



# **EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E DRENAGEM**

**Alisson André Ribeiro  
Lorena Zeri Coelho Rocha  
Vinícius de Oliveira Ribeiro  
Camila Leonardo Miotto  
Normandes Matos da Silva  
Alfredo Marcelo Grigio  
Marco Antonio Diodato  
Antonio Conceição Paranhos Filho**

**2ª edição**



**Uniedusul**  
Editora

# **EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E DRENAGEM**

**Alisson André Ribeiro  
Lorena Zeri Coelho Rocha  
Vinícius de Oliveira Ribeiro  
Camila Leonardo Miotto  
Normandes Matos da Silva  
Alfredo Marcelo Grigio  
Marco Antonio Diodato  
Antonio Conceição Paranhos Filho**

**2ª edição**

2024 Uniedusul Editora - Copyright da Uniedusul e Autores  
Diagramação e Edição de Arte: autores  
Revisão: autores

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E96 Extração automática de bacias hidrográficas e drenagem [livro eletrônico] / Alisson André Ribeiro... [et al.]. – Maringá, PR: Uniedusul, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5418-069-6

1. Rede de Drenagem. 2. Bacias Hidrográficas. 3. Geoprocessamento. 4. Modelos Digitais de Elevação I. Ribeiro, Alisson André. II. Rocha, Lorena Zeri Coelho. III. Ribeiro, Vinícius de Oliveira. IV. Mito, Camila Leonardo. V. Silva, Normandes Matos da. VI. Grigio, Alfredo Marcelo. VII. Diodato, Marco Antonio. VIII. Paranhos Filho, Antonio Conceição.

CDD 631.7

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

doi: 10.51324/54180696

O conteúdo dos capítulos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

Permitido fazer download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos os créditos aos autores, mas de nenhuma forma utilizá-la para fins comerciais.

[www.uniedusul.com.br](http://www.uniedusul.com.br)

# Autores

## **Alisson André Ribeiro**

Doutor em Tecnologias Ambientais. Professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

## **Lorena Zeri Coelho Rocha**

Acadêmica de Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

## **Vinícius de Oliveira Ribeiro**

Doutor em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Professor Associado da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS).

## **Camila Leonardo Miotto**

Doutora em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Professora Adjunta C2 da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

## **Normandes Matos da Silva**

Doutor em Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos. Professor Associado na Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

## **Alfredo Marcelo Grigio**

Doutor em Geodinâmica. Professor Adjunto IV da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN).

## **Marco Antonio Diodato**

Doutor em Ciências Biológicas. Professor Titular da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

## **Antonio Conceição Paranhos Filho**

Livre-docente em Geologia. Doutor em Geologia Ambiental. Professor Titular da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

## Sumário

Introdução .....	1
Capítulo 1: Processos para a extração da rede de drenagem .....	4
Capítulo 2: Processos para a extração de bacias hidrográficas.....	7
Capítulo 3: Hierarquização dos canais de drenagem e bacias hidrográficas .....	8
Capítulo 4: <i>Download</i> do QGIS e do Modelo Digital de Superfície .....	10
Capítulo 5: Abrir o SRTM no QGIS.....	15
Capítulo 6: Aquisição de MDS no QGIS com uso do plugin OpenTopography DEM Downloader ....	20
Capítulo 7: Correção do MDS pelo r.fill.dir (GRASS GIS).....	34
Capítulo 8: Extração de bacias pelo r.watershed (GRASS GIS) .....	36
Capítulo 9: Extração de drenagem pelo r.stream.extract (GRASS GIS).....	40
Capítulo 10: Transformando <i>raster</i> em vetor pelo r.to.vect (GRASS GIS).....	43
Capítulo 11: Delimitação uma bacia hidrográfica com o r.water.outlet (GRASS GIS).....	46
Capítulo 12: Integrando WhiteboxTools no QGIS.....	49
Capítulo 13: Correção do MDS pelo FillDepressionsWangAndLiu (WhiteboxTools).....	54
Capítulo 14: Cálculo da Direção de Fluxo pelo D8Pointer (WhiteboxTools) .....	56
Capítulo 15: Cálculo do Acúmulo de Fluxo pelo D8FlowAccumulation (WhiteboxTools) .....	57
Capítulo 16: Extração da rede de drenagem pelo ExtractStreams (WhiteboxTools).....	59
Capítulo 17: Vetorização da rede de drenagem pelo RasterStreamsToVector (WhiteboxTools) ...	61
Capítulo 18: Extração de Bacias Hidrográficas pelo Subbasins (WhiteboxTools).....	62
Capítulo 19: Vetorização das bacias hidrográficas pelo RasterToVectorPolygons (WhiteboxTools) .....	64
Capítulo 20: Hierarquização da drenagem através do StrahlerStreamOrder (WhiteboxTools).....	66
Capítulo 21: Delimitação uma bacia hidrográfica com o Watershed (WhiteboxTools).....	68
Considerações Finais .....	74
Agradecimentos .....	75

# Introdução

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2011), uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem compreende uma área delimitada e os cursos d'água nela presentes, sendo eles formados por um rio principal e seus afluentes, formado nas regiões mais altas do relevo, onde ou escoam para regiões superficiais mais baixas do terreno ou infiltram no solo, favorecendo a formação das nascentes e o lençol freático.

O escoamento superficial da água entalha linhas de drenagem na superfície do terreno e conforme o fluxo de água se acumula, mais marcadas ficam as linhas na superfície. Vale ressaltar que nem todas as linhas de drenagem correspondem a cursos d'água, sendo os cursos d'água as regiões de maior acúmulo de fluxo de água. O ponto mais baixo de uma bacia hidrográfica é determinado como exutório, o ponto que drena toda a bacia hidrográfica, considerado como ponto de convergência para todas as linhas de fluxo da bacia.

As bacias hidrográficas estão alinhadas e variam de escala, podendo ser divididas em bacias menores (sub-bacias) para cada um dos seus rios que podem, por sua vez, serem subdivididas em sub-bacias ainda menores (microbacias) para cada um dos seus trechos e assim por diante. Além disso, existe a ordem dos canais de drenagem que são os graus de ramificações e/ou bifurcações presentes na bacia de drenagem (PETSCH; MONTEIRO; BUENO, 2015).

A delimitação de bacias hidrográficas se tornou fundamental para a correta gestão dos recursos hídricos tendo em vista que a Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), estabelece em seu Art. 1º, parágrafo V que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. Sendo de suma importância para os instrumentos de aplicação, como: planos de recursos hídricos, outorga dos direitos de usos dos corpos d’água, enquadramento dos recursos hídricos em classes, entre outros (BRASIL, 1997).

Nesse sentido, é imprescindível a correta delimitação dessas áreas, sendo as Geotecnologias as principais e mais adequadas ferramentas empregadas para tal. Portanto, esse ebook tem por objetivo elencar um passo a passo de maneira didática para auxiliar alunos e pesquisadores no processo de extração de bacias hidrográficas e rede de drenagem de forma automatizada.

O processo será feito na íntegra pelo QGIS (QGIS Development Team, 2024), através das ferramentas integradas do GRASS GIS (GRASS Development Team, 2024). Alternativamente, o mesmo processo será executado também pelo WhiteboxTools (Lindsay, 2024) integrado ao QGIS. A estrutura do livro está representada na Figura 1.

A vantagem em se utilizar o GRASS GIS diretamente pelo QGIS é a praticidade, visto que uma vez instalado o QGIS, ele está pronto para utilização. Já o pacote WhiteboxTools não vem integrado ao QGIS e requer alguns passos extras para sua configuração, abordados no Capítulo 11 deste livro. O WhiteboxTools é um dos pacotes

mais ricos em funcionalidades para a modelagem hidrológica, sendo um dos motivos de utilizá-lo aqui.

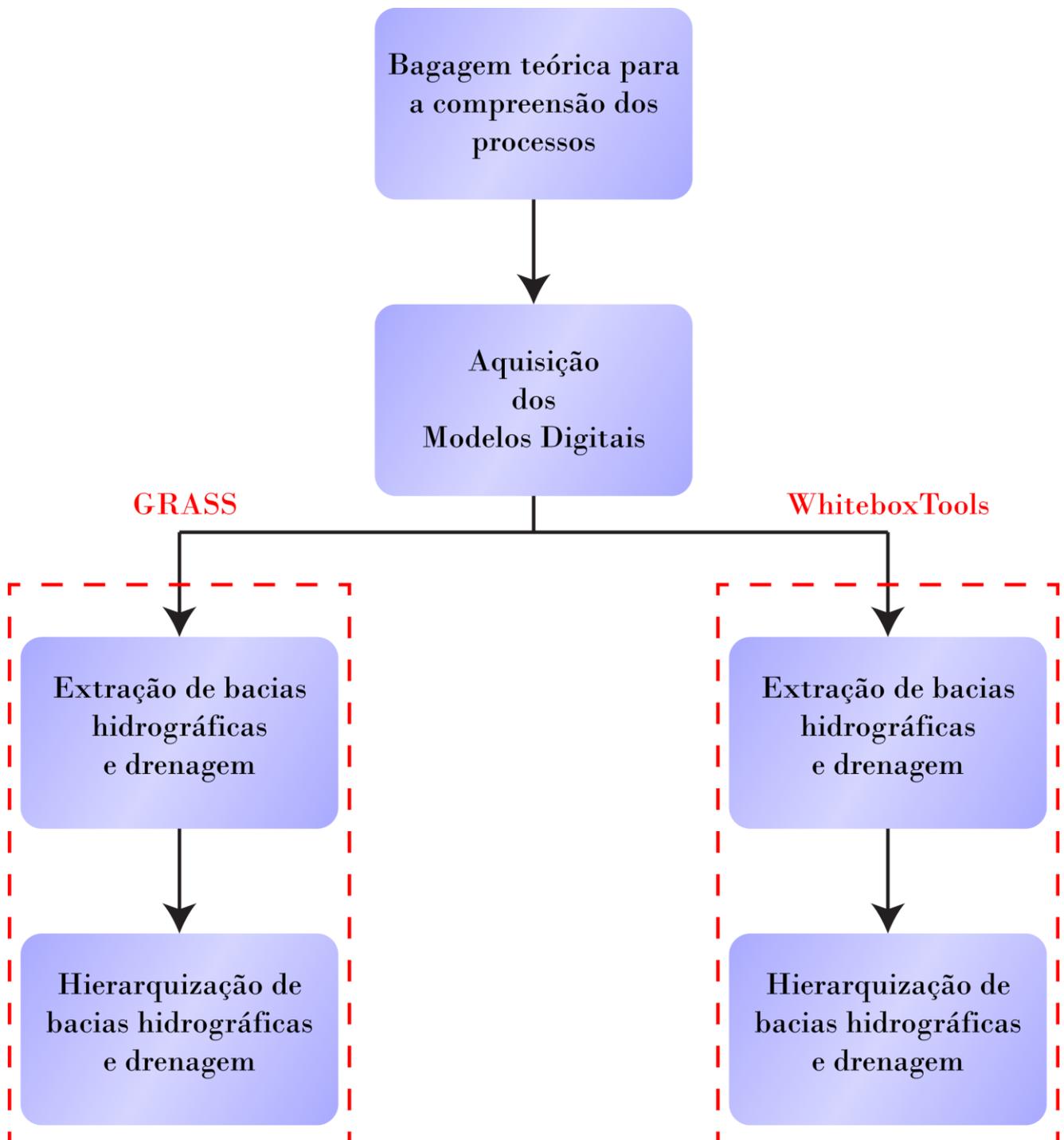


Figura 1: Fluxograma da estrutura do livro.

# Capítulo 1

## Processos para a extração da rede de drenagem

Antes de serem especificadas quais rotinas e ferramentas serão utilizadas, existe a necessidade de compreensão do processo de extração de bacias hidrográficas e drenagem, já que algumas ferramentas trazem todas as funções em uma mesma rotina ou pacote. Algumas ferramentas podem não funcionar e, portanto, compreender o processo passo a passo é fundamental para identificar em qual etapa houve falha/erro, além de tornar possível a utilização de qualquer ferramenta desse tipo, não atrelada a *softwares* específicos. Na Figura 2 está ilustrado o fluxograma do processo de extração de drenagem.

Para melhor compreensão dos processos a seguir, é sugerida a leitura do capítulo 14 do livro *Geotecnologias para Aplicações Ambientais* (Paranhos Filho *et al.*, 2021).

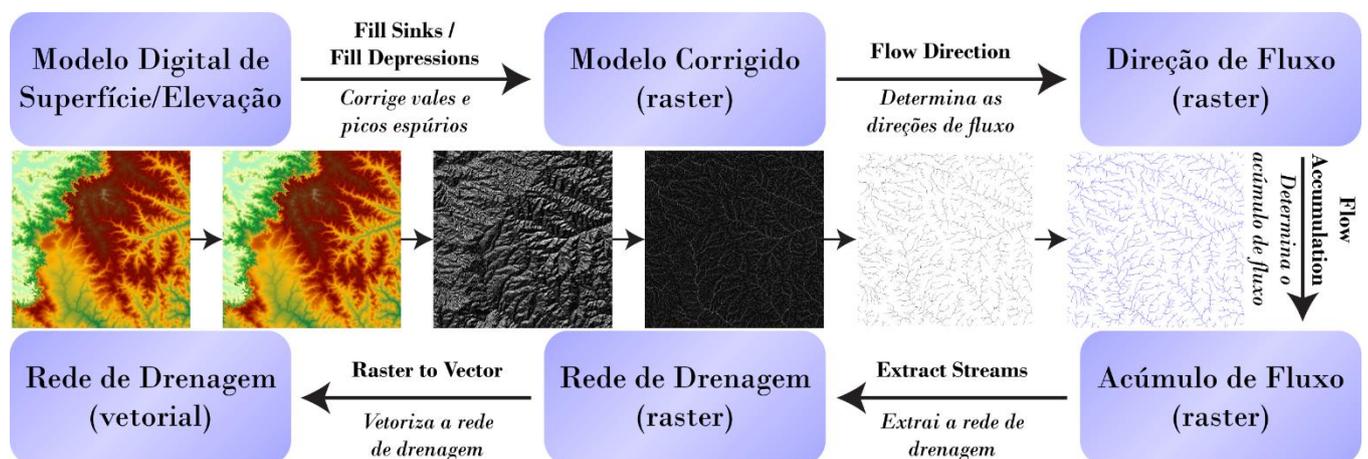


Figura 2: Fluxograma para extração da rede de drenagem.

Primeiramente, é necessária a correção do modelo digital de superfície ou de elevação (MDS ou MDE, respectivamente). Os termos utilizado pelos SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) são geralmente *Fill Sinks* ou *Fill Depressions* (Figura 2), essa ferramenta faz a remoção de valores espúrios de elevação através do preenchimento de vales e da remoção de picos que podem prejudicar na modelagem do caminho da água (*Flow Direction*), “prendendo” a água em pixels. É uma correção de problemas oriundos do modelo original.

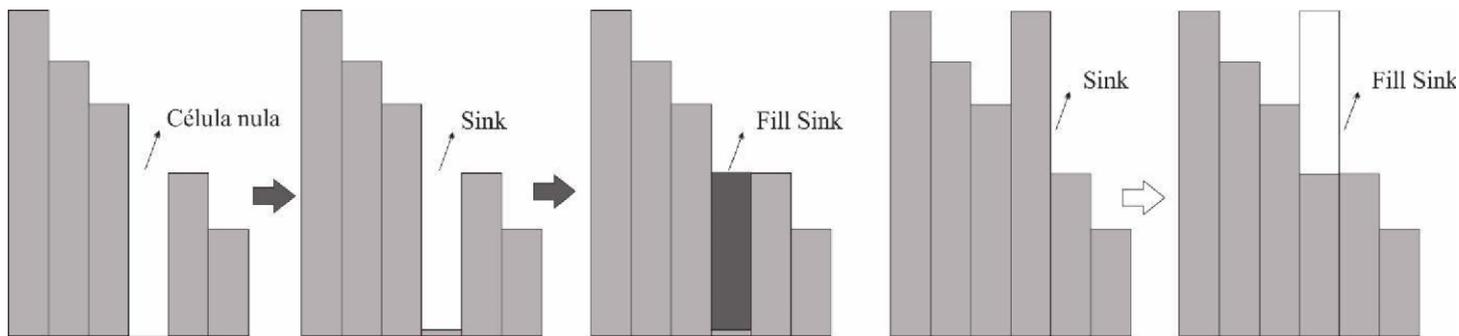


Figura 3: Processo de correção da ferramenta *Fill Sink* (Paranhos Filho *et al.*, 2021).

Posteriormente, é feito o cálculo das direções de fluxo e fluxo acumulado/acúmulo de fluxo (Figura 4). Na Figura 4 é representada a janela móvel que passa pelo modelo, onde são consideradas 8 direções possíveis a partir do pixel central. O armazenamento no sistema é feito na forma numérica (Figuras 4C, E e F), onde um número é associado a cada direção. A Figura 4D representa o fluxo acumulado, podendo ser interpretado como o número de linhas de fluxo que passam por aquele pixel ou número de pixels que contribuem “com água” para aquele pixel. É importante ressaltar

que a grade representada na Figura 4D não representa a acumulação de fluxo proveniente das linhas de fluxo das outras figuras A, B, C, E, e F.

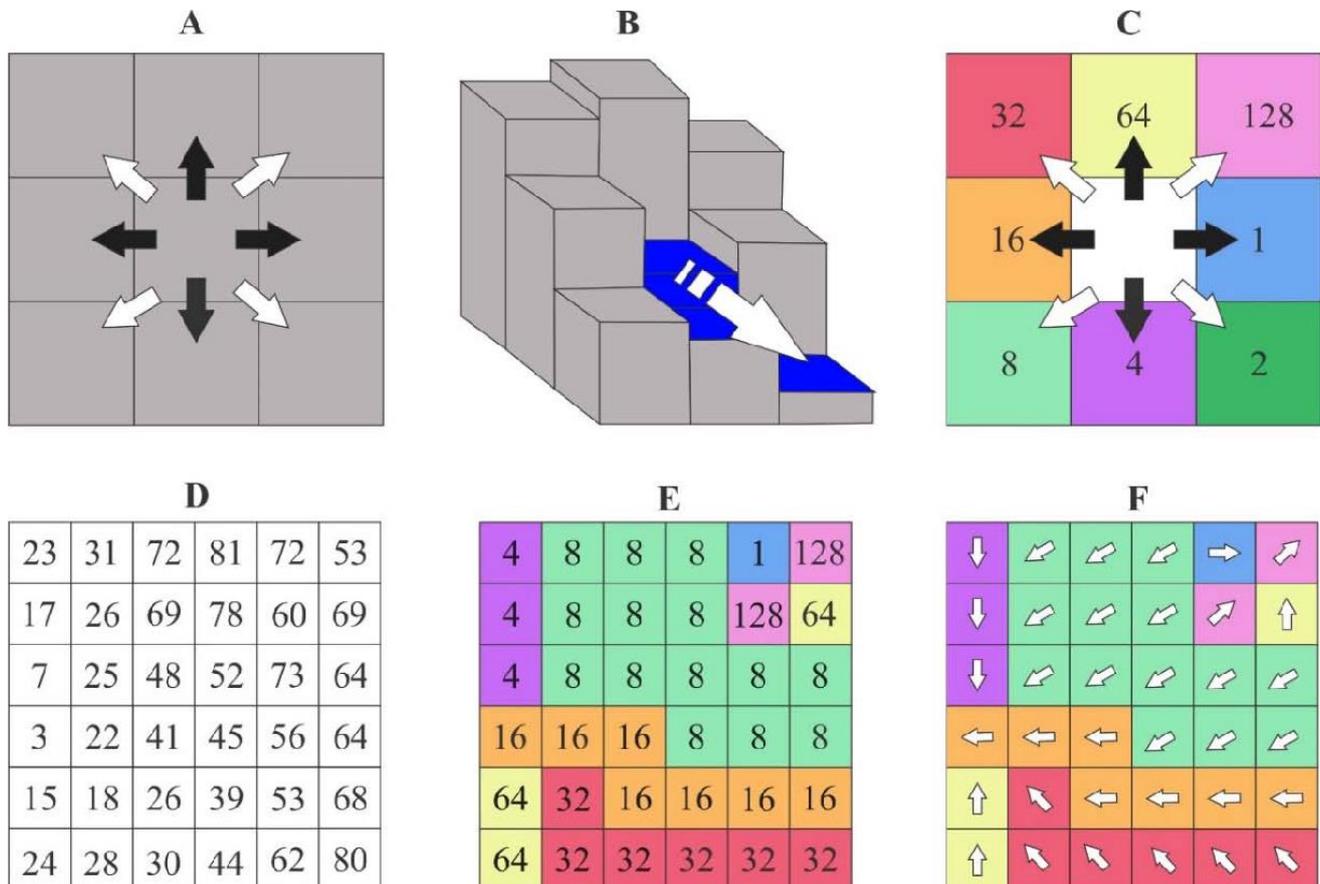


Figura 4: A, B, C, E e F estão relacionadas às direções de fluxo, D representa o fluxo acumulado (não relacionado às linhas de fluxo apresentadas) (Paranhos Filho *et al.*, 2021).

# Capítulo 2

## Processos para a extração de bacias hidrográficas

Para a extração de bacias hidrográficas é necessário apenas o *raster* de *Flow Direction* e o(s) exutório(s) (Figura 5). Algumas ferramentas extraem diversas bacias e sub-bacias dentro do MDS. Geralmente essas ferramentas consideram a intersecção entre cada linha de drenagem como um ponto de exutório e utilizam esses pontos para a geração das sub-bacias. O funcionamento desse processo se dá pelo agrupamento de todos os pixels que fluem em direção ao exutório (utilizando o *Flow Direction*).



Figura 5: Fluxograma para extração de bacias hidrográficas. Nesse exemplo foram utilizadas as intersecções de cada linha de drenagem como exutórios e limitamos as bacias a um tamanho mínimo de 30 mil pixels.

# Capítulo 3

## Hierarquização dos canais de drenagem e bacias hidrográficas

Além da extração da drenagem e de bacias hidrográficas, será feita a sua hierarquização pelo método de Strahler (1957).

A ordem dos canais de drenagem é a enumeração das ramificações de uma bacia de drenagem com o intuito de obter a importância do canal de uma certa bacia, determinando, portanto, sua hierarquia fluvial por meio de uma classificação (AMÉRICO-PINHEIRO; BENINI, 2018). Este conceito foi criado por Robert E. Horton, em 1945 e desenvolvido por Arthur N. Strahler, em 1957, propondo uma nova forma de classificação, ao qual descreve que:

- Canais de primeira ordem: são aqueles originados de uma nascente e de menor comprimento;
- Canais de segunda ordem: junção de dois canais de primeira ordem, só recebendo afluentes de primeira ordem;
- Canais de terceira ordem: junção de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de primeira e segunda ordem;
- Canais de quarta ordem: junção de dois canais de terceira ordem, recebendo todos os afluentes de canais menores;
- E assim por diante.

Chama-se também de hierarquia fluvial, pois toda a bacia hidrográfica irá herdar a ordem de maior grandeza, sendo assim, classificada de acordo com sua ordem. Para

fins representativos, a Figura 5 apresenta uma bacia hidrográfica de canal de terceira ordem, ou seja, classe 3.

### Hierarquia fluvial - Bacia Hidrográfica de Ordem 3

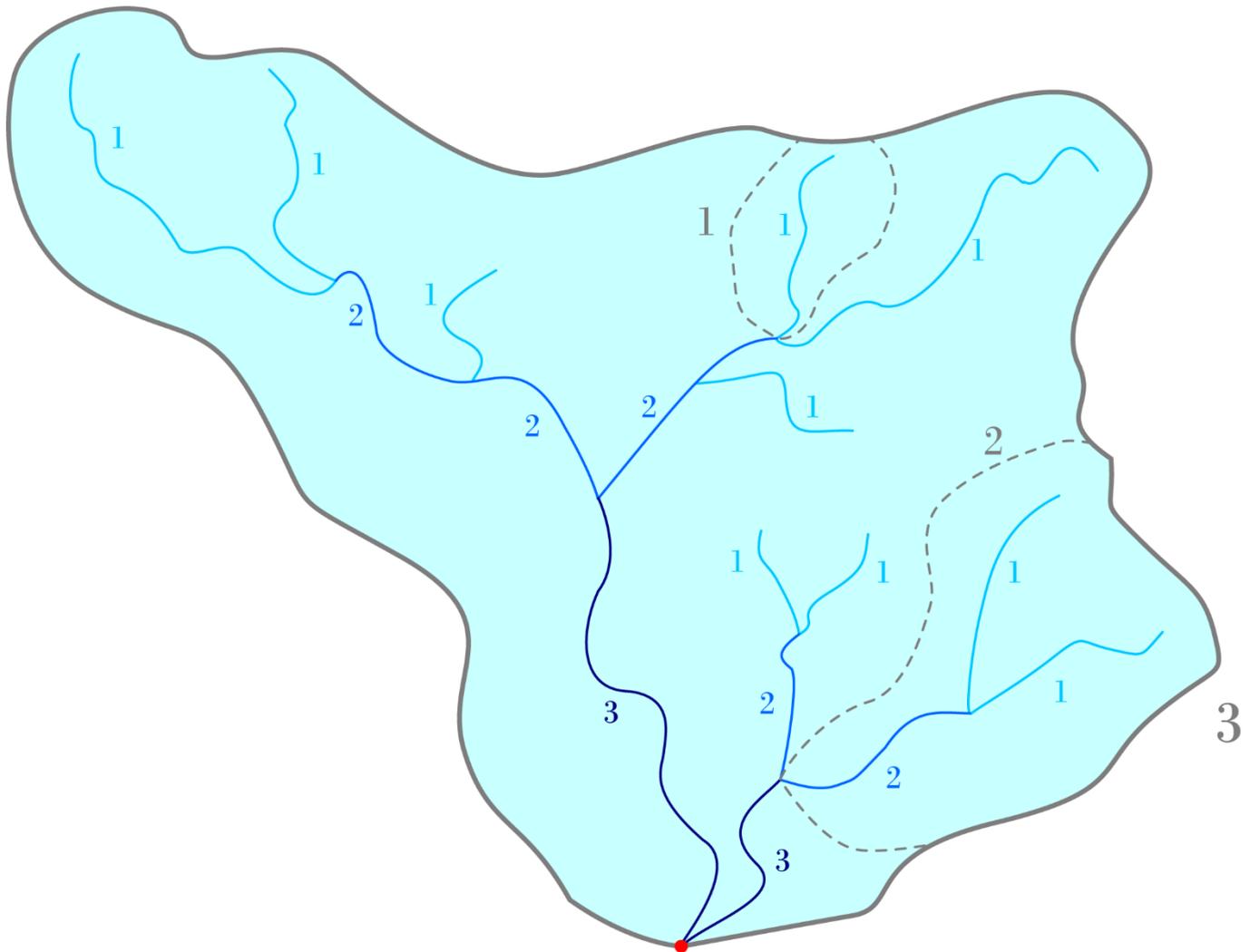


Figura 6: Representação de uma bacia hidrográfica de classe 3, onde a drenagem está classificada de acordo com Strahler (1952) e em pontilhado estão exemplos de sub-bacias de ordens 1 e 2. O exutório da bacia de ordem 3 está representado em vermelho.

# Capítulo 4

## Download do QGIS e do Modelo Digital de Superfície

Para a extração de bacias hidrográficas e drenagem é necessário um modelo digital de elevação ou de superfície (MDE ou MDS, respectivamente). Nessa prática, será utilizado o SRTM (U.S. Geological Survey, 2024) (Shuttle Radar Topography Mission), que é um MDS e está disponível em <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Figuras 7 a 11). Ressaltamos que é possível a aquisição de diferentes modelos, alternativamente trazemos a opção da aquisição por meio de um complemento do QGIS no Capítulo 6.

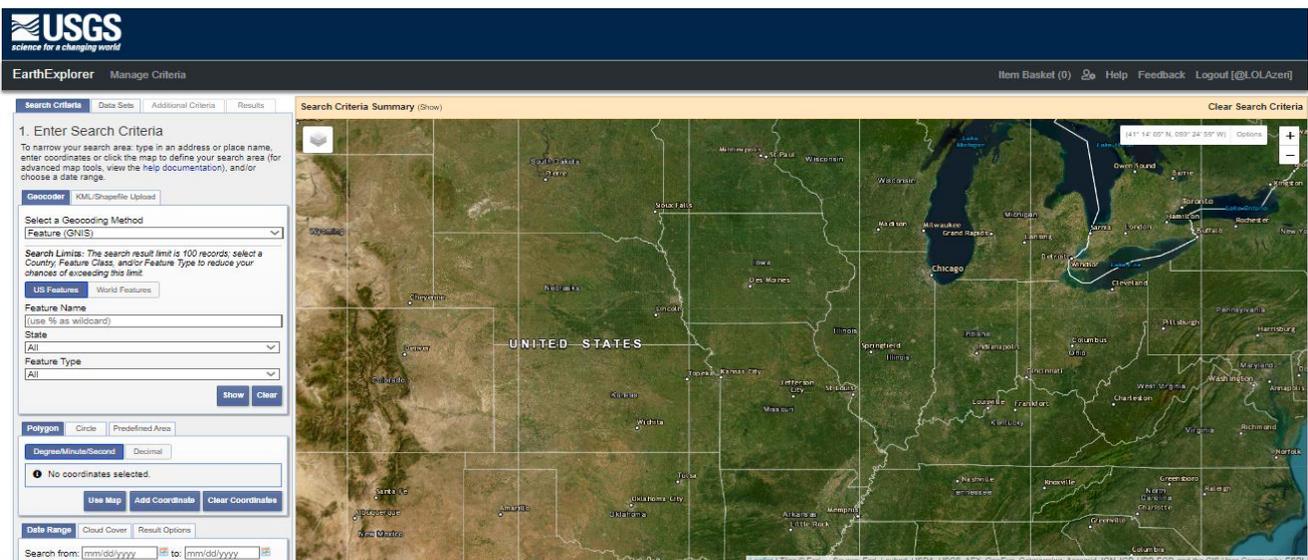


Figura 7: Interface do *Earth Explorer*, em vermelho marcada a área de *login* por onde será feito o cadastro e conexão no sistema.

Destaca-se que, para a realização do *download* dos dados, é necessário realizar um cadastro no sistema e realizar o *login*.

A ferramenta de busca do *Earth Explorer* (U.S. Geological Survey, 2024) exibirá todas as cenas que estiverem nos critérios de busca, neste caso serão selecionados

apenas 2 critérios: área de interesse (região de Campo Grande, MS) e conjuntos de dados (SRTM).

Para a seleção da área de interesse, seleciona-se a opção *Search Criteria* e na aba *Polygon* é possível desenhar no mapa a área de interesse através da inserção de pontos, os polígonos podem ser desenhados através da inserção manual de pontos ao clicar no mapa ou através da inserção de coordenadas (Figura 8). O sistema também aceita vetores como KML e *shapefile* para a delimitação da área de interesse (Figura 8).

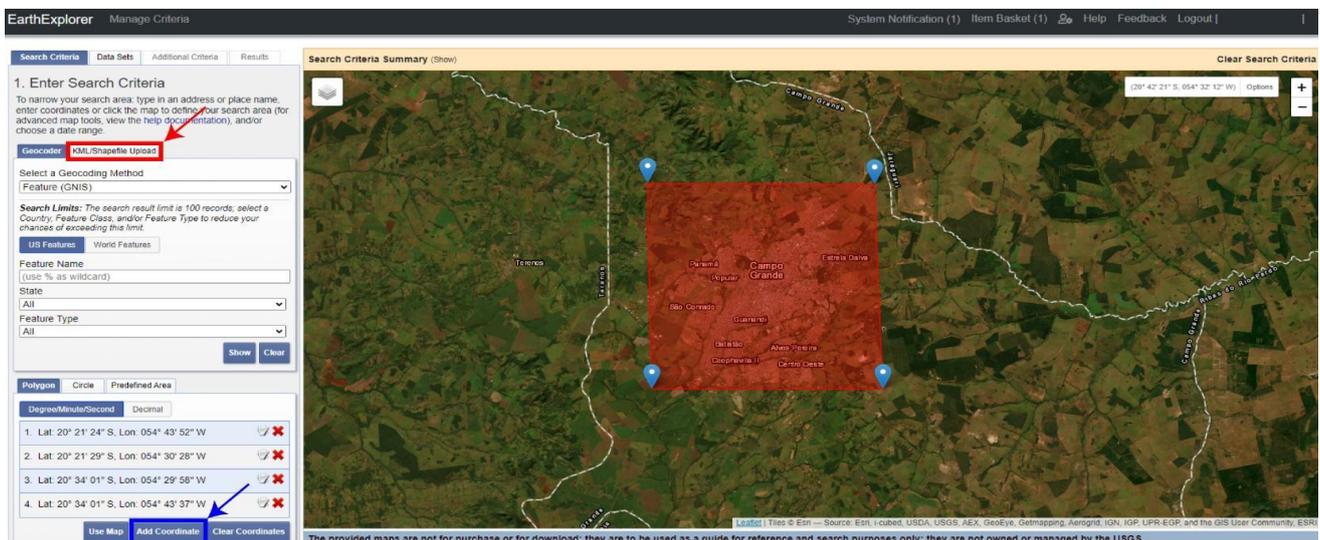


Figura 8: Seleção da área de interesse por meio da inserção de pontos através do clique sobre o mapa com o botão esquerdo do mouse. Alternativamente, a seleção da área de interesse pode ser feita pela inserção manual de coordenadas (botão apontado pela fecha azul) ou pela inserção de um arquivo vetorial no formato KML ou shapefile (botão pela flecha em vermelho).

Para a seleção dos conjuntos de dados, vamos à aba *Data Sets* e expandimos os menus *Digital Elevation* e *SRTM* para selecionarmos os dados *SRTM Void Filled* (Figura 9).

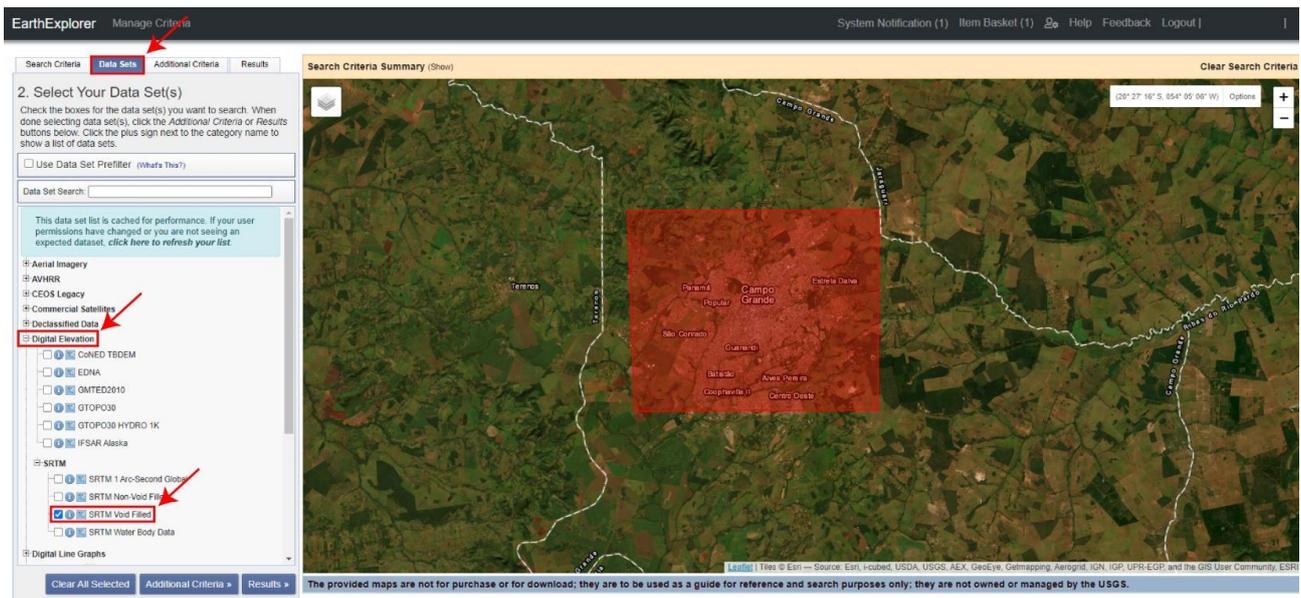


Figura 9: Seleção dos tipos de dados. As flechas em vermelho apontam a aba *Data Sets*, os conjuntos de dados *Digital Elevation* e nesse caso, selecione a opção “*SRTM Void Filled*”.

Para visualizar todas as imagens encontradas pelo *Earth Explorer* nesse critério de busca, basta clicar na aba *Results* e escolher quais imagens serão baixadas (Figura 10). Existem várias opções nessa aba abaixo de cada imagem. Opções como visualização da área de cobertura da imagem (*Footprint*), visualização dos metadados (*show metadata and browse*) e para baixar (*Download Options* e *Bulk Download*), onde o *Bulk Download* tem o propósito de baixar um grande volume de imagens simultaneamente.

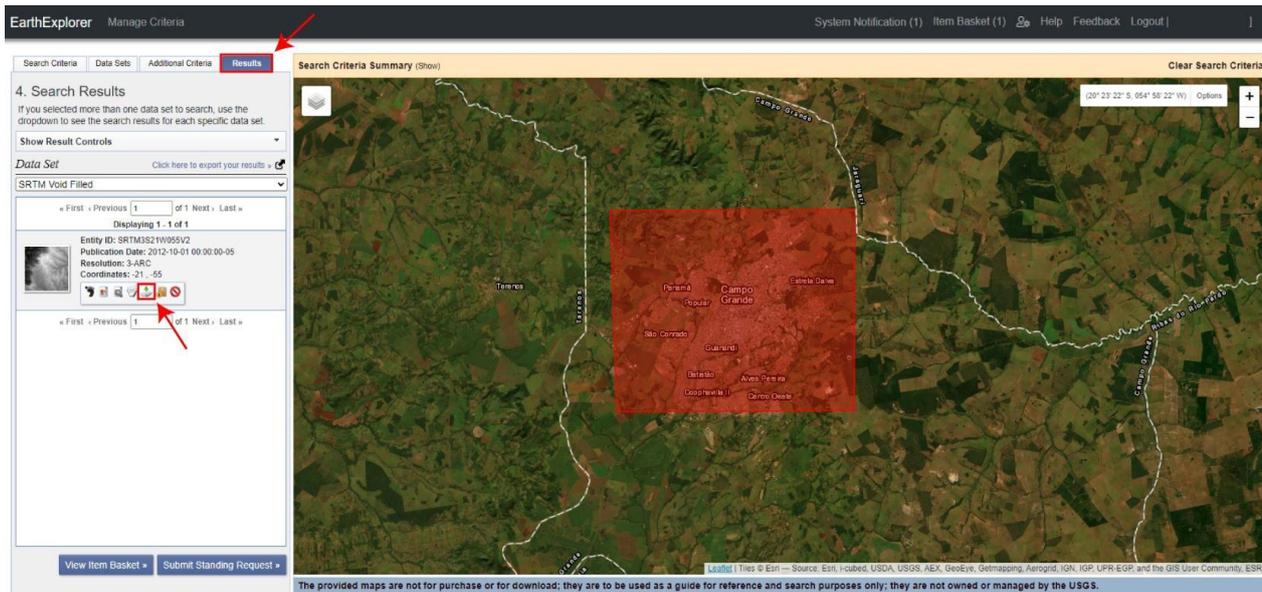


Figura 10: Resultados dos critérios de busca, as flechas em vermelho apontam a aba de Resultados e o botão para baixar os dados.

Em *Download Options* será selecionada a imagem “GeoTIFF 3 Arc-second” (Figura 11). É importante que o arquivo de metadados também seja salvo, pois contém informações importantes sobre a imagem, tais como data de aquisição e resolução (para o caso do SRTM).

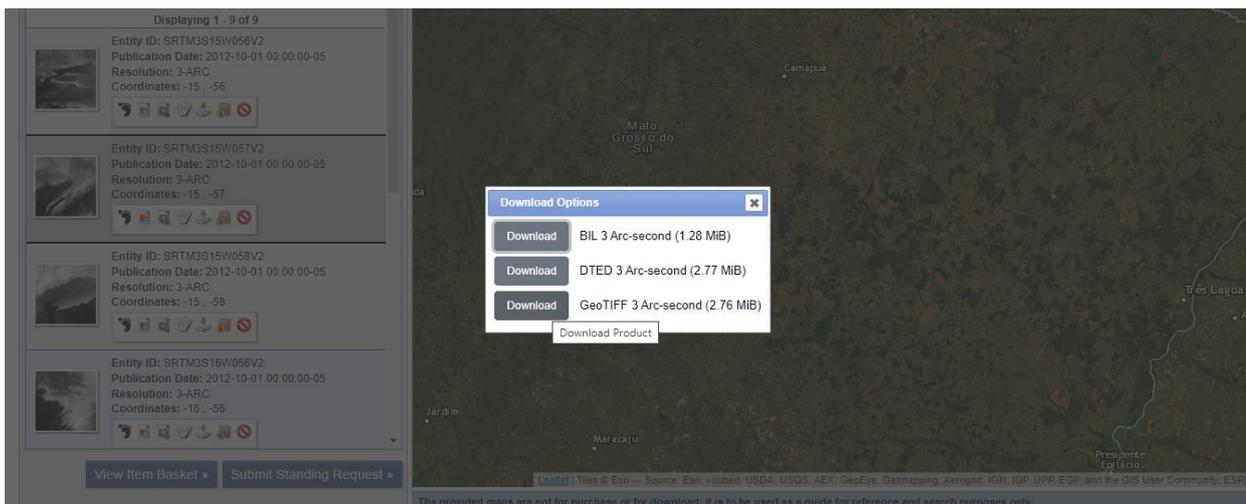


Figura 11. Opção de *downloads* com os formatos para baixar, selecionaremos a última opção: GeoTIFF.

Existem vários *softwares* para a extração automática de bacias hidrográficas e drenagem. Neste livro será utilizado o QGIS (QGIS Development Team, 2024), versão *Standalone Installer 3.34*, disponível em

[https://www.qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html) (Figura 12).

Preferencialmente, baixar a versão 3.34, por ser a versão mais estável.



Figura 12: Versões de QGIS para *download*. Utilizaremos a versão mais estável QGIS 3.34 LTR (*long term release*) (em vermelho).

OBSERVAÇÃO: O SRTM é um Modelo Digital de Superfície (MDS), um modelo que representa o relevo, mas mantém os objetos ou artefatos em sua superfície, como vegetação e estruturas antrópicas. Dessa forma, com o propósito evitar confusão ao longo do processo, os termos que aparecem como DEM, MDE, MDS ou SDM referem-se ao Modelo Digital de Superfície que utilizaremos.

# Capítulo 5

## Abrir o SRTM no QGIS

O caminho para adicionar uma camada de dados é no menu Camada (Layer), o tipo de dados do SRTM é *raster* (Figura 13).

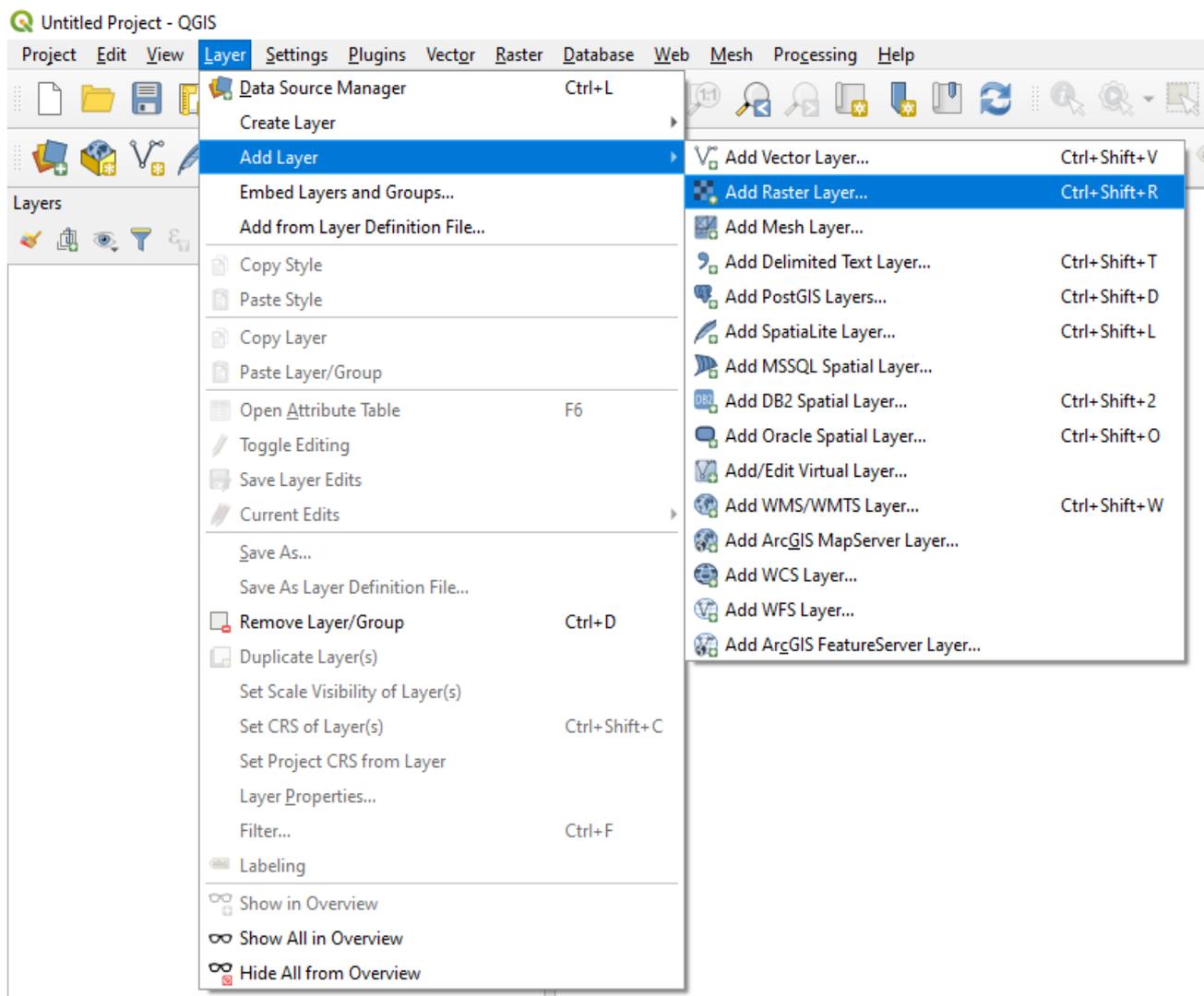


Figura 13: Adicionando uma camada de dados *raster* no QGIS.

Ao abrir uma nova janela de gerenciamento de fonte de dados *raster*, clique em “...” para abrir os documentos do computador e assim poder escolher a camada que deseja abrir no QGIS (Figura 14).

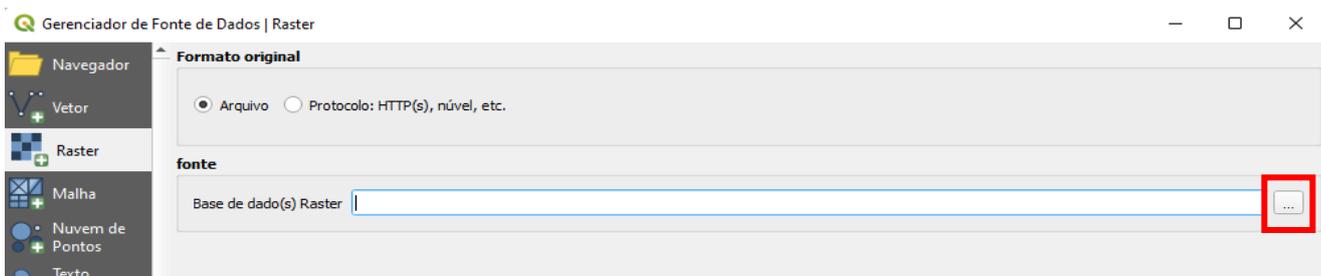


Figura 14: Clicando em “...” na janela de gerenciamento de fonte de dados *raster* do QGIS. Siga até o local/pasta onde foi salvo o arquivo correspondente ao SRTM.

Escolha a camada que foi baixada no primeiro passo deste material e clique em “abrir”, conforme a Figura 15.

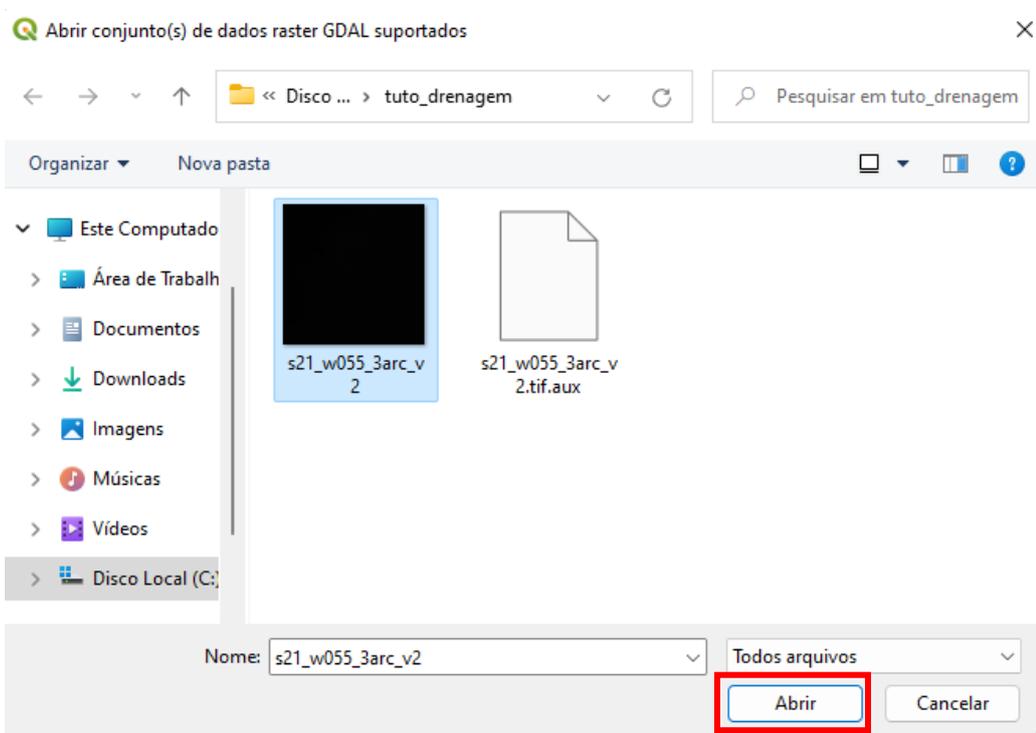


Figura 15: Escolhendo a camada *raster* a ser aberta.

Em seguida, basta clicar em “adicionar” para a camada escolhida ser aberta no QGIS e depois em “fechar” para fechar a janela do gerenciamento de dados de fontes *raster*, como segue a Figura 16.

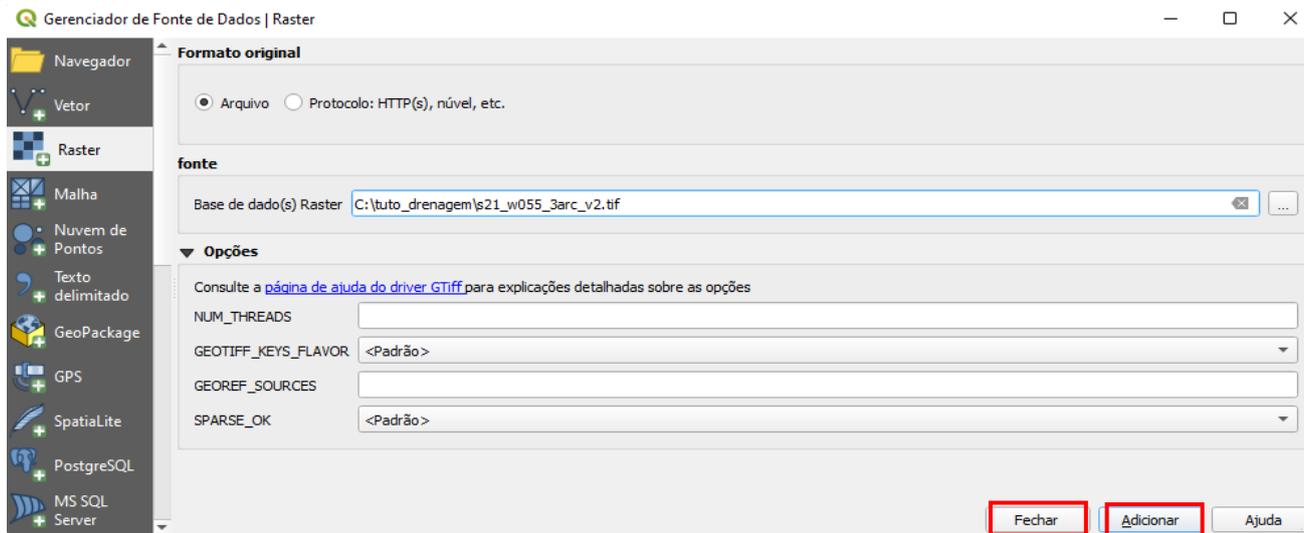


Figura 16: Adicionando a camada *raster* baixada no primeiro passo deste tutorial.

Para o QGIS ter acesso às ferramentas dos *softwares* integrados, é necessário que seja aberta a versão com GRASS. Após isso, habilitar a Caixa de Ferramentas de Processamento (*Processing Toolbox*) no menu *Plugins* ou Complementos > *Manage and Install Plugins* / Gerenciar e Instalar Complementos (Figuras 17 e 18).

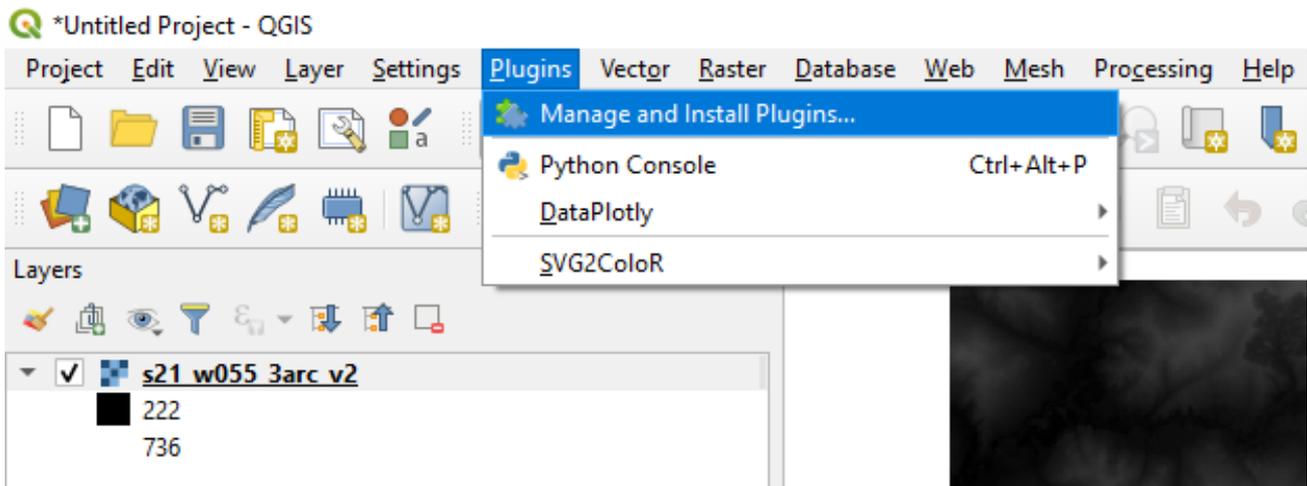


Figura 17: Gerenciamento de Complementos.

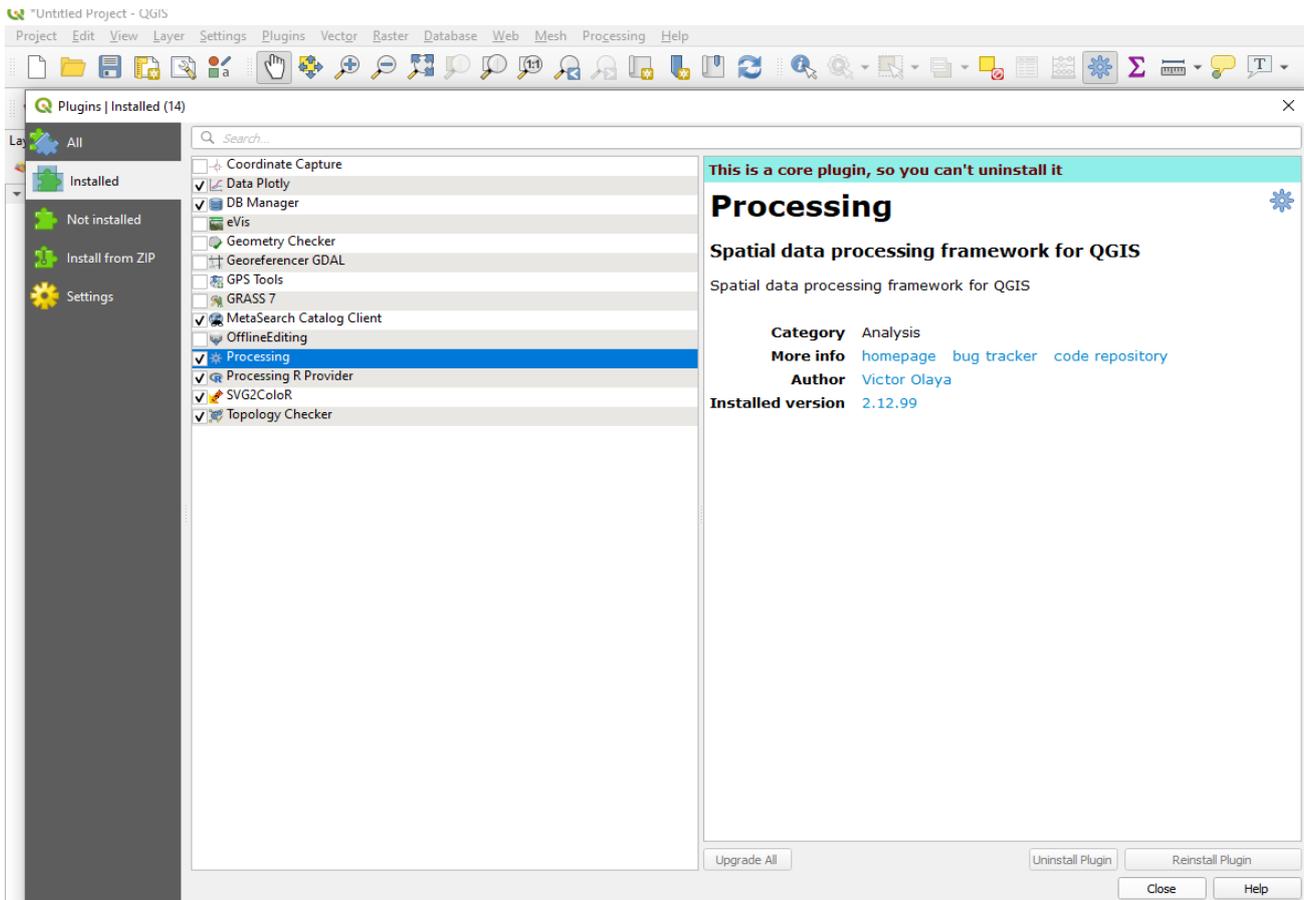


Figura 18: Habilitação do *Processing Toolbox*.

# Capítulo 6

## Aquisição de MDS no QGIS com uso do plugin OpenTopography DEM Downloader

Alternativamente existem outras maneiras de se adquirir um MDS/MDE, como por complementos do QGIS.



O OpenTopography é uma iniciativa de ciência aberta criada em 2009, dedicada a fornecer acesso livre e fácil a dados topográficos de alta resolução, ferramentas de processamento e recursos educacionais. Liderado por Christopher Crosby e outros especialistas, o programa é um esforço colaborativo que envolve várias instituições renomadas, para suportar a pesquisa, a educação e a aplicação prática em geociências e disciplinas relacionadas. Entre as principais instituições parceiras estão o *San Diego Supercomputer Center (SDSC)* na Universidade da Califórnia, San Diego (UCSD), a Universidade do Estado do Arizona (ASU) e a Universidade do Texas, em Austin. O principal suporte operacional vem da Divisão de Ciências da Terra da *National Science Foundation* dos EUA. Ele integra dados de diversas fontes, em uma plataforma que oferece uma interface amigável para visualizar, baixar e processar dados geoespaciais topográficos, diretamente no QGIS, através de *plugin*.

O plugin OpenTopography DEM Downloader, desenvolvido para QGIS, oferece vasta gama de Modelos Digitais de Superfície (MDS) disponíveis para download. Entre os MDS acessíveis destacam-se dados LiDAR, para algumas regiões do globo, SRTM (*Shuttle*

Radar Topography Mission), ALOS World 3D (Advanced Land Observing Satellite), Copernicus Global DSM (Digital Surface Model), NASA DEM, dentre outros, oferecendo várias resoluções e coberturas geográficas.

**Importante:** Cabe destacar que, a menos que se precise representar a superfície terrestre na área de estudo nos anos 2000, o uso do Copernicus DEM como MDS (Modelo Digital de Superfície) é preferível ao SRTM devido à atualidade e precisão dos dados. O Copernicus DEM, parte do programa Copernicus lançado pela Agência Espacial Europeia (ESA) e pela Comissão Europeia, oferece dados topográficos oriundos de operações iniciadas em 2014 e sendo continuamente atualizado. Em contraste, o SRTM foi lançado em 2000, e seus dados, embora revolucionários na época, agora estão desatualizados, comparados ao Copernicus, principalmente em regiões que tenham passado por alterações drásticas do uso e cobertura do solo, como áreas de mineração, cultivo de floresta plantada, dentre outros. Segundo Bielski et al. (2024), após ranqueamento de 6 MDS de cobertura global, o Copernicus DEM é o melhor MDS disponível atualmente.

#### - Solicitando a Chave API para uso do plugin no QGIS:

Para acessar os dados de MDS diretamente no QGIS é necessária a obtenção de uma chave API individual, que deve ser solicitada no site do OpenTopography (<https://opentopography.org/>), conforme passos detalhados a seguir:

- Acesse o site do OpenTopography e clique em “Request an API Key” (Figura 19);

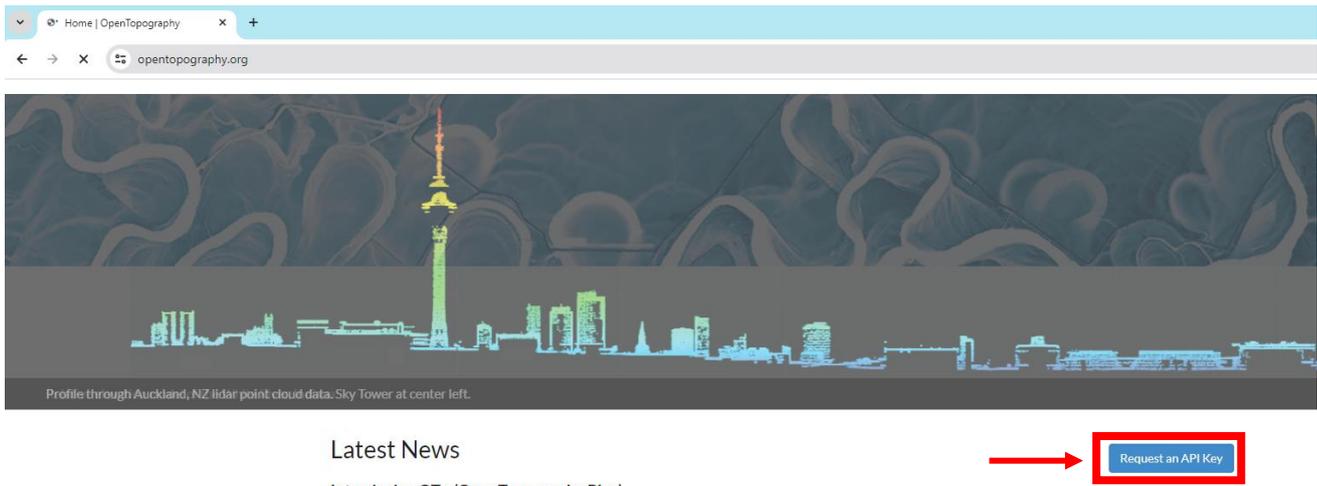


Figura 19: Site do OpenTopography.

- O usuário será direcionado para a página de login. Será necessária a criação de conta para acesso em “Create new account” (Figura 20). Todas as informações de preenchimento obrigatório estão destacadas por um asterisco vermelho “\*” (Figura 21);

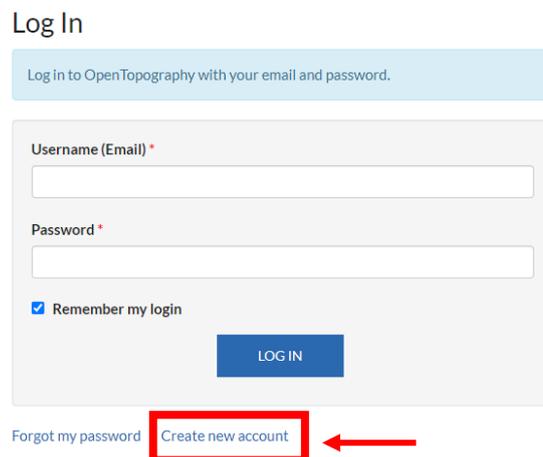


Figura 20: Página de Login.

## Register New Account

Please fill out your user information and an e-mail will be sent to you with activation details.

UserID (email): *	Organization: *
<input type="text"/>	<input type="text"/>
First Name: *	Password: *
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Last Name: *	<small>Password must be 8 or more characters with a mix of at least 2 of the 4 of the following: Lowercase letters, uppercase letters, numbers, and special characters (@, #, \$, %, etc.).</small>
<input type="text"/>	Confirm password: *
ORCID: <a href="https://orcid.org/">https://orcid.org/</a>	<input type="text"/>
<input type="text" value="0000-0000-0000-0000"/>	Would you like to subscribe to the OpenTopography mailing list? <input checked="" type="checkbox"/>
Affiliation: *	I accept the Terms of Use * <input type="checkbox"/>
<input type="text"/>	<a href="#">Having problems creating an account?</a>
<input type="submit" value="SUBMIT"/>	

[Login](#) [Forgot my password](#)

Figura 21: Página de registro de nova conta de acesso.

- Após o preenchimento dos dados da nova conta, o usuário receberá um e-mail para ativação da mesma, contendo link de acesso (Figuras 22 e 23);



You will soon receive an e-mail with information to activate your account.

Figura 22: Página de aviso de envio de e-mail com orientações para ativação da conta.

## OpenTopography Account Activation Externa Caixa de entrada x

noreply@ucsd.edu  
para mim ▾

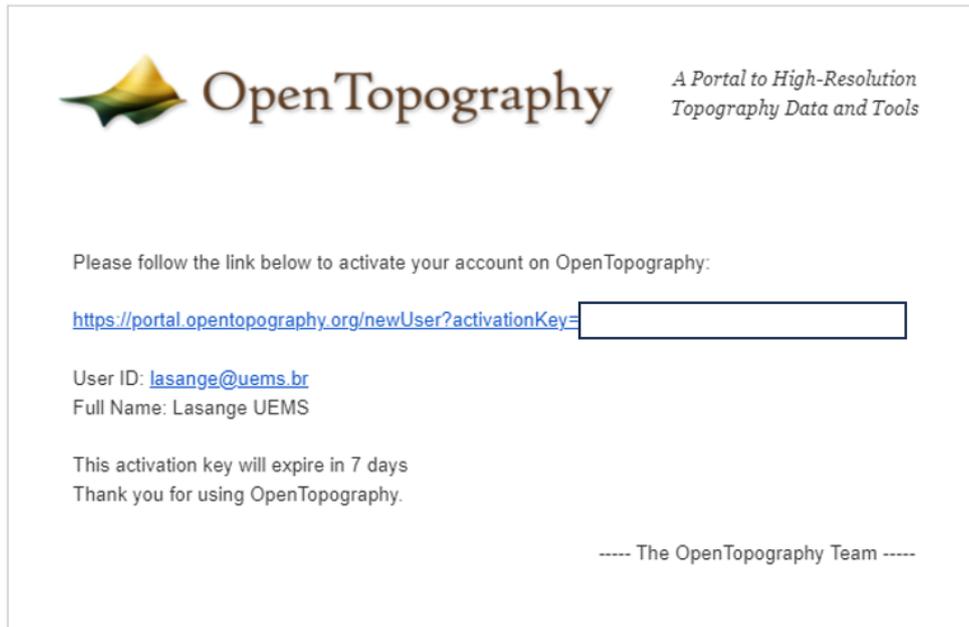


Figura 23: Corpo do texto do e-mail de ativação, com link de acesso.

- O link de ativação levará o usuário até a página de login (Figura 24). Deve-se efetuar o login no sistema, digitando o *username* (e-mail) e senha cadastrados anteriormente nos respectivos campos, e, na sequência, clicar em “LOG IN”;

## Log In

Log in to OpenTopography with your email and password.

Your account has been activated. Please log in to the OpenTopography portal using your credentials.

Username (Email) \*

Password \*

Remember my login

[LOG IN](#)

Figura 24: Página de login ao sistema, vindo do link de ativação enviado por e-mail.

- Será aberta a aba de Status do login de usuário (Figura 25). Nesta, devemos clicar em “Get an API Key”, para obtenção da chave;

myOpenTopo Workbench

OpenTopography Systems Load Status - Low

[My OpenTopography Jobs](#) View my previously submitted jobs.

[My Usage Statistics](#) My submitted jobs analytics dashboard.

[Get an API Key](#) OpenTopography's available API require a key (e.g use in blender).

Figura 25: Página status de login do usuário.

- O usuário será direcionado para a página de solicitação da chave (Figura 26). Basta clicar em “REQUEST API KEY”, e se abrirá nova aba com a chave API (Figura 27), que deve ser copiada e salva para inserção no plugin (complemento) a ser instalado dentro do QGIS, chamado OpenTopography DEM Downloader;

### OpenTopography User Authorizations

Welcome Lasange UEMS (Sign Out)

#### Request API Key

OpenTopography's REST API is documented using the OpenAPI specification and available via Swagger for visualizing and testing via the browser.

Commercial, for-profit (i.e., intending to make money), integration of OpenTopography API keys into a product or service is not permitted. For these for-profit use cases as well as for use in classrooms we offer Enterprise API keys. To request an Enterprise Key please email [info@opentopography.org](mailto:info@opentopography.org).

OpenTopography reserves the right to impose limits on our APIs (e.g. limiting the number of API requests that you may make) to ensure the integrity, security, and proper functioning of our systems. You agree to, and will not attempt to circumvent, such limitations documented with each API.

Figura 26: Página de requisição e termos de uso da chave API.

### OpenTopography User Authorizations

Welcome Lasange UEMS (Sign Out)

#### Request API Key

API key: 14cf2[redacted]e08

OpenTopography's REST API is documented using the OpenAPI specification and available via Swagger for visualizing and testing via the browser.

Commercial, for-profit (i.e., intending to make money), integration of OpenTopography API keys into a product or service is not permitted. For these for-profit use cases as well as for use in classrooms we offer Enterprise API keys. To request an Enterprise Key please email [info@opentopography.org](mailto:info@opentopography.org).

OpenTopography reserves the right to impose limits on our APIs (e.g. limiting the number of API requests that you may make) to ensure the integrity, security, and proper functioning of our systems. You agree to, and will not attempt to circumvent, such limitations documented with each API.

Figura 27: Página com a chave API, que deverá ser copiada e inserida no complemento OpenTopography DEM Downloader , no QGIS .

**- Baixando o complemento (Plugin) OpenTopography DEM Downloader no QGIS:**

- Com o QGIS iniciado, o usuário deverá ir em Complementos → Gerenciar e Instalar Complementos... (Figura 28);



Figura 28: Acesso ao gerenciador de complementos do QGIS.

- Com o gerenciador de complementos aberto em “Tudo”, na aba de pesquisa “ Q ”, digita-se “open”, e o complemento OpenTopography DEM Downloader aparecerá para instalação. Basta clicar em “Instalar complemento”, para executar sua instalação (Figura 29);

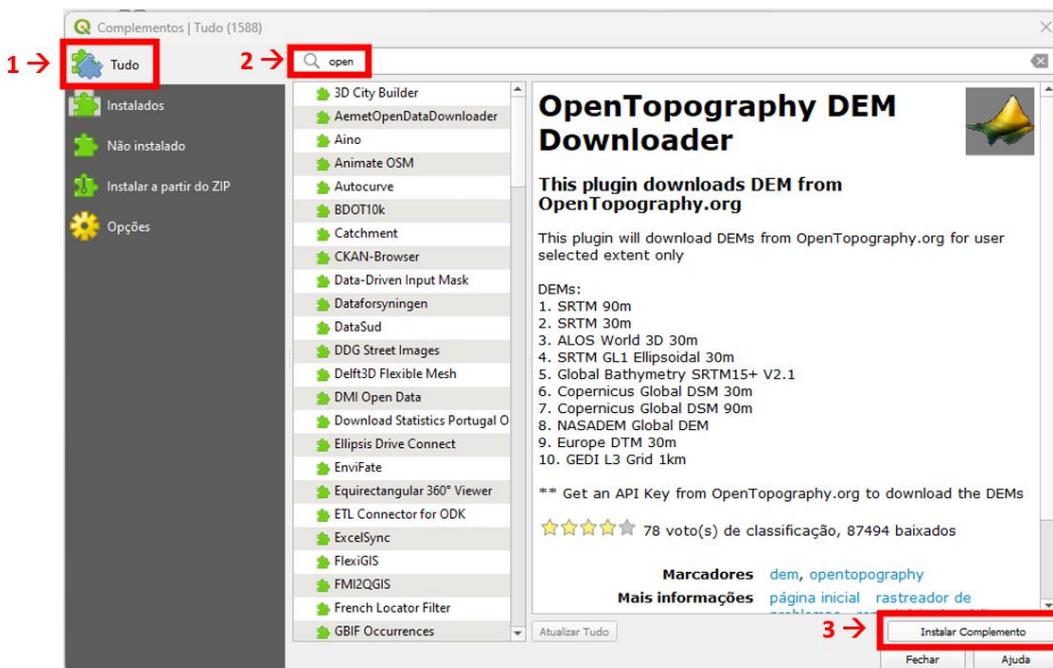


Figura 29: Gerenciador de complementos do QGIS .

- O complemento instalado pode ser habilitado ou desabilitado da área de trabalho do QGIS, marcando ou desmarcando o ícone “√” (Figura 30);



Figura 30: Gerenciador de complementos do QGIS, com vista da aba de complementos instalados.

- Habilitado, o ícone de acesso rápido ao plugin  aparecerá na aba de ferramentas o seu QGIS (Figura 31). A localização do ícone pode variar de acordo com o número de complementos instalados no QGIS;

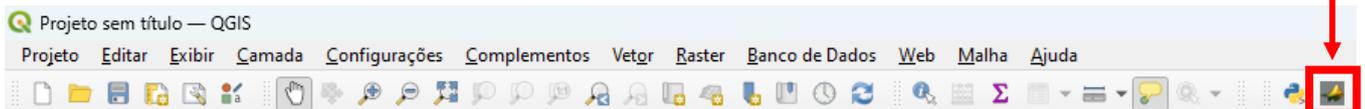


Figura 31: Exemplo de localização do ícone de acesso rápido do complemento na aba de ferramentas do QGIS.

- No primeiro acesso ao complemento, deve-se inserir a chave API no campo “Enter your API Key or use an existing one below” (Figura 32). A chave só precisará ser inserida esta única vez no complemento e ficará salva;

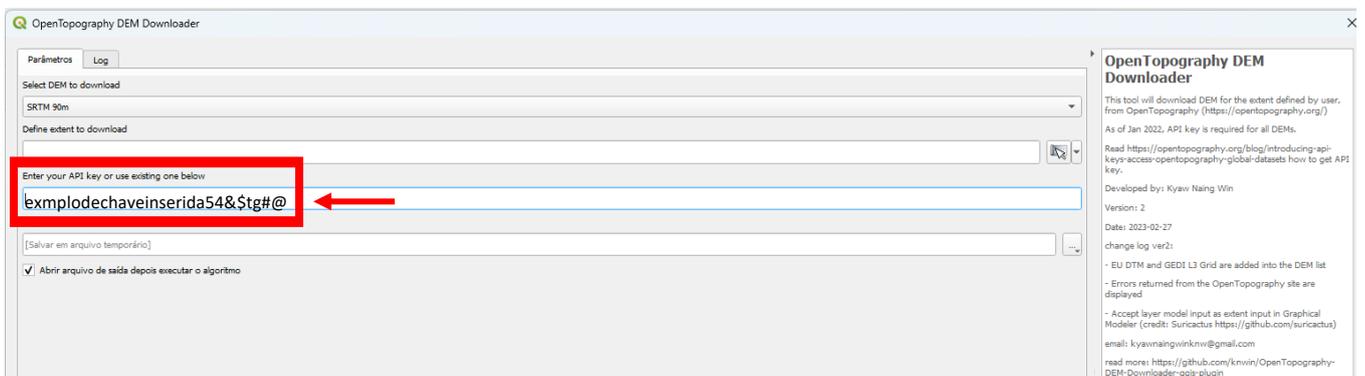


Figura 32: Vista do complemento aberto, com destaque ao campo para inserção da chave API.

- Utilizando o complemento **OpenTopography DEM Downloader** para download de MDS:

- Com o complemento aberto, efetua-se a seleção do MDS desejado, clicando-se no campo “Select DEM to download” (Figura 33). No exemplo, selecionou-se o Copernicus Global DSM 30 m;

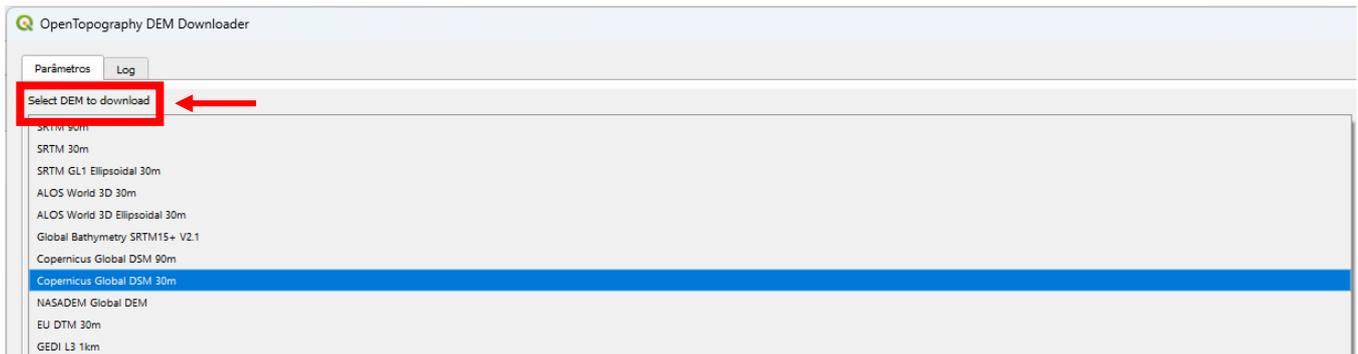


Figura 33: Tela de parâmetros do complemento, com destaque para seleção do MDS desejado para download.

Na sequência, deve-se indicar a área a qual deseja-se obter o MDS especificado (Figura 34). Isso pode ser estabelecido de diversas formas, a ser estabelecido no campo “Define extend to download”, podendo ser: - Calcular a partir da camada; - Calcular a partir do Mapa de Layout; - Calcular a partir dos Favoritos; - Usar a Extensão Atual da Tela do Mapa; e - Desenhar na Tela do Mapa (opção de utilizaremos no exemplo, e que só permite a seleção de área retangulares);

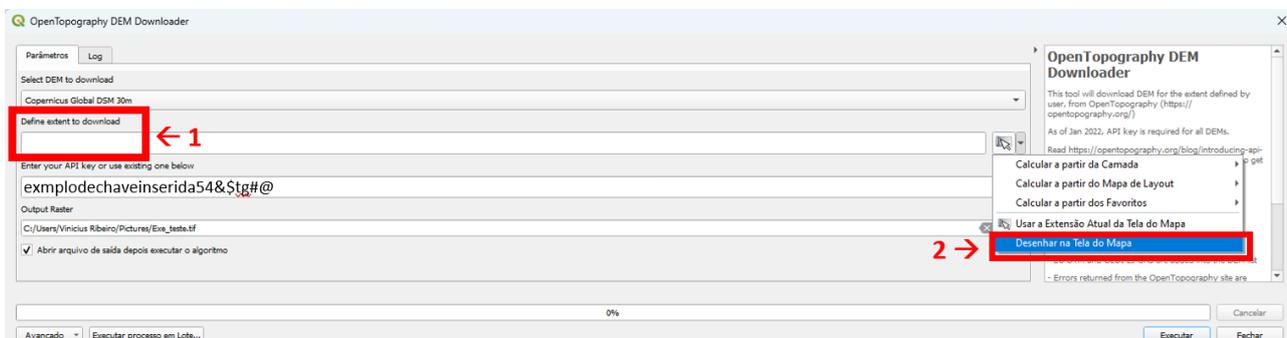


Figura 34: Tela de parâmetros do complemento, com destaque para definição da área do MDS desejado para download.

- Selecionada a opção “Desenhar na Tela do Mapa” o usuário será direcionado à área de trabalho do QGIS, para clicar e arrastar, indicando a área retangular que abrange a área de estudo, para download do MDS indicado (Figura 35). As coordenadas limítrofes do retângulo de interesse aparecerão após sua definição, indicando a área selecionada (Figura 36);

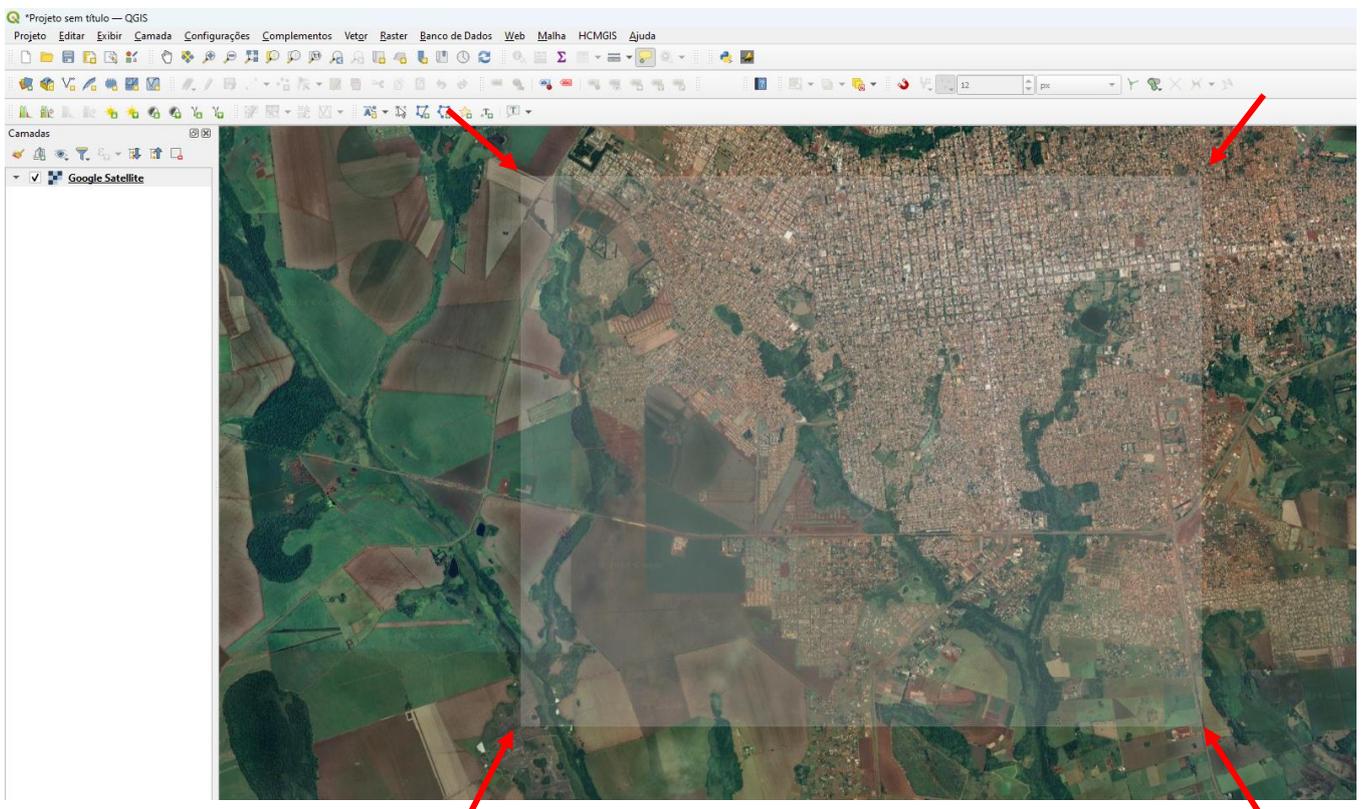


Figura 35: Tela indicando à área de interesse (branco com transparência), sendo indicada com auxílio do cursor, com o mouse.

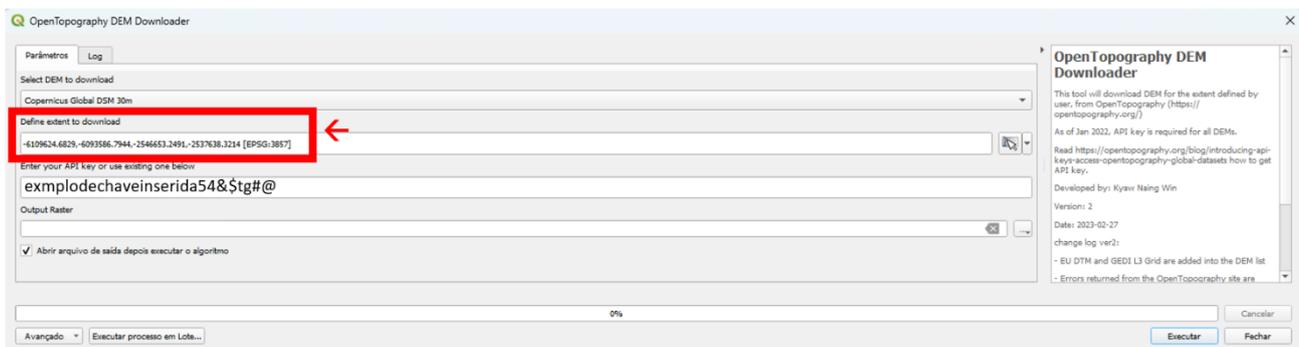


Figura 36: Após a indicação da área de interesse, retorna-se a tela do complemento, onde observa-se as coordenadas limítrofes.

- Deve-se efetuar a opção de armazenamento do raster MDS a ser baixado, no campo “Output Raster”. Tem-se como opção salvá-lo como arquivo temporário, ou salvá-lo em um arquivo no computador (Figura 37). No caso do exemplo, optamos por “salvar em arquivo”, e para tal, deve-se indicar um caminho/pasta em que será salvo o Geotiff da área de interesse, e clicar em “Salvar” (Figura 38);

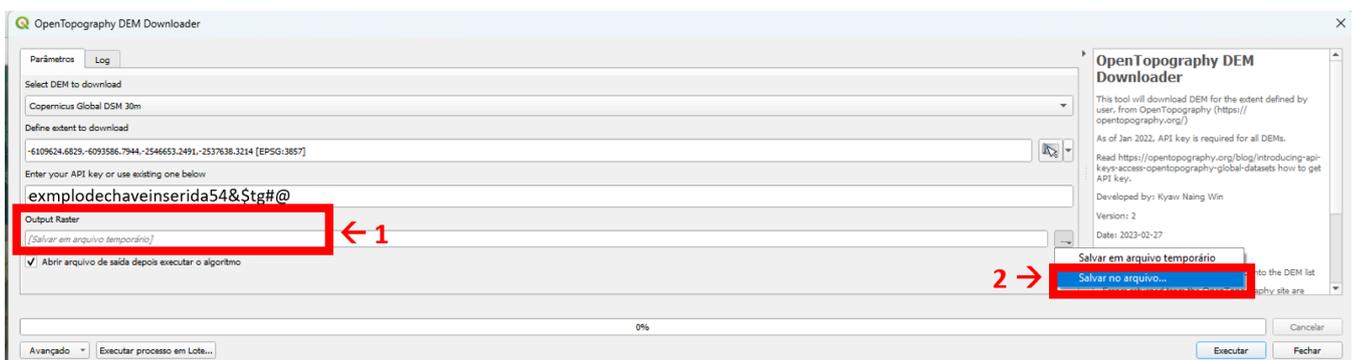


Figura 37: Tela para indicação da opção de salvamento do raster MDS a ser baixado.

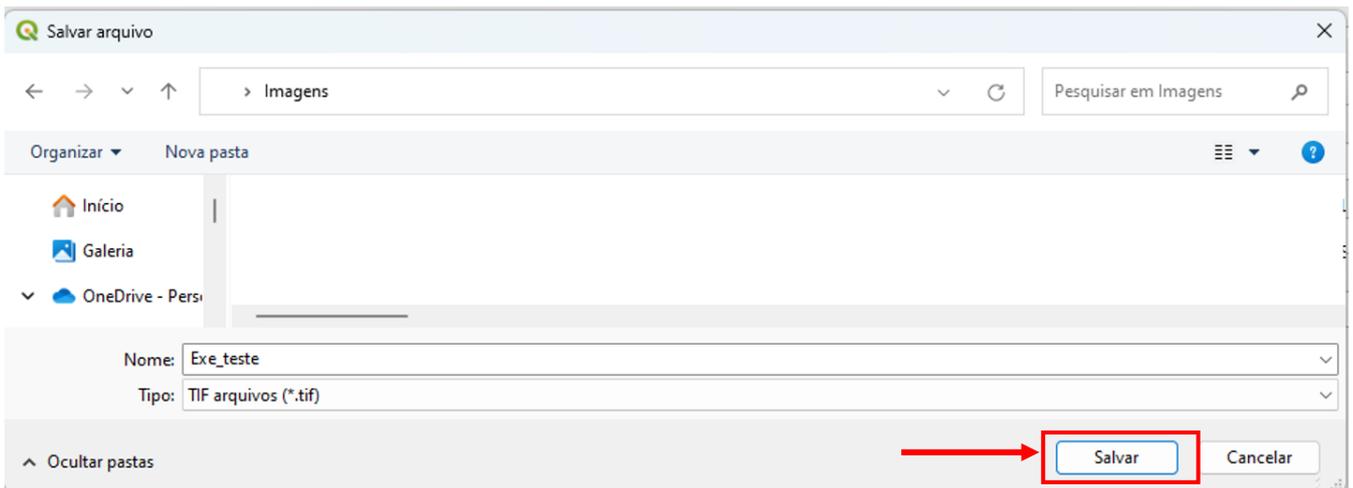


Figura 38: Exemplo de indicação de caminho para salvamento do MDS a ser baixado, no computador.

- Indicada a opção de salvamento, basta executar o complemento, clicando em “Executar” (Figura 39). Será iniciado o download do Raster MDS da área selecionado, diretamente na área de trabalho do QGIS (Figura 40);

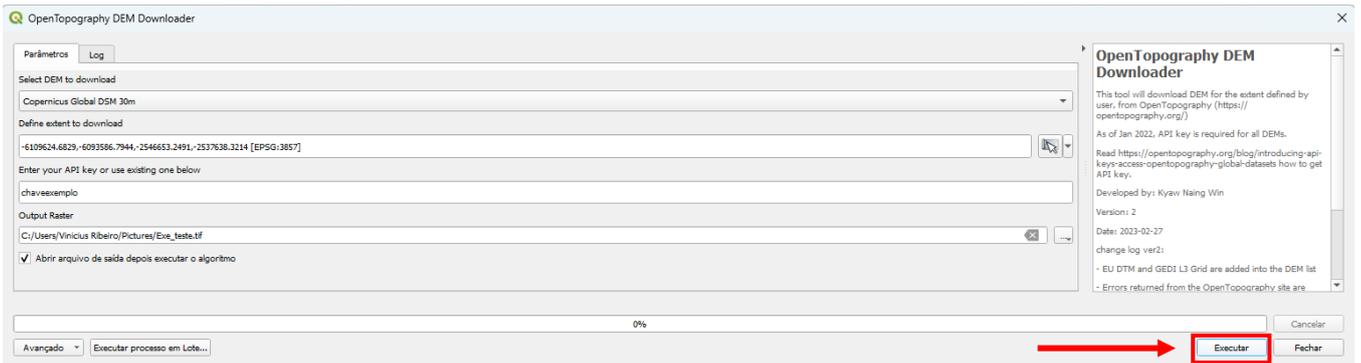


Figura 39: Tela com todos os campos necessários preenchidos, para download do MDS.

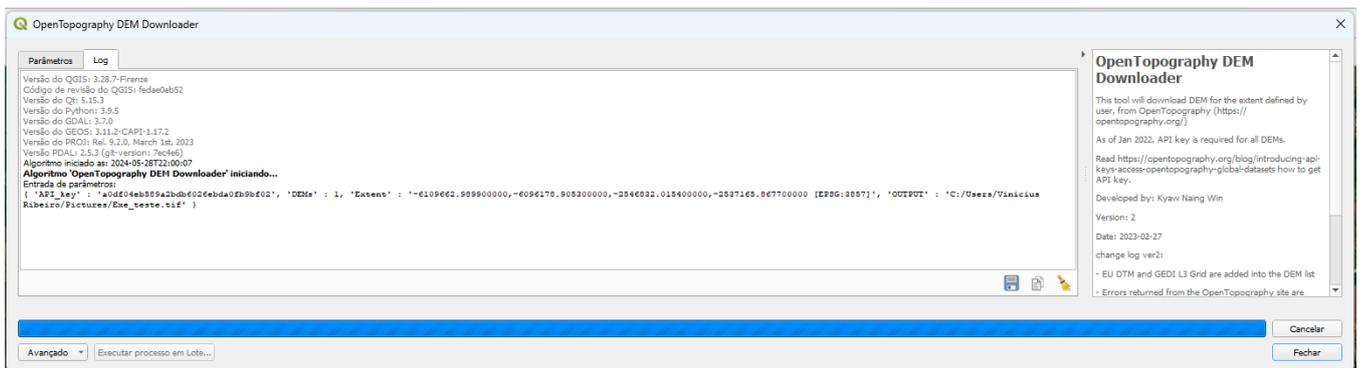


Figura 40: Tela de execução do complemento, efetuando o download do arquivo.

- Finalizado o download, o MDS selecionado é carregado automaticamente na área de trabalho (Figura 41). O complemento pode ser fechado clicando-se em “Fechar”. Com isso, tem-se acesso ao Geotiff Copernicus abrangente à área de interesse indicada, para efetuarmos as análises hidrológicas (Figura 42);

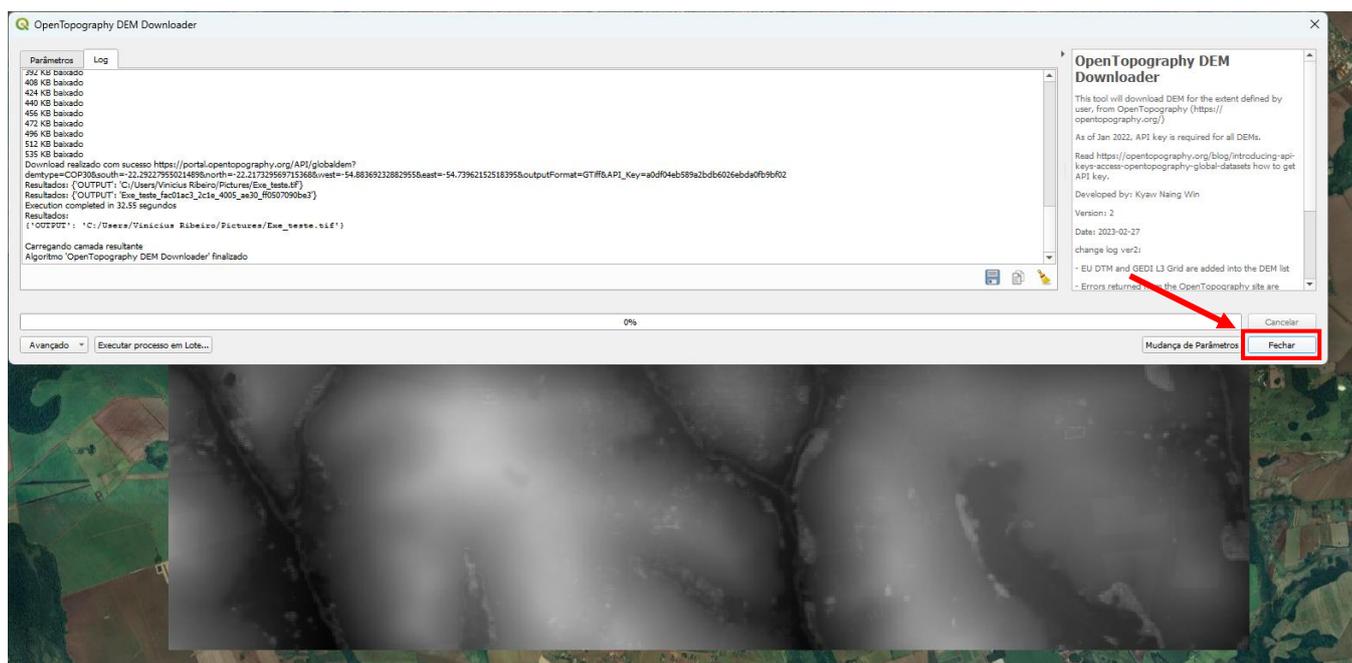


Figura 41: Tela com execução do download do arquivo finalizado.

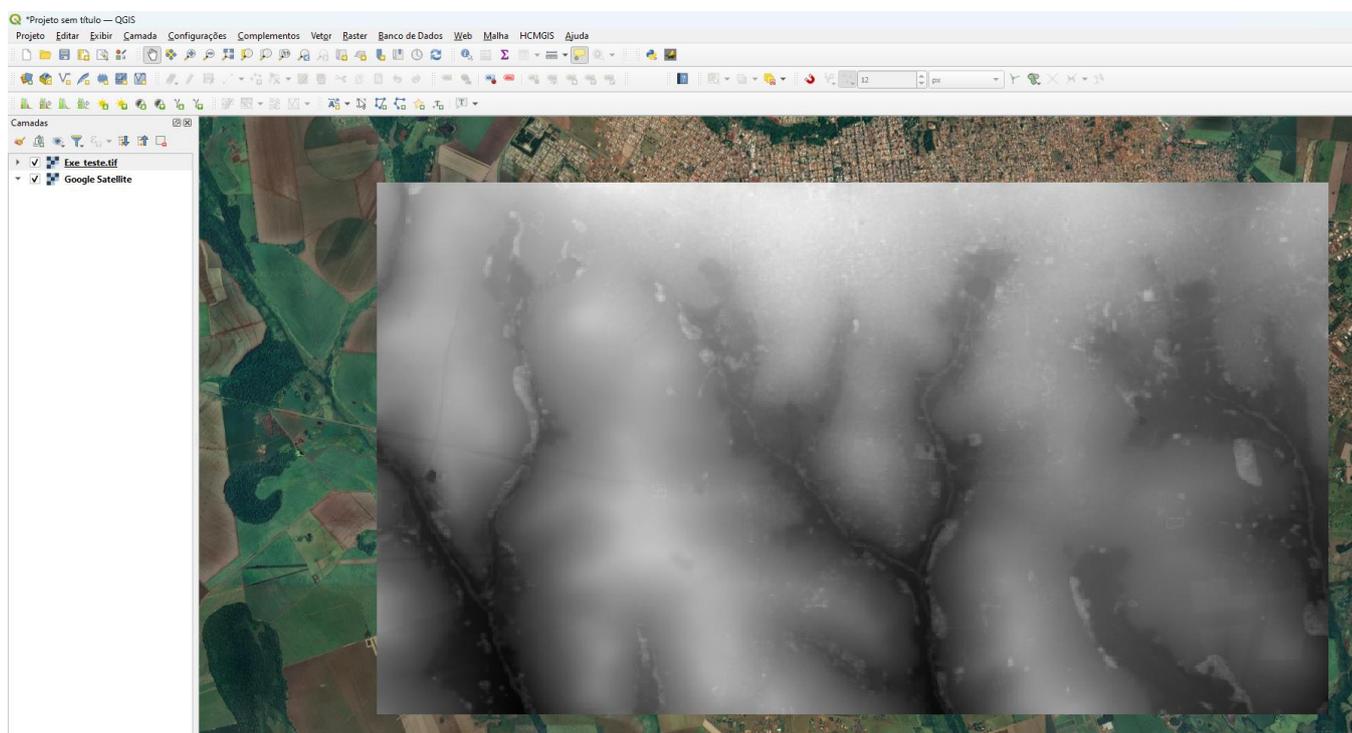


Figura 42: MDS Copernicus baixado, disponível para as análises hidrológicas.

# Capítulo 7

## Correção do MDS pelo r.fill.dir (GRASS GIS)

**Essa ferramenta possui como produtos: MDS corrigido e Direção de Fluxo.**

A primeira ferramenta utilizada será o r.fill.dir, disponível na *Processing Toolbox* ou Caixa de Ferramentas de Processamento (Figuras 43 e 44).

Para visualizar a *Processing Toolbox*, é necessário clicar no ícone de engrenagem no final da primeira linha da barra de ferramentas (Figura 43).

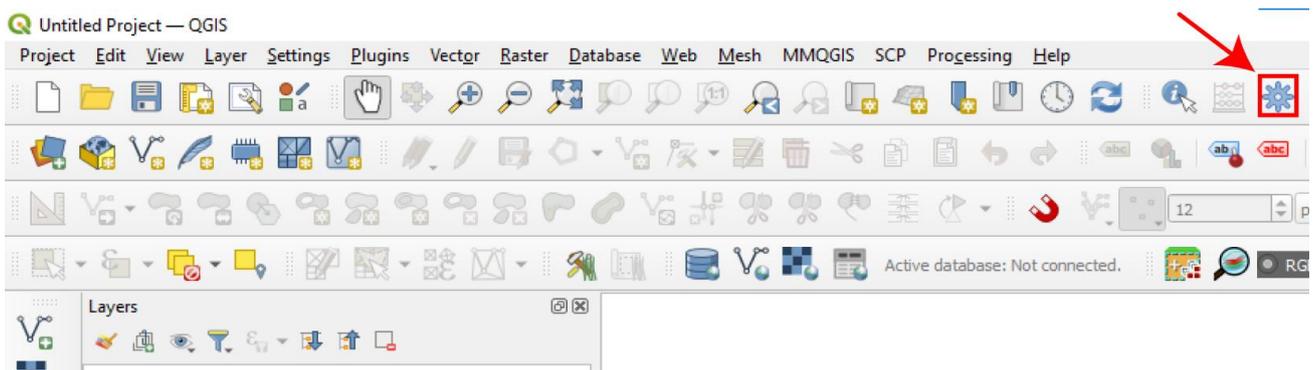


Figura 43: Ícone da engrenagem da Caixa de Ferramentas.

Ao abrir a caixa de ferramentas na lateral direita do painel do QGIS, busque pela ferramenta “r.fill.dir” e clique duas vezes sobre ela (Figura 44).

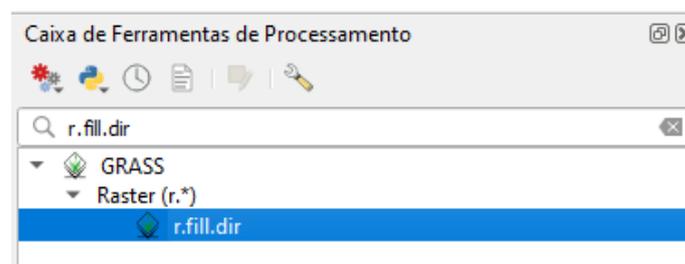


Figura 44: Escolhendo a ferramenta de correção.

A ferramenta `r.fill.dir` corrige o MDS e gera o *Flow Direction*, ambos salvos como *Depressionless DEM* e *Flow Direction* respectivamente (Figura 45).

Sendo assim, em “Elevation” selecione o arquivo correspondente ao SRTM original e indique em “*Depressionless DEM*” e em “*Flow Direction*” o nome e o local onde serão salvos os arquivos gerados nessa etapa.

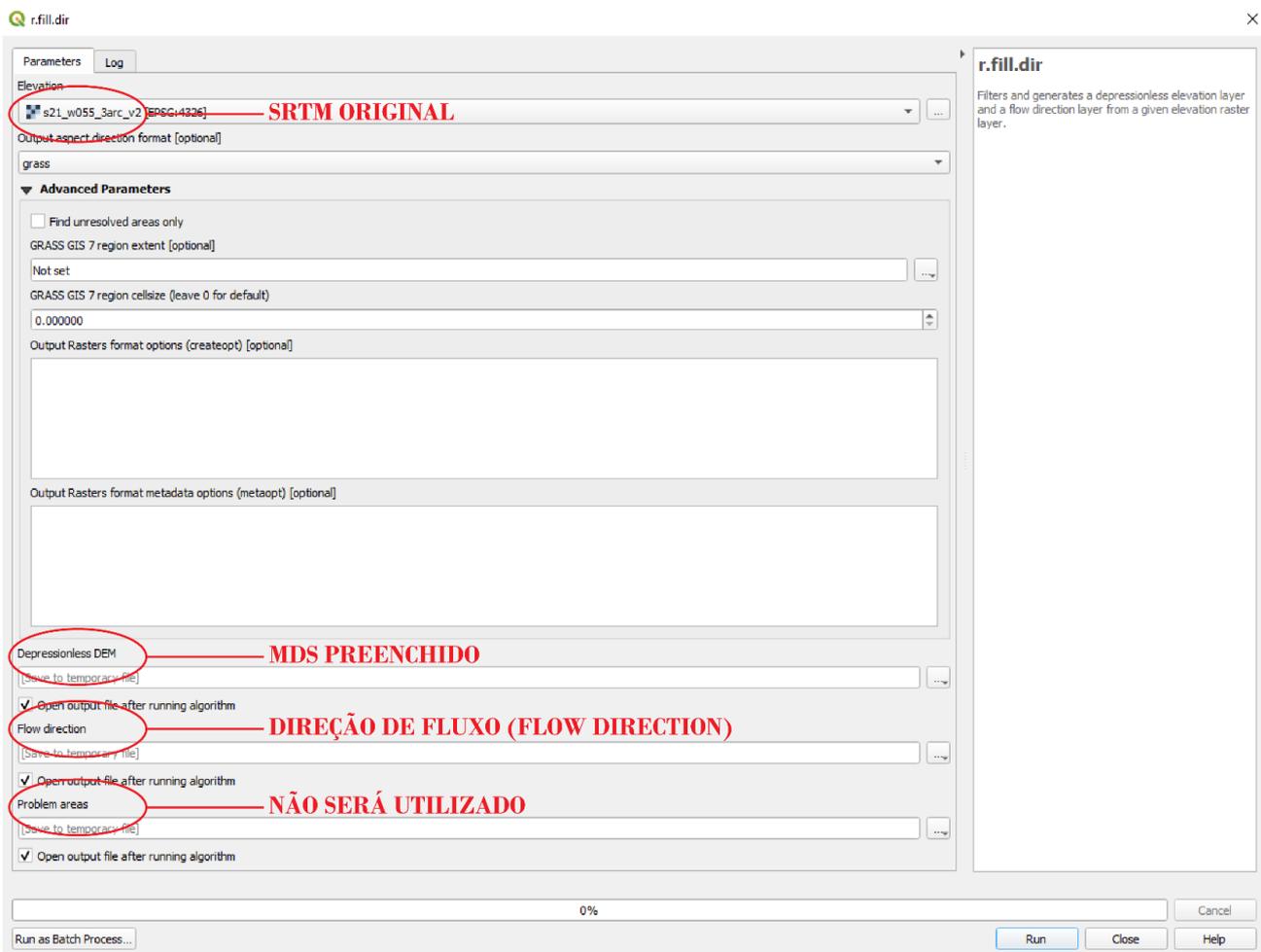


Figura 45: Parâmetros de preenchimento da ferramenta `r.fill.dir`.

# Capítulo 8

## Extração de bacias pelo r.watershed (GRASS GIS)

Essa ferramenta possui como produtos: acúmulo de fluxo, direção de fluxo, bacias para cada linha de drenagem (raster), linhas de drenagem (raster) e meias-bacias (raster). Apesar de a ferramenta gerar produtos adicionais, não é o foco deste livro.

Faça uma busca na opção *Processing Toolbox* com o termo `r.watershed` (Figura 46).

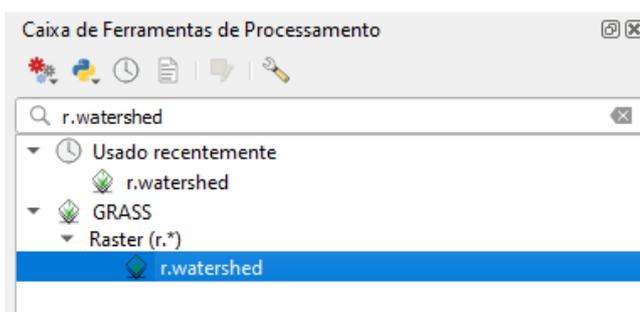


Figura 46: Busca da ferramenta `r.watershed` no *Processing Toolbox*.

O preenchimento dos parâmetros em qualquer ferramenta é muito importante, pois é a partir deles que será determinado o resultado de saída e, por esse motivo, compreender o processo se faz necessário. As Figuras 47 e 48 contêm os parâmetros de preenchimento.

O primeiro parâmetro de entrada é o MDS, nesse caso o SRTM corrigido pela ferramenta *Fill Sinks* (`r.fill.dir`). O próximo parâmetro a ser preenchido é o tamanho mínimo da bacia exterior (*Minimum size of exterior watershed basin*) que será o valor de 3000 pixels e também a caixa *Enable Single Flow Direction (D8)*, para forçar a direção de

fluxo a utilizar o método D8. Para salvar os arquivos selecionar a opção *Save to File* e escolher o local e o tipo de arquivo de saída. Para arquivos *raster*, salvar como TIF e para arquivos vetoriais salvar como SHP. O valor de 3000 pixels utilizado é determinado empiricamente, sendo ajustado de acordo com a área de estudo e a escala em que se deseja trabalhar, respeitando o limite de escala do MDS utilizado. Por ser o tamanho mínimo da bacia exterior, quanto menor o número, menor o tamanho das bacias geradas e mais densa a rede de drenagem.

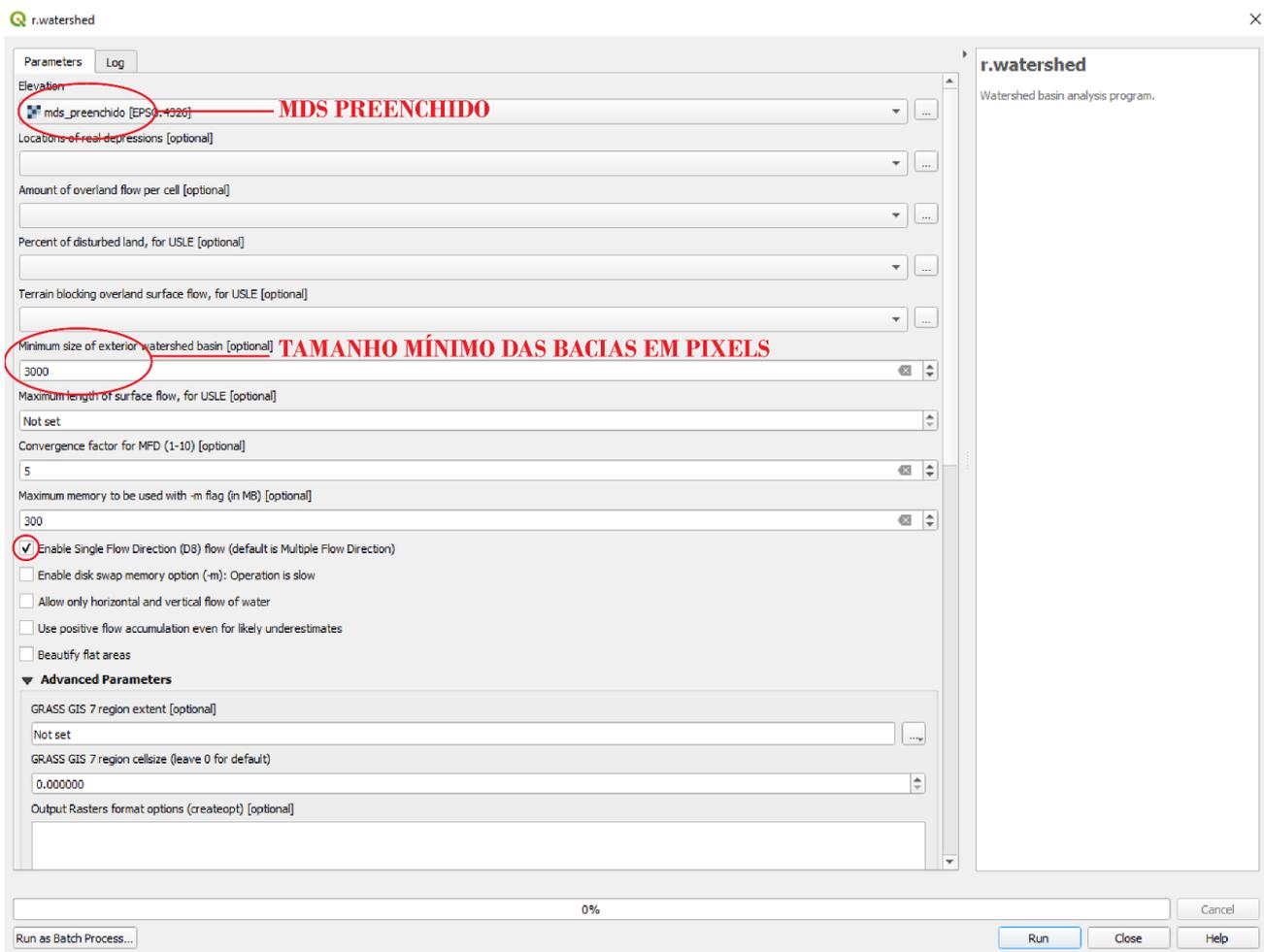


Figura 47: Parâmetros da ferramenta r.watershed do GRASS.

Na Figura 48, *Flow Accumulation (raster)* é o primeiro arquivo; *Drainage Direction (raster)* é o segundo; *Unique label for each watershed basin (raster)* se refere às bacias; *stream segments* é referente à drenagem no modo *raster*; *half-basins (raster)* se refere às meias-bacias. Os outros arquivos não são relevantes para a extração de bacias e drenagem e podem ser gerados como temporários.

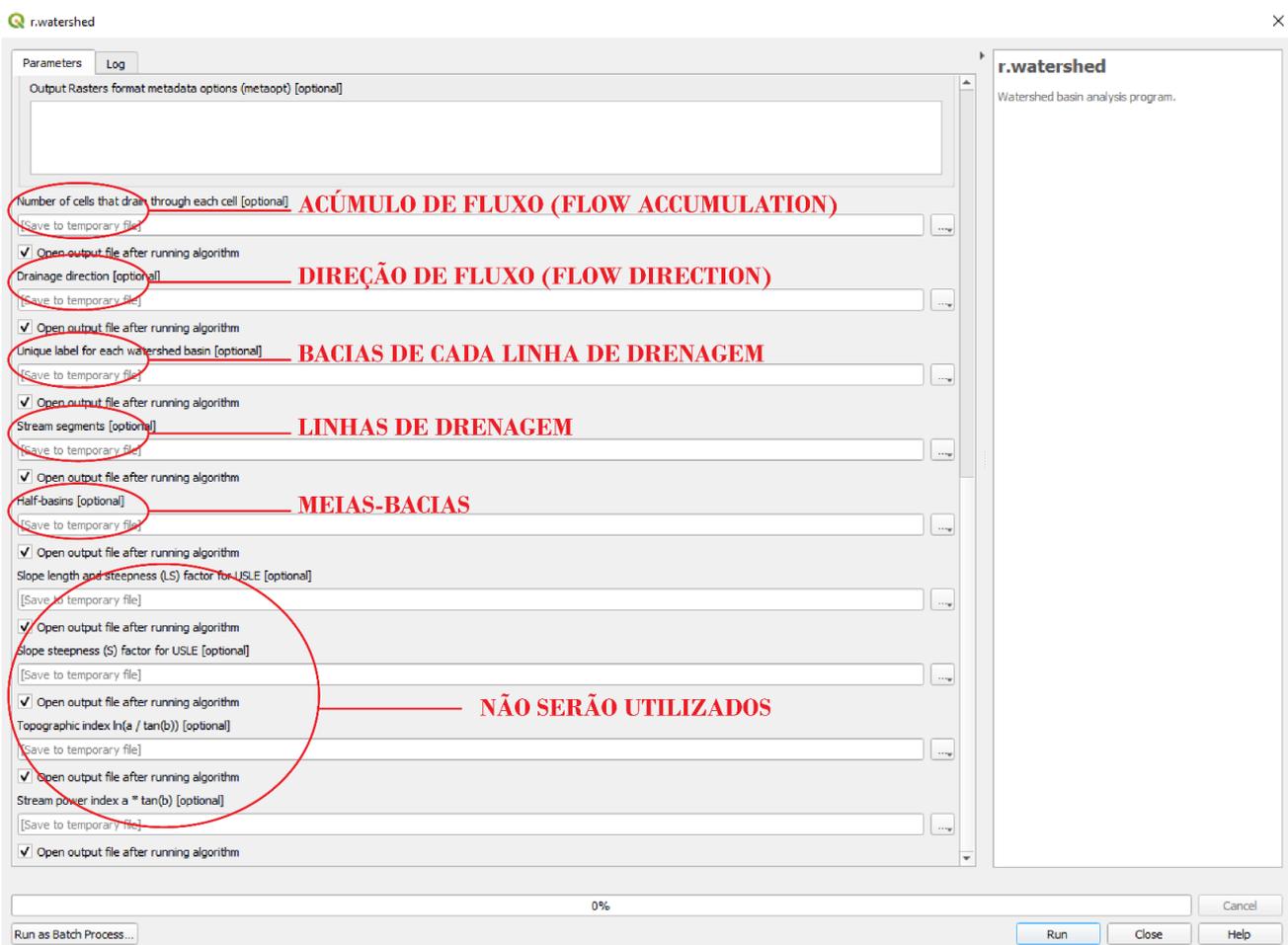


Figura 48: Parâmetros da ferramenta *r.watershed* do GRASS.

É possível visualizar a ausência de um parâmetro para o ajuste de detalhamento da drenagem na ferramenta *r.watershed* e apesar de ser possível ajustar o detalhamento da drenagem através do número mínimo de pixels para as bacias, a ferramenta a seguir



(`r.stream.extract`) é mais adequada para isso, visto que para cada iteração para se ajustar a densidade de drenagem, gerará um novo conjunto de bacias.

# Capítulo 9

## Extração de drenagem pelo `r.stream.extract` (GRASS GIS)

**Essa ferramenta possui como produtos: drenagem (raster), ponto inicial de cada linha de drenagem e direção de fluxo.**

Caso a drenagem gerada pelo `r.watershed` não esteja próxima à realidade, é possível a utilização da ferramenta `r.stream.extract`. Seus parâmetros de preenchimento são:

- MDS (previamente corrigido);
- *Flow Accumulation* (acúmulo de fluxo);
- *Minimum flow accumulation for streams*, nesse caso é o Limiar ou *Threshold* para se considerar um pixel como parte da drenagem, utilizaremos o valor de 500 (determinado empiricamente);
- O parâmetro *Use SFD above this threshold*, que determina quando utilizar o modo D8 de *Flow Direction* (preenchido com valor 0 para utilizar D8 em toda a região);
- E os arquivos de saída, onde *unique stream ids (raster)* se refere à drenagem raster e *unique stream ids (vect)* se refere aos pontos de intersecção entre as ramificações de drenagem (vetorial) (Figuras 48 e 49). Essa ferramenta também gera um *Flow Direction* como um de seus produtos.

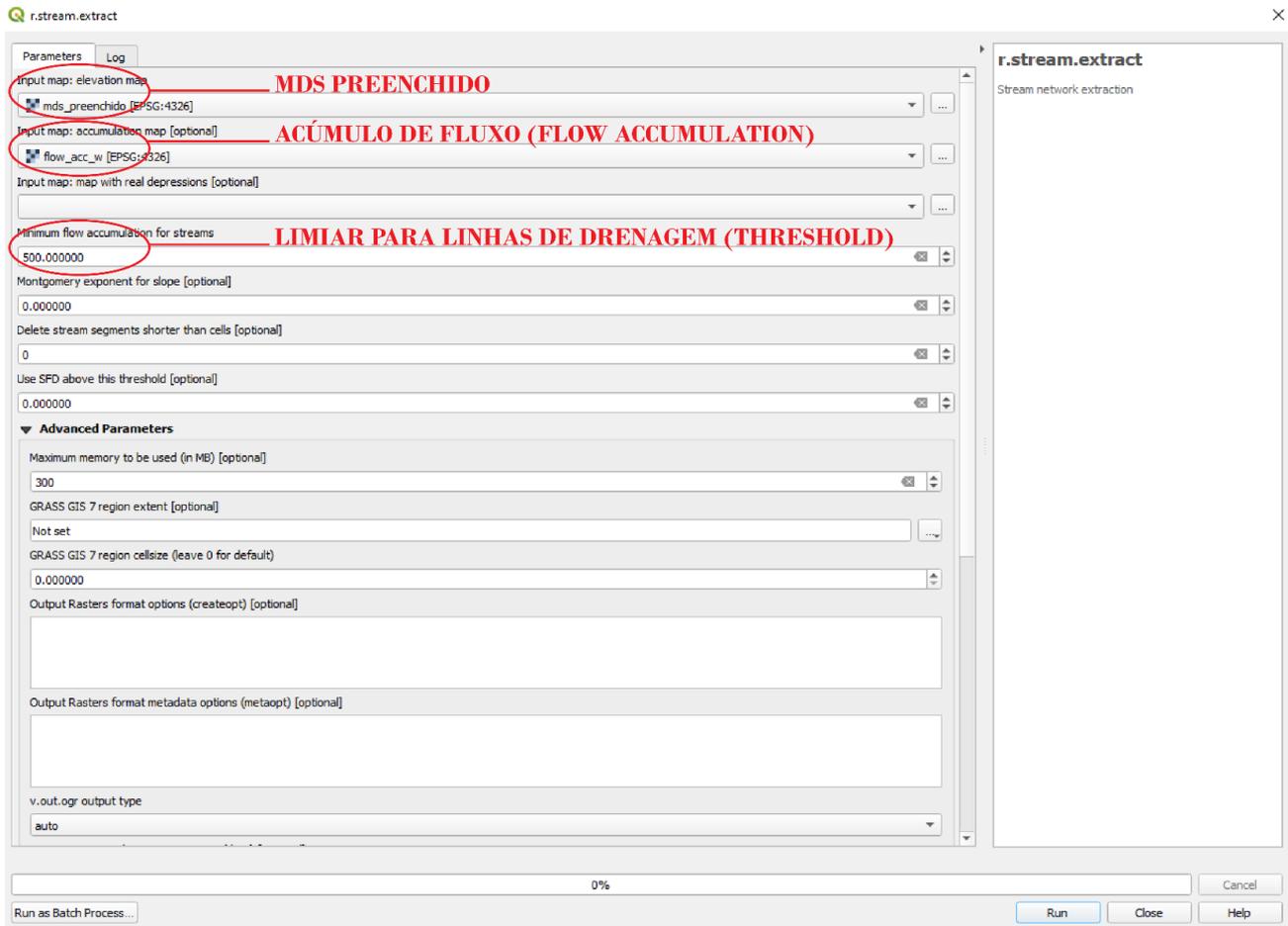


Figura 49: Parâmetros de extração de drenagem do r.stream.extract.

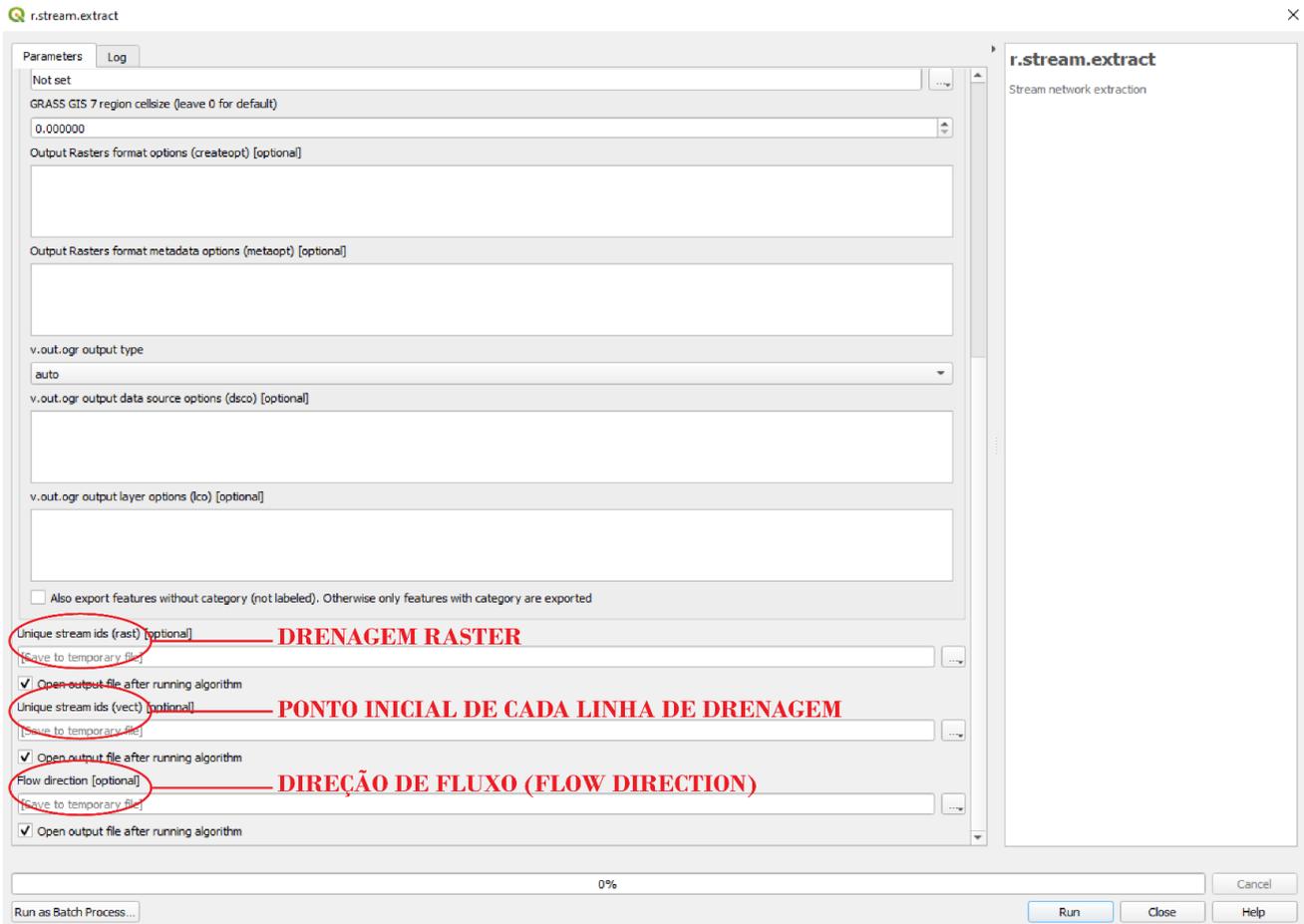


Figura 50: Parâmetros de extração de drenagem do r.stream.extract.

# Capítulo 10

## Transformando raster em vetor pelo r.to.vect (GRASS GIS)

Essa ferramenta possui como produtos: drenagem vetorial e as bacias hidrográficas vetoriais.

Para a transformação da drenagem *raster* para drenagem vetorial, utiliza-se a ferramenta r.to.vect, encontrada da mesma maneira que as outras ferramentas, ao se buscar por r.to.vect no *Processing Toolbox* (Figura 51). A mesma ferramenta é utilizada para transformar as bacias em formato raster para o formato vetorial.

No caso da drenagem o *Feature Type* será linha (line), como a seguir na Figura 51:

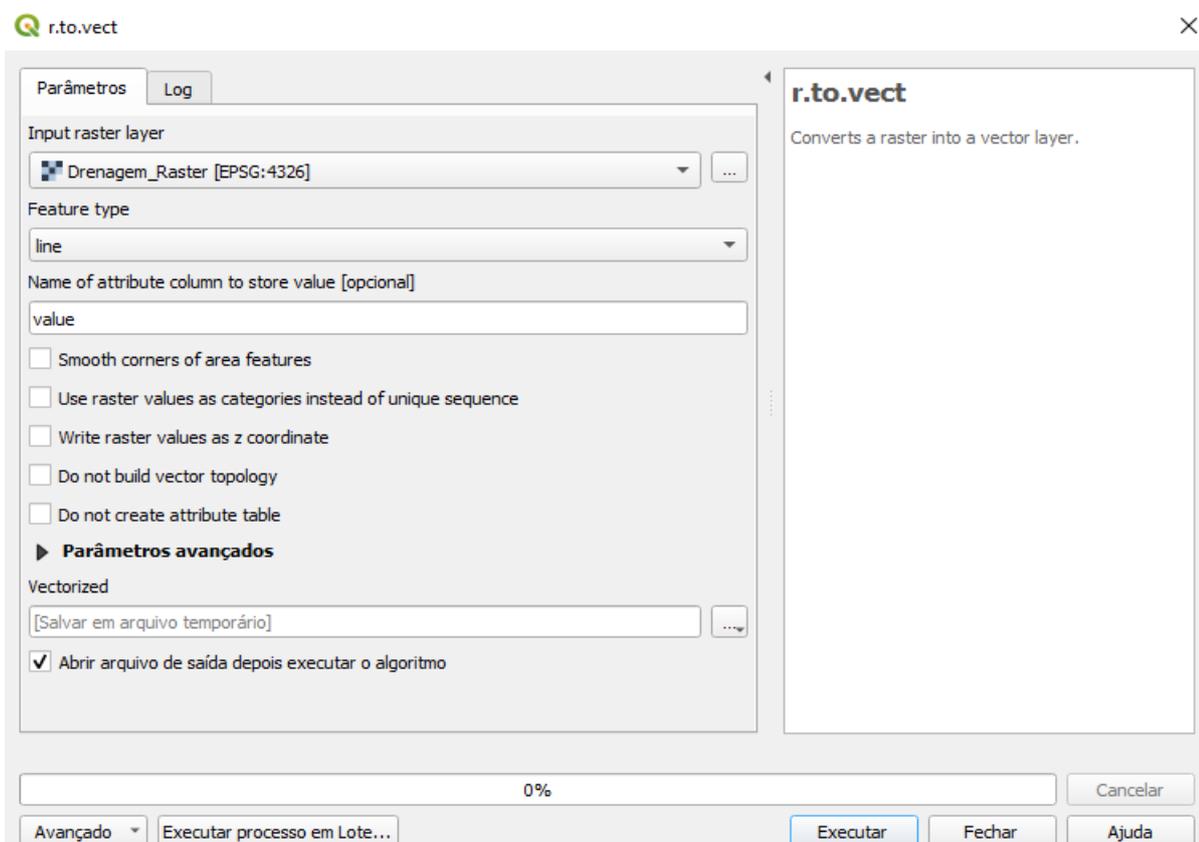


Figura 51: Parâmetros da ferramenta r.to.vect para a drenagem.

Gerando um resultado como segue a Figura 51.

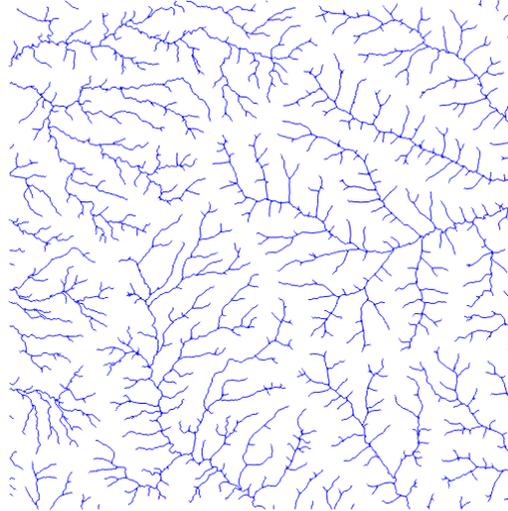


Figura 52: Resultado da rede de drenagem vetorial.

E no caso das bacias o *Feature Type* será área (area), conforme a Figura 53.

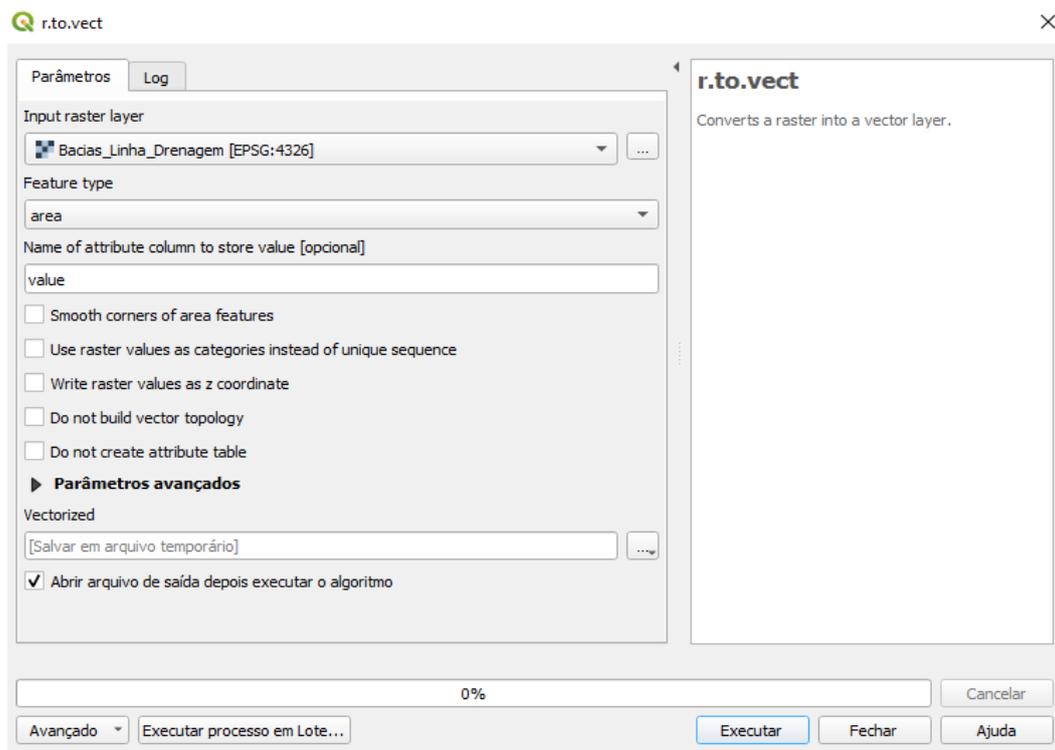


Figura 53: Parâmetros da ferramenta r.to.vect para a bacia hidrográfica.

O arquivo gerado a partir disso será conforme o mostrado na Figura 54.

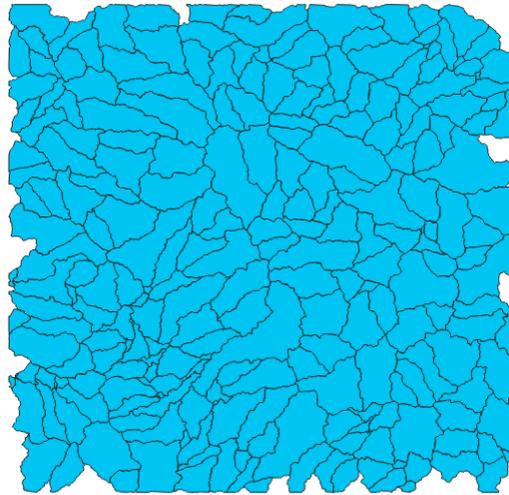


Figura 54: Bacias hidrográficas no formato vetorial

Os arquivos vetoriais, tanto das bacias quanto da drenagem, permitem o armazenamento de informações na tabela de atributos, tais como nome, área, perímetro, comprimento, diferenciação dos fragmentos de drenagem por ID, entre outros.

# Capítulo 11

## Delimitação uma bacia hidrográfica com o r.water.outlet (GRASS GIS)

**Essa ferramenta possui como produtos: uma bacia hidrográfica de ordem 3 no formato raster.**

Para delimitar uma das bacias hidrográficas extraídas, basta usar a ferramenta r.water.outlet, para isso necessitamos do raster de direções de fluxo e da coordenada do exutório. Neste exemplo selecionaremos uma bacia hidrográfica de ordem 3, conforme exemplificado na Figura 55.

Para que uma bacia hidrográfica seja considerada de ordem 3, seu canal de drenagem de maior ordem deve ser 3, para isso utilizaremos a rede de drenagem extraída e uma identificação visual (Figuras 55 e 57). Uma vez determinado o canal de ordem 3 de interesse, selecionaremos um exutório em sua próxima intersecção através da ferramenta r.water.outlet. Como arquivo de entrada, no parâmetro *Drainage Direction raster*, escolha a camada de direção de fluxo obtido a partir da execução da ferramenta r.stream.extract do Capítulo 9 (Figura 56).

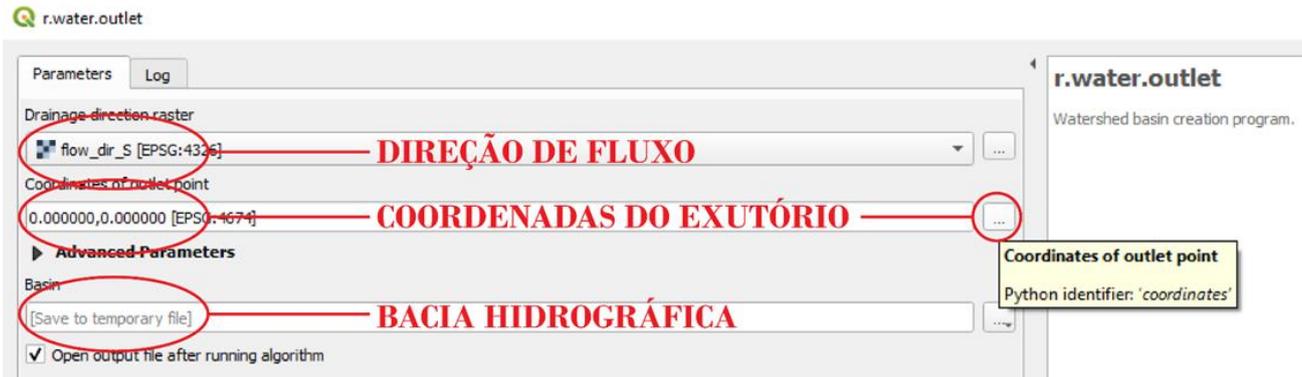


Figura 55: Parâmetros da ferramenta r.water.outlet, onde as entradas são direção de fluxo e coordenadas do exutório. O arquivo de saída é a bacia hidrográfica no formato raster.

Para escolher o local do exutório da referida bacia hidrográfica utilizaremos a drenagem como guia, sua seleção é feita clicando em “...” destacado em vermelho na Figura 54, em seguida, a janela será fechada e o usuário deverá clicar sobre o local exato do exutório desejado (Figura 55). A seleção é usualmente feita em uma intersecção de linhas de drenagem e o resultado será o conjunto de pixels que fluem para esse ponto, o qual deve ser exatamente sobre um pixel da linha de drenagem.

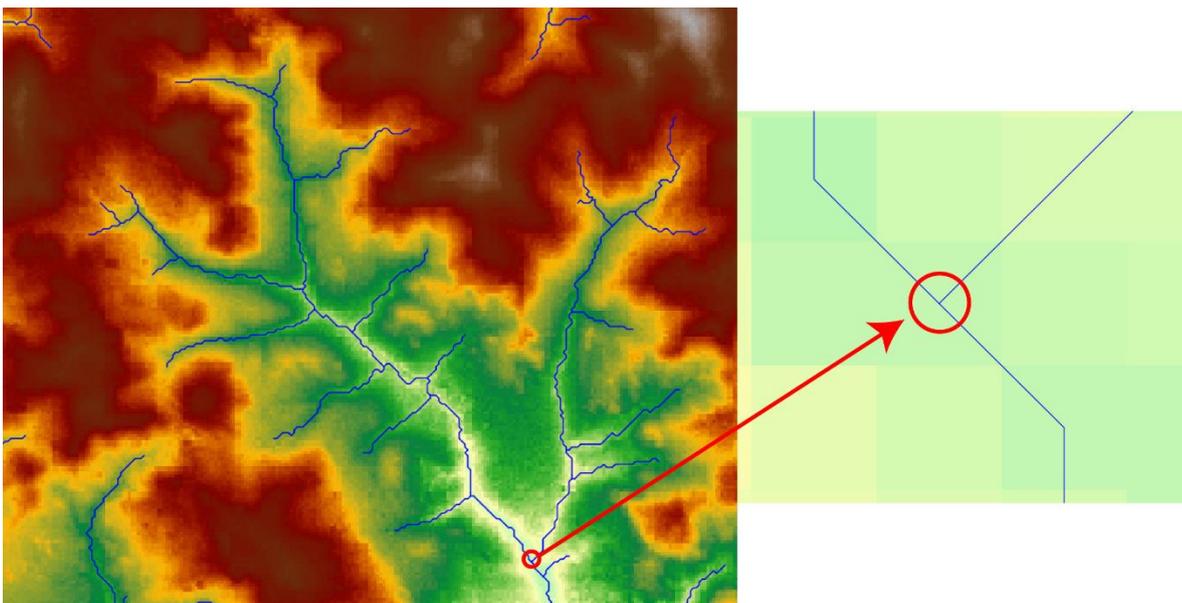


Figura 56: Local do exutório escolhido em vermelho, como auxílio visual foram utilizados o modelo digital de superfície preenchido e a rede de drenagem vetorial.

A bacia hidrográfica é gerada no formato raster (Figura 57), podendo ser vetorizada através do r.to.vect (Capítulo 10).

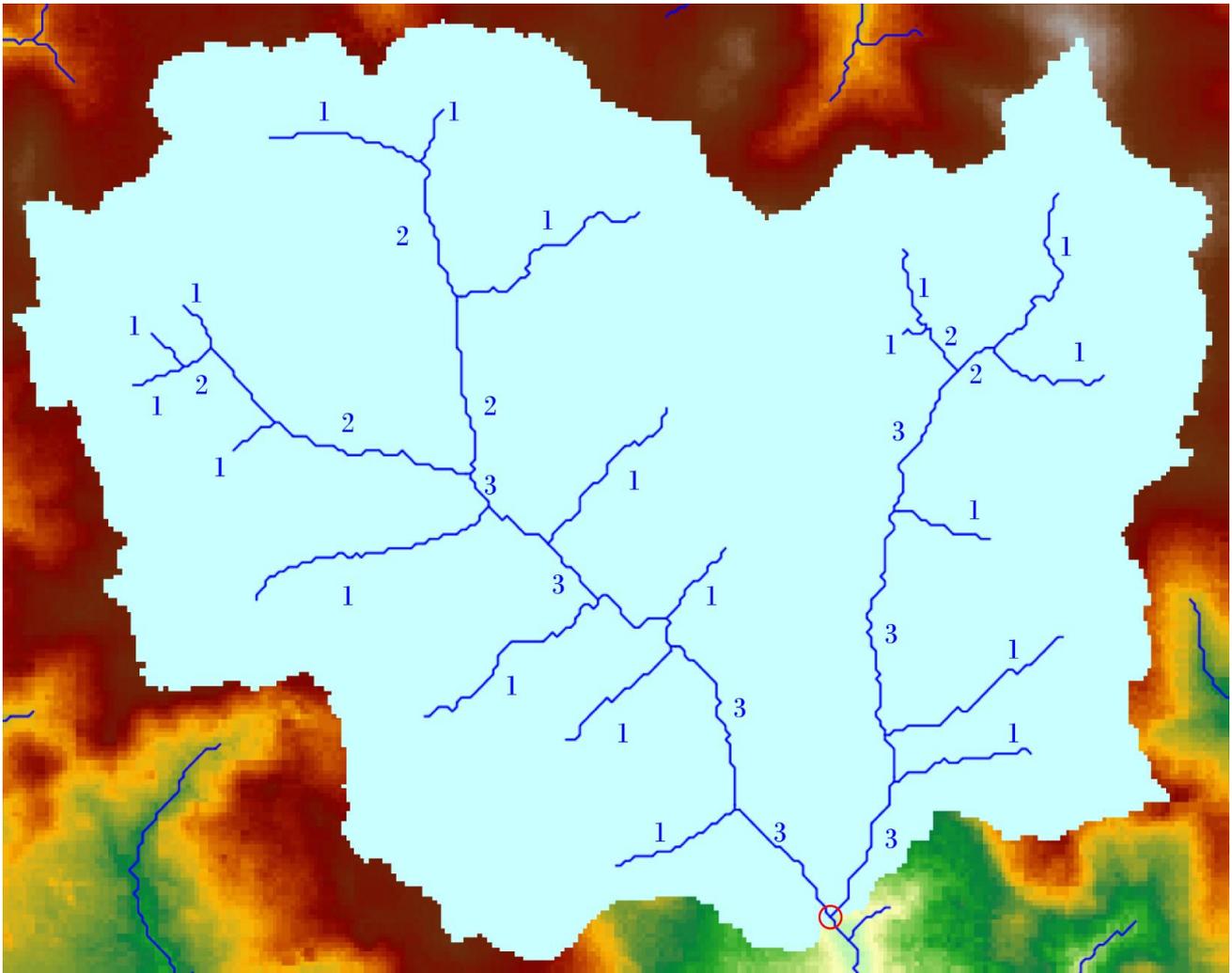


Figura 57: Resultado da delimitação da bacia hidrográfica de ordem 3 em ciano. Em azul a rede de drenagem e em vermelho o círculo marcando o exutório da bacia.

É possível classificar uma rede de drenagem por completo de modo automatizado pelo GRASS GIS através das ferramentas `r.stream.order` ou `v.stream.order`, mas até a data de publicação desse livro, essas ferramentas estão indisponíveis dentro do QGIS. O programa WhiteboxTools é uma alternativa que pode ser integrada ao QGIS, também sendo capaz de classificar a drenagem pelo método de Strahler, o que é feito através da ferramenta `StrahlerStreamOrder`.

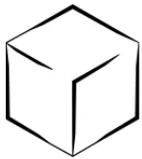
# Capítulo 12

## Integrando WhiteboxTools no QGIS

WhiteboxTools (Lindsay, 2024) é um programa de código aberto desenvolvido por John Lindsay na linguagem de programação Rust e suas ferramentas foram desenvolvidas com altíssima eficiência, sendo até a publicação deste livro o SIG mais rápido disponível em velocidade de processamento (incluindo os proprietários). Ele possui conjuntos de ferramentas gratuitas e proprietárias, utilizaremos nesse livro o pacote WhiteboxTools Open Core, que contém as ferramentas gratuitas e de código aberto.

Há vários caminhos para que possamos utilizar as ferramentas do WhiteboxTools, neste capítulo faremos a integração do mesmo com o QGIS para as utilizarmos diretamente em um ambiente SIG, podendo já visualizar os resultados ao final de cada processo.

Para fazer o *download* do pacote WhiteboxTools Open Core, acesse o endereço eletrônico < <https://www.whiteboxgeo.com/download-direct/> > e clique em “Download WhiteboxTools v2.3.0” (Figura 58).



Whitebox Geospatial Inc  
Innovative geospatial software built on open-source

Software ▾ Learning Resources Press ▾ About Us

## Thank you for using WhiteboxTools

It looks like you're running Windows. Press the button below to begin downloading. It may take a few seconds before the download begins.

Is this the wrong version? Download the correct version below.

Download WhiteboxTools v2.3.0 for Windows

- macOS version (Intel Macs)
- macOS version (Apple Silicon, e.g. M1)
- Linux version
- Linux version (compiled with musl)

Thank you for using WhiteboxTools! We hope that you find it useful. If it is helpful, **please consider supporting the project** by paying whatever amount you can afford. Even small amounts help to provide a sustainable future for the project and we appreciate every contribution. Your contribution supports ongoing improvement of documentation, providing user support, and continued development of Whitebox features.

\$2 \$5 \$10 \$25 \$50 \$100 Support WhiteboxTools

Also, now that you're using WhiteboxTools, unlock the full power of the platform by purchasing one of the **Whitebox Extension products**.

Figura 58: *Download* do WhiteboxTools v2.3.0. Caso esteja utilizando outro sistema operacional, outras opções estão ao lado para Linux e macOS. Aqui estamos fazendo o *download* para Windows.

O arquivo que será baixado é um arquivo compactado no formato ZIP, para a integração com o QGIS será necessária a descompactação do arquivo, para isso pode-se utilizar de programas como WinRAR ou 7-Zip, em alguns casos o próprio sistema operacional já contém a ferramenta de descompactação.

Uma vez descompactado o arquivo, teremos uma pasta chamada “WBT” com as ferramentas do WhiteboxTools. Sugerimos que essa pasta seja colocada diretamente no disco em que se encontram os Arquivos de Programa, na raiz do disco. Isso é feito para evitar problemas com caminhos de pastas ou mesmo atualizações posteriores do WBT. Caso prefira armazenar a pasta WBT em outro local, evite colocá-la em pastas com

nomes muito longos e caracteres especiais, pois o QGIS pode ter problemas ao acessar as ferramentas. Uma sugestão de local para a pasta WBT está no item 9 da Figura 60.

O próximo passo é instalar o Complemento do WhiteboxTools dentro do QGIS, que permitirá o acesso do QGIS às ferramentas dele. Para isso clique em *Plugins/Complementos > Gerenciar e Instalar Complementos* (Figura 59).

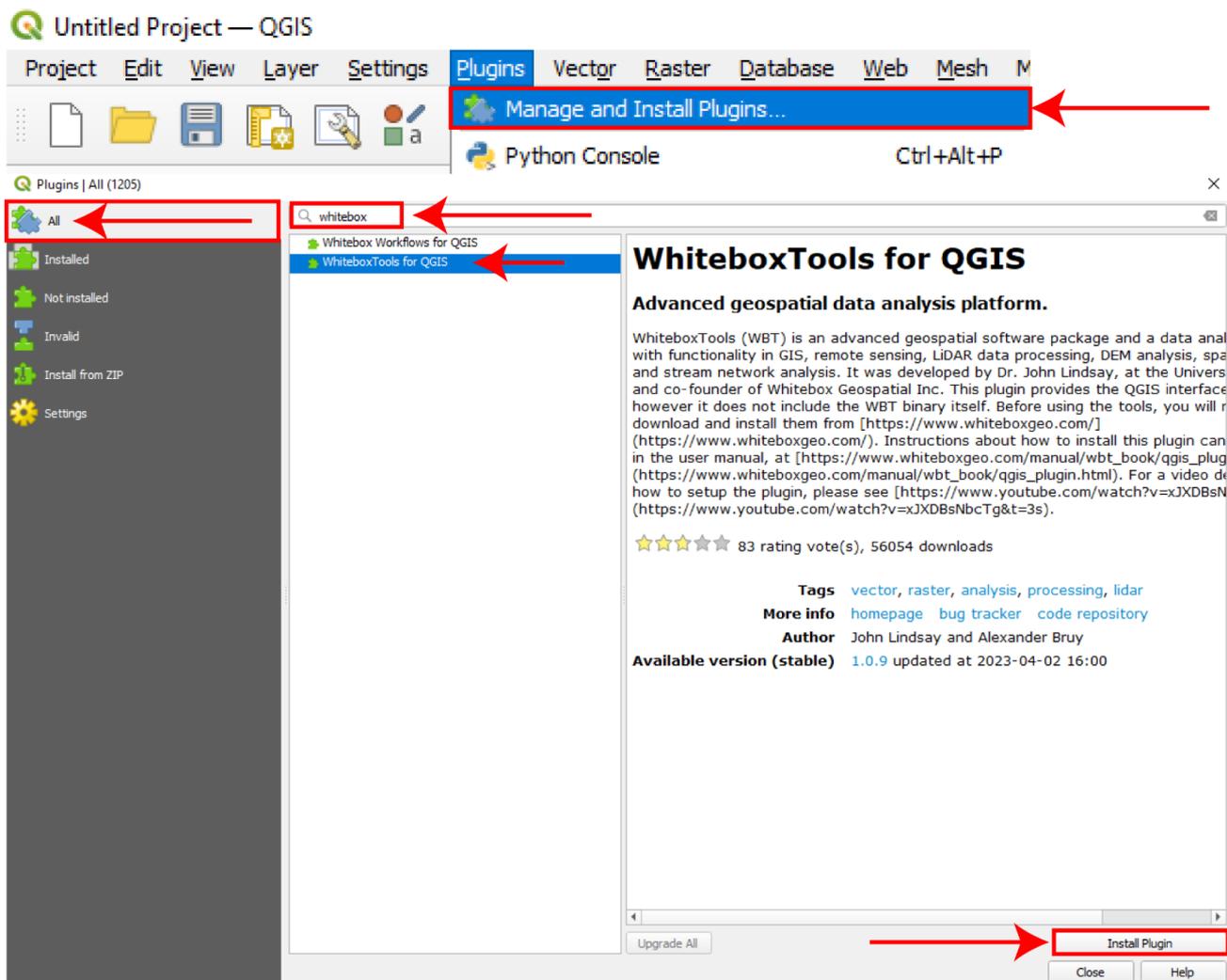


Figura 59: Instalação do Complemento WhiteboxTools for QGIS. Seguindo as setas em vermelho: acesse o menu *Plugins/Complementos > Gerenciar e Instalar Complementos > All/Todos > Digite Whitebox na barra de busca > Selecione “WhiteboxTools for QGIS” > Clique em Instalar Complemento.*

O próximo passo é apontar ao QGIS onde se encontram as ferramentas do WhiteboxTools para que o Complemento funcione corretamente, para isso siga as instruções na Figura 60.

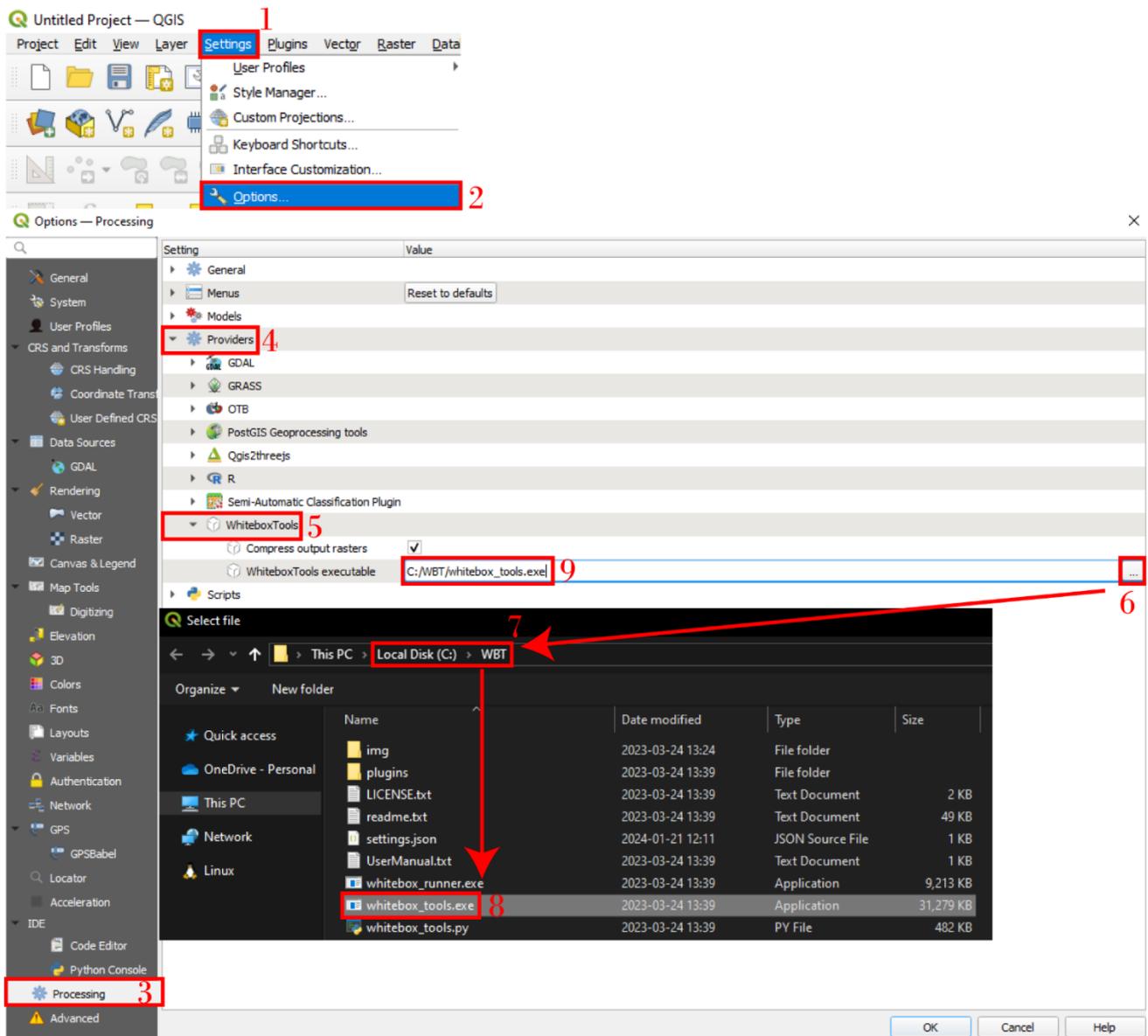


Figura 60: Instruções para configurar o caminho das ferramentas do WhiteboxTools no QGIS. Para isso siga a ordem representada na figura: 1. *Settings/Configurações* > 2. *Options/Opções*, 3. *Processing/Processamento*, 4. *Providers/Provedores*, 5. *WhiteboxTools*, 6. a 9. Encontre a pasta WBT em seu computador e selecione o arquivo “whitebox\_tools.exe”.

Agora as ferramentas do WhiteboxTools estarão disponíveis na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* (Figura 61). Sugere-se reabrir o QGIS para que as alterações tenham efeito e caso as ferramentas não apareçam, refaça os passos da Figura 60.

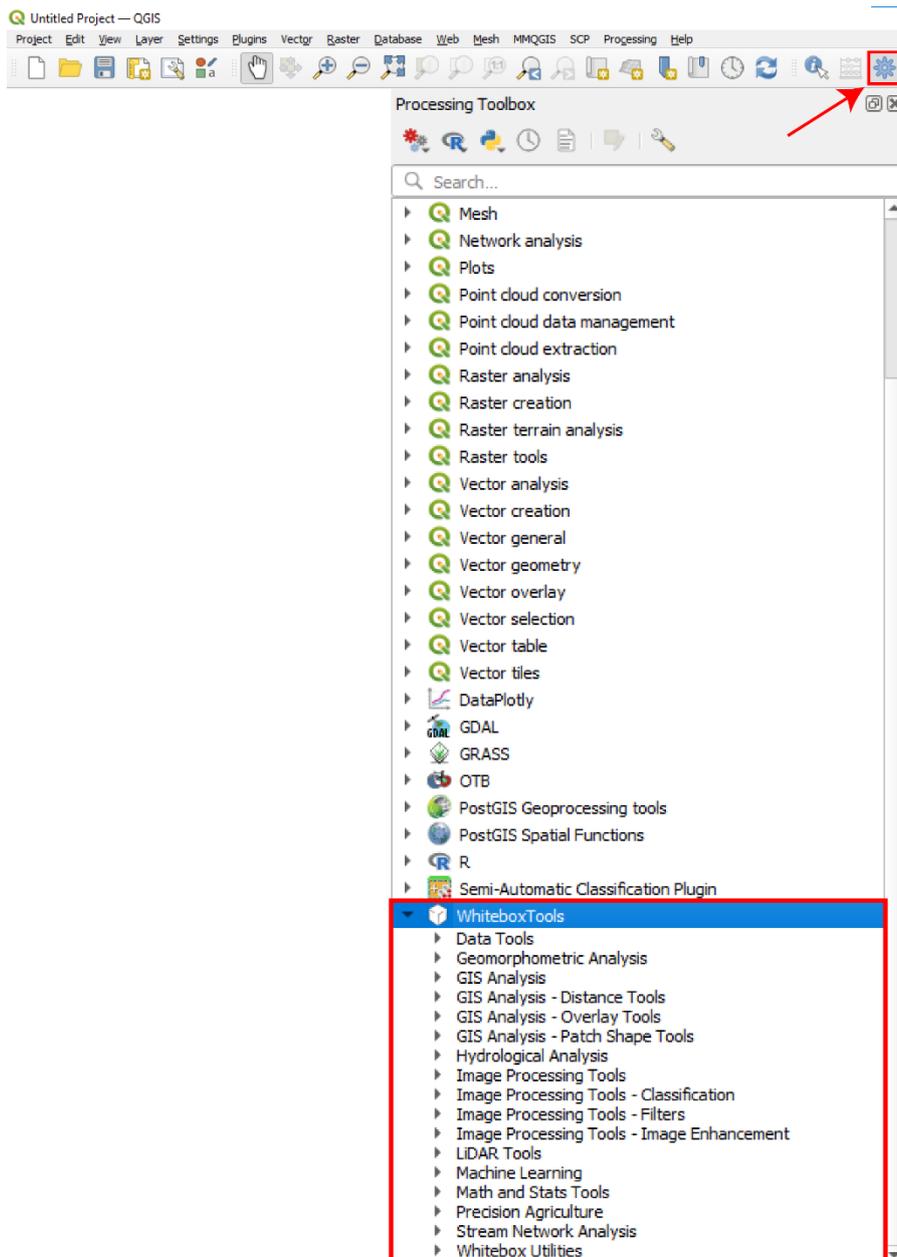


Figura 61: As ferramentas do WhiteboxTools ficam disponíveis na Caixa de Ferramentas ou *Processing Toolbox*. Caso ela não esteja visível, clique no símbolo da engrenagem na barra de ferramentas como representado na figura pela seta vermelha.

# Capítulo 13

## Correção do MDS pelo FillDepressionsWangAndLiu (WhiteboxTools)

**Essa ferramenta possui como produtos: o modelo digital de superfície corrigido pelo método Wang and Liu (2006).**

Existem diversos métodos diferentes para correção dos modelos, diferente do GRASS GIS, o WhiteboxTools oferece mais opções para tal. Aqui utilizaremos a ferramenta FillDepressionsWangAndLiu por ser um dos métodos mais utilizados e confiáveis atualmente.

Para encontrar a ferramenta, vá à Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* e procure pelo nome da ferramenta (Figura 62).

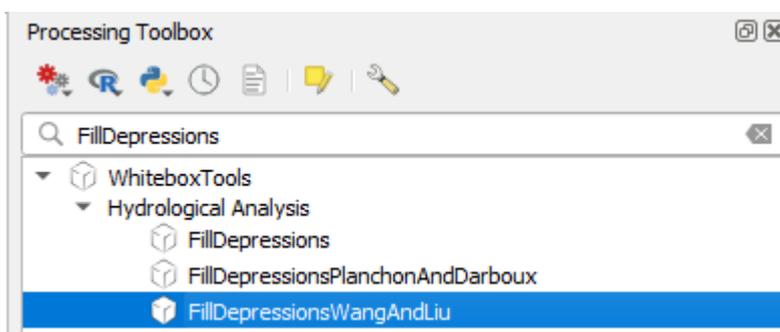


Figura 62: Busca da ferramenta FillDepressionsWangAndLiu.

Como arquivo de entrada selecione o SRTM e então selecione a pasta que deseja salvar o arquivo de saída (o MDS corrigido) (Figura 62).

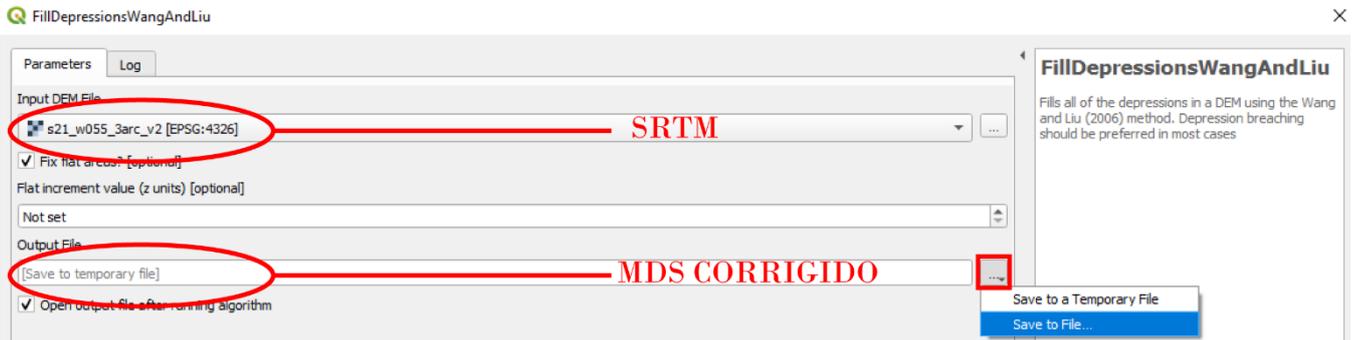


Figura 63: Parâmetros para a ferramenta FillDepressionsWangAndLiu, o SRTM é o arquivo de entrada e clicando no quadrado vermelho escolha a pasta para salvar o MDS corrigido.

# Capítulo 14

## Cálculo da Direção de Fluxo pelo D8Pointer (WhiteboxTools)

**Essa ferramenta possui como produto: o raster de direção de fluxo.**

Para o cálculo da direção de fluxo utilizaremos o método de 8 direções (D8) descrito no Capítulo 1, para isso busque a ferramenta D8Pointer na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* (Figura 64).

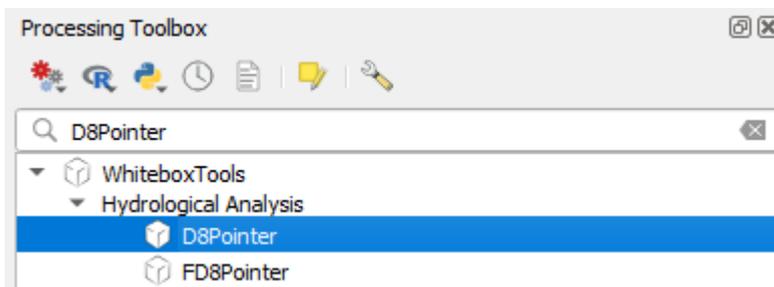


Figura 64: Busca pela ferramenta D8Pointer na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox*.

A ferramenta D8Pointer pede como entrada o MDS corrigido, tendo como arquivo de saída a direção de fluxo (Figura 65).



Figura 65: Parâmetros de entrada da ferramenta D8Pointer. A entrada é o MDS corrigido, clique na caixa em vermelho para escolher a pasta em que será salvo o arquivo de direção de fluxo.

# Capítulo 15

## Cálculo do Acúmulo de Fluxo pelo D8FlowAccumulation (WhiteboxTools)

**Essa ferramenta possui como produto: o raster de acúmulo de fluxo.**

Para o cálculo do acúmulo de fluxo utilizaremos a ferramenta D8FlowAccumulation, para isso busque pela ferramenta na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* (Figura 66).

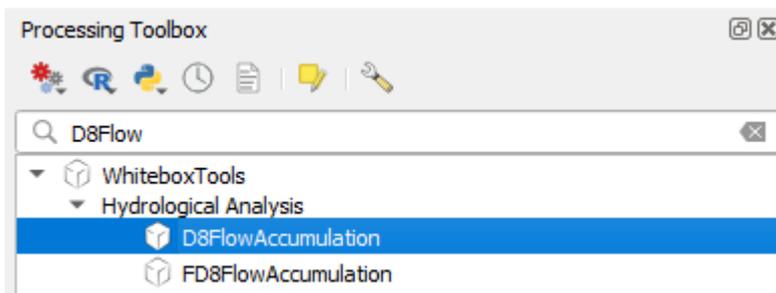


Figura 66: Busca pela ferramenta D8FlowAccumulation na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox*.

Com a ferramenta aberta, insira os parâmetros de entrada conforme a Figura 67. A ferramenta aceita tanto o MDS corrigido como a direção de fluxo como entrada, caso utilize a direção de fluxo, é necessário marcar a caixa que diz isso. Como tipo de saída utilizamos o número de células que drenam para cada pixel e logo abaixo temos uma opção muito útil na visualização dos resultados de acúmulo de fluxo, que é a transformação logarítmica do acúmulo de fluxo. Grandes regiões ficam com valores extremamente altos de acúmulo de fluxo, dificultando tanto a visualização quanto o processamento dos dados. Ao realizarmos a transformação logarítmica, temos uma redução significativa dos valores mais altos e um aumento de valores muito pequenos, o que na prática não altera o resultado da extração de drenagem, mas afeta o processamento e visualização da saída. Até a publicação deste livro, o GRASS GIS não possui essa opção.

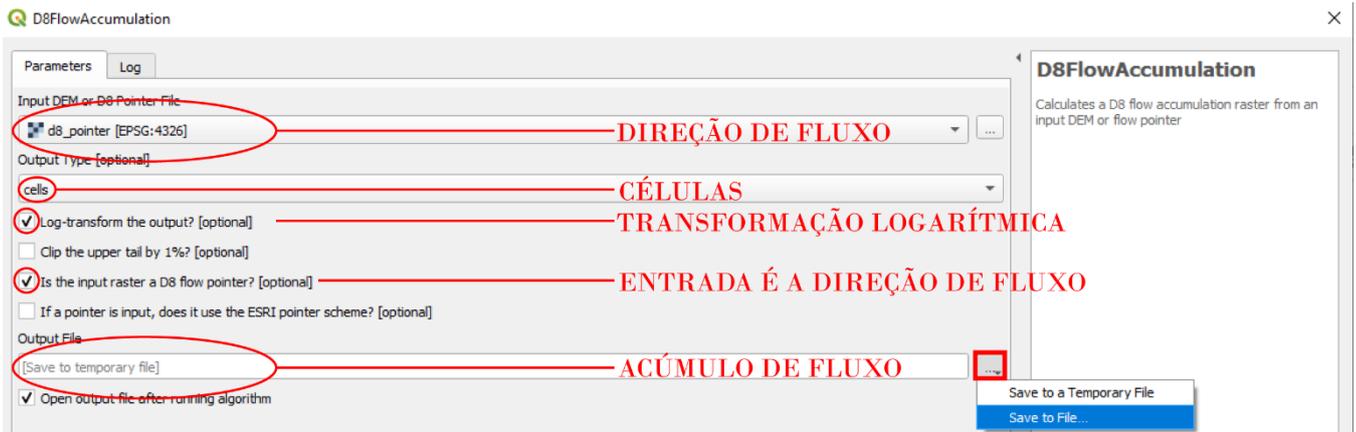


Figura 67: Parâmetros da ferramenta D8FlowAccumulation. Insira como entrada a Direção de Fluxo, marque o tipo de saída como o número de células, marque a opção de transformação logarítmica, marque que a entrada é a direção de fluxo e por fim escolha a pasta para salvar o arquivo de acúmulo de fluxo.

# Capítulo 16

## Extração da rede de drenagem pelo ExtractStreams (WhiteboxTools)

**Essa ferramenta possui como produtos: a rede de drenagem no formato raster.**

A localização da ferramenta ExtractStreams é feita pela Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* (Figura 68).

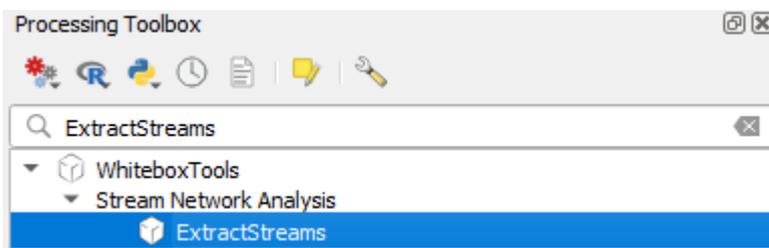


Figura 68: Busca pela ferramenta ExtractStreams na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox*.

Os parâmetros para a extração da drenagem são o acúmulo de fluxo e o limiar para canalização (Figura 69), o limiar representa o valor mínimo de acúmulo de fluxo acima do qual os pixels serão considerados como linhas de drenagem. Pelo acúmulo de fluxo ter sofrido uma transformação logarítmica, seus valores de limiar são menores e mais sensíveis a pequenas mudanças. O valor utilizado aqui é de 5,5, variando de acordo com cada região. Sua determinação é empírica sendo necessária validação da densidade da rede de drenagem, muitas vezes feita utilizando o próprio MDS, imagens de satélite, drenagem pré-existente da região ou até mesmo campo. Valores maiores implicam em drenagens menos densas, enquanto valores menores implicam em drenagens mais densas.



Figura 69: Parâmetros da ferramenta ExtractStreams para a extração da rede de drenagem. Como entrada utilizamos o acúmulo de fluxo e o limiar para canalização, o valor do limiar implica na densidade da drenagem extraída e é determinado empiricamente. Escolha o caminho da pasta a ser salvo o arquivo de saída: a drenagem raster.

# Capítulo 17

## Vetorização da rede de drenagem pelo RasterStreamsToVector (WhiteboxTools)

**Essa ferramenta possui como produtos: a rede de drenagem no formato vetorial.**

A ferramenta RasterStreamsToVector pode ser encontrada na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* (Figura 70).

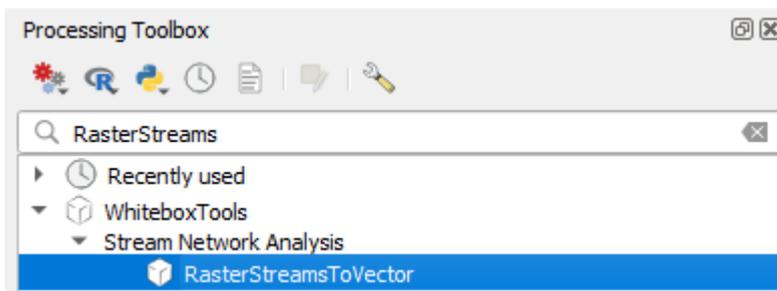


Figura 70: Busca da ferramenta RasterStreamsToVector na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox*.

Para a vetorização da drenagem, precisamos como entrada da drenagem raster e da direção de fluxo (Figura 71).



Figura 71: Parâmetros de entrada da ferramenta RasterStreamsToVector. Como entrada utilizamos a drenagem raster e a direção de fluxo. Para escolher a pasta de destino da drenagem vetorial, clique no quadrado em vermelho. Sugerimos o formato *shapefile*.

# Capítulo 18

## Cálculo do Acúmulo de Fluxo pelo D8FlowAccumulation (WhiteboxTools)

**Essa ferramenta possui como produtos: bacias hidrográficas no formato raster.**

Para a extração de bacias hidrográficas utilizaremos a ferramenta Subbasins, que extrai todas as bacias hidrográficas considerando cada nó da rede de drenagem como um exutório. Ela pode ser encontrada na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* (Figura 72).

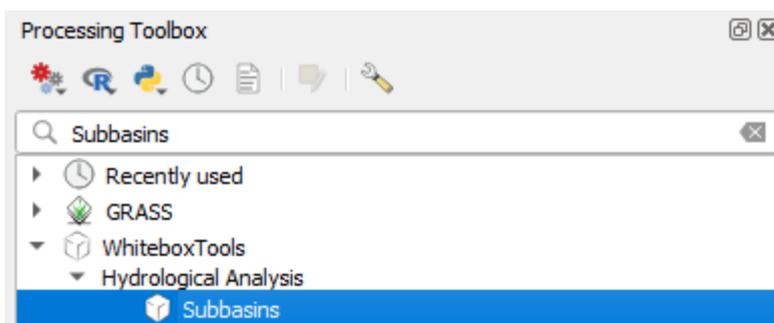


Figura 72: Busca da ferramenta Subbasins na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox*.

Os parâmetros de entrada para a ferramenta Subbasins são a direção de fluxo e a rede de drenagem (Figura 73), da qual serão utilizadas as intersecções entre cada linha como exutórios. Nem sempre é interessante a extração de sub-bacias muito detalhadas e visto que cada linha de drenagem terá sua própria sub-bacia, utilizaremos uma rede de drenagem menos densa do que a extraída no Capítulo 16, com o único propósito de extrairmos um conjunto de sub-bacias menos denso. O limiar utilizado para a rede de drenagem foi de 5,5, para a extração das bacias utilizaremos uma rede de drenagem de limiar 7, tendo assim sub-bacias maiores.



Figura 73: Parâmetros para a ferramenta Subbasins. Como entrada utilizamos a direção de fluxo e a drenagem com limiar 7 (Capítulo 16). Um maior limiar resultará em uma drenagem menos densa e conseqüentemente em sub-bacias maiores. O arquivo de saída são as sub-bacias no formato raster, o caminho da pasta pode ser escolhido pelo quadrado vermelho.

# Capítulo 19

## Vetorização das bacias hidrográficas pelo RasterToVectorPolygons (WhiteboxTools)

Essa ferramenta possui como produtos: as bacias hidrográficas no formato **vetorial**.

As bacias hidrográficas extraídas no Capítulo 18 podem ser vetorizadas através da ferramenta RasterToVectorPolygons, encontrada na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* (Figura 74).

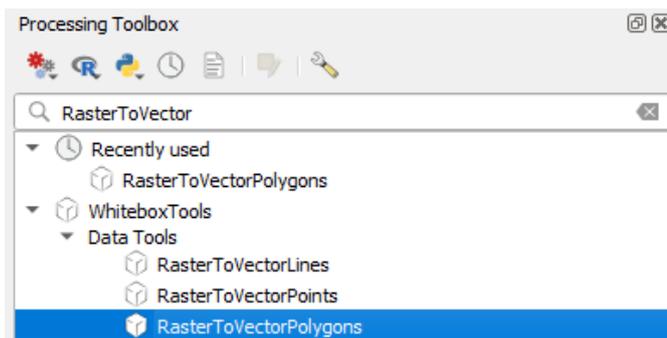


Figura 74: Busca da ferramenta RasterToVectorPolygons na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox*.

O parâmetro de entrada para a ferramenta RasterToVectorPolygons é o raster de sub-bacias, como saída precisamos inserir o nome de arquivo e pasta para salvar as sub-bacias no formato vetorial (Figura 75).

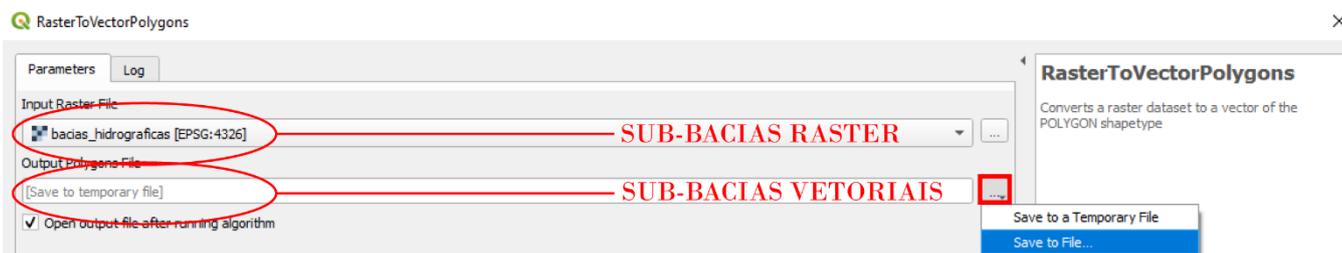


Figura 75: Parâmetros para a ferramenta RasterToVectorPolygons. Como entrada é apenas o arquivo raster das sub-bacias e como saída é o caminho da pasta e o nome de arquivo para as sub-bacias vetoriais. Sugerimos o formato *shapefile*.

# Capítulo 20

## Hierarquização da drenagem através do StrahlerStreamOrder (WhiteboxTools)

**Essa ferramenta possui como produtos: a rede de drenagem hierarquizada pelo método de Strahler (Capítulo 3) no formato raster.**

Devido à existência de diversos métodos de extração de drenagem, alguns produtos gerados pelo GRASS GIS, apesar de corretos, não são compatíveis com os métodos do WhiteboxTools. A ferramenta StrahlerStreamOrder (do WhiteboxTools) pede como entrada a drenagem raster no formato binário (valor 0 para não-drenagem e valor 1 para drenagem), entretanto a drenagem gerada pelo `r.stream.extract` (do GRASS GIS) vem codificada com um valor único para cada linha de drenagem.

A ferramenta StrahlerStreamOrder pode ser encontrada na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* (Figura 76).

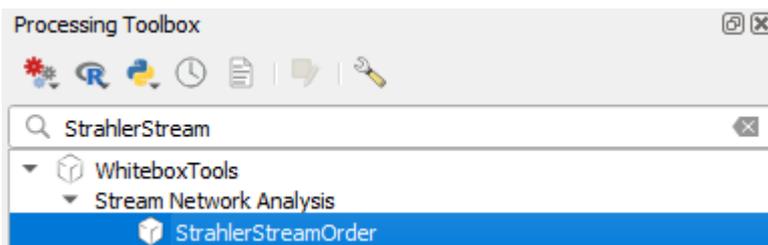


Figura 76: Busca da ferramenta StrahlerStreamOrder na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox*.

Os parâmetros de entrada para a ferramenta StrahlerStreamOrder são a direção de fluxo e a drenagem raster (com limiar 5,5 do Capítulo 16) (Figura 77). Como saída temos a drenagem hierarquizada pelo método de Strahler no formato raster.



Figura 77: Parâmetros para a ferramenta StrahlerStreamOrder. As entradas são a direção de fluxo, a drenagem raster e como saída a drenagem hierarquizada pelo método de Strahler no formato raster. A pasta de destino pode ser escolhida ao clicar no quadrado vermelho.

A drenagem hierarquizada pode ser vetorizada como no Capítulo 17 para melhor representação (Figura 78). Mais detalhes do método encontram-se no Capítulo 3.

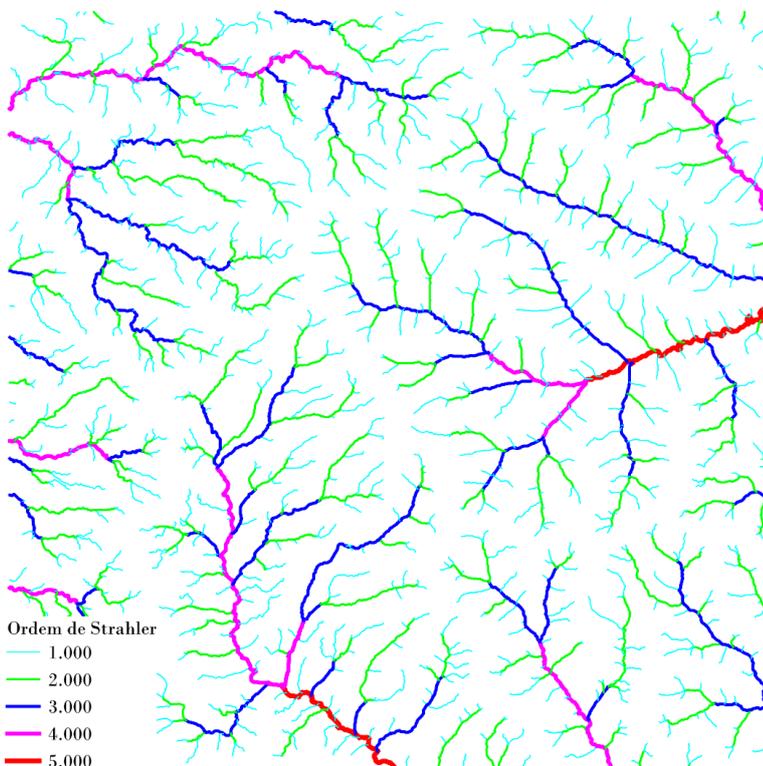


Figura 78: Drenagem hierarquizada pelo método de Strahler no formato vetorial. Os canais de ordem 1 são os menores e os canais de ordem 5 são os maiores canais (vide Capítulo 3).

# Capítulo 21

## Hierarquização da drenagem através do StrahlerStreamOrder (WhiteboxTools)

Essa ferramenta possui como produtos: uma bacia hidrográfica de ordem 3 (Strahler) no formato raster.

Como a ferramenta Watershed requer como entrada a direção de fluxo e os exutórios, precisamos criar um exutório para a bacia. Utilizando a drenagem da Figura 78, podemos escolher um exutório que tenha apenas afluentes de ordem 3 ou menos (Figura 79). Note que se escolhêssemos um ponto um pixel à jusante (rio abaixo), estaríamos delimitando uma bacia de ordem 4, pois nela estaria contido um canal de ordem 4.

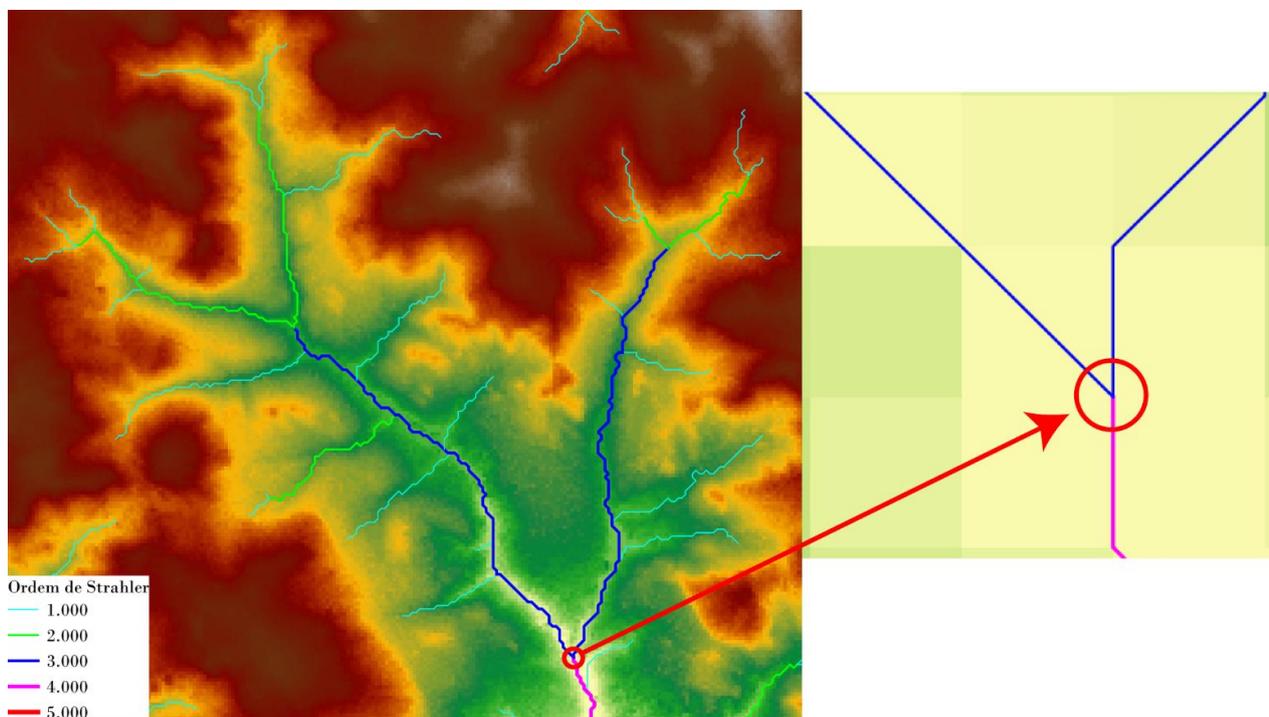


Figura 79: Escolha de um exutório para uma bacia de ordem 3 utilizando a drenagem hierarquizada pelo método de Strahler como base.

Um arquivo válido como exutório para a ferramenta Watershed seria um raster ou um vetor com pontos. Por praticidade, podemos criar um vetor temporário para que sirva como exutório da ferramenta. Para isso acesse o menu Camada > Criar Camada > Nova Camada Temporária (Figura 80).

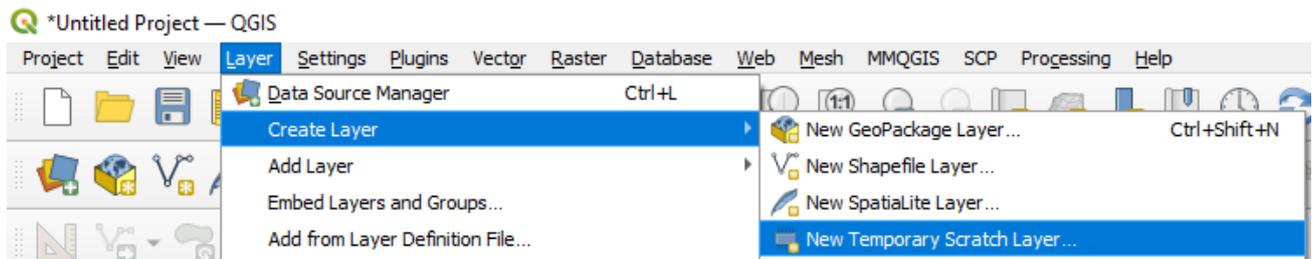


Figura 80: Criação de uma camada vetorial temporária através do menu Camada > Criar Camada > Nova Camada Temporária.

Na janela que de Nova Camada Temporária digite o nome da camada, selecione Ponto como o tipo de geometria, verifique o sistema de referência de coordenadas (SIRGAS 2000, Coordenadas Geográficas) e clique em OK (Figura 81).

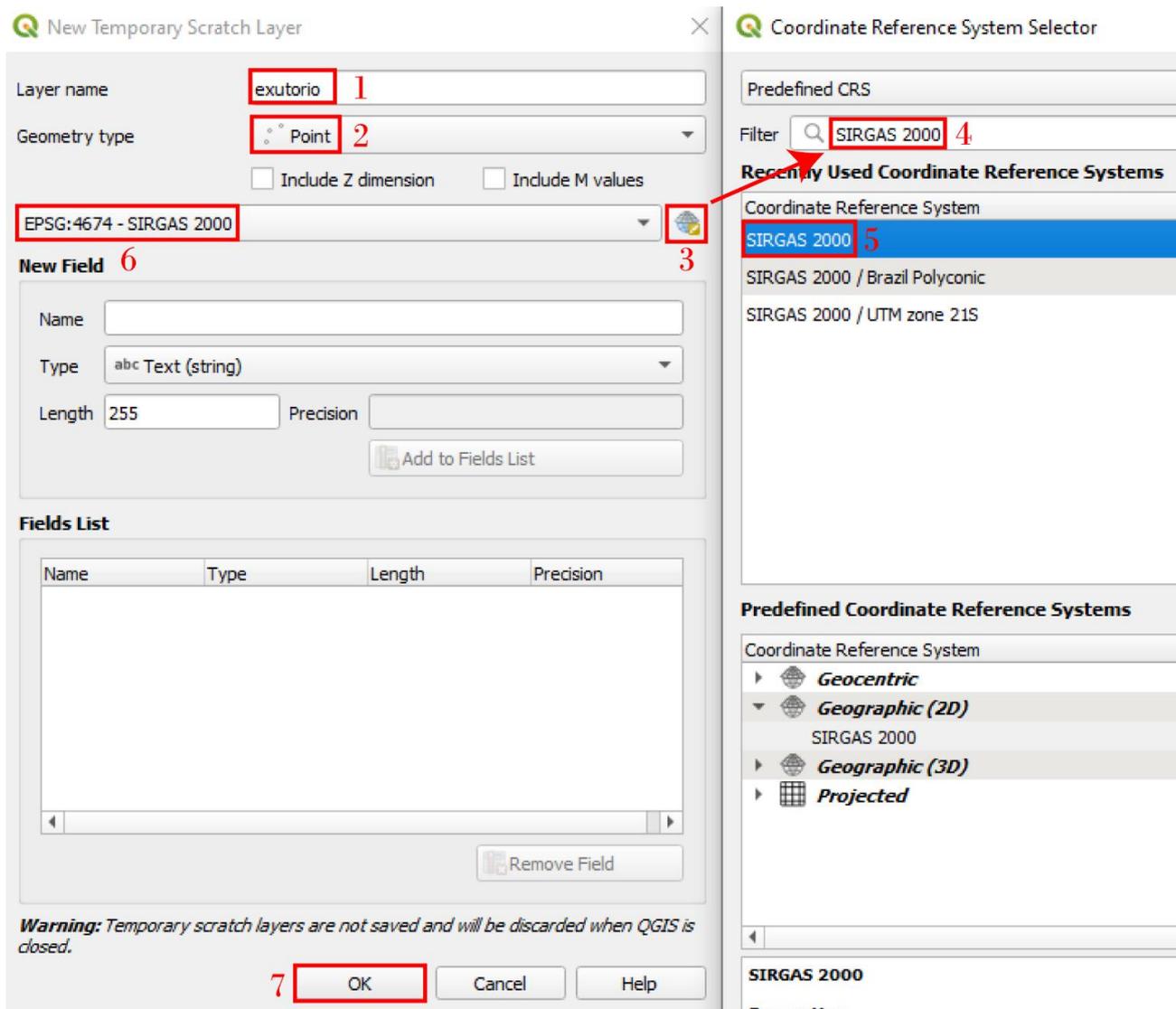


Figura 81: Criação de um arquivo vetorial temporário de pontos para o exutório. 1. Escolha o nome da camada. 2. Selecione Ponto como tipo de Geometria. 3 a 6. Selecione o Sistema de Referência de Coordenadas: SIRGAS 2000 (EPSG 4674). 7. Clique OK.

Procure na barra de ferramentas o ícone representado na Figura 82, é o ícone que habilita a criação de pontos e crie um ponto no pixel de intersecção entre as drenagens e antes do pixel que a drenagem muda de ordem (Figura 83). Em caso de dúvida, utilize a drenagem raster para revelar qual é o pixel de intersecção entre as linhas de drenagem. A escolha está representada nas Figuras 79 e 83.

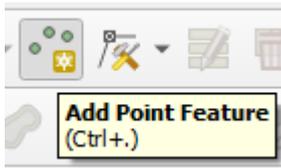


Figura 82: Ícone da ferramenta de criação de pontos. Note que para poder habilitar essa ferramenta, a camada de pontos criada (exutório) deve estar selecionada.

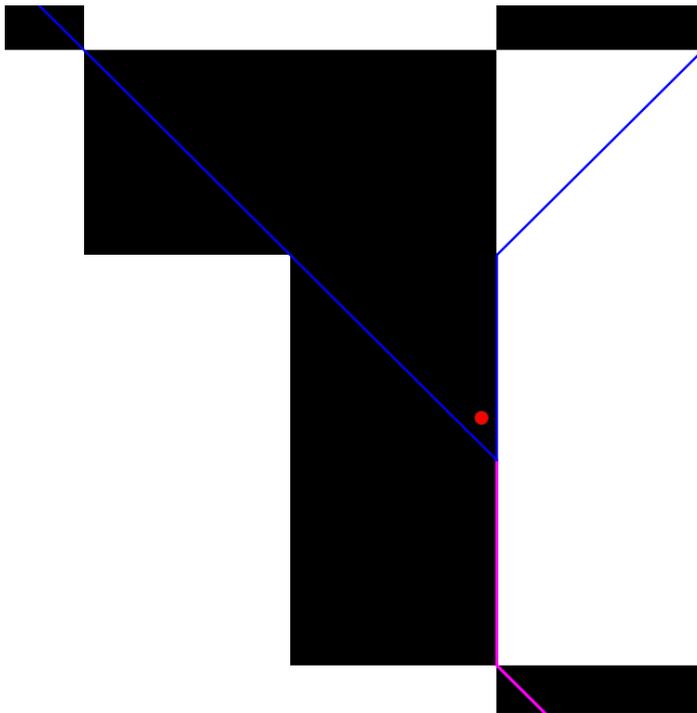


Figura 83: Criação do ponto que servirá de exutório para a ferramenta Watershed. As linhas de drenagem hierarquizada servem como apoio para não escolher um pixel de drenagem de ordem 4. A drenagem raster foi utilizada como apoio para saber a localização do pixel de intersecção entre as drenagens.

Uma vez criado o exutório, busque a ferramenta Watershed na Caixa de Ferramentas/*Processing Toolbox* (Figura 84).

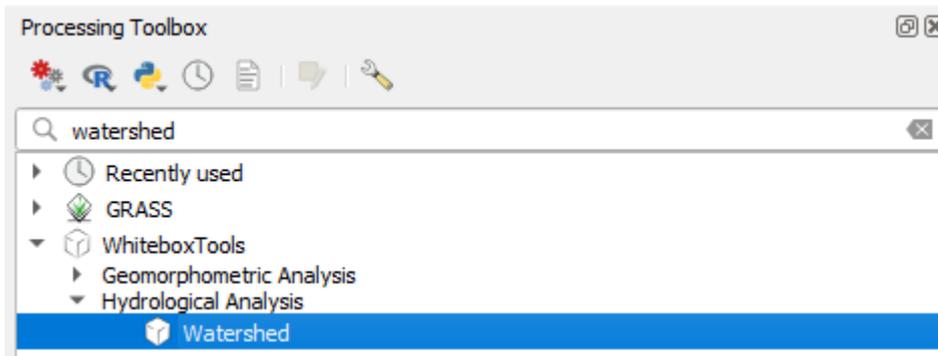


Figura 84: Busca da ferramenta Watershed na Caixa de Ferramentas/Processing Toolbox.

Os parâmetros de entrada para a ferramenta Watershed é a direção de fluxo e o exutório (Figura 85).



Figura 85: Parâmetros de entrada para a ferramenta Watershed. As entradas são a direção de fluxo e o exutório, a saída é a bacia hidrográfica raster de ordem 3. A pasta do arquivo de saída e o nome podem ser escolhidos clicando no quadrado vermelho.

A bacia extraída está representada na Figura 86, delimitando a mesma bacia que pelo GRASS GIS (Capítulo 11 – Figura 57).

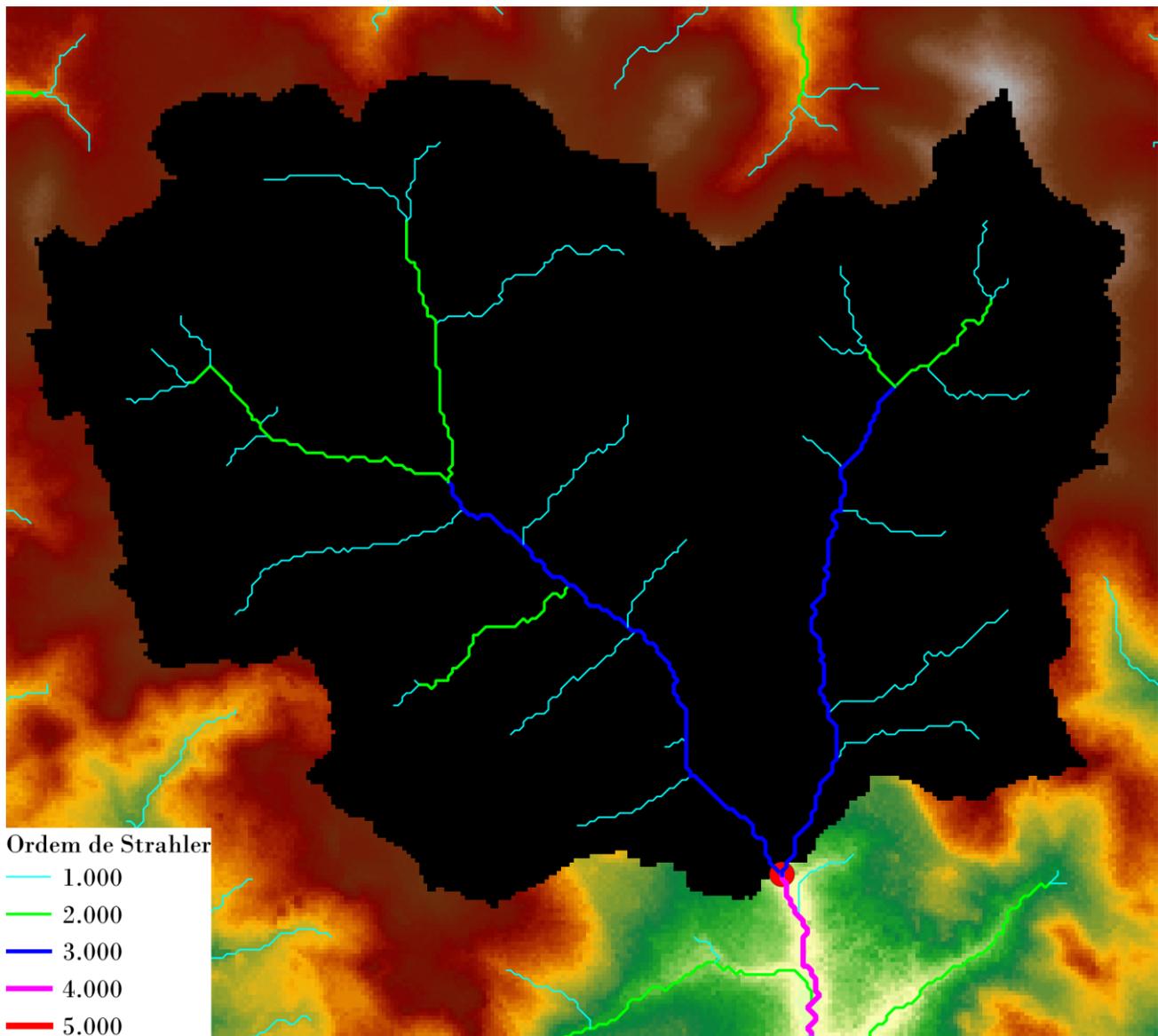


Figura 86: Bacia hidrográfica de ordem 3 pelo método de Strahler. A bacia está representada em preto, a drenagem pelas cores da legenda e o exutório é o ponto vermelho.

A bacia hidrográfica no formato raster pode ser vetorizada pela ferramenta do Capítulo 19.

# Considerações Finais

A extração de bacias hidrográficas e drenagem é muito importante para a gestão de recursos hídricos. Este livro traz uma abordagem prática utilizando ferramentas e dados gratuitos e livres para que profissionais, mesmo que iniciantes na área, sejam capazes de utilizar as ferramentas profissional e cientificamente.

# Agrededimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologias Ambientais (PGTA) da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR); ao CNPq pelo apoio financeiro (Processos 441975/2018-6 -Edital Prev-fogo e 315170/2018-2 -Bolsa Produtividade DT e EI); ao Ministério Público de MT, pelo apoio ao projeto Prorad.

Ao CNPq pela concessão de Bolsa Produtividade em Pesquisa a Antonio Conceição Paranhos Filho (PQ-1D - CNPq Processo 304644/2022-6).

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais (PPGCN) e em Geografia PPGEIO da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

Agradecemos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo acesso ao Portal de Periódicos;

Agradecemos também à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do MS - FUNDECT.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/MEC - Brasil.

# Referências Bibliográficas

AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê; BENINI, Sandra Medina. BACIAS HIDROGRÁFICAS: fundamentos e aplicações. 1 ed. Tupã/SP: ANAP, v.1, 2018.

ANA. Agência Nacional de Águas. O Comitê de Bacia hidrográfica: o que ele faz? Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos. Volume 1. 2011. Brasília: SAG, 2011. 64 p.

C. Bielski et al., "Novel Approach for Ranking DEMs: Copernicus DEM Improves One Arc Second Open Global Topography," in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 62, pp. 1-22, 2024, Art no. 4503922, doi: 10.1109/TGRS.2024.3368015.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 09/01/1997, p. 470.

GRASS Development Team, 2024. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 8.2. Open Source Geospatial Foundation. Electronic document: <https://grass.osgeo.org>, DOI: 10.5281/zenodo.5176030

Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Bulletin of America Bulletin, 56(3), 275-370.

Lindsay, J.B. (2024). **WhiteboxTools Open Core**. Whitebox Geospatial Inc. Disponível em: <https://www.whiteboxgeo.com/geospatial-software/>.

PETSCH, Carina; MONTEIRO, Jéssica Barion; BUENO, Marina Brandt. Análise comparativa da acuracidade da rede de drenagem gerada automaticamente e extraída de carta topográfica: estudo de caso do Município de Ponta Grossa - PR. ResearchGate, Santa Maria, v. 2, n. 4, p. 1195-1205, 25 nov. 2015

QGIS Development Team (2024). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

Paranhos Filho, Antonio & Miotto, Camila & Pessi, Dhonatan & Gamarra, Roberto & Silva, Normandes & Ribeiro, Vinicius & Chaves, Jéssica. (2021). Geotecnologias para Aplicações



Ambientais.

10.29327/527680.

[https://www.researchgate.net/publication/348311012\\_Geotecnologias\\_para\\_Aplicacoes\\_Ambientais](https://www.researchgate.net/publication/348311012_Geotecnologias_para_Aplicacoes_Ambientais).

Wang, L. and Liu, H. 2006. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(2): 193-213.