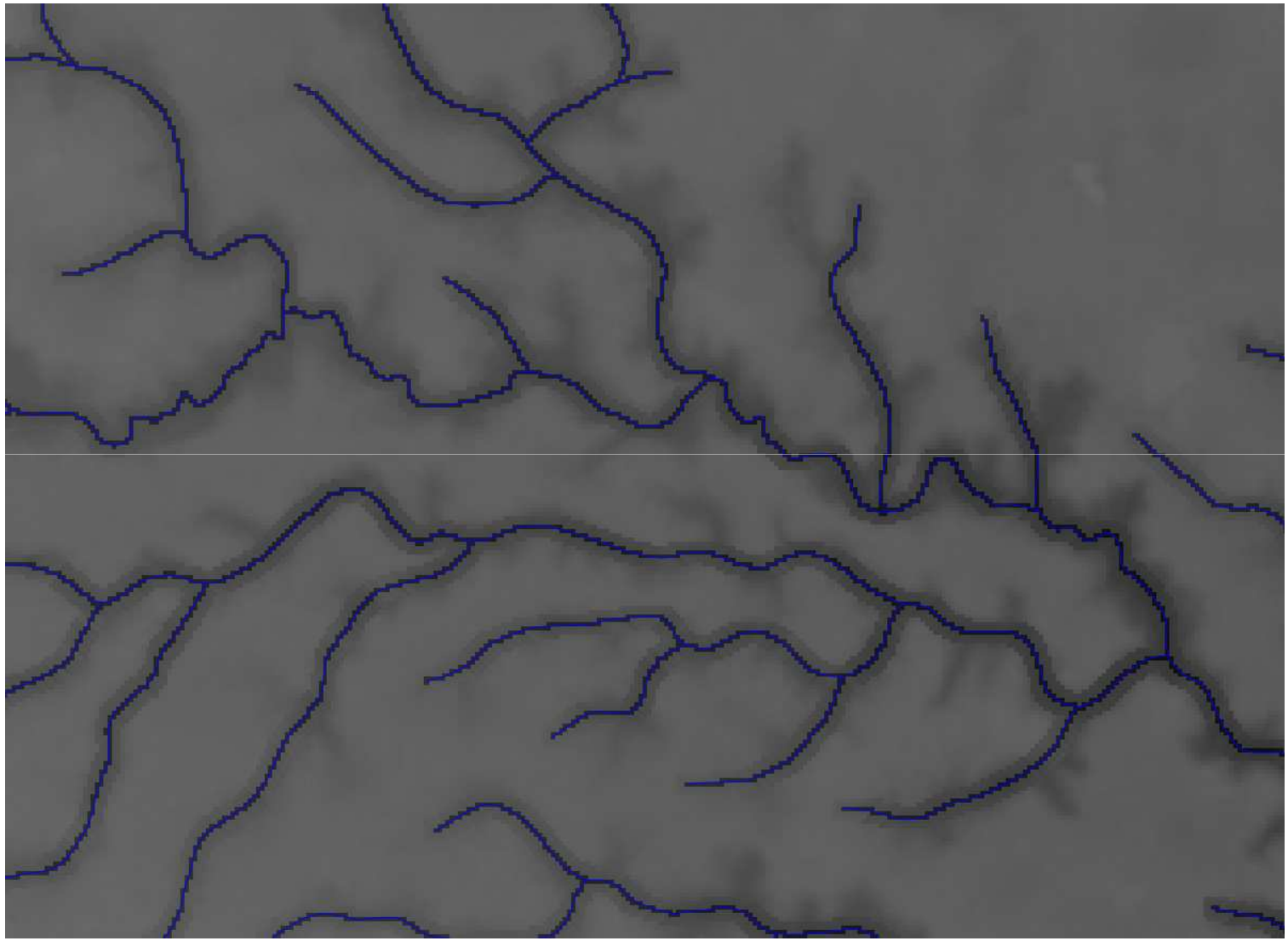
Topografia concorda com drenagem (agreedem)

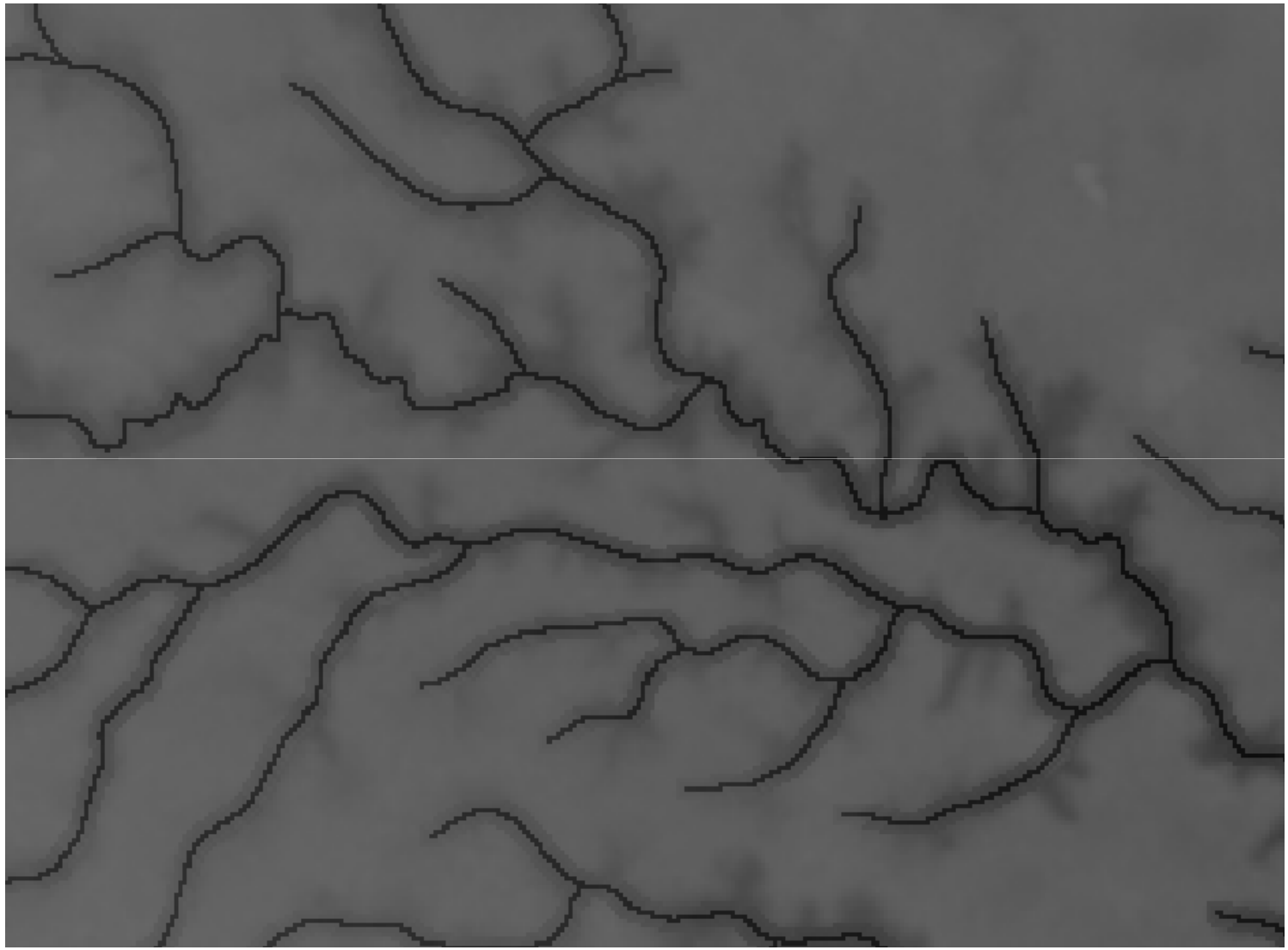
- uma drenagem de referência pode não concordar com os fluxos locais na topografia
- gera topografia (raster) com pontos modificados para convergir/concordar com uma drenagem de referência (raster ou vetorial)
- drenagem vetorial é rasterizada internamente com ferramenta da GDAL (gdal_rasterize)
- são indicados 3 parâmetros: buffer (distância), smooth (suavização), sharp (queda brusca)
- o buffer define um limite da distância em pixels em relação aos pontos de drenagem
- fator de suavização considera a distância do buffer para modificar a topografia
- fator de queda brusca modifica (afunda) topografia nos pontos de drenagem

➢ th agreedem inputDEM.tif inputDrainage.{shp|tif} bufferSize smoothFactor sharpFactor outputDEM.tif
- gera topografia (raster) que concorda com drenagem









TerraHidro Interface v.5

- Plugin do TerraView v.5
- Arquitetura x64 - 64 bits
- Novo conceito de interface
- Baseado nas funções usadas nas linhas de comandos
- Uso de metadados
- Histórico criado em linhas de comandos

- **VERSÃO (BETA) EM DESENVOLVIMENTO**

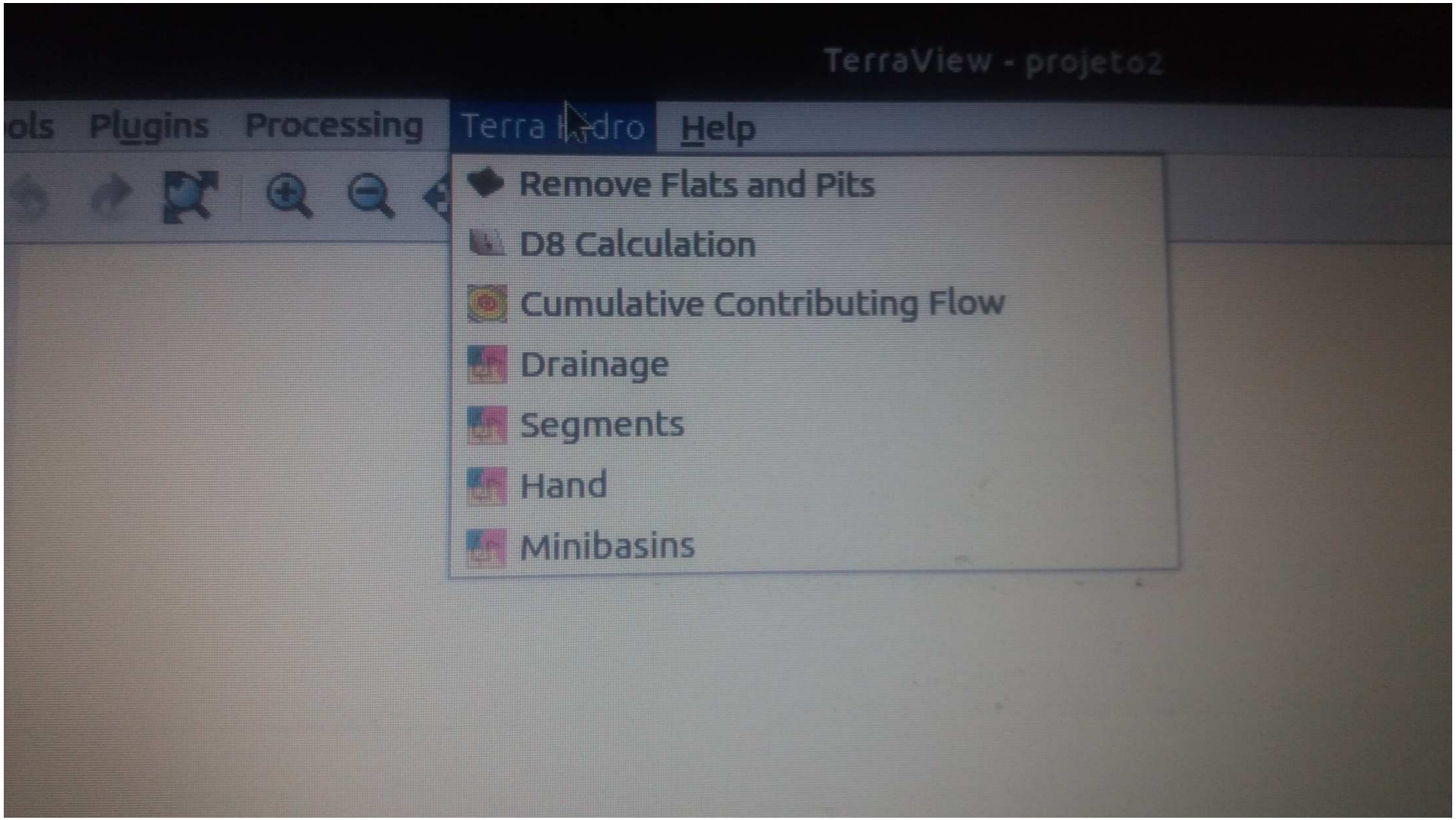
Novo conceito de interface

- **Versão 4**
  - Funções executadas sequencialmente, passo a passo
- Passo 1 -> Passo 2 -> Passo 3 -> ……
- Usuário deve interfacear em cada passo.
- Dado de altimetria -> Remover áreas planas e fossos -> Definir grade de fluxos -> Definir grade de áreas acumuladas -> Determinação da drenagem

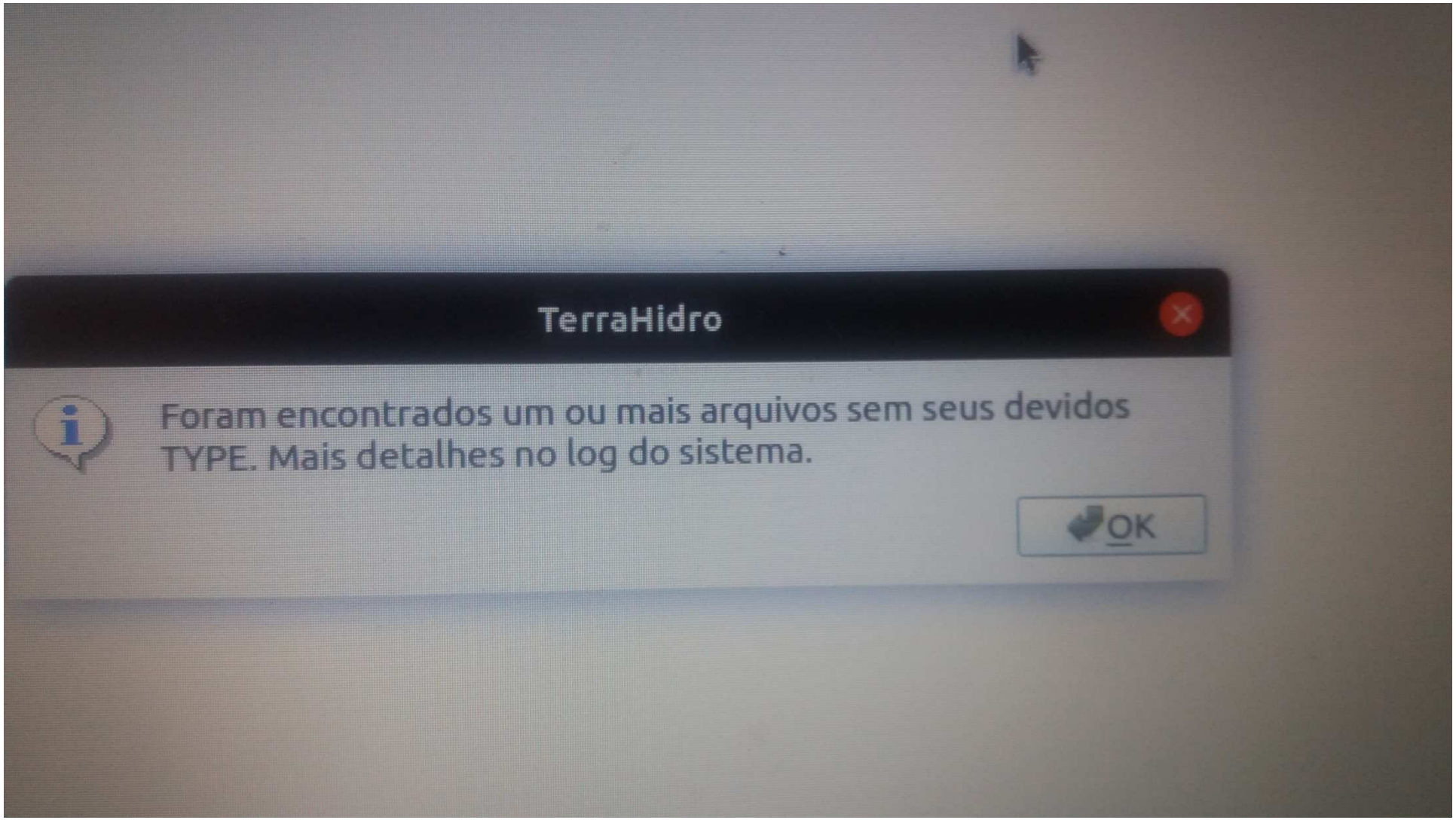
Novo conceito de interface

- **Versão 5**
- Funções executadas sequencialmente, mas não necessariamente passo a passo
- Passo 1 -> Passo 2 -> Passo 3 -> ……
- Passo 1 -> Passo 3
- Passo 1 -> Passo n
- Passo k -> Passo n
- Dado de altimetria -> Determinação da drenagem

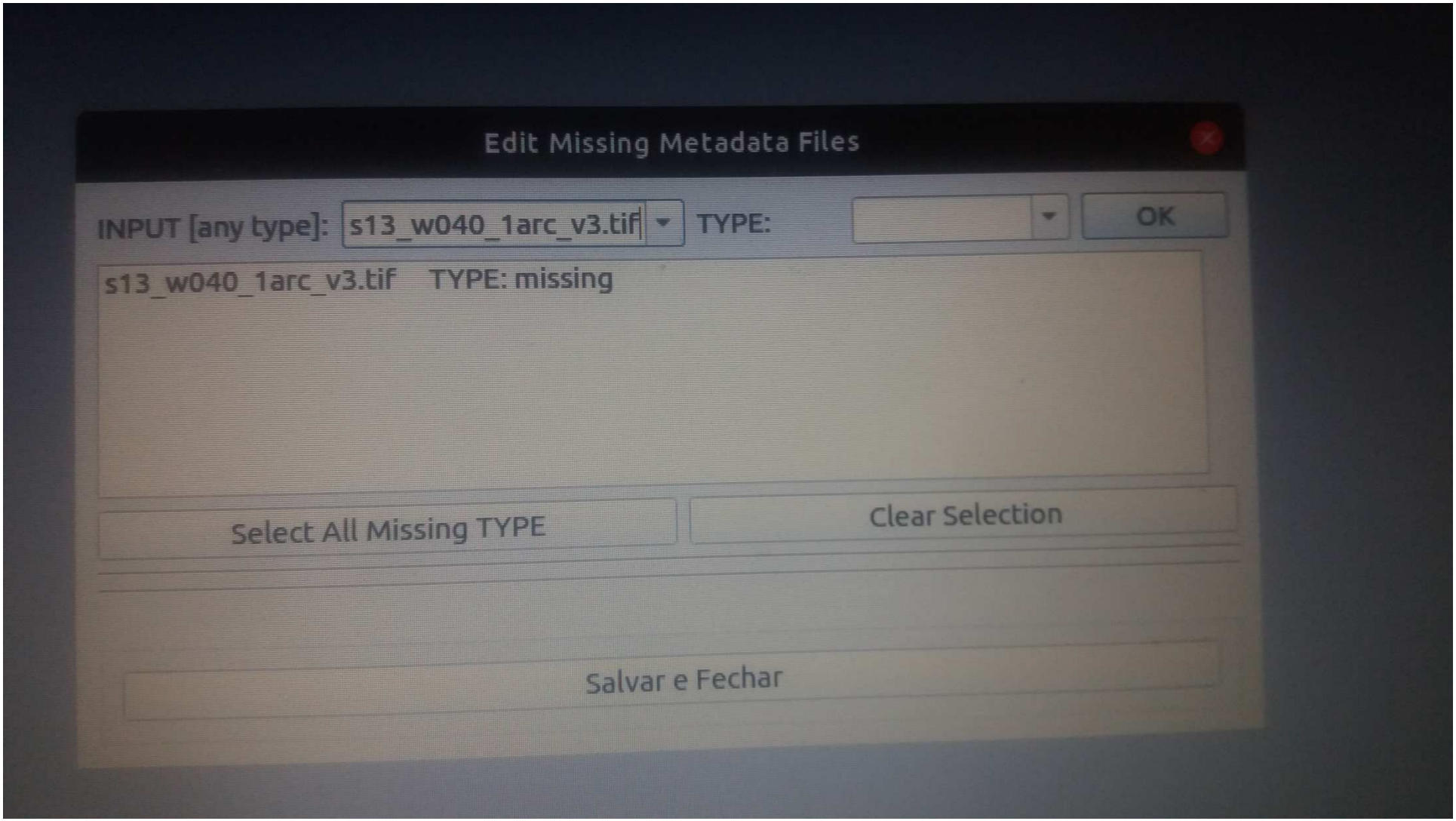
Interface


TerraView - projeto2
ols
Plugins
Processing
Terra Hydro
Help
Remove Flats and Pits
D8 Calculation
Cumulative Contributing Flow
Drainage
Segments
Hand
Minibasins

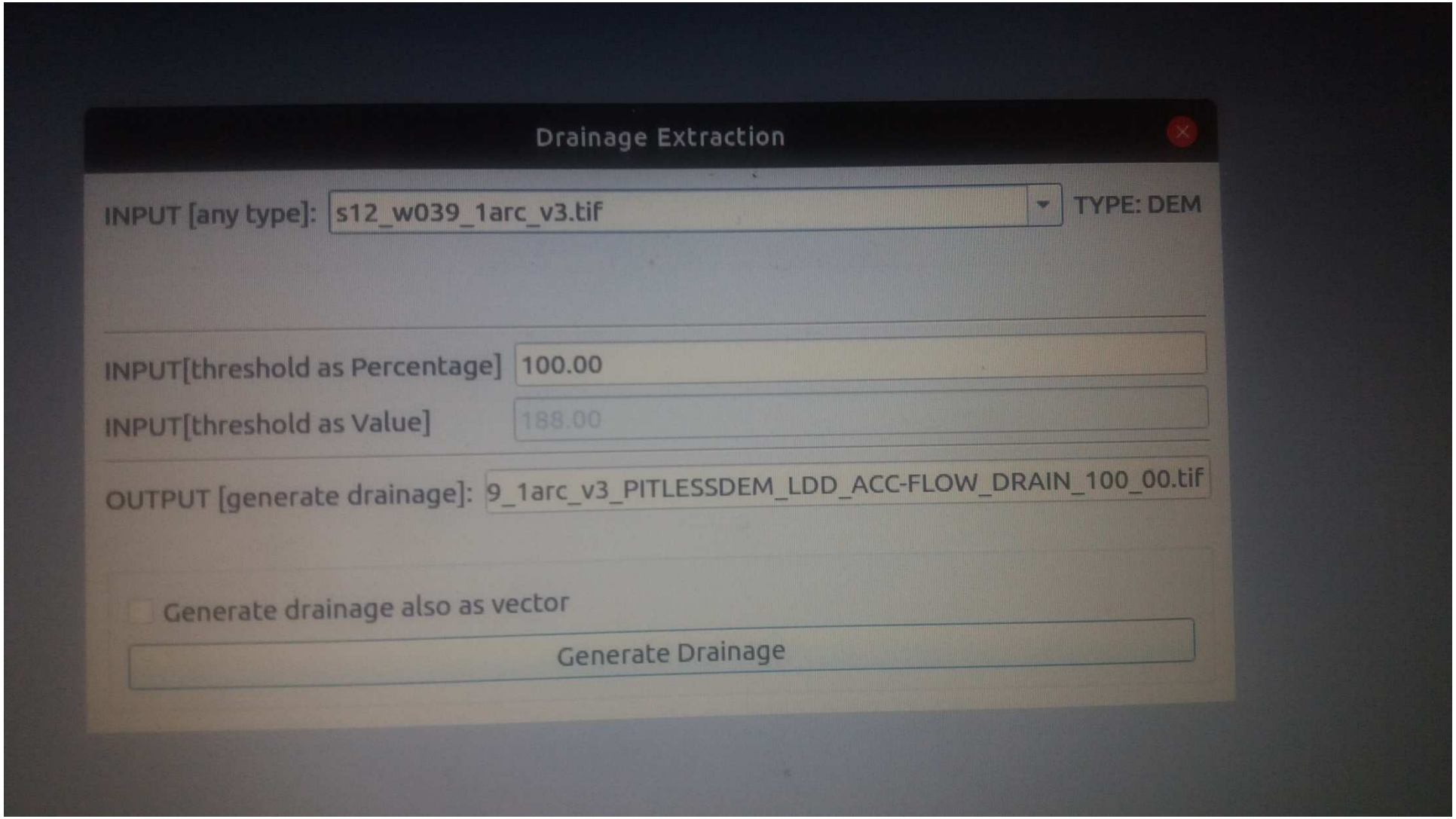
Tipo do dado


TerraHidro
Foram encontrados um ou mais arquivos sem seus devidos TYPE. Mais detalhes no log do sistema.
OK

Tipo do dado

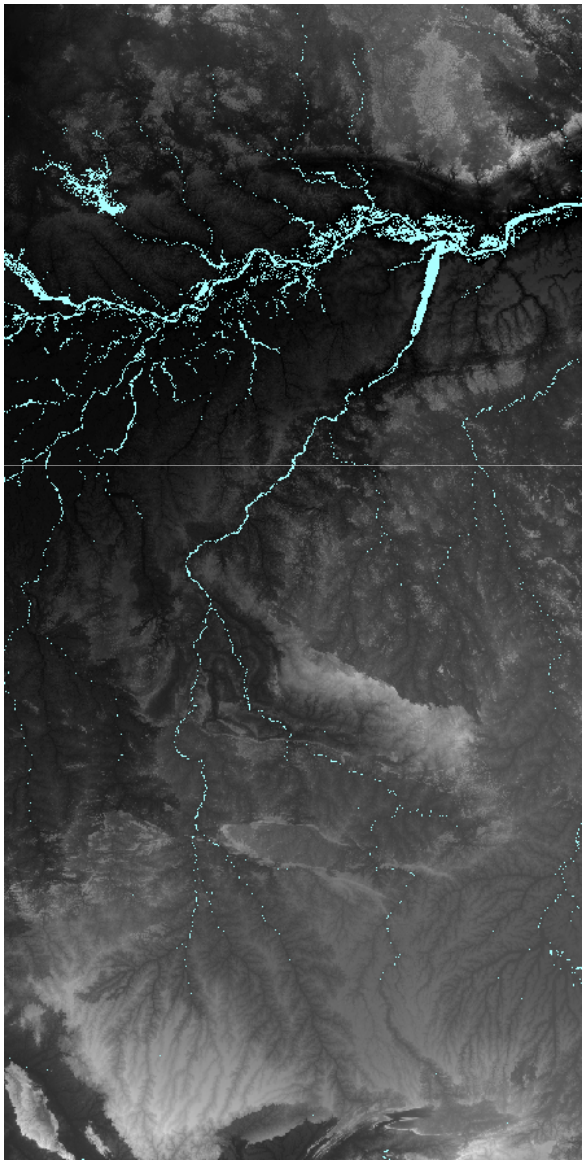

Edit Missing Metadata Files
INPUT [any type]:
s13_w040_1arc_v3.tif
TYPE:
OK
s13_w040_1arc_v3.tif TYPE: missing
Select All Missing TYPE
Clear Selection
Salvar e Fechar

Drenagem


Drainage Extraction
INPUT [any type]:
s12_w039_1arc_v3.tif
TYPE: DEM
INPUT[threshold as Percentage]
100.00
INPUT[threshold as Value]
188.00
OUTPUT [generate drainage]:
9_1arc_v3_PITLESSDEM_LDD_ACC-FLOW_DRAIN_100_00.tif
Generate drainage also as vector
Generate Drainage

RESULTADOS

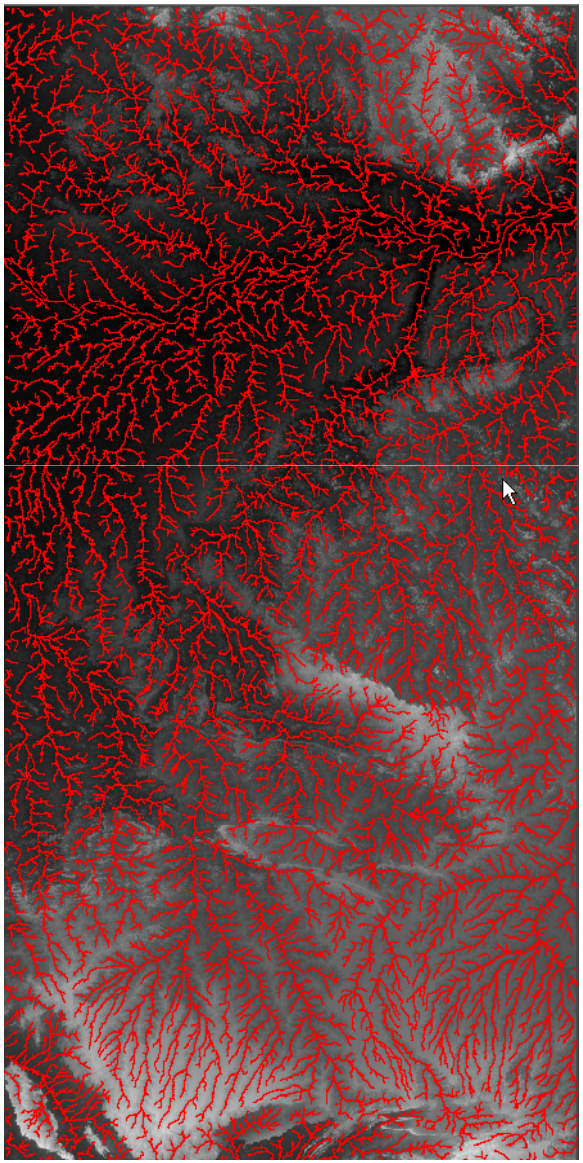
Tapajós



x1: -61.00
y1: -15.00
x2: -52.99
y2: 1.00

Pixels: 184.348.801
Linhas: 19.201
Colunas: 9.601
Fossos: 8.647.984
Tempo: 5:33:38 h
Acumulada: 10:58 min

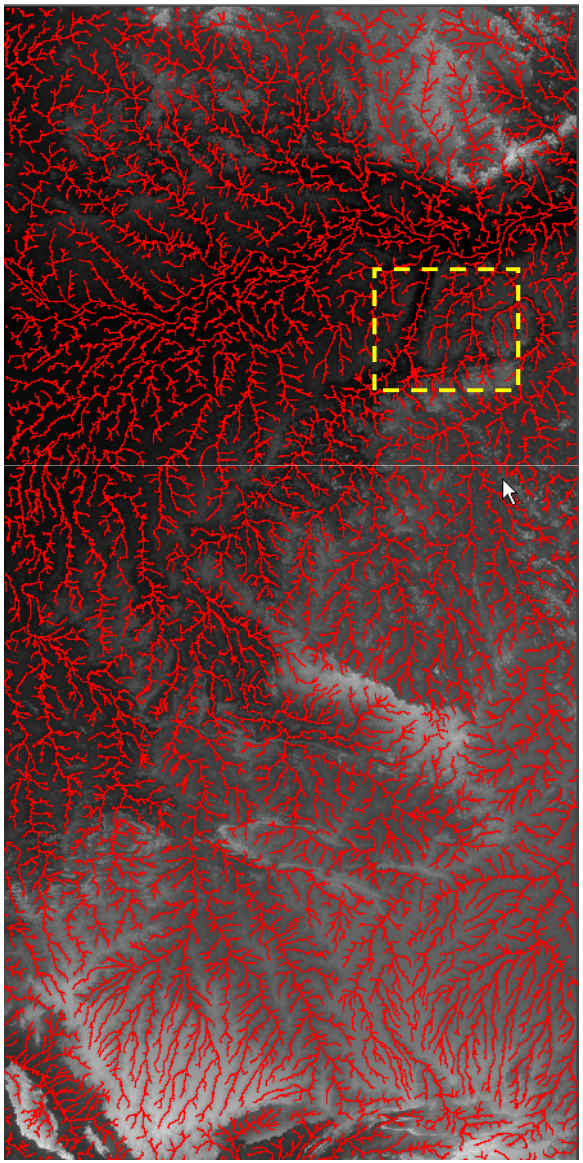
Tapajós Drenagem

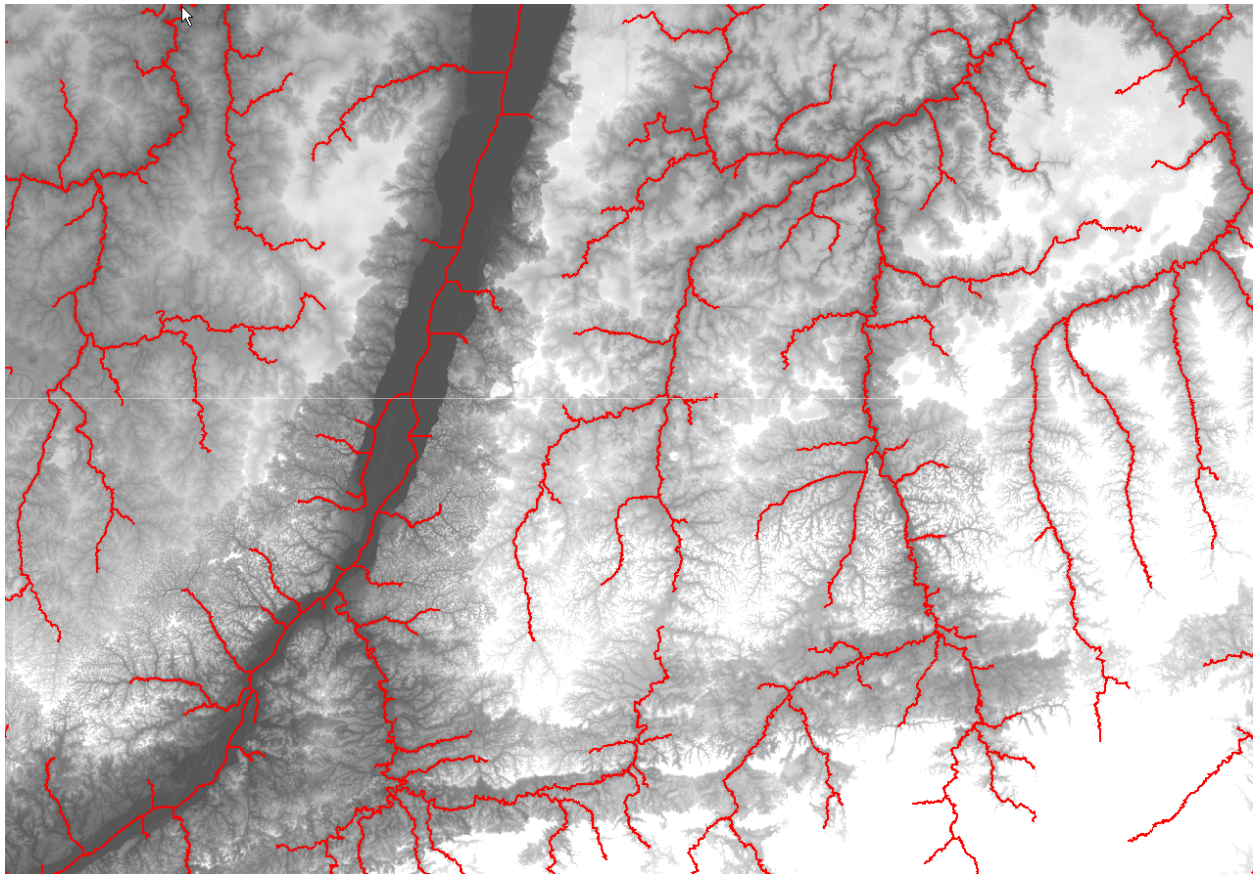


Valor de corte: 10.000

Maior Ordem: 7

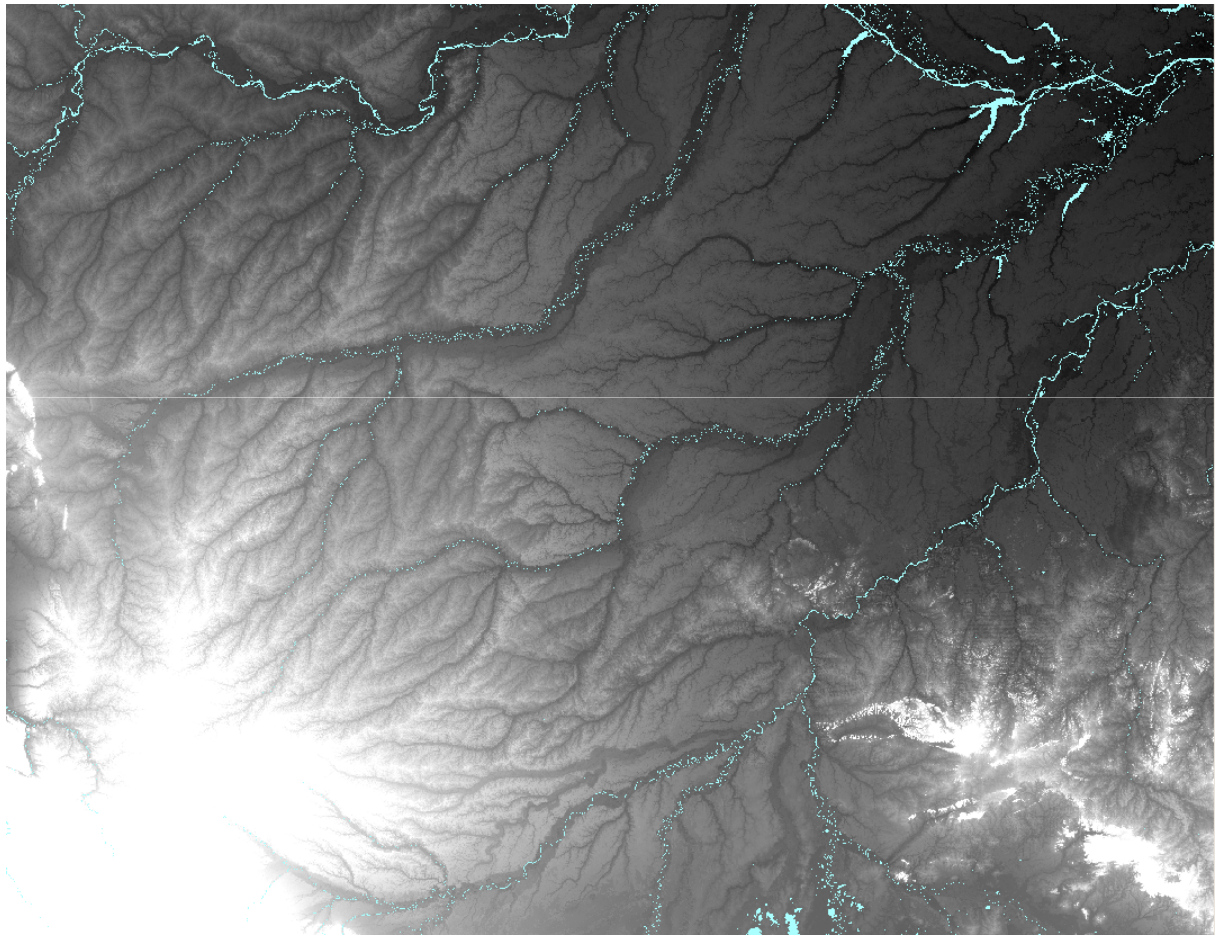
Tapajós Drenagem Zoom





Zoom saturado em 200 metros

Purus

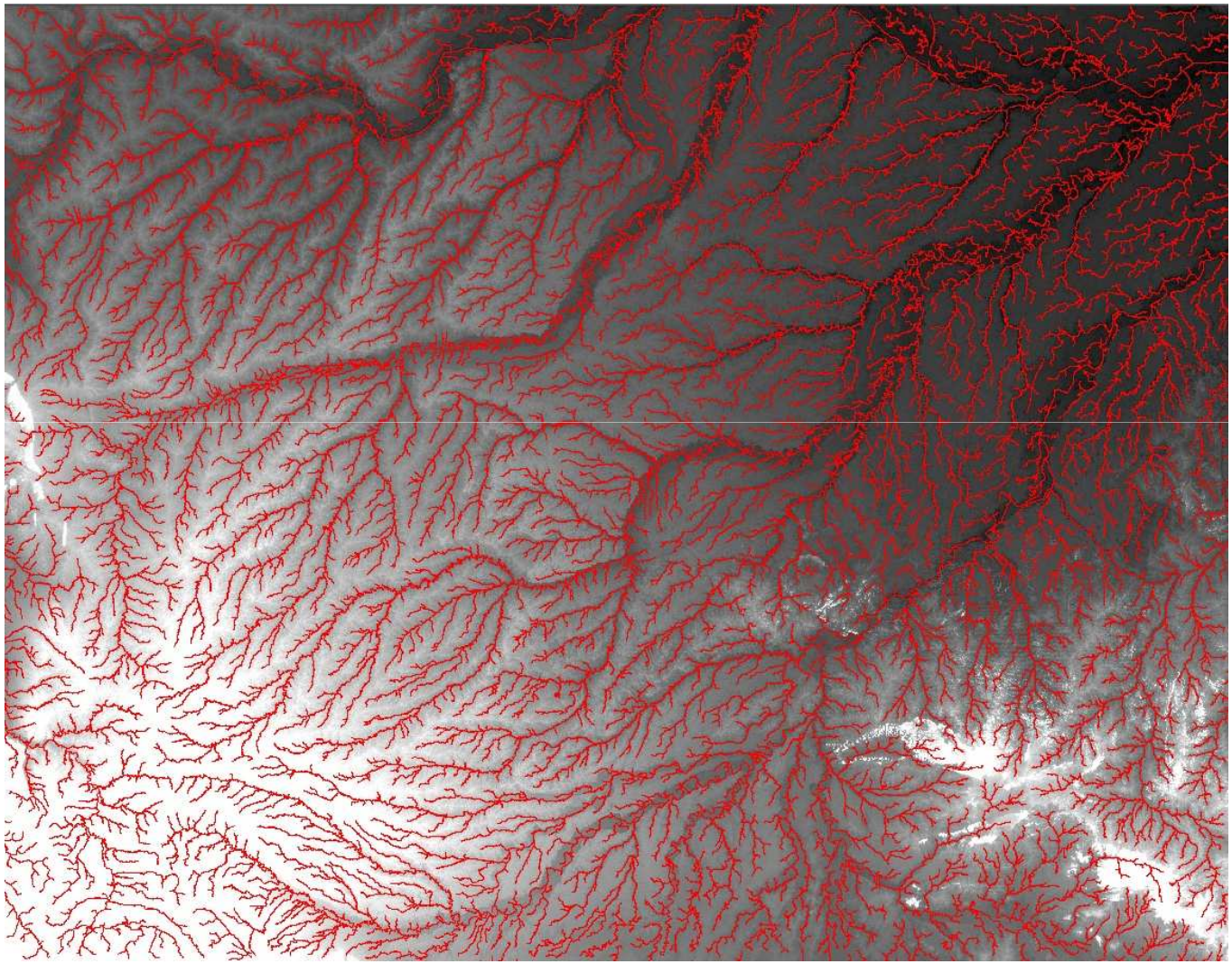


x1: -74.00
y1: -12.99
x2: -61.00
y2: -2.99

Pixels: 187.200.000
Linhas: 12.000
Colunas: 15.600
Fossos: 13.279.394
Tempo: 5:40:31 h
Acumulada: 12:07 min

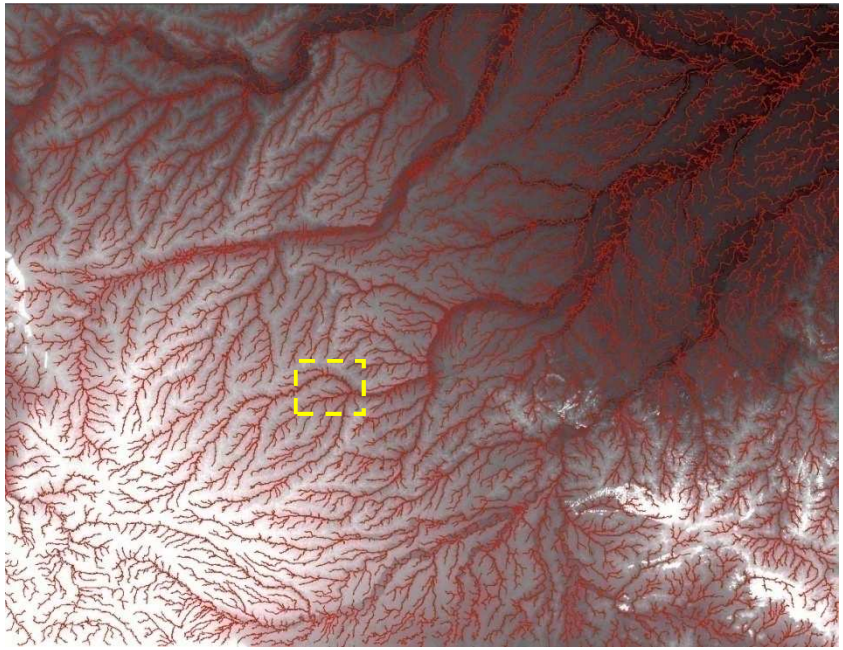
Saturado em 350 metros

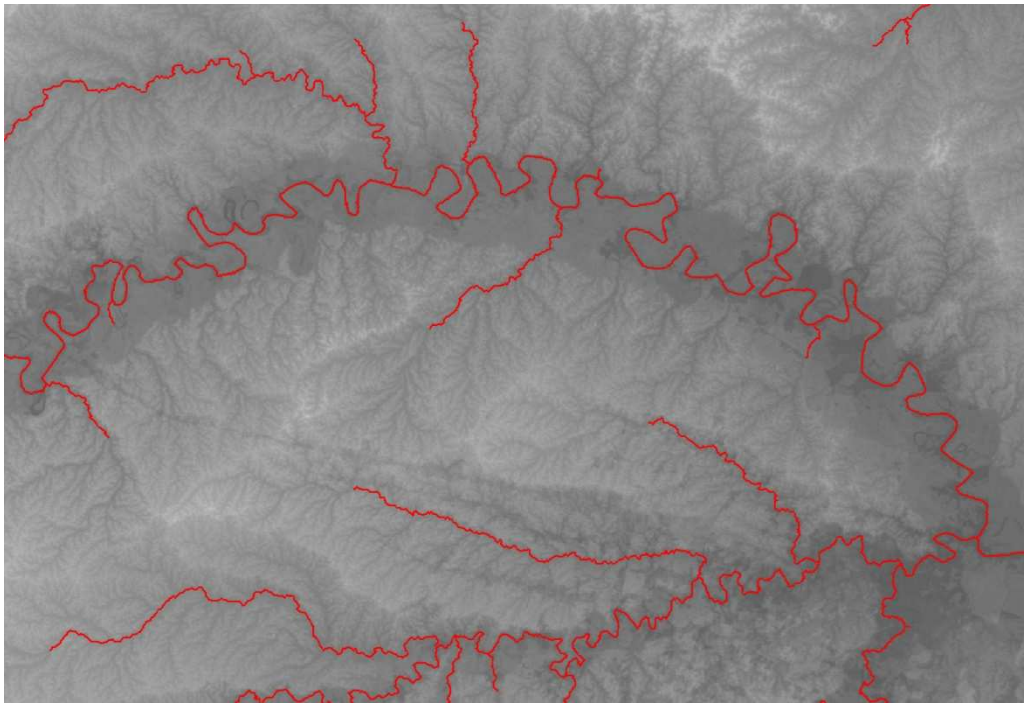
Purus Drenagem



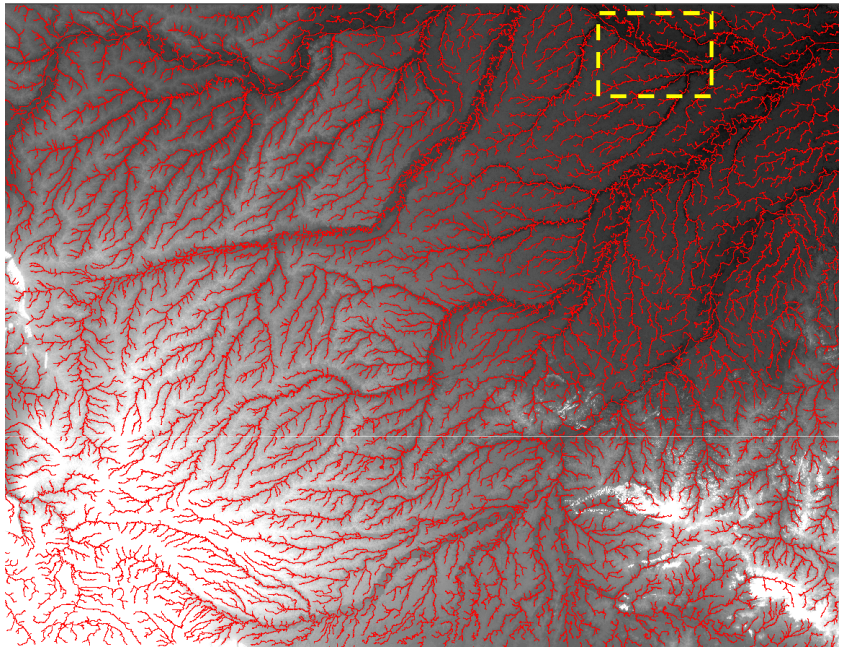
Valor de corte: 10.000 Maior Ordem: 6

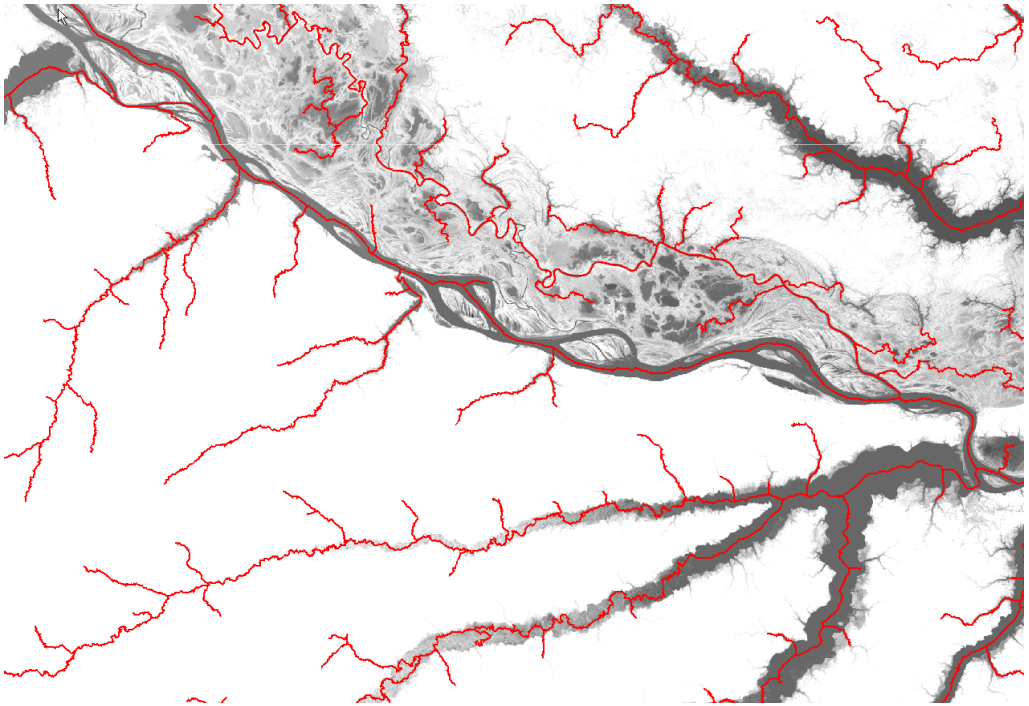
Purus Drenagem Zoom1





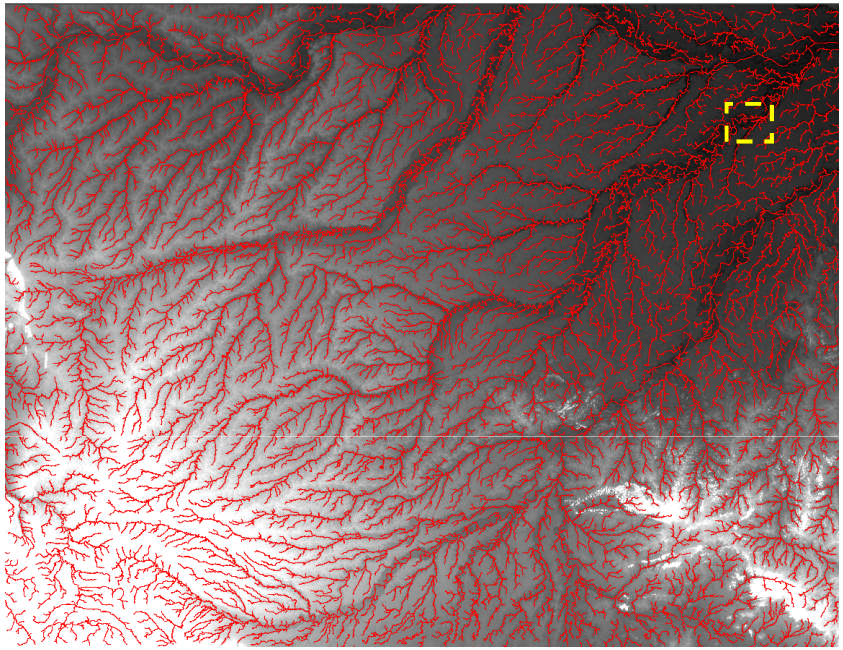
Purus Drenagem Zoom2

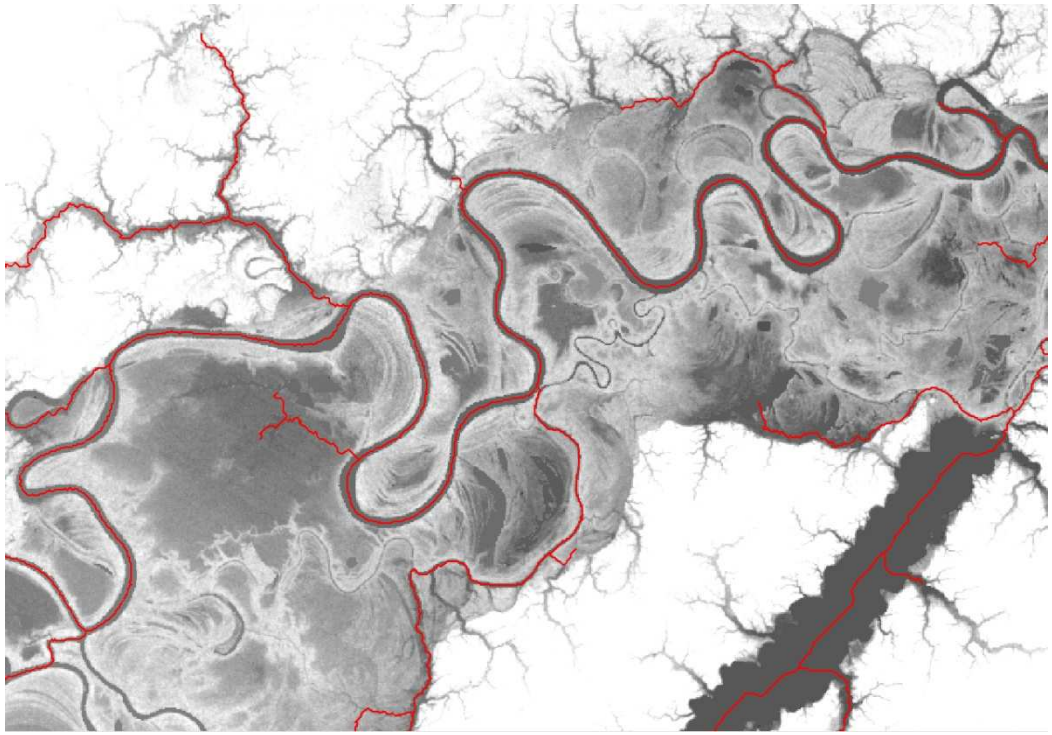




Zoom saturado em 50 metros

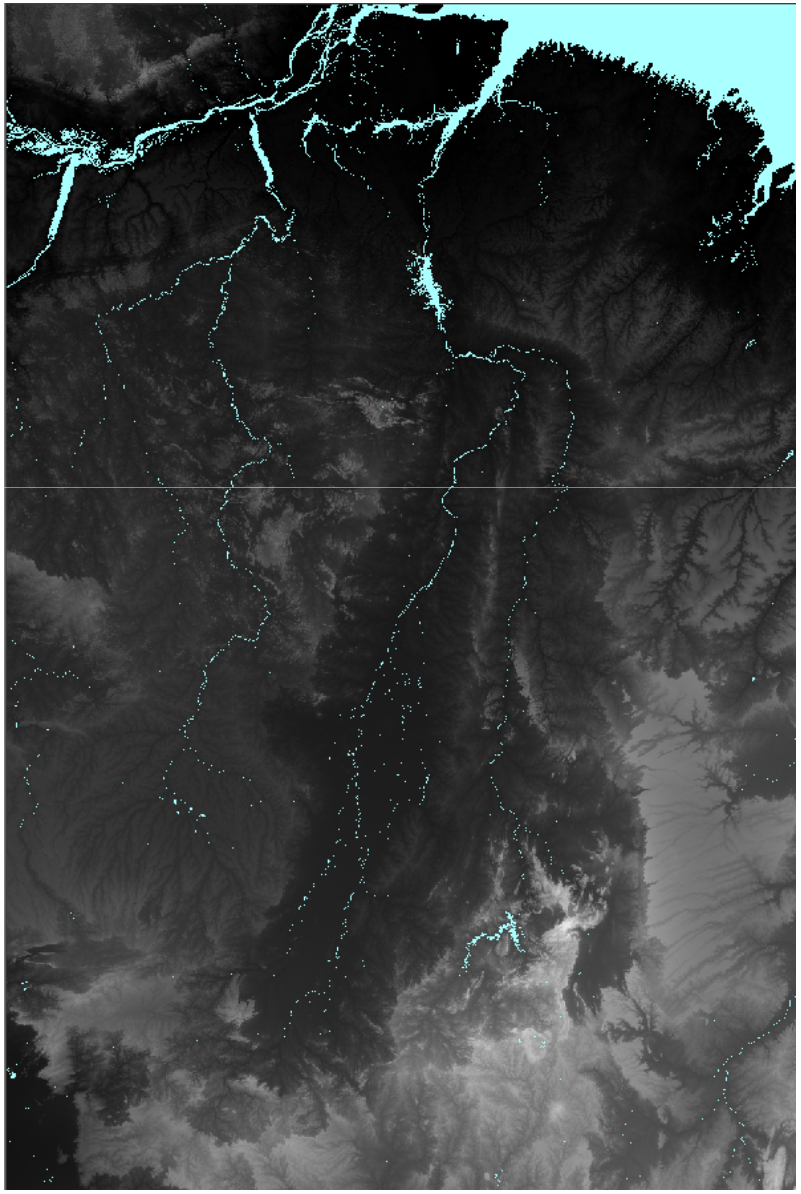
Purus Drenagem Zoom3





Saturado em 50 metros

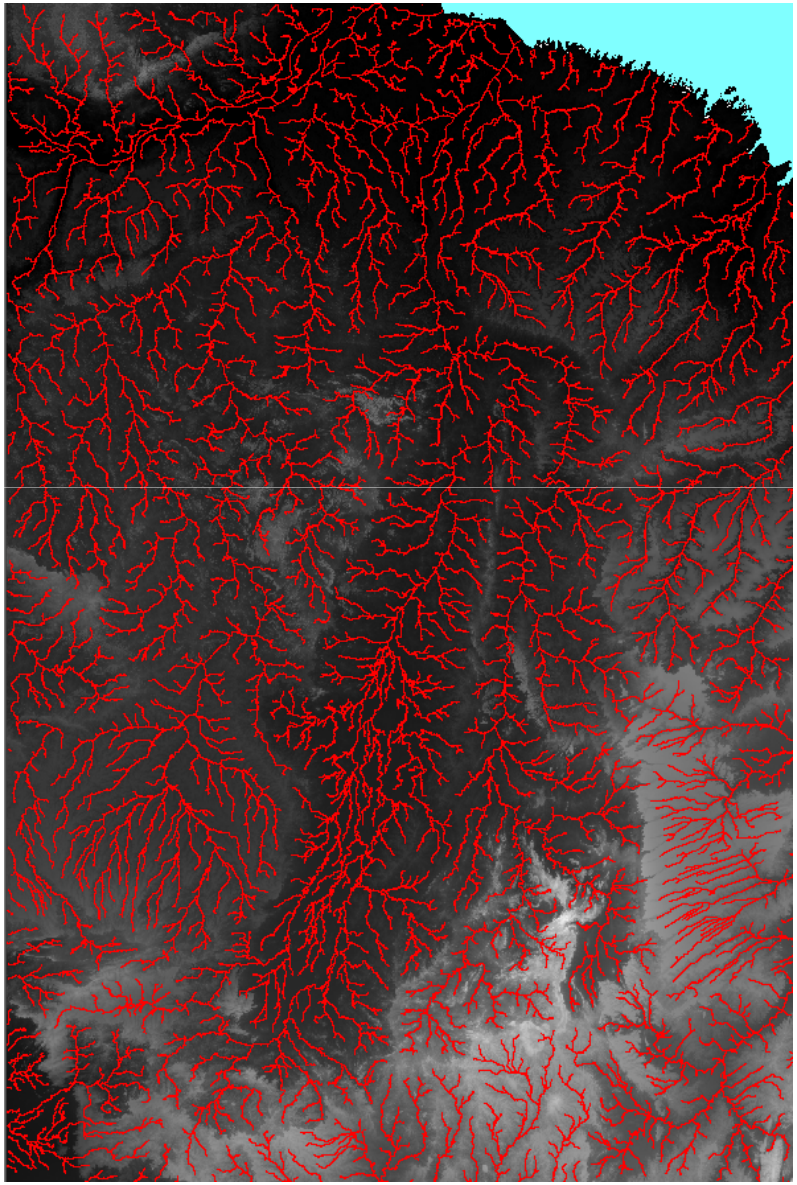
Tocantins



x1: -56.00
y1: -18.00
x2: -43.99
y2: 0.00

Pixels: 311.112.004
Linhas: 21.602
Colunas: 14.402
Fossos: 15.893.139
Tempo: 26:34:54 h
Acumulada: 14:55 min

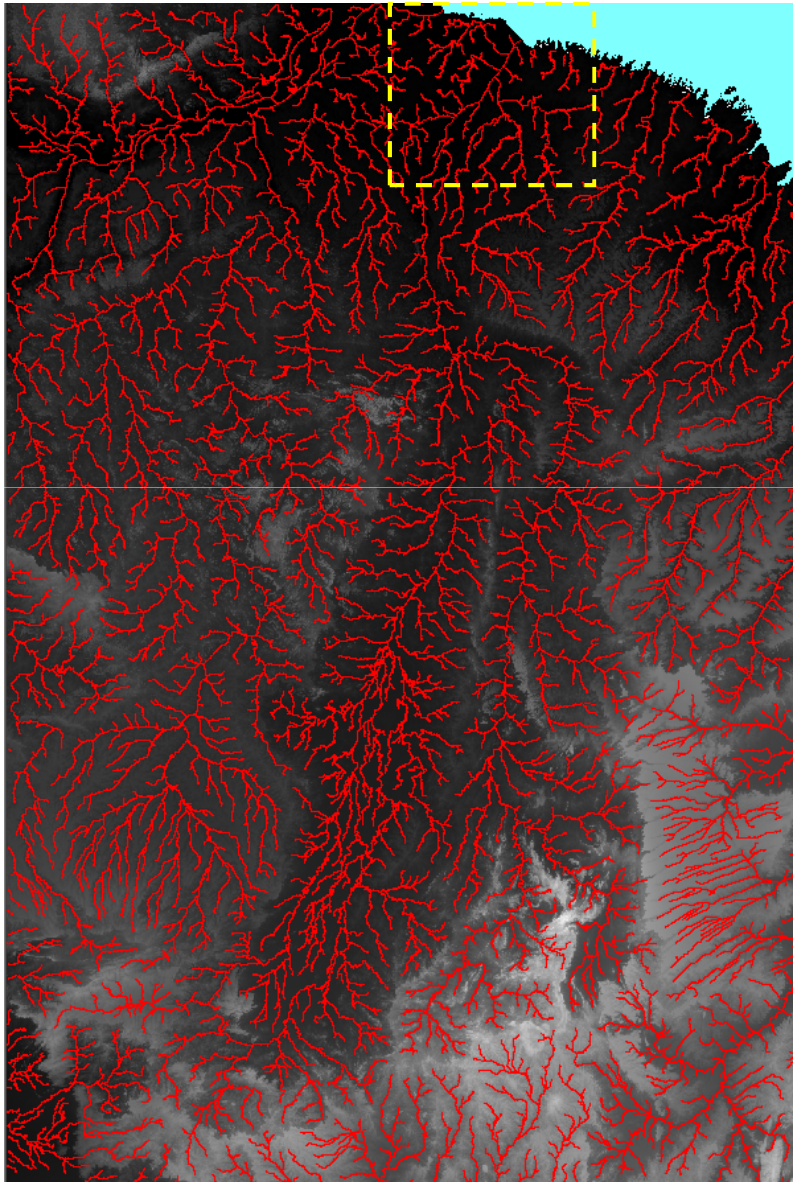
Tocantins Drenagem

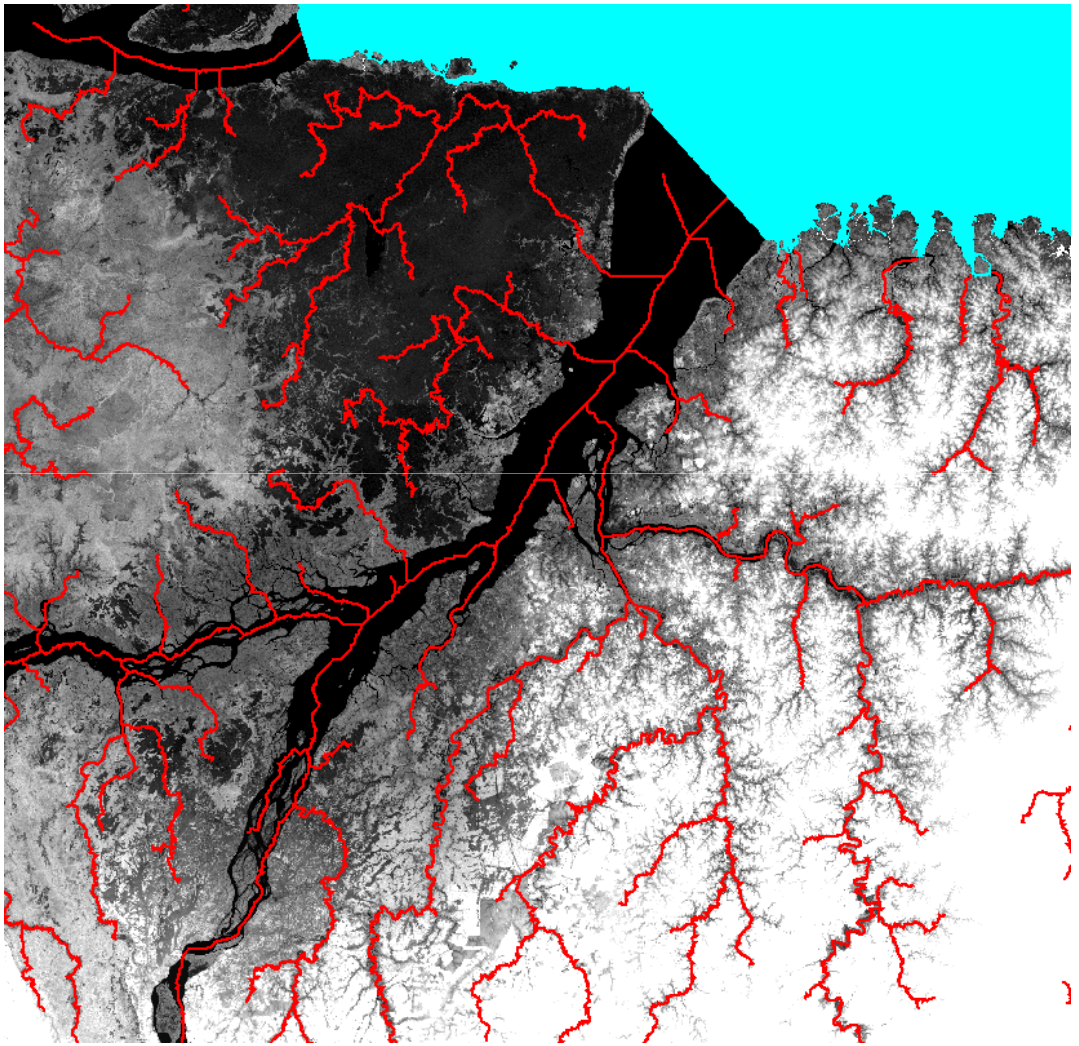


Valor de corte: 30.000

Maior Ordem: 6

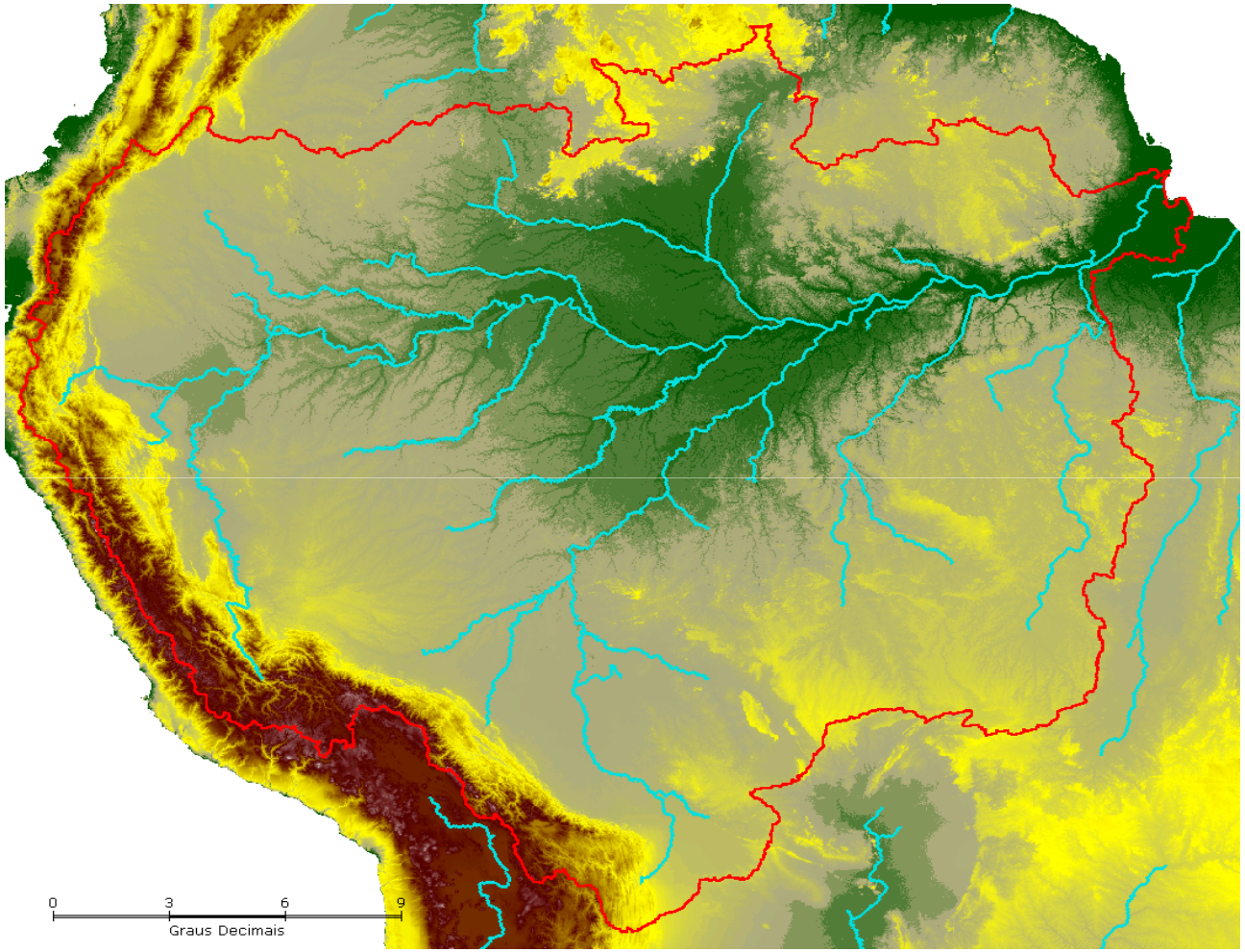
Tocantins Drenagem Zoom





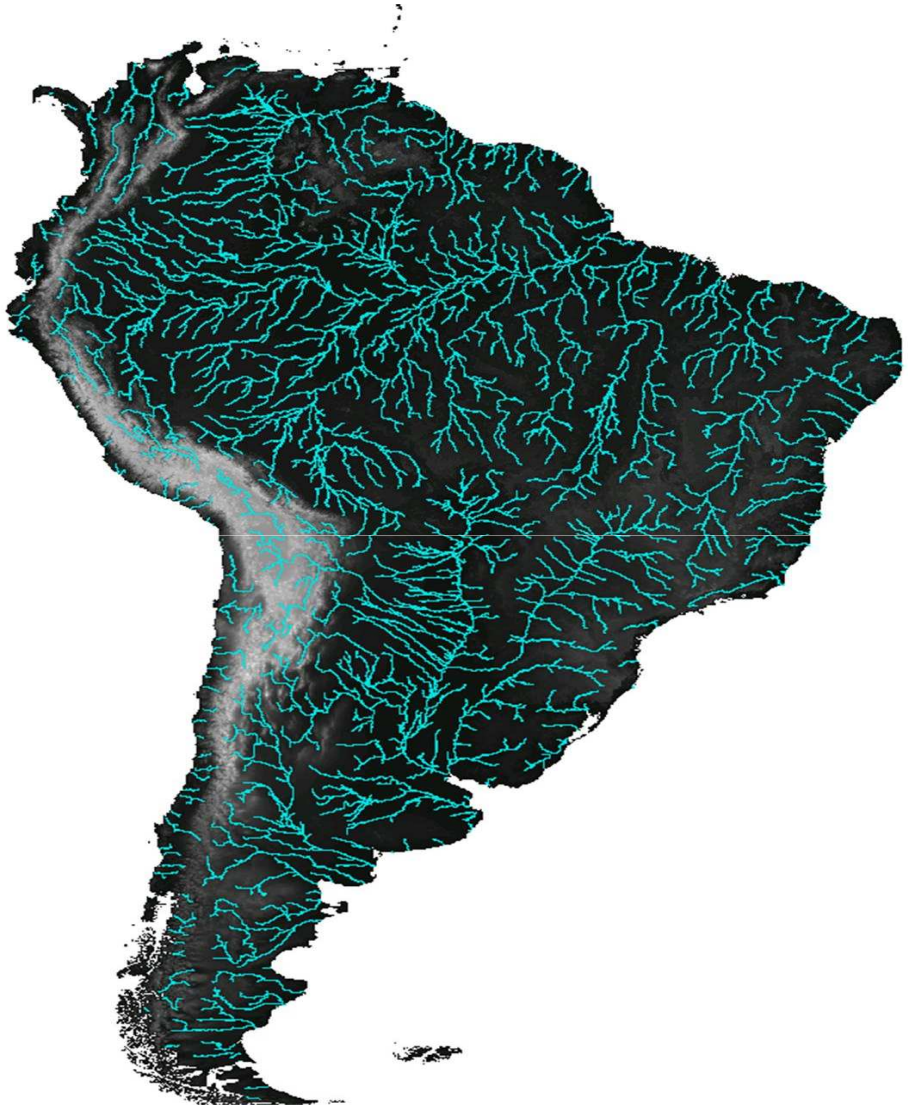
Saturado em 40 metros

Bacia Amazônica



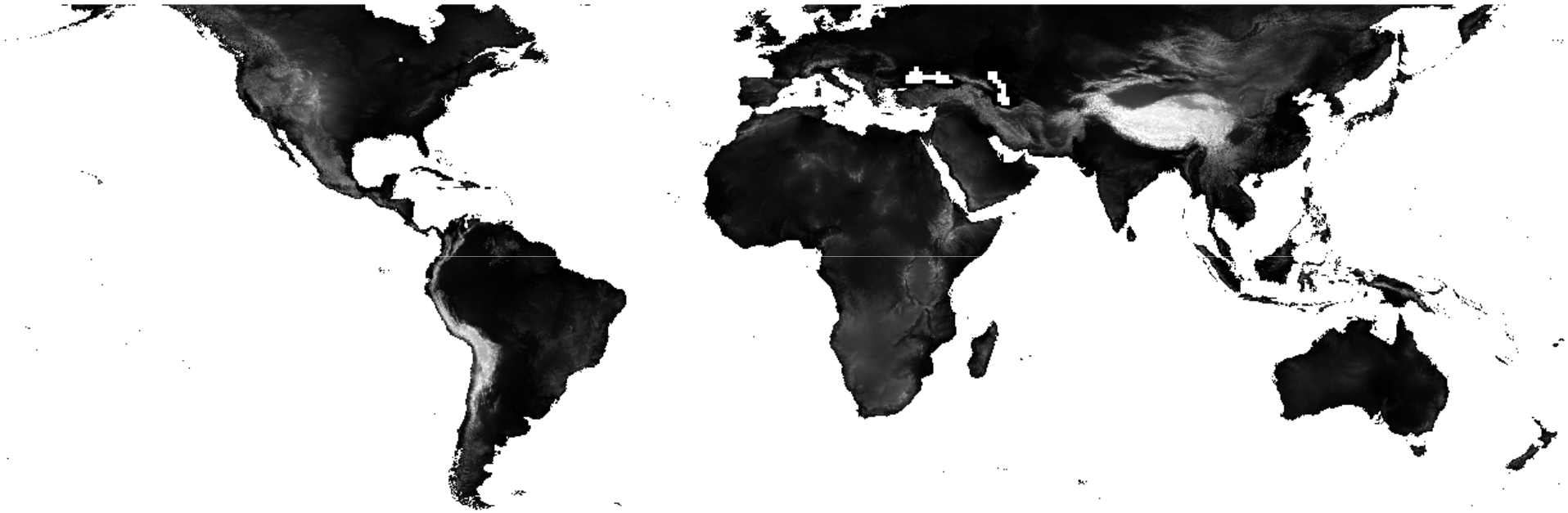
32.400 linhas 38.400 colunas **65.670.466** fossos

América do Sul



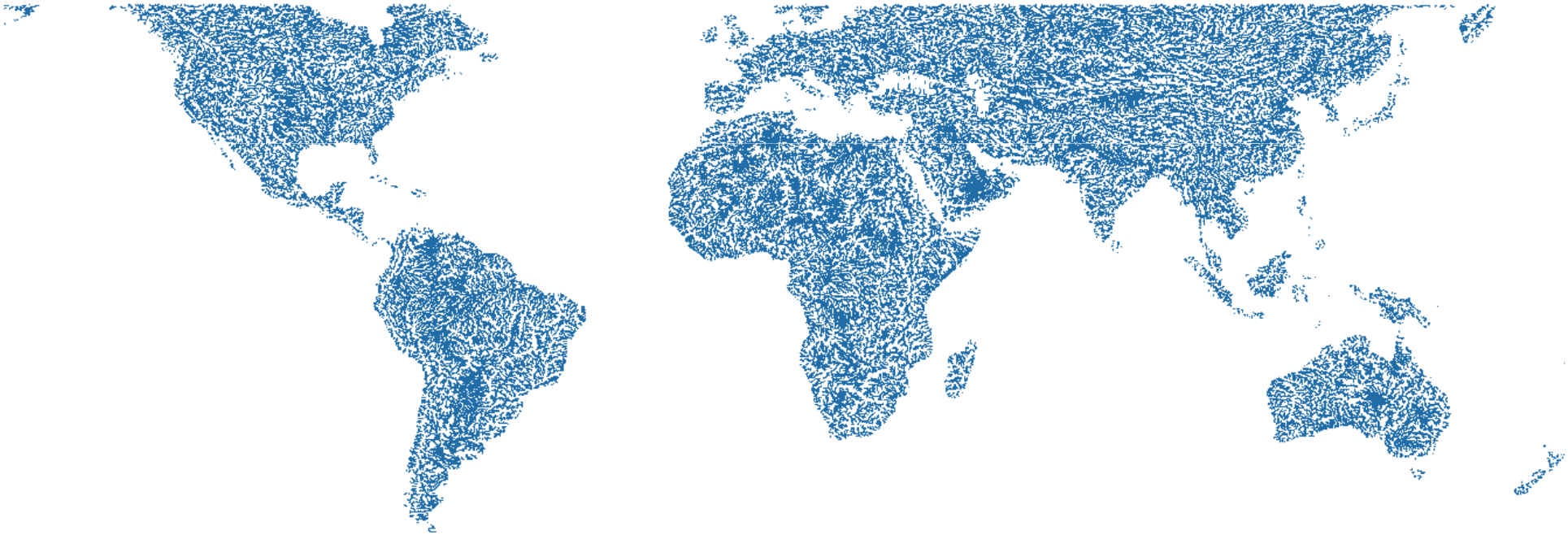
60.001 linhas 84,001 colunas **161.135.443** fossos

Mundo – SRTM 90m



Drenagem - Mundo – SRTM 90m

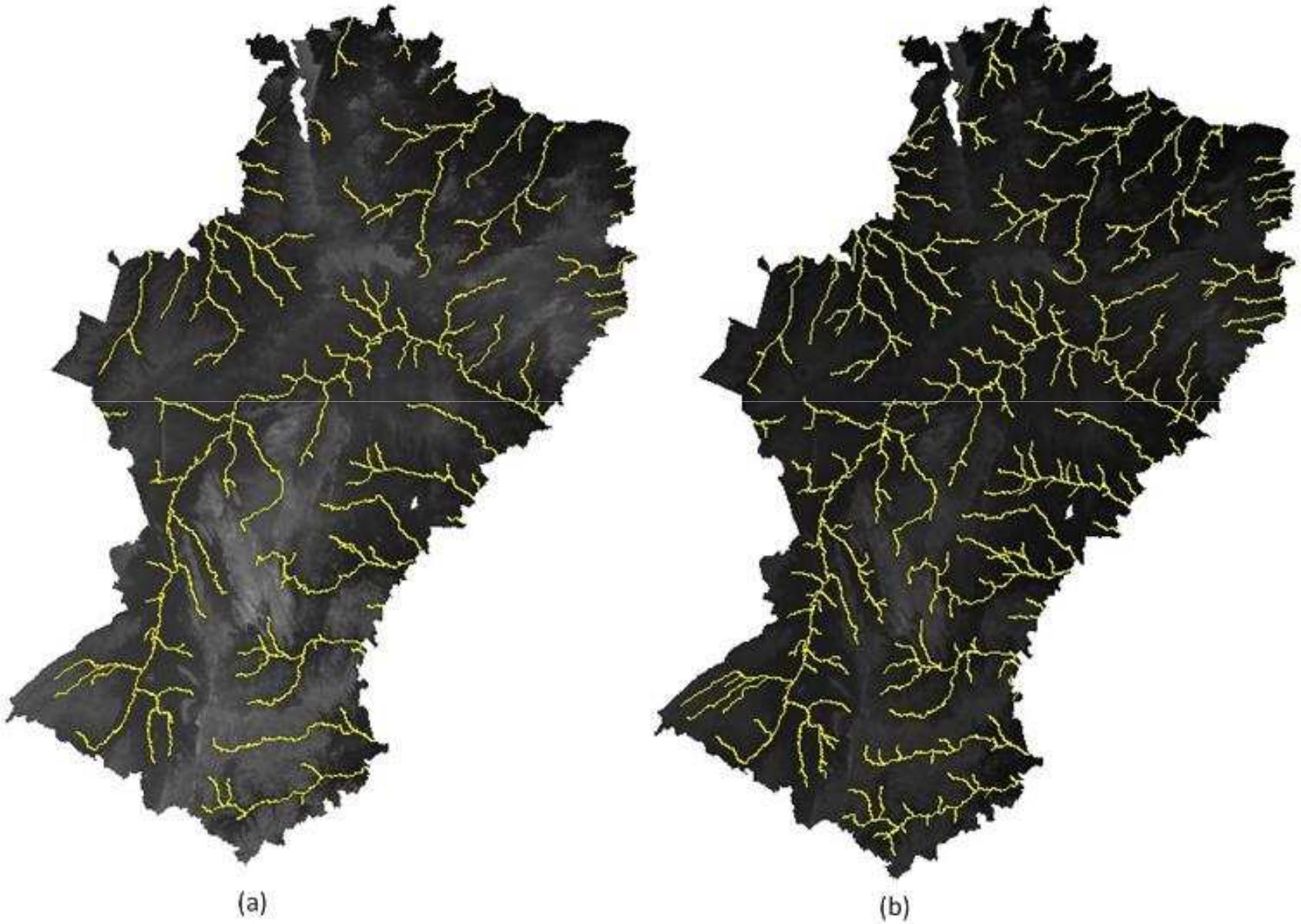
Tempo de processamento: 2 dias



SEMIÁRIDO

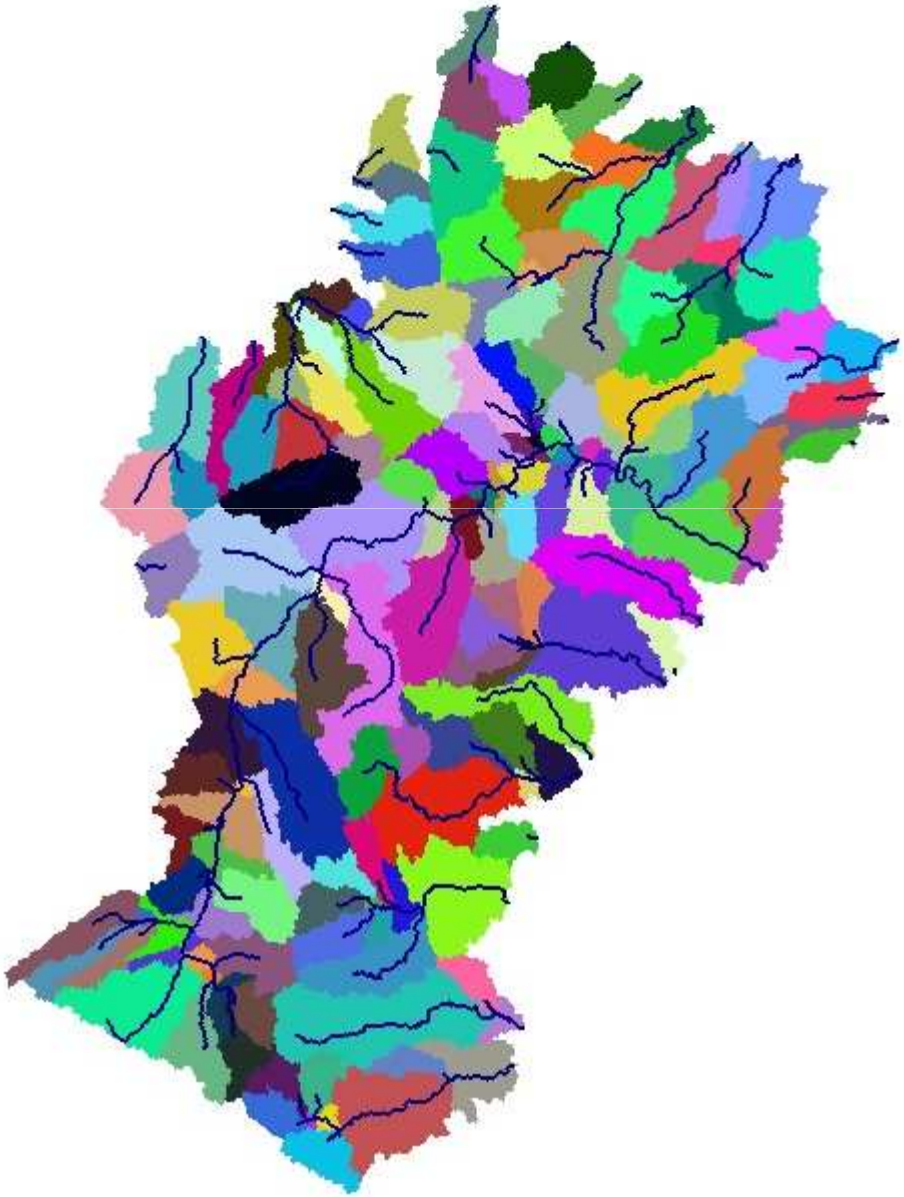
ASTER GDEM

Drenagens



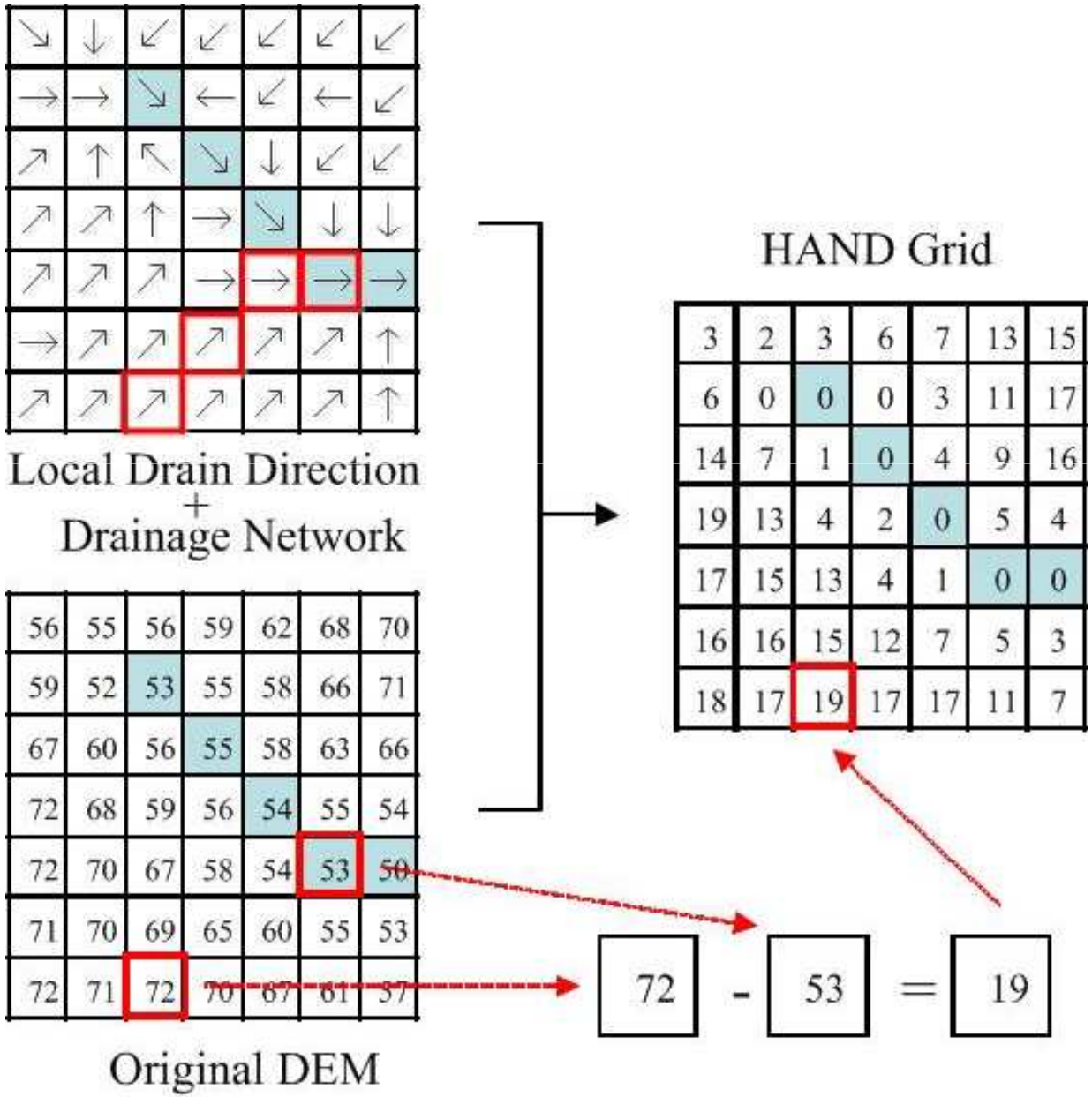
(a) (b)

Bacias por segmento de rio

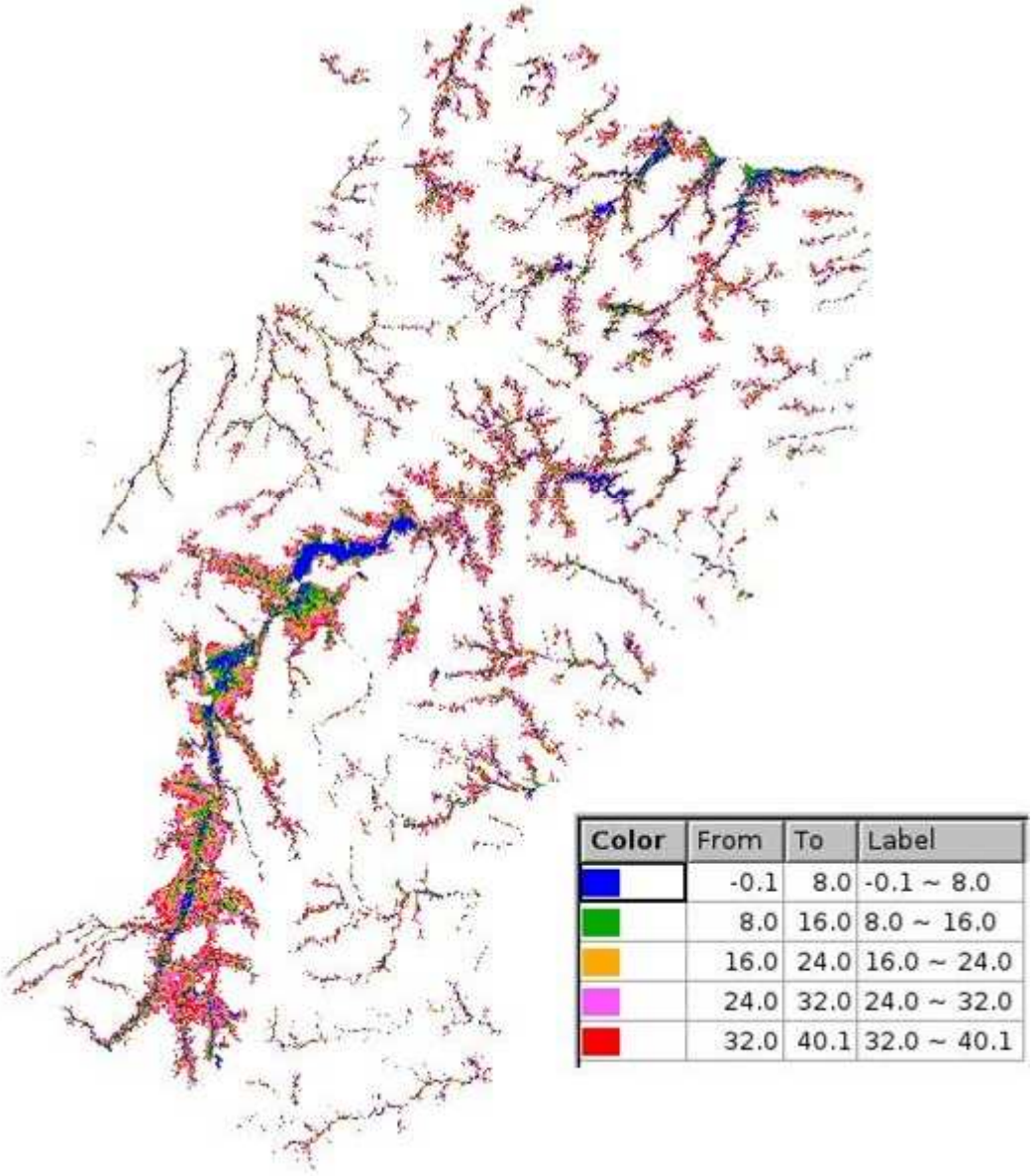


Bacia de ponto selecionado pelo usuário

HAND – Height Above the Nearest Drainage

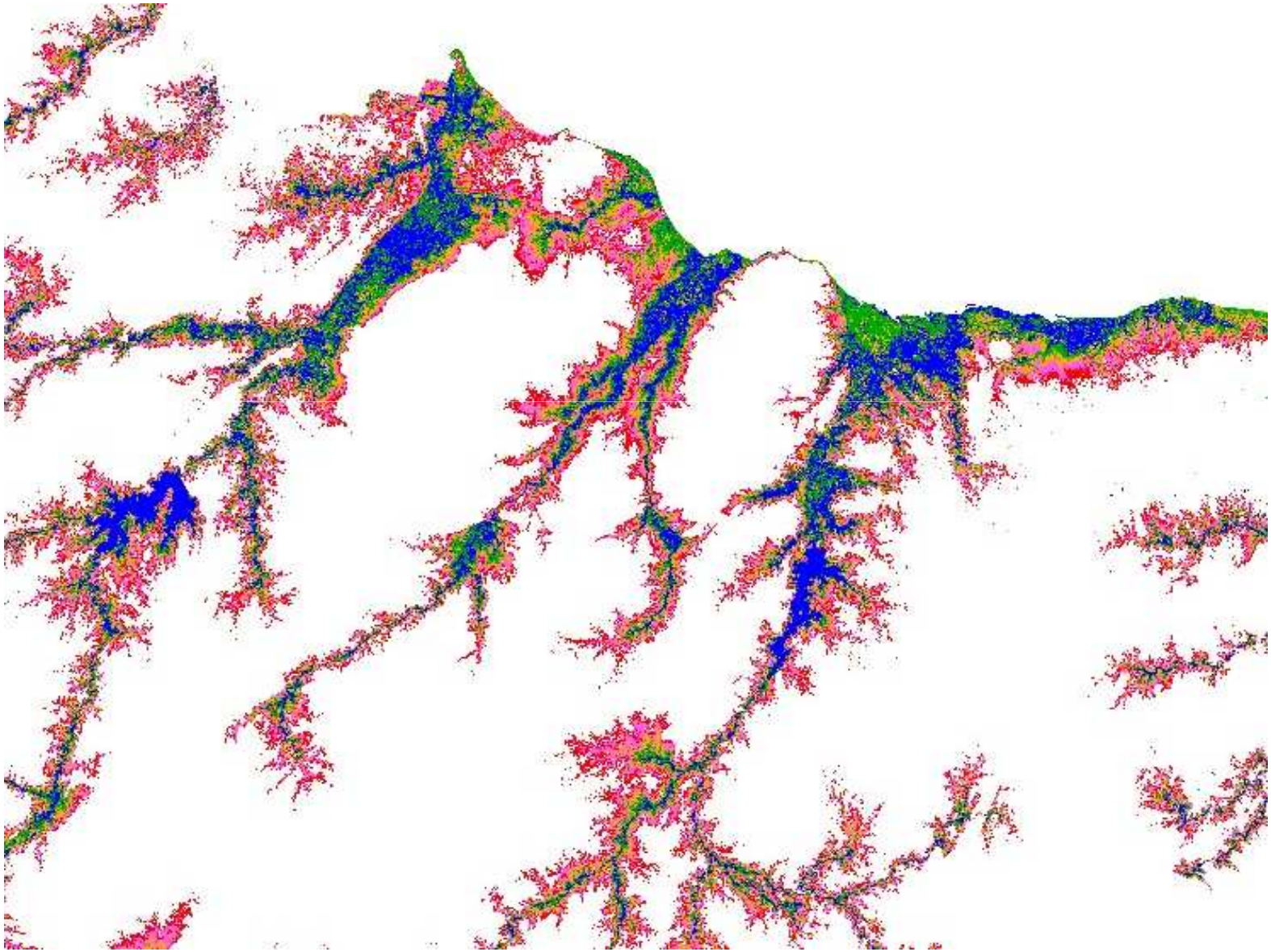


HAND – Semiárido

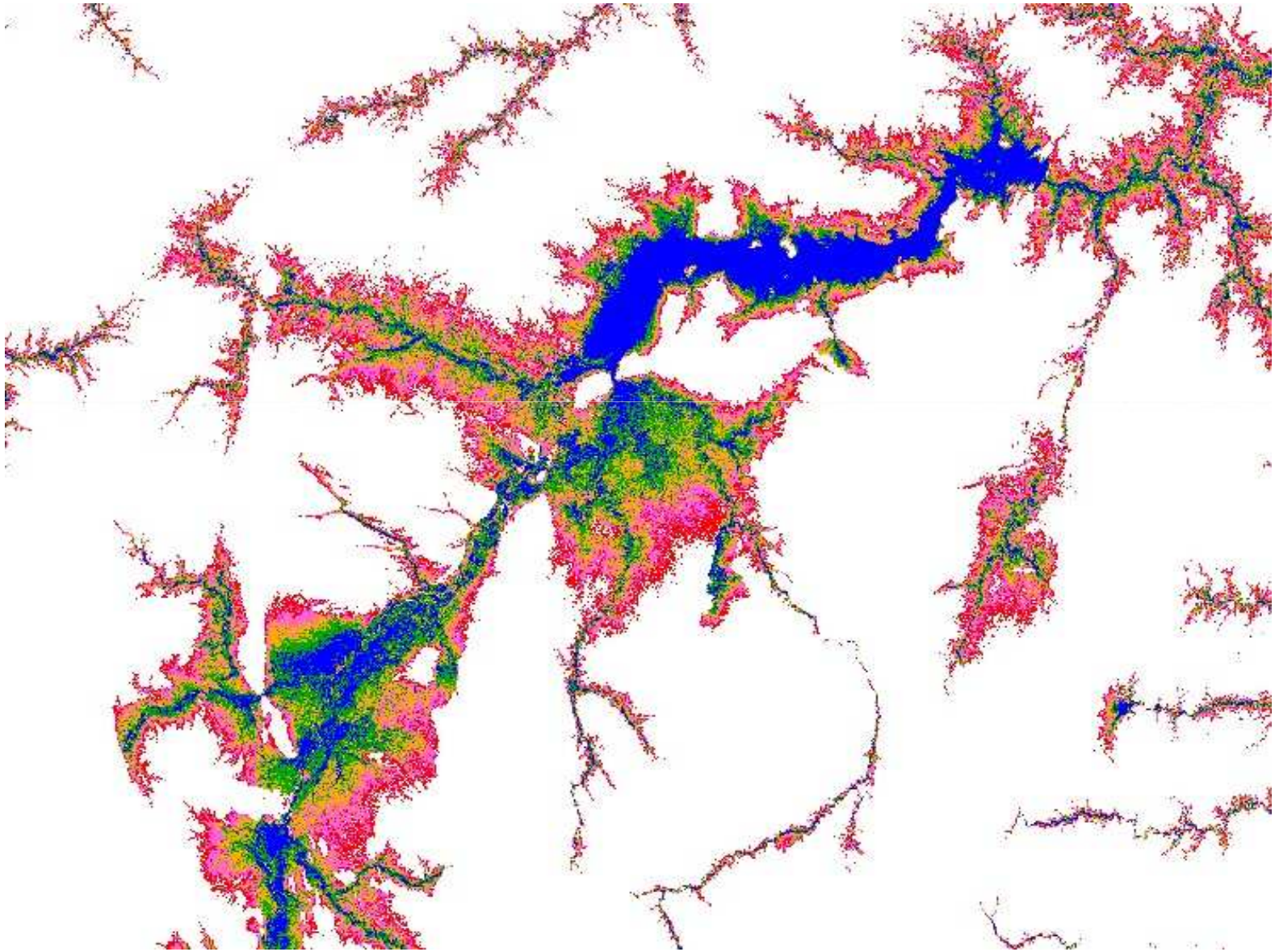


Color	From	To	Label
	-0.1	8.0	-0.1 ~ 8.0
	8.0	16.0	8.0 ~ 16.0
	16.0	24.0	16.0 ~ 24.0
	24.0	32.0	24.0 ~ 32.0
	32.0	40.1	32.0 ~ 40.1

HAND – Zoom



HAND – Zoom



Obrigado!

- Sergio.rosim@inpe.br
- www.dpi.inpe.br