

Governo do Estado de Minas Gerais



Zoneamento Ambiental
e Produtivo - ZAP

METODOLOGIA DO ZONEAMENTO AMBIENTAL E PRODUTIVO DE SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS



4ª Edição
Comitê Gestor do ZAP
2023

MEIO AMBIENTE E
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



MINAS
GERAIS

GOVERNO
DIFERENTE.
ESTADO
EFICIENTE.

Governo do Estado de Minas Gerais

Romeu Zema Neto

Fundação Estadual do Meio Ambiente - Feam

Renato Teixeira Brandão

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Seapa

Thales Almeida Pereira Fernandes

COMITÊ GESTOR:

Coordenação e Secretaria Executiva:

Fundação Estadual do Meio Ambiente - Feam

Diretoria de Instrumentos de Gestão e Planejamento Ambiental - Diga

Gerência de Avaliação Ambiental e Desenvolvimento Territorial - Geaad

Patrícia Rocha Maciel Fernandes

Caroline Priscila Fan Rocha

Larissa Assunção Oliveira Santos

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Seapa

Guilherme de Oliveira Leão

Karla Jorge da Silva

Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Semad

Gustavo Henrique Medeiros Resende

Felipe Fernandes Ladislau

Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico - Sede

Maria Eugênia Monteiro de Castro e Silva

Hernandez Souza Soares

Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Igam

Lucas Martins Sathler Berbert

Túlio Bahia Alves

Instituto Estadual de Florestas - IEF

Leonardo Vieira de Faria

Gabriel Lucas Martins

Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais - Emater

Ana Cláudia Miranda Pinheiro Albanez

Felipe Fonseca de Oliveira

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Epamig

Fúlvio Rodriguez Simão

Marley Lamounier Machado

Instituto Mineiro de Agropecuária - IMA

Edair Gonçalves Costa

Marcela Ferreira Rocha Lage

Outros colaboradores:

Cassio Fernandes de Araujo - Feam

Pedro Henrique Silva (estagiário) - Feam

Amarildo José Brumano Kalil - Emater

Maurício Fernandes - Emater

Carolina Lobello Lorensini - Seapa

Luciano Baião Vieira - Seapa

Marcus Manoel Fernandes - Sede

Adriana Monteiro da Costa - UFMG

Bárbara Janine Reis Silva Araujo - UFMG

Isadora Fonseca Navarro - UFMG

Maíse Soares de Moura - UFMG

Victor Cordeiro da Silva - UFMG

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. METODOLOGIA	3
3. SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
4. CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE PAISAGEM.....	7
4.1. TRABALHO DE CAMPO.....	8
4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS POTENCIALIDADES, LIMITAÇÕES E APTIDÕES	9
5. MÉTODO POTENCIAL DE USO CONSERVACIONISTA	13
5.1. DEFINIÇÃO DE NOTAS E PESOS DO MÉTODO PUC.....	14
5.2. TÓPICOS DE DISCUSSÃO E INTERESSE DO PUC AO RELATÓRIO DO ZAP	20
6. CÁLCULO DO ÍNDICE DE DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL	22
6.1. LEVANTAMENTO DOS USUÁRIOS DE ÁGUA.....	23
6.2. ÍNDICE DE DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL A MONTANTE	24
6.3. ÍNDICE DE DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL A MONTANTE E JUSANTE	25
7. LEVANTAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	26
7.1. AVALIAÇÃO DE ACURÁCIA TEMÁTICA DO MAPEAMENTO	27
7.1.1. <i>Amostragem</i>	28
7.1.2. <i>Matriz de erro</i>	29
7.1.3. <i>Medidas de acurácia e valores de referência</i>	30
7.2. TRABALHO DE CAMPO E ELABORAÇÃO DO MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	31
7.3. IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APPs)	33
8. RESULTADOS FINAIS DO ZAP	37
8.1. MAPEAMENTO E CÁLCULO DAS ÁREAS CONSERVADAS E ANTROPIZADAS.....	37
8.2. MAPEAMENTO E CÁLCULO DAS ÁREAS DAS APPS CONSERVADAS E ANTROPIZADAS	39
8.3. CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE NASCENTES	41
8.4. MATRIZ DE POTENCIAL DO USO CONSERVACIONISTA (MATRIZ PUC).....	42
8.4.1. <i>Conflito entre PUC e Uso e Ocupação da Terra</i>	42
8.5. DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS	47
8.6. TABELA RESUMO DOS ÍNDICES ELABORADOS	50
9. QUALIDADE CARTOGRÁFICA DOS RESULTADOS DO ZAP	51
10. ENTREGAS DO ZAP	54

10.1. RELATÓRIO DO ZAP	54
10.2. BASE DE DADOS EM SIG	56
10.2.1. <i>Da organização das categorias e subcategorias de pasta</i>	58
10.2.2. <i>Dos arquivos de vetores e rasters</i>	58
10.2.3. <i>Dos metadados e Dicionários de Dados</i>	59
10.2.4. <i>Das Simbologia dos arquivos vetoriais e matriciais</i>	59
10.2.5. <i>Da estrutura de pastas</i>	59
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
12. REFERÊNCIAS	66
ANEXO I - DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA UTILIZANDO O QGIS	71
ANEXO II - UNIDADES DE PAISAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS	74
ANEXO III - MÉTODO PUC APLICADO NO AMBIENTE SIG	81
ANEXO IV - CÁLCULO DO IDHS NO AMBIENTE SIG.....	108
ANEXO V - LEVANTAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NO AMBIENTE SIG.....	116
ANEXO VI - CLASSIFICAÇÃO DAS FEIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	120
ANEXO VII - MODELO DE FICHA TÉCNICA DE CAMPO.....	122
ANEXO VIII - MODELO DE METADADOS	123
ANEXO IX – DICIONÁRIO DE DADOS	127
ANEXO X - IDENTIFICAÇÃO DE ERROS TOPOLÓGICOS DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DO ZAP	128
ANEXO XI - FICHAS DAS UNIDADES DA PAISAGEM DE MINAS GERAIS	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delimitação da sub-bacia e da rede hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana	6
Figura 2 - Superfície tabular.....	11
Figura 3 - Dessecado Estrutural (Basáltico).....	11
Figura 4 - Planície fluvial entre Rampas de Colúvio.....	12
Figura 5 - Rampa de Colúvio.....	12
Figura 6 - Atributos considerados na proposição de notas a cada uma das variáveis do meio físico, de importância ao Método PUC, associados à uso agropecuário, potencial de recarga hídrica e resistência à erosão.....	15
Figura 7 - Esquema da álgebra de mapas e ponderação das variáveis contidas na equação acima, com exemplo para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana.....	19
Figura 8 - Mapa do Potencial de Uso Conservacionista para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana.....	20
Figura 9 - Usuários de água superficial na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana	23
Figura 10 - Classificação dos trechos conforme nível de índice de demanda hídrica superficial a montante.....	24
Figura 11 - Níveis de índice de demanda hídrica superficial na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana	25
Figura 12 - Mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana	32
Figura 13 - Mapa das APPs da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.....	35
Figura 14 - Mapa das Áreas Conservadas e Antropizadas do Ribeirão Santa Juliana	38
Figura 15 - Mapa do estado de conservação das Áreas de Preservação Permanente.....	40
Figura 16 - Mapa de concentração de nascentes do Ribeirão Santa Juliana	41
Figura 17 - Mapa de Conflito entre Classes PUC e Uso e Ocupação da terra para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana	45
Figura 18 - Mapa do Nível de Degradação de Pastagens na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.....	49

Figura 19 - Exemplo de estrutura adotada no levantamento do uso e ocupação da terra na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.....	57
Figura 20 - Padrão de organização das bases de dados do ZAP Santa Juliana no QGIS...	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização das UPs da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana	10
Tabela 2 - Notas finais atribuídas às classes de declividade pelo método PUC	16
Tabela 3 - Notas finais atribuídas às classes de solos pelo método PUC.....	16
Tabela 4 - Notas finais atribuídas às classes de litologia pelo método PUC	17
Tabela 5 - Resultado da representatividade das classes PUC para sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana.....	20
Tabela 6 - Matriz de erro	29
Tabela 7 - Síntese dos dados de uso e ocupação da terra	33
Tabela 8 - Identificação das Áreas de Preservação Permanente.....	33
Tabela 9 - Área por tipo de APP na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.	35
Tabela 10 - Tamanho das áreas conservadas e antropizadas.....	38
Tabela 11 - Tamanho das Áreas de Preservação Permanente conservadas e antropizadas	40
Tabela 12 – Compatibilidades entre Classes PUC e Uso e Ocupação da terra.....	43
Tabela 13 – Compatibilidade entre classes PUC e Uso e ocupação da terra (Nível II) para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.....	43
Tabela 14 - Áreas de uso conflitante resumidas por compatibilidade	46
Tabela 15 - Adaptação do nível de degradação de pastagens de Dias-Filho (2014) e dos intervalos do NDVI de Lima et al. (2013).....	48
Tabela 16 - Reclassificação de valores calculados de NDVI	48
Tabela 17 - Nível de Degradação de Pastagens na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana...	49
Tabela 18 - Síntese dos índices aplicados na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana	50
Tabela 19 - Atributos necessários para cada arquivo shapefile	62

1. INTRODUÇÃO

O Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP) foi instituído pelo Decreto Estadual nº 46.650, de 19 de novembro de 2014, por meio de trabalho conjunto entre a Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad) e a Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Seapa). É um instrumento de planejamento e gestão ambiental territorial, aplicado a sub-bacias hidrográficas para o uso sustentável dos recursos naturais. Auxilia o desenvolvimento de ações de conservação dos recursos naturais no contexto agrossilvipastoril, visando a sustentabilidade das propriedades rurais a longo prazo e a restauração dos ecossistemas degradados.

Este Manual tem o objetivo de orientar a elaboração de estudos de ZAP em sub-bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais, especificando as diretrizes e os critérios técnicos a serem utilizados pelas diferentes entidades envolvidas no planejamento e na gestão ambiental territorial dessas bacias.

Os estudos de ZAP devem ser elaborados em seis etapas: 1) seleção da área de estudo; 2) caracterização das unidades de paisagem; 3) método potencial de uso conservacionista; 4) cálculo do índice de demanda hídrica superficial; 5) levantamento do uso e ocupação da terra; e 6) resultados finais do ZAP. Esses estudos buscam disponibilizar informações sobre os meios natural e produtivo e proporcionar avaliações preliminares do potencial de adequação das sub-bacias hidrográficas, fomentando o uso adequado dos recursos naturais sob a perspectiva do manejo conservacionista, bem como a elaboração de planos, a formalização de pactos e o desenvolvimento de ações em escala a nível de propriedade.

Os estudos de ZAP podem ser submetidos ao Comitê Gestor do ZAP para avaliação técnica. O Comitê Gestor é uma instância deliberativa e consultiva do ZAP, instituída pelo Decreto Estadual nº 46.650/2014 e composta por 9 (nove) órgãos ou instituições de Estado: FEAM, SEMAD, SEAPA, SEDE, IGAM, IEF, EMATER, IMA e EPAMIG. É representado por membros titulares e suplentes dessas instituições que devem orientar, analisar, validar, sistematizar e disponibilizar os dados e as informações produzidas nos estudos de ZAP, conforme Regimento Interno do Comitê Gestor.

Os critérios e procedimentos para a elaboração, formalização, análise, decisão e publicidade dos estudos de ZAP podem ser consultados na Deliberação do Comitê Gestor nº 19, de 03 de agosto de 2020 (ou em qualquer outra que venha a substituir).

Os relatórios e arquivos geoespaciais dos estudos de ZAP, aprovados pelo Comitê Gestor, podem ser consultados no *website* do órgão gestor do ZAP e na [IDE-Sisema](#) (na categoria instrumentos e projetos territoriais).

Este documento é a 4ª edição do manual metodológico do ZAP, revisada e aprovada pelo Comitê Gestor. Nesta edição, as principais mudanças foram:

- a etapa de “avaliação da pressão hídrica” passou a ser denominada “cálculo do índice de demanda hídrica superficial”, visando evitar que o termo seja confundido com outros utilizados na engenharia;
- o mapeamento da etapa de “caracterização das unidades de paisagem” deixou de ser obrigatório;
- o “método potencial de uso conservacionista” foi incluído como etapa obrigatória do ZAP;
- a “definição do nível de degradação das pastagens” foi incluída como resultado obrigatório do ZAP;
- atualização do estudo de caso do ZAP Ribeirão Santa Juliana;
- ajustes gerais nos métodos já existentes.

Incluindo esta introdução, este Manual possui 12 capítulos. No capítulo 2 são apresentados os principais aspectos metodológicos para a elaboração dos estudos de ZAP. Nos capítulos 3 a 7 são detalhadas as etapas do ZAP e, no capítulo 8, são indicados os resultados finais dos estudos de ZAP. No capítulo 9 são elencados os critérios para a qualidade cartográfica dos resultados do ZAP. O capítulo 10 é dedicado ao padrão das entregas do ZAP (relatório e base de dados em SIG). As considerações finais e referências são apresentadas nos capítulos 11 e 12, respectivamente.

Em caso de dúvidas sobre a metodologia do ZAP ou propostas de melhorias deste Manual, entre em contato com a Coordenação do Comitê Gestor do ZAP através do e-mail zap@meioambiente.mg.gov.br.

2. METODOLOGIA

O estudo de Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) é desenvolvido em seis etapas:

- 1) seleção da área de estudo;
- 2) caracterização das unidades de paisagem;
- 3) método potencial de uso conservacionista;
- 4) cálculo do índice de demanda hídrica superficial;
- 5) levantamento do uso e ocupação da terra; e
- 6) resultados finais do ZAP.

Os objetivos, métodos e as ferramentas técnicas de cada etapa são apresentados nos [Capítulos 3 a 8](#) a seguir.

De modo a facilitar a compreensão da metodologia ZAP, foi simulada sua aplicação na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana. Parte dos resultados obtidos nessa simulação são apresentados de maneira ilustrativa e explicativa neste Manual.

Todo conteúdo de geoprocessamento contido neste documento foi produzido por meio do *software* livre de código aberto QGIS 3¹. O conteúdo textual pode não ser suficiente para reprodutibilidade dos procedimentos necessários para a obtenção dos resultados. Com isso, foram elaborados arquivos tutoriais “passo a passo”, no formato PDF, baseados em telas demonstrativas de cada etapa, de forma complementar a este Manual, que se encontram disponíveis na página eletrônica do órgão gestor do ZAP.

Destaca-se que a metodologia proposta neste Manual tem caráter sugestivo. Outras metodologias que alcancem os mesmos objetivos podem ser utilizadas desde que sejam previamente validadas pelo Comitê Gestor do ZAP, conforme estabelecido no parágrafo 2º, do artigo 1º, da Deliberação n° 19, de 03 de agosto de 2020.

Importante ressaltar a necessidade de se observar os critérios de qualidade cartográfica dos resultados do ZAP ([Capítulo 9](#)), bem como os padrões de estruturação e armazenamento dos dados geoespaciais, análogo ao que é disposto pelo Comitê Gestor da IDE-Sisema, para a entrega da base de dados SIG ([Seção 10.2](#)).

¹ QGIS 3. Geografic Information System - Software livre de sistemas de informação geográfica - Versão 3. Disponível para *download* em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/

3. SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Sugere-se para a seleção da área de um estudo de ZAP, sub-bacias hidrográficas com limites variando entre 15.000 a 55.000 hectares. Estudos de ZAP em bacias com áreas compreendidas neste intervalo resultam em maior facilidade de comunicação, integração e autoconhecimento dos atores e agentes nas sub-bacias hidrográficas.

Nesta etapa, deve ser realizada a delimitação da sub-bacia hidrográfica com o recorte de sua rede de hidrografia. A partir disso, devem ser levantados dados da bacia, tais como: Circunscrição Hidrográfica (CH), macrobacia pertencente, municípios abrangentes, dentre outros.

Poderá ser realizado estudo de ZAP em sub-bacia hidrográfica com área inferior a 15.000 hectares quando:

- 1) o curso d'água principal da sub-bacia desaguar em rio federal; ou
- 2) o curso d'água principal da sub-bacia deságua no leito principal de uma CH.

Bacias ou sub-bacias hidrográficas maiores que 55 mil hectares deverão ser divididas em outras sub-bacias que compreendem os valores mencionados anteriormente, mesmo quando apresentadas em um único relatório, e enviadas com devida justificativa pelo Formulário de Inscrição para elaboração do estudo de ZAP ao CGZAP. A justificativa deve levar em consideração as particularidades da sub-bacia hidrográfica ou região geográfica adotada pelo estudo, em relação aos meios físico, biótico e/ou socioeconômico, bem como os conflitos existentes. Juntamente com a justificativa deverá ser encaminhado arquivo em shapefile (*shp*) ou *kml* contendo a divisão proposta da sub-bacia. Tais divisões serão analisadas pelo CGZAP e sendo aprovadas, o proponente poderá iniciar os estudos.

Recomenda-se consultar a existência de Comitês de Bacia Hidrográfica e dos Planos Diretores de Recursos Hídricos já implementados na área de estudo. Tais Planos podem trazer recortes de bacia, subdivisões à nível alto, médio e baixo trecho, além de outras condições que possam auxiliar nos recortes de grandes bacias hidrográficas onde será desenvolvido o estudo de ZAP. Além disso, há a possibilidade de utilizar os recortes oficiais de áreas de conflito hídrico (DAC) elaborados pelo Igam, desde que suas divisões encaixem nos limites sugeridos ou haja justificativa prévia na inscrição do ZAP;

Casos que não se enquadrem nas diretrizes acima ou que são mais complexos, deverão ser submetidos à avaliação do CGZAP através do Formulário de Inscrição para elaboração do

estudo de ZAP. Pode-se citar como exemplo nestes casos o ZAP de Conjunto de Sub-bacias (como o ZAP MONA Serra da Piedade, de 2019), o qual foi elaborado em uma delimitação de cinco sub-bacias onde três delas não são sub-bacias completas (Alto e Médio trechos).

Estudos de ZAP que selecionam apenas áreas de Médio e Baixo trecho das sub-bacias deverão ter a sua análise do Índice de Demanda Hídrica Superficial (IDHS) aplicado a toda a sub-bacia, já que, para o cálculo do IDHS, é necessária a avaliação das captações a montante.

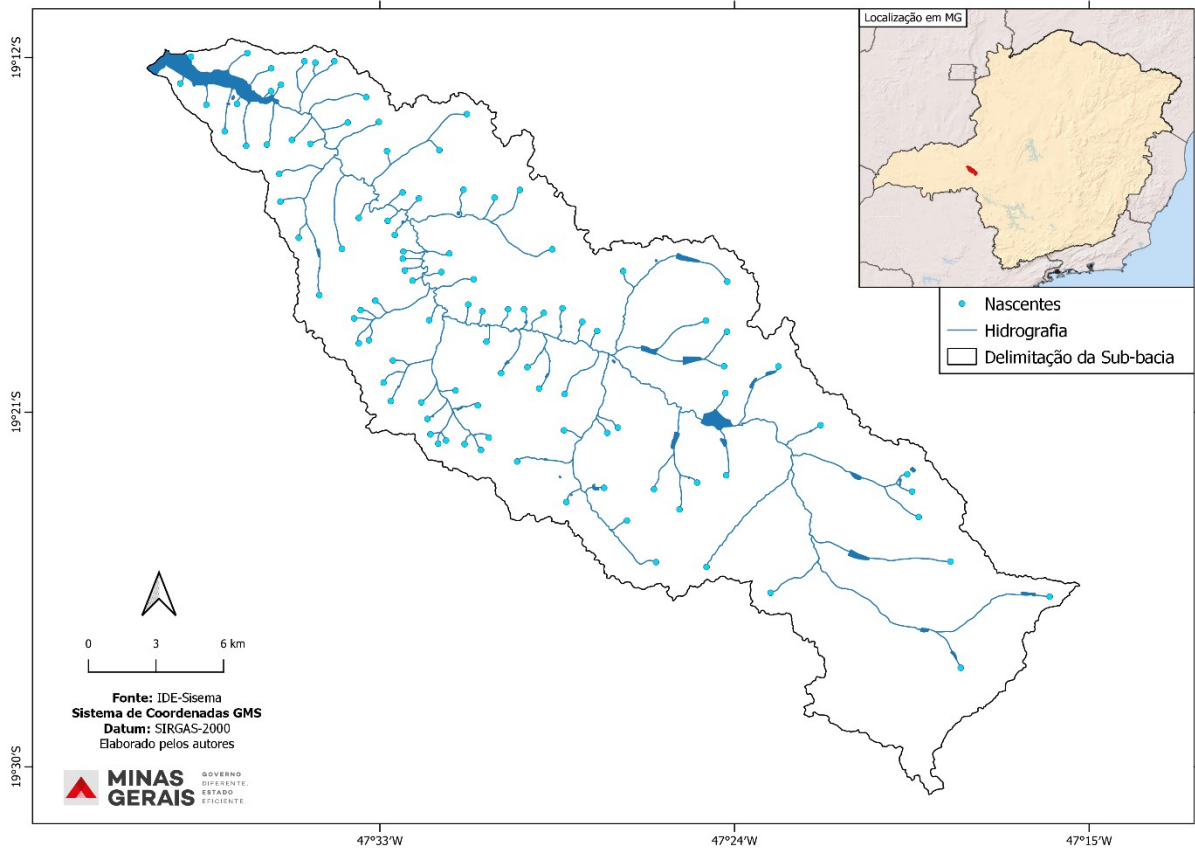
Caso seja aprovado pelo CGZAP, ZAPs maiores que 55 mil hectares devem conter todas as informações estatísticas e interpretações baseadas nas divisões aprovadas, sendo inseridas como atributos nos arquivos SIG e analisadas individualmente no relatório.

Para a delimitação da bacia hidrográfica, devem ser utilizadas obrigatoriamente as bases oficiais mais recentes do Igam, mais especificamente a Bacia Hidrográfica Ottocodificada (BHO) e a Hidrografia Ottocodificada - que se encontra disponível para acesso e download na IDE-Sisema (Categoria "Hidrografia" da Plataforma de Visualização e do Catálogo de Metadados).

Como exemplo neste documento, todas as informações serão baseadas no ZAP do Ribeirão Santa Juliana. No [Anexo I](#) é apresentado o procedimento para delimitação da sub-bacia utilizando o QGIS.

A [Figura 1](#) a seguir ilustra a delimitação da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana, com cerca de 50.370 hectares, e sua rede hidrográfica corrigida, baseada nos dados oficiais do IGAM mais recentes.

Figura 1 - Delimitação da sub-bacia e da rede hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana



4. CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DE PAISAGEM

A etapa de caracterização das Unidades de Paisagem (UPs) consiste em sua identificação e descrição objetivando o planejamento do uso conservacionista dos recursos ambientais em bacias hidrográficas de pequeno porte.

A definição das UPs deverá ser baseada na abordagem da análise da paisagem e da inter-relação entre seus componentes, a qual é fundamentada nos preceitos da ecologia da paisagem que se preocupa com as relações entre os processos ecológicos e o padrão espacial de seus elementos.

A caracterização das UPs permitirá indicar as potencialidades, limitações e aptidões dos usos e ocupações múltiplas. Parte-se do princípio de que o meio físico condiciona as diversas modalidades de usos e ocupações dentro dos paradigmas da sustentabilidade e das possibilidades de intervenções para prevenção, mitigação e correção de problemas ambientais decorrentes da inobservância da capacidade de uso específica de cada unidade (FERNANDES *et al.*, 2013).

Assim, assumindo a paisagem, dentro de cada especificidade local, como uma síntese dos componentes do meio físico (geologia, relevo e solos) e as suas interações com o meio biótico (vegetação nativa) e meio socioeconômico (atividades antrópicas), a utilização dessa abordagem analítica facilita a interpretação dos resultados dos estudos, conseqüentemente na sua transformação em planejamento de bacias hidrográficas. Nesse sentido, instrumentos territoriais, tais como os planos diretores municipais e o planejamento de propriedades rurais podem ser significativamente beneficiados, como pode ser observado através de trabalhos já concretizados.

Dentre as aplicações mais relevantes dessa abordagem, destacam-se:

- Adequação socioeconômica e ambiental de propriedades rurais e de bacias hidrográficas;
- Planejamento do uso e ocupação múltiplos dos espaços municipais;
- Identificação das aptidões para atividades econômicas das áreas caracterizadas;
- Planejamento de atividades agrossilvopastoris dentro dos preceitos da sustentabilidade;
- Seleção de áreas para conservação da biodiversidade.

No âmbito de desenvolvimento do ZAP, a definição das UPs deverá ser desenvolvida conforme metodologia proposta por Fernandes (2013), que consiste na integração e no estabelecimento de correlações entre as variáveis ambientais geologia, relevo e solo.

Dada a heterogeneidade de ecossistemas mineiros, sugere-se, para a caracterização de cada unidade de paisagem, a utilização da Tabela contida no [Anexo II](#), a qual apresenta enfoques específicos e descrição das UPs para cada região do Estado de Minas Gerais. Dessa maneira, as respectivas ações podem também ser indicadas com enfoques específicos.

A distribuição e respectivas características das unidades de paisagens no nível de bacias hidrográficas condicionam o período de residência das águas pluviais dentro dos respectivos perímetros. Assim, refletem na análise do índice de demanda hídrica superficial destes compartimentos. Tanto a quantidade quanto a qualidade, sobretudo das águas superficiais, são resultantes da interação das UPs e dos respectivos usos e ocupações.

Para isso, deve ser feita uma análise como um todo objetivando a identificação das unidades de paisagens predominantes podendo estas serem identificadas, por exemplo, através das características próprias da região, parte alta, média e baixa da sub-bacia, margem direita ou esquerda ou outras características que possam diferenciar e tornar claro sua identidade por área. Cabe salientar neste processo a necessidade da observação da continuidade das unidades de paisagem em bacias contíguas, evitando rupturas bruscas destas unidades, principalmente em relação à nomenclatura das classes (através das Fichas de Unidades de Paisagem presentes no [Anexo XI](#)). Não há necessidade de produzir um mapa das UPs.

4.1. Trabalho de campo

As Unidades de Paisagem devem ser observadas em campo, de modo que seja possível observar suas características agroambientais e as respectivas associações com os materiais geológicos e pedológicos.

A visita em campo é imprescindível para a identificação das unidades de paisagem em observância ao máximo de características qualificadoras de cada unidade para a proposição e confecção do relatório final. Encontra-se no [Anexo VII](#) do presente documento um modelo de Ficha Técnica de Observações em Campo que deverá ser utilizada para os pontos de verificação. As visitas a campo devem ocorrer quantas vezes a equipe técnica julgar necessária, já que quanto maior a interação com a área de estudo, maior a coleta de informações e, detalhes, enriquecendo o relatório final. É recomendado ao menos uma visita percorrendo ao máximo a extensão da área de estudo.

Destaca-se que, ao final da confecção do mapa de Uso e Ocupação da Terra ([Capítulo 7](#)), também será necessária uma visita de campo para confirmação e ajuste das feições mapeadas. Dessa forma, visando otimizar a visita e até mesmo possibilitar um ganho de tempo, sugere-se, a realização do trabalho de campo final apenas após a confecção do mapa Uso e Ocupação da Terra.

4.2. Caracterização das potencialidades, limitações e aptidões

Após definição final das principais UPs da sub-bacia, deve ser elaborada a Matriz de correlação das principais unidades reconhecidas em campo com suas respectivas potencialidades, limitações e aptidões para usos e ocupações múltiplos, baseando-se na tabela do [Anexo II](#) e no conhecimento do técnico sobre a bacia.

O [Anexo II](#) traz a caracterização de cada UP, onde foram estabelecidas, para cada unidade, inferências sobre a vegetação nativa original (meio biótico) e as aptidões para uso/ocupação (meio antrópico). Tal caracterização é de extrema importância, já que as UPs são integradas e apresentam respostas diferenciadas principalmente aos eventos pluviais, o que reflete na dinâmica do ciclo hidrológico. Como exemplo, unidades de paisagem que apresentem relevos suaves e solos permeáveis condicionam a infiltração das águas pluviais, propiciando a manutenção dos aquíferos (água subterrânea). Já as unidades de paisagem com afloramentos rochosos podem armazenar as águas pluviais em fraturas (aquífero em meio fraturado) e na porosidade das rochas (aquífero em meio poroso).

A caracterização das UPs da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana é apresentada na [Tabela 1](#) a seguir.

Tabela 1 - Caracterização das UPs da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana

Unidades de Paisagem	Potencialidades	Limitações	Aptidões
Superfícies tabulares	Relevo plano e solos bem desenvolvidos e permeáveis	Solos de baixa fertilidade e acidez elevada	Agricultura mecanizada, silvicultura, fruticultura e pastagens cultivadas.
Dessecados Estruturais (Basáltico)	Nível de fertilidade variados.	Relevo acidentado, solos rasos e elevada erodibilidade.	Predominantemente para áreas de preservação permanente
Planícies Fluviais	Relevo plano podendo ocorrer solos de média e alta fertilidade.	Suscetibilidades às ocorrências de inundações periódicas e encharcamento dos solos. Redução de áreas pela ocupação da vegetação ciliar.	Culturas anuais de entressafra, preservação de nascentes difusas. Parte de sua área pode ser considerada APP.
Rampas de colúvio	Solos profundos e estáveis de alta permeabilidade	Comprimento da rampa e favorecimento de processos de erosão laminar. Quando argilosos, são suscetíveis à compactação por pressão de máquinas e pisoteio de animais.	Culturas anuais, pastagens, silvicultura e capineiras sob sistemas de controle de erosão.

Superfícies tabulares

- Características: Apresenta o relevo plano. Em altitudes entorno de 800 m. A vegetação original é o cerrado *stricto sensu*. Vulgarmente conhecida como chapada.
- Tipos de Solo: Latossolos e Neossolos Quartizarênicos (quando derivados de arenitos e quartzitos).

Figura 2 - Superfície tabular.



Fonte: Paisagem Ambiental

Dessecados Estruturais

- Características: Vertentes retilíneas em declive, resultante do deslocamento natural dos solos.
- Tipos de Solo: Latossolos

Figura 3 - Dessecado Estrutural (Basáltico).



Fonte: Paisagem Ambiental

Planícies Fluviais

- Características: Unidades que ocupam as cotas mais baixas da bacia hidrográfica. Constituem leitos maiores dos respectivos cursos d'água. Dependendo das características geomorfológicas das bacias hidrográficas onde se inserem, podem estar sujeitas a inundações periódicas. Relevo plano, ao longo dos cursos d'água, com

declividades inferiores a 3%.

- Tipos de Solo: Os solos são formados por acumulação de sedimentos. São os Neossolos Flúvicos e Gleissolos. Os Neossolos flúvicos são variados tanto na horizontal quanto na vertical. Os Gleissolos são resultantes da oscilação do aquífero freático. Propiciando ciclos de oxidação e redução.

Figura 4 - Planície fluvial entre Rampas de Colúvio.



Fonte: Paisagem Ambiental

Rampas de Colúvio

- Características: Vertentes retilíneas em declive, resultante do deslocamento natural dos solos.
- Tipos de Solo: Latossolos.

Figura 5 - Rampa de Colúvio.



Fonte: Paisagem Ambiental

5. MÉTODO POTENCIAL DE USO CONSERVACIONISTA

A etapa referente ao cálculo e definição do Potencial de Uso Conservacionista (PUC) tem por objetivo a identificação das potencialidades e fragilidades do meio físico, visando nortear o planejamento do uso conservacionista, considerando os recursos ambientais e os usos produtivos, em bacias hidrográficas, alinhado ao que preconizam as Políticas Nacional (PNRH) e Estadual de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997; MINAS GERAIS, 1999). O método permite que, a partir de bases de declividade, solo e litologia, seja possível uma avaliação rápida no ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG), com posterior avaliação de campo para validação dos dados. Além disso, o método proporciona uma avaliação do meio físico de modo menos subjetivo, sendo possível que distintos técnicos cheguem ao mesmo resultado, não importando sua área de formação. Dessa maneira, é possível que ocorra a comparação de diferentes áreas quanto ao seu potencial natural, haja visto que as subjetividades são reduzidas podendo se pensar um planejamento adequado que vise o uso conservacionista. Entende-se por uso conservacionista a utilização adequada das áreas frente aos seus potenciais naturais e às necessidades da região, realizando manejos específicos que respeitem as limitações do ambiente e garantindo a preservação e a conservação dos recursos naturais, como descrito nas legislações pertinentes

O PUC é uma análise integrada que fornece uma série de interpretações quanto aos potenciais para o uso agropecuário e leituras acerca de serviços ambientais como recarga hídrica e resistência à processos erosivos, permitindo, assim, que o ordenamento e planejamento do uso da terra em bacias hidrográficas seja subsidiado por conhecimentos técnicos e científicos. A visualização das diferentes classes de PUC em uma bacia hidrográfica permite entender como os diversos usos da terra se organizam em áreas mais frágeis e áreas de maior potencial, possibilitando um processo de adequação e utilização mais assertiva do capital natural, de forma mais sustentável para as gerações atuais e futuras.

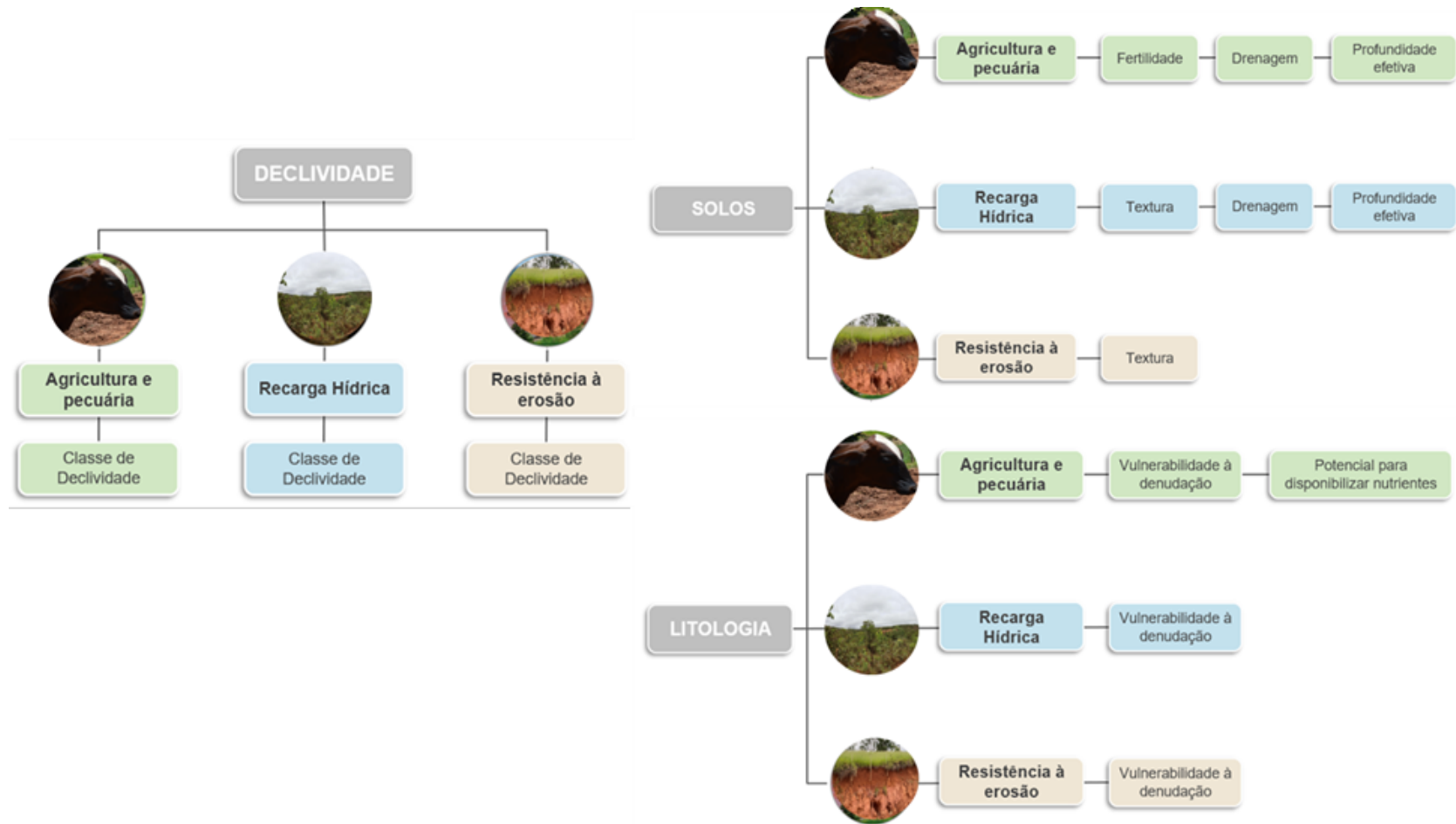
É necessário o entendimento de que os valores finais de PUC refletem em uma série de informações que são transcritas em uma abordagem quantitativa, mas, para um bom direcionamento, é fundamental uma leitura qualitativa dos dados encontrados. Por exemplo, em áreas com altos valores de PUC as características de declividade, solo e litologia, conferem à área um maior potencial de uso, devido à presença de solos bem drenados e estruturados e relevo plano que favorecem a infiltração e retenção de água, o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e de organismos, facilitam a mecanização agrícola e apresentam baixa suscetibilidade aos processos erosivos. Por outro lado, áreas

com menores valores de PUC são áreas mais frágeis, com maiores riscos naturais a processos de degradação. Resta destacar que mesmo em áreas de alto PUC em virtude de manejos inadequados, às características naturais do meio físico podem ser alteradas, favorecendo o processo de degradação ambiental dessas áreas.

5.1. Definição de notas e pesos do Método PUC

O Método PUC, considera três variáveis do meio físico: declividade, solo e litologia, às quais foram atribuídas notas conforme os seus atributos propostos por Costa *et al.* (2017). Assim, as variáveis foram avaliadas considerando o seu potencial para o uso agropecuário, recarga hídrica e resistência à erosão (Figura 6). Para a determinação das notas foram feitas recorrentes pesquisas à literatura científica e aos especialistas, designando-se os valores conforme a potencialidade e à restrição associadas ao potencial de uso de cada atributo das variáveis físicas. Após atribuição das notas a cada atributo, fez-se o ajuste matemático para a obtenção da nota final para cada variável (Tabelas 2 a 4). O detalhamento de cada procedimento, características, normalização e sequência de equações, encontra-se disponível em artigo de Costa *et al.* (2017), na seção “Materiais e Métodos”, para consulta, replicabilidade e aprimoramentos embasados em métodos científicos.

Figura 6 - Atributos considerados na proposição de notas a cada uma das variáveis do meio físico, de importância ao Método PUC, associados à uso agropecuário, potencial de recarga hídrica e resistência à erosão.



Fonte: Costa *et al.* (2017).

Para a variável declividade considerou-se, na análise, que esta assume intrínseca relação ao escoamento superficial e infiltração (em tempo e velocidade). A compartimentação do relevo, baseou-se nas classes definidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979). Assim sendo, suas notas estão expressas na [Tabela 2](#):

Tabela 2 - Notas finais atribuídas às classes de declividade pelo método PUC

Declividade (%)	Tipo de Relevo	Notas
0 a 3	Plano	5
3 a 8	Suave Ondulado	4
8 a 20	Moderadamente Ondulado a Ondulado	3
20 a 45	Forte Ondulado	2
> 45	Montanhoso a Escarpado	1

Fontes: Costa *et al.* (2017); Embrapa (1979).

Para a variável solos, a atribuição de notas considerou o conjunto de classes de solos do estado de Minas Gerais (UFV *et al.*, 2010a), conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2013), para o primeiro nível categórico. Assim, para a análise do potencial de uso agropecuário utilizaram-se os atributos fertilidade, drenagem e profundidade efetiva, tendo em vista o suprimento de água e de nutrientes às plantas; para o potencial de recarga hídrica foram considerados os atributos textura, drenagem e profundidade efetiva e, para o potencial de resistência à erosão, considerou-se o atributo textura, avaliando a condição da estabilidade dos agregados. Assim, por exemplo, na avaliação de resistência à erosão, foi preponderante, em que, solos arenosos têm menor nota, ao passo que aqueles, muito argilosos, e com argila do tipo 1:1, têm nota 5, em escala de 1 a 5 (COSTA *et al.*, 2017) ([Tabela 3](#)).

Tabela 3 - Notas finais atribuídas às classes de solos pelo método PUC

Classe de solo	Notas	Classe de solo	Notas
Argissolo	4,0	Neossolo	1,2
Cambissolo	2,6	Nitossolo	5,0
Chernossolo	2,4	Organossolo	1,2
Espodossolo	1,0	Planossolo	1,6
Gleissolo	2,0	Plintossolo	2,4
Latossolo	4,7	Vertissolo	1,9
Luvissolo	2,3		

Fonte: Costa *et al.* (2017).

De igual maneira, foram estabelecidas notas para os diferentes litotipos mapeados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014), em escala de 1:1.000.000. Assim, analisou-se, como atributo, a composição mineralógica que assume relação com a fertilidade e suscetibilidade ao intemperismo e denudação (Tabela 4).

Tabela 4 - Notas finais atribuídas às classes de litologia pelo método PUC

Litologia	Nota	Litologia	Nota
Agalmatolito	1,4	Mármore	4,2
Andesito	2,5	Meta-arenitos	1,2
Anfibólio	2,7	Meta-argilito	1,4
Anortositos	2,4	Metabásicas	2,8
Arcósio	1,2	Metaconglomerado	1,5
Ardósia	1,4	Metadiamictito	1,2
Arenitos	1,1	Metagrauvaca	1,2
Argilito	1,3	Metapelitos	1,4
Basalto	3,1	Metassedimentos clásticos	1,2
Bombas e Brechas			
Vulcânicas	2,5	Metassiltito	1,3
Calcário	4,1	Metaultramáfica	2,5
Calxisto	4,9	Metavulcânica	2,8
Charnockito	1,8	Migmatitos	2,7
Conglomerado	1,1	Milonitos	1,3
Dacito	2,1	Monzogranito	1,5
Diabásio	2,9	Monzonito	1,9
Diamictito	1,2	Nefelina Sienito	1,8
Dionito	2,3	Ortognaisse	1,7
Dolomito	3,9	Paragnaisse	1,7
Dunito	2,7	Pelito	1,5
Enderbito	2,0	Peridotito	2,6
Estaurolita	2,9	Piroxenito	3,2
Evaporito	4,0	Quartzitos	1,0
Filito	1,4	Quartzo-Diorito	1,7
Folhelho	1,8	Quartzomonzonito	1,6
Fonolito	2,1	Riolito	1,8
Formação Ferrífera	1,2	Rocha Metaultramáfica	2,5

Gabro	2,7	Rochas Ultramáficas Alcalinas	2,4
Gnaisse	1,7	Sedimentos Clásticos	1,2
Granito	1,5	Sedimentos Inconsolidados (colúvio, alúvio e elúvio)	1,2
Granodiorito	1,7	Sienito	2,0
Granulito	2,1	Siltito	1,2
Grauvaca	1,3	Sub-grauvacas	1,3
Itabirito	1,2	Tonalito	1,9
Kimberlito	2,6	Tranquito	2,0
Marga	5,0	Xisto	1,3

Fonte: Costa *et al.* (2017).

Depois de atribuídas as notas a cada uma das variáveis do meio físico (declividade, solo e litologia), elas passaram por matrizes de comparação pareada, obedecendo a uma Análise Hierárquica de Processos (SAATY, 1977; COSTA *et al.*, 2019). Assim, pode-se identificar a relevância das mesmas quanto aos potenciais avaliados (uso agropecuário, recarga hídrica e resistência à erosão), permitindo-se chegar a uma Equação PUC, ponderada, que, de forma prática, permite a leitura do comportamento destes conjuntos nas paisagens, sobretudo, das bacias hidrográficas. A Equação PUC (COSTA *et al.*, 2019a) sintetiza uma álgebra de mapas, para aplicação do Método PUC, por geoprocessamento, em *software* como o QGIS (2022), ArcGIS (2022), Dinamica EGO (2022), por exemplo.

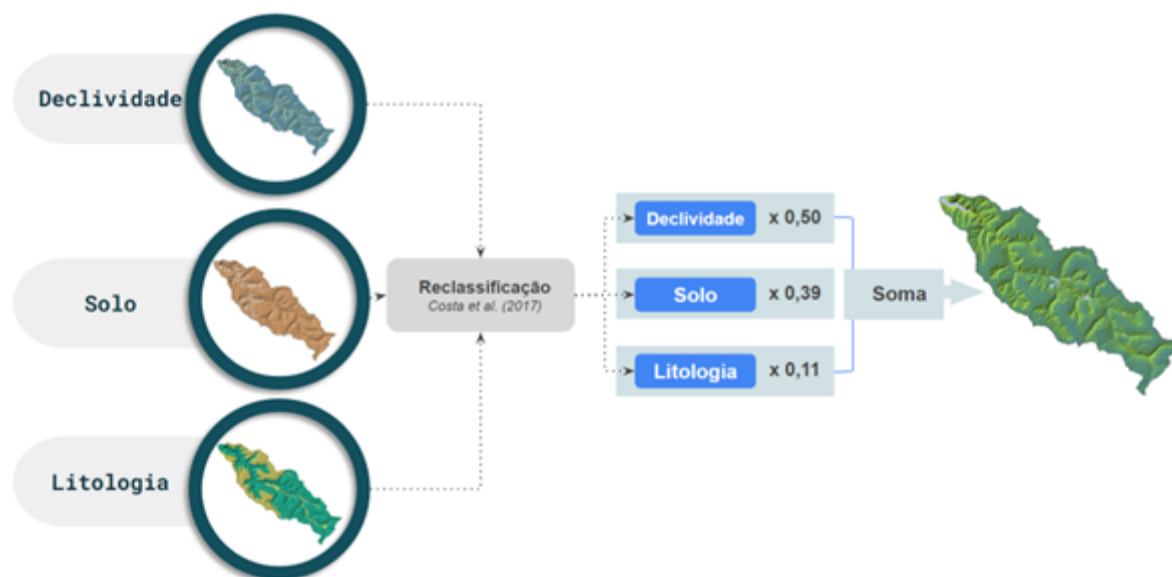
A definição dos pesos foi obtida a partir de uma ponderação das variáveis do meio físico, quanto ao seu Potencial de Uso Conservacionista de forma que foi realizada a comparação pareada por meio da Análise Hierárquica de Processos (SAATY, 1977) com base na escala de Saaty (1997.) As variáveis declividade, solo e litologia foram ordenadas em uma matriz de comparação pareada de ordem 3 e, em seguida, foram atribuídos valores de importância, variando de 1 a 9 (1 indica igual importância e 9 indica importância absoluta de uma variável sobre a outra). A partir dos valores de comparação adotados, realizou-se a normalização da matriz e, em seguida, o cálculo dos valores de ponderações para cada variável aplicados ao Potencial de Uso Conservacionista, que apresentaram IC (índice de consistência) e RC (razão de consistência) adequados.

Equação PUC:

$$PUC = [(Declividade * 0,5) + (Solos * 0,39) + (Litologia * 0,11)]$$

Desta forma, após selecionada a bacia de estudo e as bases de dados a serem utilizadas, em ambiente SIG, procede-se a álgebra de mapas para obtenção do mapa do PUC (Figura 7).

Figura 7 - Esquema da álgebra de mapas e ponderação das variáveis contidas na equação acima, com exemplo para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana.



Fontes: Costa *et al.* (2017) e Oliveira (2020), modificado.

No [Anexo III](#) é apresentado o método PUC aplicado no ambiente SIG. É apresentada a atribuição de notas aos vetores convertidos em raster, a conversão de camadas vetoriais para o formato raster e a aplicação de álgebra de mapas do método PUC. A [Figura 8](#) apresenta o resultado para o PUC da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana. O relatório deve apresentar ainda a tabela de representatividade das Classes de PUC, retirando as águas continentais deste cálculo ([Tabela 5](#)).

Figura 8 - Mapa do Potencial de Uso Conservacionista para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana.

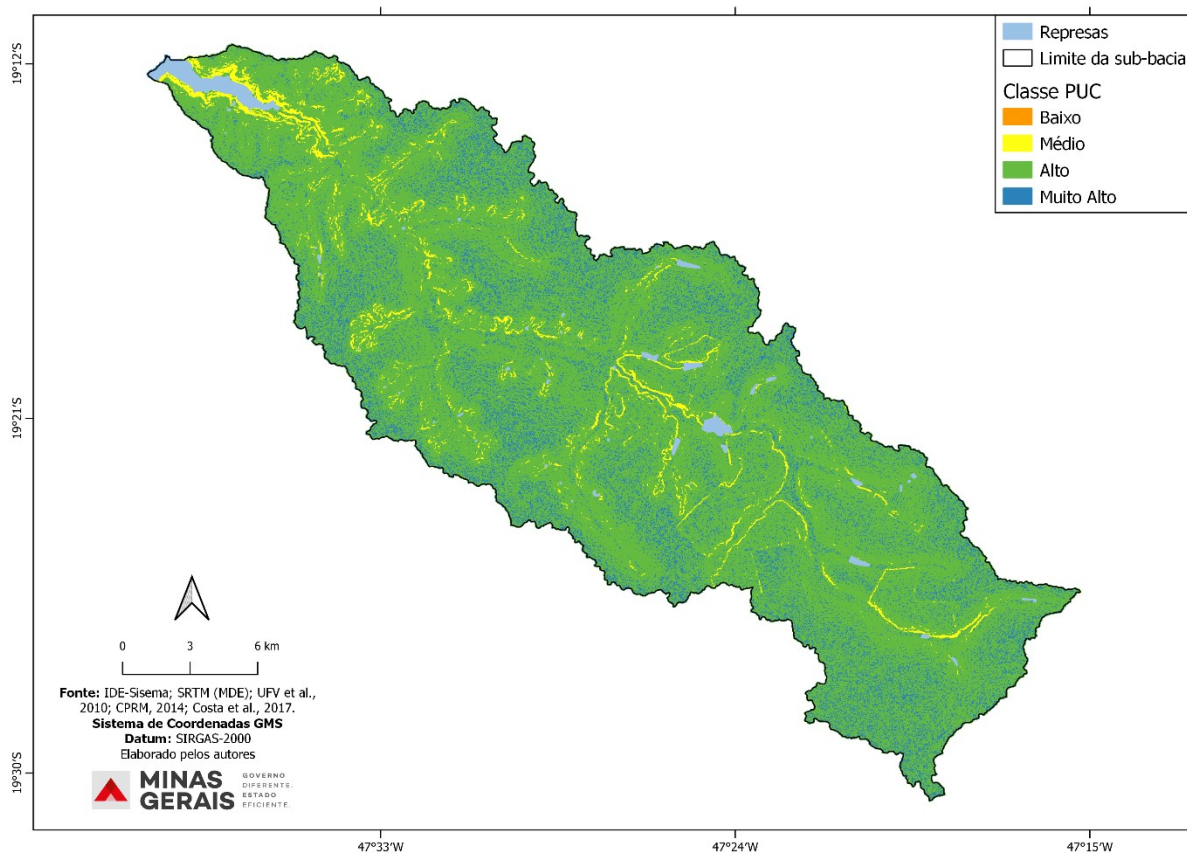


Tabela 5 - Resultado da representatividade das classes PUC para sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana

Classes PUC	Área (ha)	Representatividade (%)
Sem Classificação/Águas Continentais	576,87	1,1%
Baixo	0,38	0,001%
Médio	1.601,95	3,2%
Alto	40.167,42	79,7%
Muito Alto	8.031,83	15,9%

5.2. Tópicos de discussão e interesse do PUC ao relatório do ZAP

Os resultados do PUC para fins do ZAP devem, caso necessário, passar pelo processo de validação em campo, mitigando possíveis inconsistências, em especial referente às escalas das bases de dados utilizadas. No relatório devem constar os aspectos considerados para seleção dos pontos amostrais de validação, além de outras informações oportunas advindas das campanhas de campo. Como sugestão de pontos de amostragem, cita-se: áreas de solos exposto em PUC alto ou muito alto, culturas agrícolas em PUC muito baixo ou baixo, em especial quando houver a presença de pivô central, dentre outros pontos que carecem de maiores investigações.

A exposição dos resultados do método PUC deve ultrapassar uma simples apresentação numérica, e devem ser discutidos de forma qualitativa e quantitativa. Os resultados devem ainda ser relacionados com as variáveis do meio físico, destacando e discutindo como as diferentes classes de tais variáveis influenciam no potencial das sub-bacias estudadas, por exemplo, as áreas de PUC alto relacionam-se à presença dos Latossolos, que são solos profundos, bem desenvolvidos, bem drenados, com boa estrutura física, em área de relevo plano a suave ondulado.

Sugere-se que os resultados sejam lidos em uma perspectiva a considerar as informações da área de estudo, relatos prévios de problemas ambientais, dados socioeconômicos e demais informações que agreguem para as interpretações do PUC, bem como para o contexto geral do ZAP. Os resultados do PUC deverão também ser interpretados conjuntamente com as respostas advindas das outras etapas metodológicas do ZAP, caracterizando uma análise ambiental integrada. O cruzamento das informações do PUC com o uso da terra atual, gerando a matriz PUC é de fundamental importância para identificação de áreas na bacia que estejam sendo utilizadas acima ou abaixo do seu potencial agropecuário, subsidiando assim a elaboração de planos de adequação para a bacia em estudo.

Por fim, o presente capítulo evidencia a importância da metodologia PUC no contexto do ZAP, auxiliando no entendimento das limitações e potencialidades das bacias estudadas, indicando quais áreas têm maior ou menor aptidão para agricultura, para recarga hídrica e propensão a processos erosivos. Assim, a avaliação integrada das variáveis declividade, solo e litologia, através de notas estabelecidas com critérios técnicos-científicos, e ponderadas através dos pesos propostos, conferem ao método robustez científica, além de ser replicável e de fácil execução, sendo assim, adequada para o planejamento territorial, com ganhos sociais, ambientais e produtivos.

6. CÁLCULO DO ÍNDICE DE DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL

Para os fins a que se propõem o ZAP, o Índice de Demanda Hídrica Superficial (IDHS) de uma sub-bacia hidrográfica é calculado por meio da análise de oferta e de demanda de água superficial a montante e a jusante de cada trecho dos cursos d'água desta sub-bacia. Essa análise deve levar em consideração a demanda hídrica total a montante do trecho, a vazão de referência ($Q_{7,10}$) deste trecho, bem como considerar a disponibilidade de nível mais restritivo a jusante.

A etapa de cálculo do IDHS tem como objetivo principal indicar as áreas e cursos d'água que possuem maior demanda pelo uso das águas na sub-bacia hidrográfica em estudo. Diferencia-se do cálculo de disponibilidade hídrica para fins da concessão da Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, no qual é avaliado o balanço hídrico a montante e a jusante conforme Instrução de Serviço Sisema nº 02/2020, disponível no sítio eletrônico da Semad. Portanto, o índice calculado não deve ser equiparado à disponibilidade do instrumento de Outorga.

O IDHS é calculado considerando as captações superficiais de água existentes, por meio de Outorgas e/ou Cadastros de usos insignificantes concedidos e/ou autorizados pelo Igam, bem como as vazões $Q_{7,10}$ previamente indicadas nas bases de vazões regionalizadas, calculadas por ottotrecho de drenagem, e disponíveis na IDE-Sisema.

Os seguintes níveis de IDHS deverão ser utilizados na elaboração do estudo de ZAP:

- **Índice de nível 1 (baixo)** → demanda menor que 30% da $Q_{7,10}$ ($< 30\% Q_{7,10}$);
- **Índice de nível 2 (moderado/alto)** → demanda acima ou igual a 30% e inferior a 50% da $Q_{7,10}$ ($30 \geq Q_{7,10} < 50\%$);
- **Índice de nível 3 (alto/crítico)** → demanda acima ou igual a 50% e inferior a 100% da $Q_{7,10}$ ($50 \geq Q_{7,10} < 100\%$); e
- **Índice de nível 4 (crítico)** → demanda acima ou igual a 100% da $Q_{7,10}$ ($\geq 100\% Q_{7,10}$).

Tais níveis são aplicados à base de hidrografia, podendo ser ampliado às bacias ottocodificadas. A seguir, é apresentado o procedimento para cálculo do IDHS utilizando como exemplo prático a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana.

6.1. Levantamento dos usuários de água

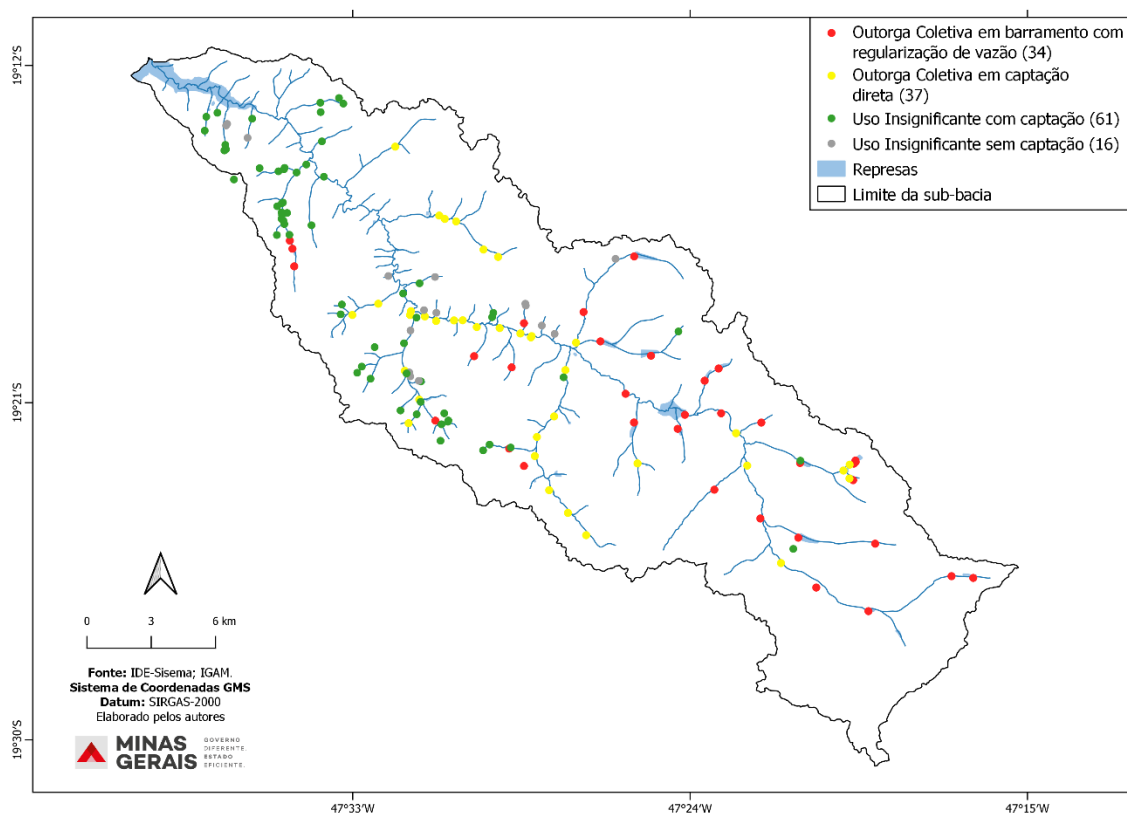
O levantamento dos usuários de água na sub-bacia hidrográfica em estudo deverá ser solicitado ao CGZAP, por meio do envio do formulário de inscrição para elaboração do estudo de ZAP para o e-mail zap@meioambiente.mg.gov.br.

Esse levantamento será realizado de acordo com os processos de Outorgas e Cadastros de usos insignificantes concedidos na sub-bacia hidrográfica em estudo. As seguintes informações serão repassadas de cada processo: número do processo; portaria; data de publicação; data de vencimento da portaria; *status* do processo; empreendedor; bacia; Circunscrição Hidrográfica - CH; curso d'água; tipo; finalidades; modo de uso; coordenadas geográficas; *datum*; vazão captada (m^3/s); e vazão de demanda (m^3/s).

O CGZAP disponibilizará tais informações em planilha Excel dentro do prazo aproximado de 30 (trinta) dias corridos.

No [Anexo IV](#) são apresentados os procedimentos necessários para o cálculo do IDHS no ambiente SIG. É apresentado o processamento dos dados dos usuários de água, como importar e organizar esses dados e como realizar o cálculo da demanda hídrica a montante e jusante de cada trecho, conforme explicações a seguir. A [Figura 9](#) abaixo apresenta os usuários de água superficial para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.

Figura 9 - Usuários de água superficial na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana



6.2. Índice de demanda hídrica superficial a montante

O índice de demanda hídrica superficial a montante em cada trecho será determinado pela seguinte expressão:

Equação IDHS:

$$\text{Índice de demanda hídrica superficial (\%)} = \left(\frac{QDemTotal}{Q_{7,10}} \right) \times 100$$

Em que:

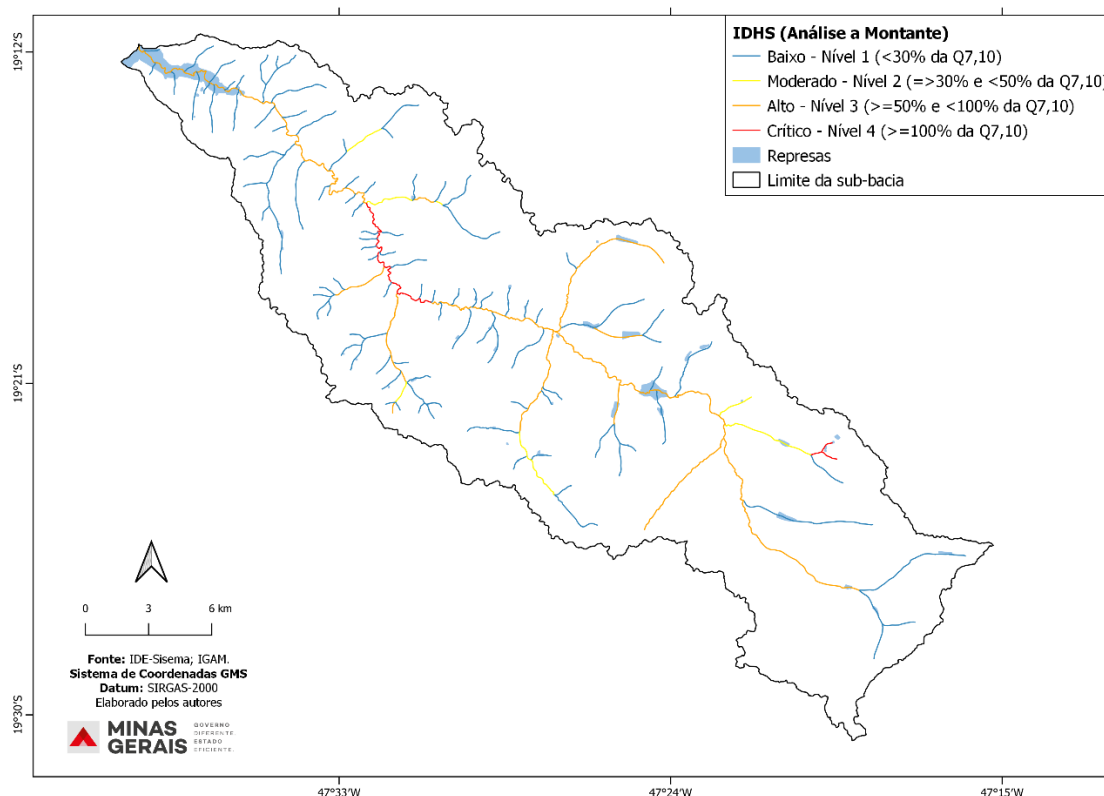
Índice de demanda hídrica superficial = Índice de demanda hídrica superficial referente do trecho (%).

QDemTotal = Demanda total será a demanda do trecho mais as demandas dos trechos a montante (m³/s).

Q_{7,10} = vazão de referência ou vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de recorrência (m³/s).

O resultado deste procedimento pode ser observado na [Figura 10](#).

Figura 10 - Classificação dos trechos conforme nível de índice de demanda hídrica superficial a montante

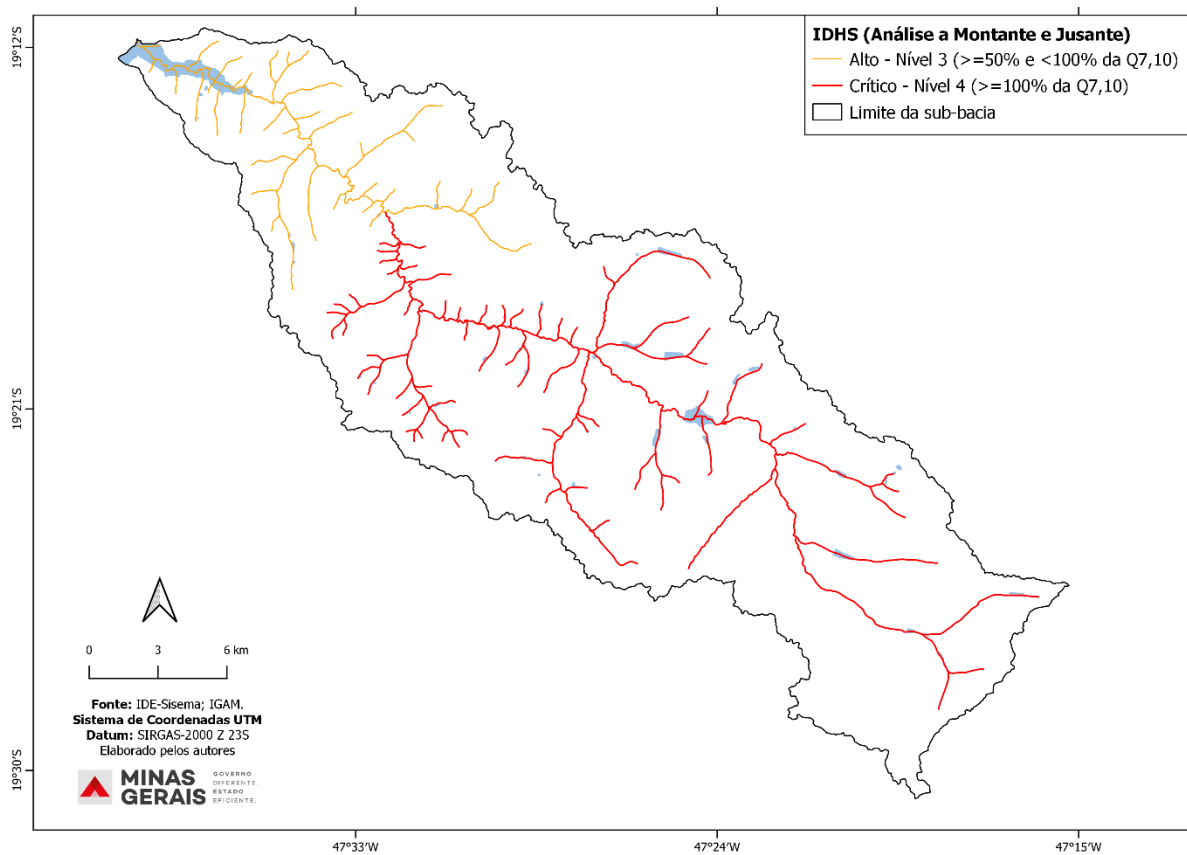


6.3. Índice de demanda hídrica superficial a montante e jusante

Para determinação dos índices de demanda hídrica superficial a jusante e montante de cada trecho, deverá ser considerado o nível mais restritivo encontrado em trecho a jusante no qual a água do trecho em análise flui. Um trecho de nível 1, que possui a jusante trechos de nível 2 e de nível 3, receberá a classificação de nível 3.

O resultado para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana pode ser observado na [Figura 11](#).

Figura 11 - Níveis de índice de demanda hídrica superficial na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana



7. LEVANTAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

De acordo com IBGE (2013), o levantamento do uso e ocupação da terra pode ser entendido como:

“[...] o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizada por meio de mapas. O levantamento da Cobertura e do Uso da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Envolve pesquisas de escritório e de campo, voltadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando sua classificação e espacialização por meio de cartas.” (IBGE, 2013, p. 35)

No Zoneamento Ambiental e Produtivo, o levantamento do uso e ocupação da terra permite identificar o atual cenário da ocupação da sub-bacia hidrográfica em estudo. Em combinação com os resultados das etapas de definição das unidades de paisagem e cálculo do índice de demanda hídrica superficial, é possível obter informações sobre os componentes socioambientais que caracterizam essa bacia. Tais informações são importantes na indicação das recomendações e diretrizes que visam aprimorar o planejamento e a gestão do território, levando em conta o uso sustentável dos recursos disponíveis.

É sabido que, na ausência de planejamento do uso e ocupação da terra, o risco de deterioração dos recursos naturais se eleva e ocorre a intensificação de processos erosivos, assoreamento, perda de quantidade e qualidade hídrica, entre outros efeitos adversos. Portanto, a classificação do uso e ocupação da terra é fundamental na metodologia do ZAP, assim como suas correlações com os resultados das outras etapas.

Atualmente, várias técnicas de classificação digital de imagens de satélite, de diferentes complexidades e abordagens, disponíveis através de algoritmos implementados em diversos softwares, automatizam o processo de extração de informações das imagens por meio de classificadores. Os resultados são imagens digitais que constituem mapas de agrupamento de pixels representando padrões homogêneos de categorias (mapa digital temático).

No âmbito do ZAP, a classificação do uso e ocupação da terra da área de estudo deverá ser realizada, prioritariamente, por meio de um dos seguintes métodos: 1) classificação automática supervisionada; ou 2) vetorização manual das feições identificadas na imagem. Cada método apresenta pontos positivos e negativos. A definição do melhor procedimento deve levar em consideração as características da área de trabalho, a possibilidade de realização de estudo de campo, a gama de feições a ser mapeada, dentre outros. É possível utilizar os dois procedimentos intercalados para construção de um mapa mais adequado.

O método de classificação automática supervisionada se baseia na aquisição de pontos amostrais na imagem representativos das feições identificadas, em que cada pixel será associado à respectiva classe de feição.

O método manual de vetorização das feições identificadas na imagem é indicado em situações em que há a possibilidade de ocorrência de dados levantados em trabalho de campo prévio, o que otimiza a veracidade das informações classificadas e torna a classificação mais precisa. Contudo, a utilização deste método para grandes extensões territoriais pode promover uma alta demanda de tempo e de recursos humanos para a sua realização.

Dessa forma, a utilização dos métodos de classificação automática se traduz em ganho de tempo e minimização de recursos humanos, enquanto a classificação manual possibilita um produto de maior precisão e qualidade. Nesse sentido, recomenda-se o uso dos dois métodos, visando garantir uma supervisão humana sob o método automático.

7.1. Avaliação de acurácia temática do mapeamento

As técnicas de classificação utilizadas no mapeamento de uso e ocupação, independente da complexidade da abordagem, sistematizaram o processo de extração de informações dos produtos de satélite, resultando em imagens digitais constituídas por agrupamento de pixels, os quais representam agora padrões homogêneos de categorias (mapa digital temático).

Porém, para sua efetiva utilização para o contexto desta metodologia, assim como qualquer outro produto de classificação digital de imagens de satélite, deve ser submetido a uma avaliação de acurácia como requisito básico no processo de elaboração e distribuição, além de comparação entre resultados. Isso porque a imagem classificada resultante sempre está sujeita não só a erros posicionais, oriundos da correção geométrica a imagem, mas também a erros temáticos² inerentes ao processo de classificação.

Essa questão é importante não só para o fornecimento de um guia da qualidade do mapa produzido e avaliação de sua adequação para as etapas subsequentes da Metodologia ZAP, mas também na compreensão do erro e suas possíveis implicações, sobretudo quando realizadas quantificações³.

O princípio subjacente à avaliação da acurácia é que ela compara a classificação de uso e cobertura da terra mapeada com dados de referência de maior qualidade, coletados por meio de uma abordagem baseada em amostras. Os resultados de concordância e não-

² Considera-se erro temático a categorização equivocada de determinado objeto à determinada classe.

³ As incertezas existentes no mapeamento se propagam para qualquer análise que o ligam a outros conjuntos de dados, por exemplo, em cálculos de somatório de área por classe de uso e cobertura da terra.

concordância devem ser apresentados através da matriz de erros (também chamada de matriz de confusão) para expressar a acuracidade da classificação, a partir da qual são calculadas as medidas de acurácia (acurácia geral, acurácia do produtor e acurácia do usuário).

A seguir são indicadas as etapas e os requisitos mínimos que devem ser observados no desenvolvimento da Metodologia ZAP quanto ao controle de qualidade do mapeamento de uso e cobertura da terra, incluindo valores de referência para sua aceitabilidade. Foram observadas as boas práticas para estimativa de área e avaliação de mapeamentos de mudança de uso e cobertura da terra elaboradas por Olofsson *et al* (2014).

7.1.1. Amostragem

Na primeira parte desta etapa deve ser realizado um planejamento amostral (número, distribuição e alocação das amostras entre classes) utilizando a abordagem de amostragem aleatória estratificada.

A obtenção do tamanho total da amostra, deve seguir a equação abaixo:

Equação OTTA:

$$n_i = \left(\frac{\sum W_i S_i}{S(\hat{O})} \right)^2$$

onde $S(\hat{O})$ é o erro padrão da acurácia global estimada que se vislumbra alcançar, W_i é a proporção de área da classe i dentro do mapa total de uso e ocupação da terra e S_i é o desvio padrão correspondente a essa classe i . Para $S(\hat{O})$ deve ser considerado o valor de 0,05, o qual representa uma distância aceitável entre a acurácia estimada e a real.

Esse método de estimativa do tamanho da amostragem requer para o cálculo de S_i de uma acurácia do usuário *a priori* (U_i) que caracteriza a classe ($S_i = \sqrt{U_i(1 - U_i)}$). Isso representa um obstáculo quando se trata de mapeamentos de uso e cobertura da terra, sobretudo de grandes dimensões territoriais, visto que cada mapeamento é praticamente único em diversos aspectos: abordagem de classificação (pixel-a-pixel ou orientada a objetos), parâmetros, resoluções espacial e espectral do instrumento sensor e data de imageamento.

Nesse quadro, é razoável considerar uma acurácia do usuário *a priori* de 0,5. Assim, para o cálculo do tamanho amostral segundo a Equação OTTA deve ser considerado um desvio padrão (S_i) de 0,5000 para cada classe do mapeamento.

Para distribuição do quantitativo de amostras por classe do mapa, deve ser adotada a divisão proporcional à representatividade de área para a classe, de forma que, por exemplo, uma classe que represente 20% da área do mapa deve possuir 20% do quantitativo de amostras.

A alocação das amostras dentro da abrangência territorial do mapeamento deve obedecer a essa proporcionalidade quantitativa, bem como utilizar métodos aleatórios de criação da rede de pontos, respeitando um distanciamento mínimo de 200 metros entre amostras.

A segunda parte desta etapa corresponde à identificação da classe de uso e cobertura da terra de referência para a rede de pontos amostrais. Trata-se de atribuir a classe real às amostras.

Para isso devem ser utilizados dados de referência de mais alta qualidade, obtidos através de dados coletados em campo, em imagens de satélite de alta resolução espacial e levantamentos aerofotogramétricos (por ARP ou aeronaves convencionais). As fontes de dados de referência devem ser capazes de fornecer informações suficientemente detalhadas, em termos de resolução espacial e temporal, para a correta rotulagem de cada ponto de referência. Para as imagens e os levantamentos aerofotogramétricos deve ser observada a qualidade dos produtos em termos de georreferenciamento e ortorretificação, de modo que seja garantido seu correto posicionamento.

7.1.2. Matriz de erro

A matriz de erro ([Tabela 6](#)) representa uma simples tabulação cruzada entre os dados reais de campo (amostras de referência) e os correspondentes resultados do mapeamento. Essa é a forma recomendada pelas boas práticas de controle de qualidade de mapas de uso e cobertura da terra mais utilizada de sistematização da avaliação de acurácia temática que apresenta, de forma simples e consistente, a precisão da classificação das características dos erros existentes.

Nesta etapa da avaliação de acurácia temática do mapeamento, a matriz de erro deve ser apresentada na forma de uma matriz quadrada, de dimensão $p \times p$, sendo o número de linhas e o número de colunas iguais ao número de classes consideradas no mapeamento, as linhas representadas as classes do mapa classificado e nas colunas as classes nas amostras de referência, conforme modelo abaixo.

Tabela 6 - Matriz de erro

	Amostras de referência				
	Classe 1	Classe 2	...	Classe n	Total

Mapeamento	Classe 1	p_{11}	p_{12}	...	p_{14}	$p_{1.}$
	Classe 2	p_{21}	p_{22}	...	p_{24}	$p_{2.}$

	Classe n	p_{41}	p_{42}	...	p_{44}	$p_{4.}$
	Total	$p_{.1}$	$p_{.2}$...	$p_{.4}$	1

Nas células devem ser registrados os quantitativos de pontos de interseção entre a classe atribuída à amostra de referência e a classe do mapeamento. Por exemplo, na célula p_{11} da matriz é registrada a quantidade de amostras de referência da classe 1 que se localizam em uma área identificada como classe 1 no mapeamento elaborado, enquanto na p_{41} a quantidade de amostras da classe 4 que localizam em uma área identificada como classe 1 no mapeamento.

A diagonal da matriz apresentará os pontos de dados corretamente classificados, enquanto as células fora da diagonal mostram erros de comissão e de omissão⁴.

7.1.3. Medidas de acurácia e valores de referência

As medidas de acurácia, derivadas da matriz de erros, devem incluir, pelo menos, a acurácia geral e aquelas que indicam acurácia específicas para as classes de uso e cobertura da terra: acurácia do produtor e acurácia do usuário.

A acurácia geral (O) é a proporção de amostras classificadas corretamente e, portanto, refere-se à probabilidade de uma localização selecionada aleatoriamente no mapa ser classificada corretamente. Deve ser calculada pela razão entre o número de amostras em que houve correta correspondência entre classes e o número total de amostras.

A acurácia do usuário (U_i), dada segundo classe do mapeamento, representa a probabilidade de que uma determinada classe no mapa corresponda a essa mesma classe no mundo real. Deve ser calculada pela razão entre o número de amostras em que houve correta correspondência para determinada classe i e o número total de amostras na linha da mesma

⁴ O erro de comissão, calculado para cada uma das classes de mapa, é a probabilidade de que a unidade espacial classificada em uma determinada categoria no mapa represente essa categoria nos dados de referência. Erro de omissão, calculado para cada uma das classes de mapa, é a probabilidade de que a unidade espacial classificada em uma determinada categoria nos dados de referência represente essa categoria nos dados do mapa.

classe i , ou seja, todas que tiveram interseção com essa mesma classe i no mapeamento, conforme a equação abaixo:

$$U_i = \frac{p_{11}}{p_{.1}}$$

A acurácia do produtor (P_j), também segundo classe, representa a probabilidade de determinada classe ter sido corretamente classificada de acordo com os pontos de referências. Deve ser calculada pela razão entre o número de amostras em que houve correta correspondência para determinada classe i e o número total de amostras na coluna da mesma classe i , conforme a equação abaixo:

$$P_i = \frac{p_{11}}{p_{.1}}$$

Para a conclusão sobre a aceitabilidade do mapeamento realizado, as medidas de acurácia calculadas devem ser observadas em conjunto, de forma a garantir que o nível de precisão geral da classificação seja compatível com o nível em todas as classes individuais. Entretanto não existe, na literatura, consenso de um limiar definido. Por outro lado, a prática indica que um valor global e individuais superior de 0,85 pode representar um nível de acurácia adequado para o propósito desta Metodologia ZAP, de forma que se sugere como referência de aceitabilidade da qualidade do mapeamento.

Em caso de identificadas classes de indicadores inferiores a esse limite, deve-se retornar ao processo de classificação e refazer a avaliação de acurácia utilizando o mesmo conjunto de amostras sem alteração de localização.

O coeficiente de Kappa, embora uma medida também muito usual, apresenta diversos problemas relatados por Pontius Junior e Millones (2011), de forma que, por esse motivo, sua utilização não é recomendada pelas melhores práticas indicadas por Olofsson *et al.* (2014) e não será utilizado para avaliação de acurácia para a Metodologia ZAP.

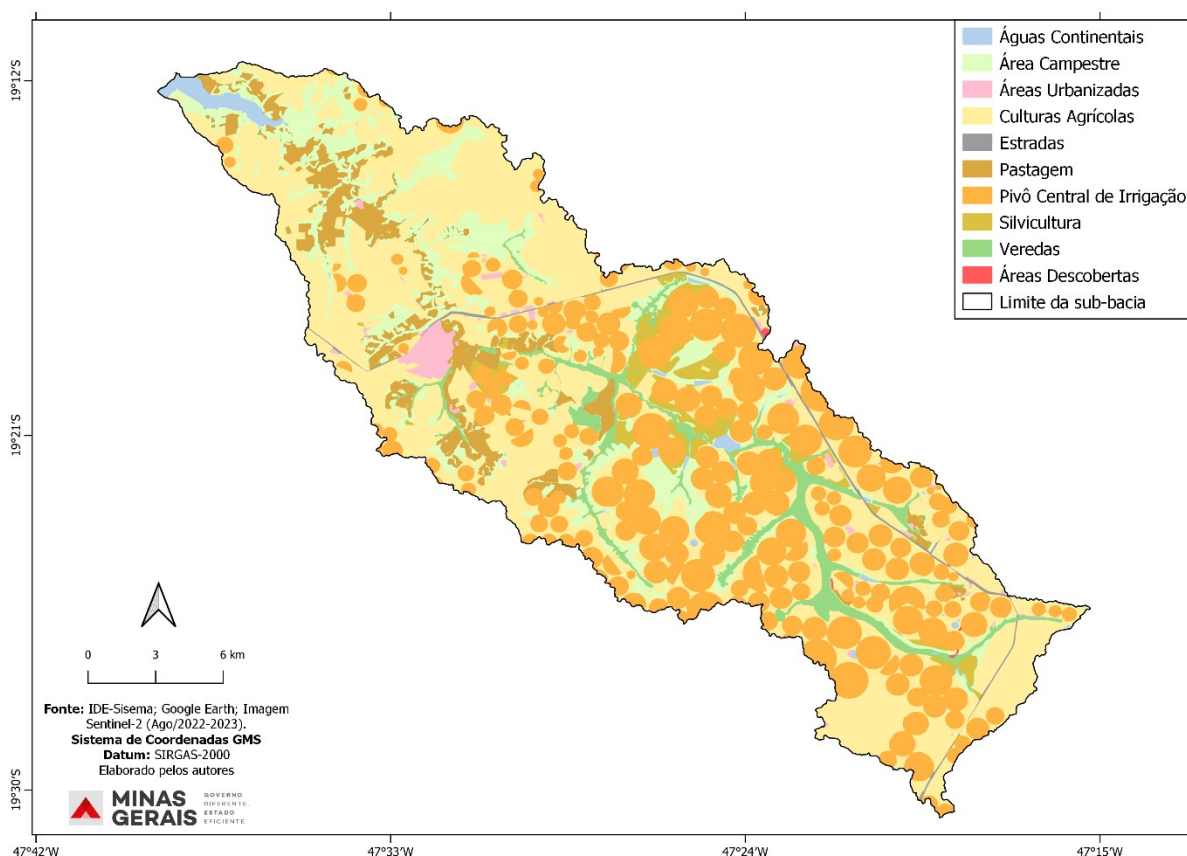
7.2. Trabalho de Campo e elaboração do mapa de uso e ocupação da terra

Após o processo de vetorização da imagem tratada deve ser realizada a conferência em campo do mapeamento realizado, assim como é feito para as etapas de caracterização das Unidades de Paisagem ([Capítulo 4](#)) e do método potencial de uso conservacionista ([Capítulo 5](#)). Nesse contexto, reforça-se a premissa da realização de um trabalho de campo conjunto para checagem das unidades de paisagem e das feições do uso e ocupação da terra preliminarmente identificadas na bacia.

O trabalho de campo nesta etapa também visa à elucidação de dúvidas e complementação do mapeamento. O modelo de Ficha Técnica de Observações em Campo, presente no [Anexo VII](#) do presente documento, também deverá ser utilizado para os pontos de conferência das classes do uso e ocupação da terra.

Posteriormente à verificação e validação das feições em campo, são feitos os ajustes no mapa preliminar e a confecção do Mapa de uso e ocupação da terra, que para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana está representado na [Figura 12](#). No [Anexo V](#) é apresentado os métodos, de forma resumida, para o levantamento do uso e ocupação da terra no ambiente SIG, incluindo: obtenção das imagens de satélite, vetorização manual e vetorização automática. Já o [Anexo VI](#) apresenta as padronizações a serem seguidas para este produto.

Figura 12 - Mapa de uso e ocupação da terra da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana



Para complementar o mapeamento, a [Tabela 7](#) apresenta a área e representatividade de cada classe de uso da terra na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana. Para cálculo da área deve ser utilizada a ferramenta calculadora de campo encontrada na tabela de atributos, utilizando a seguinte fórmula: $\$area/10000$ (para valor em ha).

Tabela 7 - Síntese dos dados de uso e ocupação da terra

Classe	Subclasse	Detalhamento	Área (ha) Nível III	(%)
Água	Águas Continentais	Piscinão	57,13	0,1%
		Represa	577,58	1,1%
Área de Vegetação Natural	Áreas Campestres		6.956,79	13,8%
	Veredas		2.000,07	4,0%
Áreas Antrópicas Agrícolas	Culturas Agrícolas		19.157,73	38,0%
	Pastagem		3.278,45	6,5%
	Pivô Central de Irrigação		16.060,40	31,9%
	Silvicultura		1.213,90	2,4%
Áreas Antrópicas Não Agrícolas	Áreas Urbanizadas	Cidades	374,13	0,7%
		Estruturas Diversas	287,82	0,6%
Outras Áreas	Áreas Descobertas	Solo Exposto	27,25	0,1%
	Estradas	Grandes Estradas e Rodovias	390,21	0,8%

7.3. Identificação das Áreas de Preservação Permanente (APPs)

Por fim, deve-se elaborar o mapeamento das áreas de preservação permanente hídricas, associadas aos cursos e corpos d'água, nascentes e veredas e das APPs de altitude e declividade. Para as APPs hídricas, aplica-se a ferramenta "Buffer"⁵ do QGIS, utilizando valores de raio de acordo com a legislação vigente. É importante verificar se o curso d'água onde a sub-bacia hidrográfica deságua possui APP em seus limites, devendo estes também serem incluídos no cálculo de APP. Para as APPs de altitude e de declividade é necessária a identificação através de um MDE⁶. No exemplo da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana ([Figura 13](#)) o levantamento foi feito conforme padrão da [Tabela 8](#).

Tabela 8 - Identificação das Áreas de Preservação Permanente.

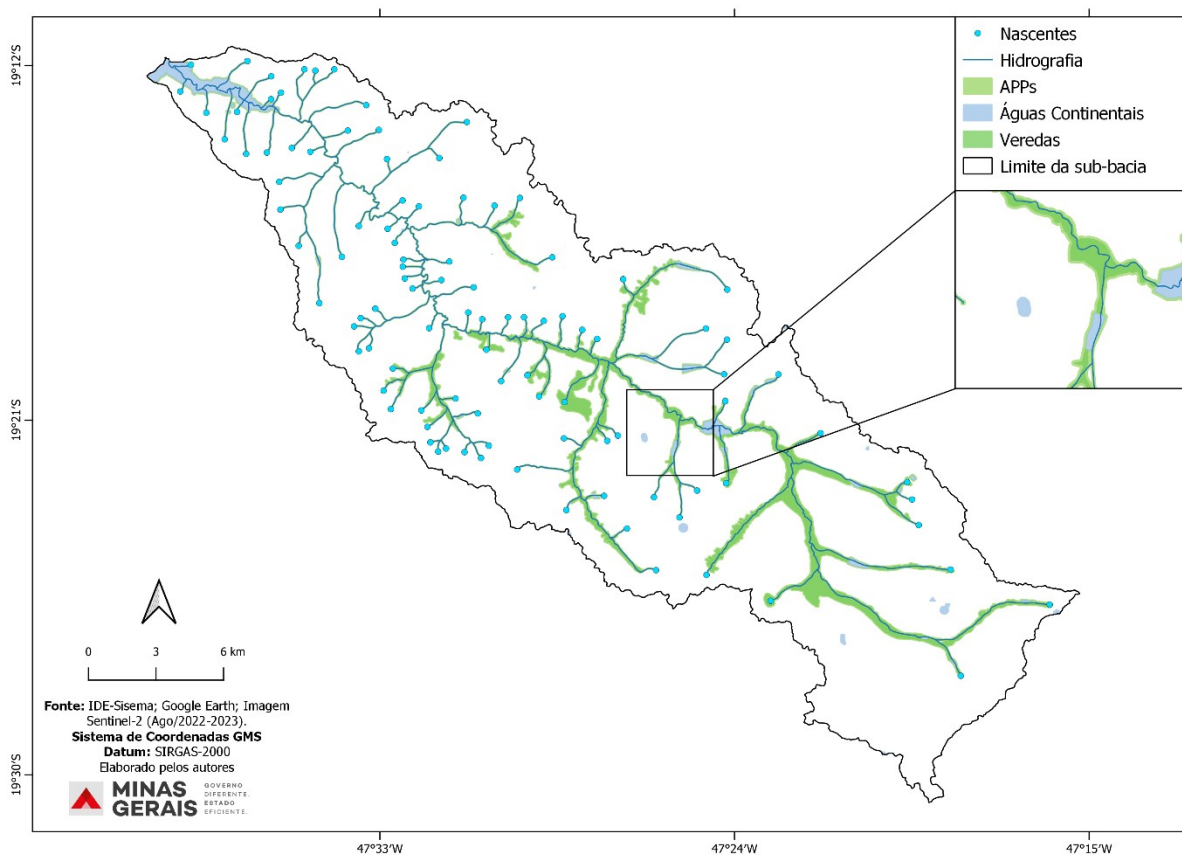
Tipo	Legislação (Lei Estadual nº 20.922/2013)	Tamanho APP (raio buffer aplicado)
Cursos d'água (menos de 10 m)	"As faixas marginais de cursos d'água naturais perenes e intermitentes, excluídos os efêmeros, medidas a partir da borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 m para os	30 m

⁵ Aos cursos e corpos d'água, nascentes e, caso haja na sub-bacia, veredas.

⁶ Os tutoriais disponibilizados no sítio eletrônico do ZAP apresentam o passo-a-passo destes procedimentos.

	<p>“cursos d’água de menos de 10 m de largura.” <i>Alínea a, Inciso I do Art. 9º.</i></p>	
Nascentes	<p>“As áreas no entorno das nascentes e dos olhos d’água perenes, no raio mínimo de 50 m.” <i>Inciso IV do Art. 9º.</i></p>	50 m
Veredas	<p>“Em veredas, a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de 50 m, a partir do término da área de solo hidromórfico.” <i>Inciso IX do Art. 9º.</i></p>	50 m (a área da vereda também computa-se como APP)
Reservatórios de água artificiais	<p>“As áreas no entorno dos reservatórios d’água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d’água naturais, na faixa de proteção definida na licença ambiental do empreendimento.” <i>Inciso III do Art. 9º.</i></p> <p>“No entorno dos reservatórios artificiais, situados em áreas rurais com até 20 ha de superfície, a APP terá, no mínimo, 15 m, medidos a partir da cota máxima de operação, observada a faixa máxima de 50 m.” <i>§ 3º do Art. 9º.</i></p> <p>“Nas acumulações naturais ou artificiais de água com superfície inferior a 1ha (um hectare), fica dispensada a reserva da faixa de proteção prevista nos incisos II e III do caput, vedada nova supressão de áreas de vegetação nativa, salvo autorização pelo órgão ambiental competente integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente – Sisnama.” <i>§ 5º do Art. 9º.</i></p>	<p>Não tendo o valor definido na licença ambiental para cada represa foi adotado o mais restritivo: 50 m</p>
Reservatórios de água artificiais (geração de energia)	<p>“...conforme estabelecido no licenciamento ambiental, observando-se a faixa mínima de 30 m e máxima de 100 m em área rural, e a faixa mínima de 15 m e máxima de 30 m em área urbana.” <i>Art. 22º.</i></p>	<p>Usina Nova Ponte, valor definido na licença ambiental: 100 m</p>
Altitude	<p>“As áreas em altitude superior a 1.800m (mil e oitocentos metros).” <i>Inciso VIII do Art. 9º.</i></p>	<p>Valores acima de 1.800m através das curvas de nível.</p>
Declividade	<p>“As encostas ou partes destas com declividade superior a 45° (quarenta e cinco graus), equivalente a 100% (cem por cento), na linha de maior declive.” <i>Inciso V do Art. 9º.</i></p>	<p>Valores de declividade acima de 45°, extraídos a partir do MDE.</p>

Figura 13 - Mapa das APPs da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana



Após mapeamento das APPs da bacia, realiza-se o cálculo da área total ocupada pelas mesmas, na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana foi encontrado um valor de 4.340,5 há (Tabela 9).

Tabela 9 - Área por tipo de APP na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.

Tipo de APP	Área (ha)	Representatividade (%)
Hidrografia, Veredas e Nascentes	4,3	0,1%
Represas, Hidrografia e Nascentes	0,2	0,0%
Represas e Nascentes	0,1	0,0%
Hidrografia e Nascentes	38,1	0,9%
Veredas e Nascentes	3,4	0,1%
Represas, Hidrografias e Veredas	9,4	0,2%
Represas e Veredas	31,0	0,7%
Hidrografia e Veredas	653,1	15,0%
Represas e Hidrografia	20,2	0,5%
Represas	173,3	4,0%
Hidrografia	769,3	17,7%
Veredas	2605,8	60,0%
Nascentes	32,3	0,7%

Ressalta-se que as demais áreas de APP especificadas pela Lei Estadual nº 20.922/2013 (como topo de morro, por exemplo) não foram aqui mapeadas porque as metodologias para detectá-las são mais complexas, basicamente envolvendo o levantamento de cada área em

campo. Assim, o mais indicado seria a vetorização manual, não havendo ainda um método automático por meio de *softwares*. De toda forma, o levantamento das áreas legalmente protegidas de toda a bacia é de extrema importância para a proposição de programas de adequação ambiental, e nesse sentido, recomenda-se, sempre que possível, mapeá-las de forma integral.

8. RESULTADOS FINAIS DO ZAP

Este capítulo apresenta a potencialidade da correlação dos produtos elaborados pelo ZAP. Diversas correlações e mapeamentos podem ser obtidos, de acordo com as necessidades e usos previstos para o ZAP. Serão aqui apresentados os resultados obrigatórios para todos os estudos submetidos ao Comitê Gestor.

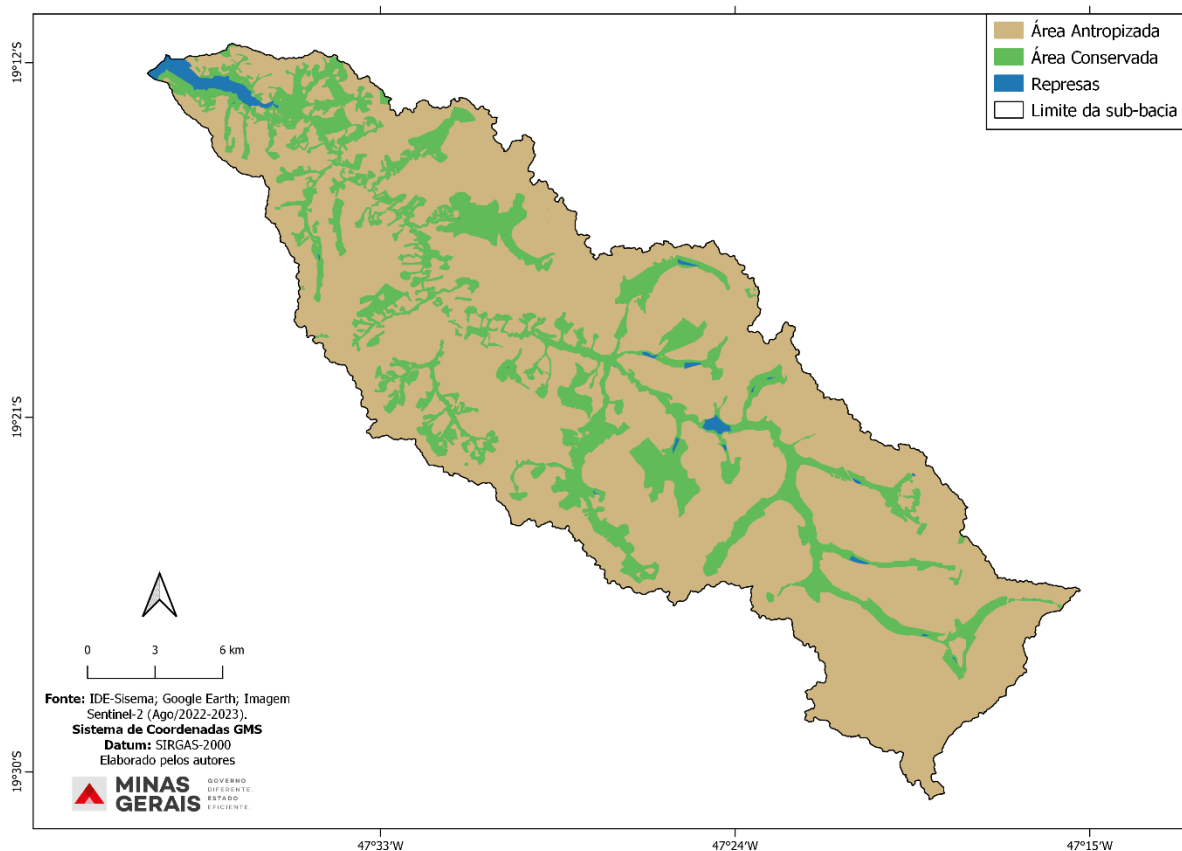
Ressalta-se que os resultados não indicam as ações necessárias para a adequação da bacia hidrográfica em estudo, mas podem subsidiar essa proposição.

Sempre que possível, os resultados devem ser apresentados no formato de mapas, tabelas e índices. Todos dados e informações passíveis de serem geoespacializados deverão constar na base de dados em SIG ([Seção 10.2](#)).

8.1. Mapeamento e cálculo das áreas conservadas e antropizadas

A [Figura 14](#) apresenta o mapeamento das áreas conservadas e antropizadas na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana. Foram consideradas como área conservada as feições “Áreas Campestres” e “Veredas”, e como antropizada as demais (exceto Águas Continentais). Assim, por meio do QGIS criou-se uma cópia do *shapefile* de Uso e Ocupação da terra e identificou-se as áreas em uma nova coluna, chamada “*area_tipo*”, onde se inseriu “*con*” para áreas Conservadas, “*ant*” para Antropizadas e “*rep*” para as Represas.

Figura 14 - Mapa das Áreas Conservadas e Antropizadas do Ribeirão Santa Juliana



Com os dados da [Tabela 10](#) pôde-se elaborar o “Índice de conservação da bacia”, baseado na Equação ICB. Esse índice pode variar de 0 a 100, sendo que quanto maior o valor, maior o percentual de vegetação na bacia. Contudo, o “Índice de conservação da bacia” não deve ser analisado de forma independente, pois, tão importante quanto à quantidade é a localização dos fragmentos de vegetação.

Tabela 10 - Tamanho das áreas conservadas e antropizadas

Tipo de Área	Área (ha)	Representatividade (%)
Espelho D'água	577,578	1,15%
Conservada	8.956,86	17,78%
Antropizada	40.847,00	81,08%

Equação ICB:

$$I \text{ conservação da sub - bacia} = \left(\frac{A_{\text{conservada}}}{A_{\text{bacia}}} \right) .100$$

Em que:

A conservada = Área conservada com vegetação (ha).

Abacia = Área total da bacia (ha).

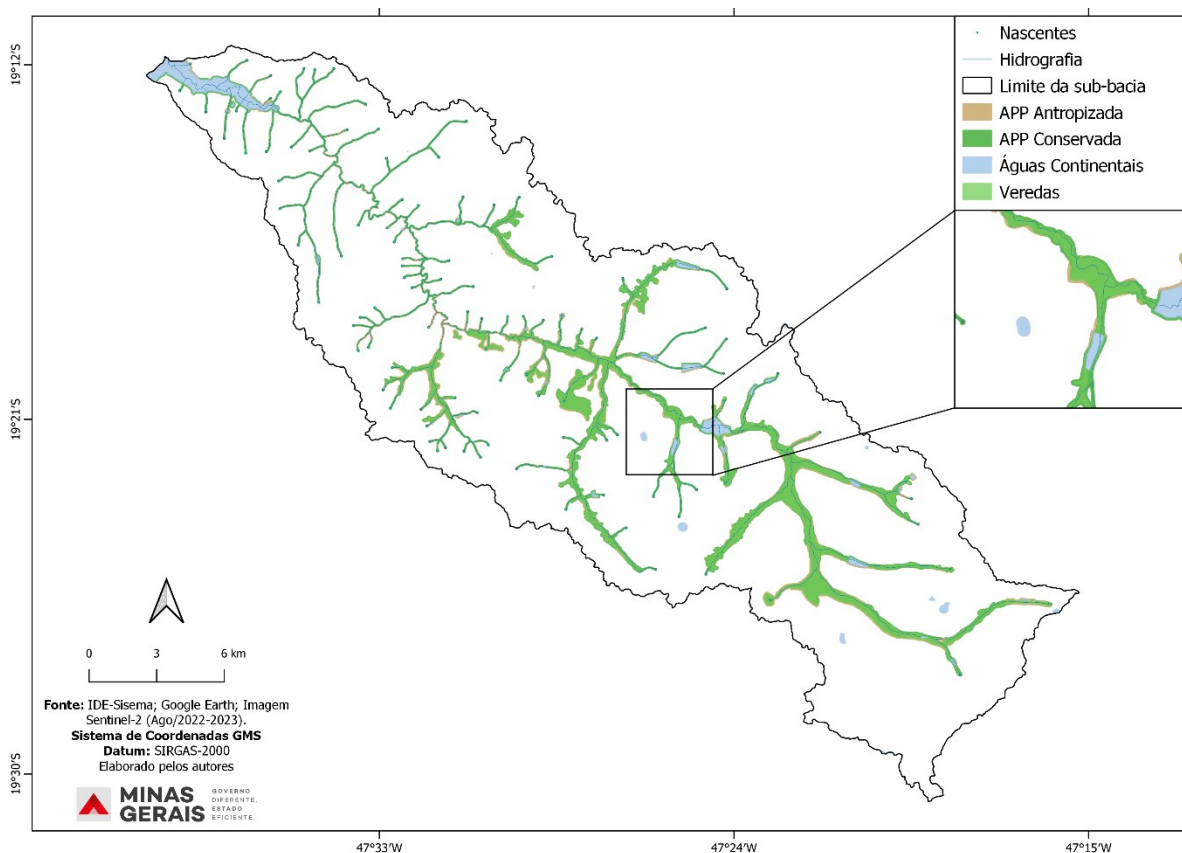
Cálculo para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana:

$$I \text{ conservação da sub - bacia} = \left(\frac{8.956,86}{50.381,43} \right) .100 = 17,8\%$$

8.2. Mapeamento e cálculo das áreas das APPs conservadas e antropizadas

O mapeamento das APPs na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana, destacando as áreas conservadas e antropizadas, pode ser visualizado na [Figura 15](#). Foram consideradas como áreas de APPs conservadas aquelas que continham as feições Área Campestre e Veredas, e como antropizada as que continham as demais classes do uso da terra, com exceção de Águas Continentais. Para realização desse mapeamento, foi feita uma interseção entre as APPs e as feições de Uso e Ocupação da terra (Localizada no QGIS em: Vetor – ferramentas de geoprocessamento – Interseção). De igual modo ao item anterior, as feições resultantes foram classificadas através de uma nova coluna, chamada “*area_tipo*”, onde se inseriu “*con*” para áreas Conservadas, “*ant*” para Antropizadas e “*rep*” para as Represas.

Figura 15 - Mapa do estado de conservação das Áreas de Preservação Permanente



A [Tabela 11](#) apresenta os valores de área das porções conservadas e antropizadas das APPs da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.

Tabela 11 - Tamanho das Áreas de Preservação Permanente conservadas e antropizadas

Tipo de APP	Área (ha)	Representatividade (%)
Conservada	3.633,49	83,70%
Antropizada	707,552	16,30%

O “Índice de antropização das APPs” foi calculado de acordo com a Equação IAPP. Esse índice também pode variar de 0 a 100, sendo que quanto maior o valor, menor o percentual de vegetação nas APPs, o que o torna um indicativo da taxa de recuperação dessas áreas.

Equação IAPP:

$$I \text{ antropização das APPs} = \left(\frac{APP \text{ antropizada}}{APP \text{ total}} \right) .100$$

Em que:

AAPP antropizada = Porção das APPs sem vegetação (ha).

AAPP total = Área total das APPs (ha).

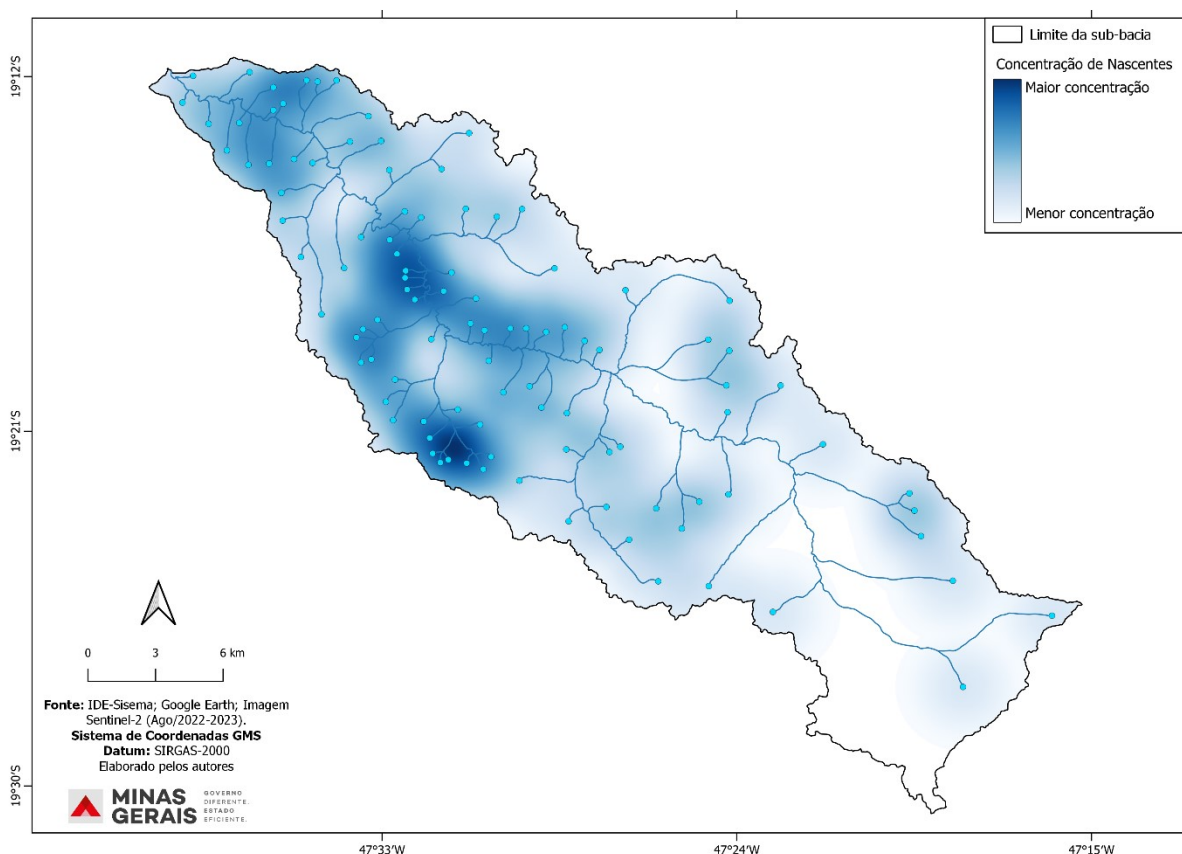
Cálculo para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana:

$$I \text{ antropização das APPs} = \left(\frac{707,6}{4.341} \right) .100 = 16,3\%$$

8.3. Cálculo da concentração de nascentes

A concentração de nascentes (Figura 16) é uma importante variável para priorização de alocação de recursos para a adequação ambiental de bacias hidrográficas. O “Índice de concentração de nascentes” avalia a quantidade de nascentes pontuais que existem em uma determinada área. Considerou-se que cada nascente identificada ocupa uma área de 0,78 ha, correspondendo ao círculo formado por um raio de 50 m. Esse índice também apresenta variação entre 0 e 100, sendo que quanto maior o valor, maior a quantidade de nascentes por hectare na bacia.

Figura 16 - Mapa de concentração de nascentes do Ribeirão Santa Juliana



Para determinação do “Índice de concentração de nascentes”, utilizou-se a Equação CN.

Equação CN:

$$I \text{ concentração de nascentes} = \left(\frac{N^{\circ}nas . 0,78}{Abacia} \right) .100$$

Em que:

$N^{\circ} \text{ nas}$ = Número de nascentes existentes na bacia.

$Abacia$ = Área total da bacia (ha).

Cálculo para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana:

$$I \text{ concentração de nascentes} = \left(\frac{103 \cdot 0,78}{50.378,43} \right) \cdot 100 = 0,16$$

8.4. Matriz de Potencial do Uso Conservacionista (Matriz PUC)

Após o processamento para a obtenção das classes de PUC, uma importante análise subsequente pode ser realizada, integrando tais resultados com o diagnóstico do uso e ocupação da terra, com a finalidade de averiguar qual é a adequação da configuração e quais os conflitos destes em áreas de maior ou menor potencial para atividades agropecuárias, para a recarga hídrica e resistência à erosão. Tal análise gera uma matriz, denominada Matriz PUC (Costa *et al.*, 2019), que permite, de forma quantitativa, avaliar e comparar diferentes áreas, ou ainda, a evolução do planejamento de ações que visem a adequação de bacias hidrográficas, através da sua elaboração em dois momentos distintos. O método pode ser visualizado no **Anexo III** deste documento.

8.4.1. Conflito entre PUC e Uso e Ocupação da Terra

O mapeamento das áreas de incompatibilidade entre o uso da terra atual e aqueles indicados pelas classes de PUC é fundamental para o levantamento das áreas degradadas ou propensas à degradação ambiental na sub-bacia. Como visto no item de Método PUC ([Capítulo 5](#)), cada classe apresenta um potencial de uso conservacionista que são inerentes ao seu tipo de solo, litotipo e declividade. Nesse sentido, o uso e ocupação da terra ([Capítulo 7](#)) deve ser compatível com as classes de PUC em que se encontra, respeitando, assim, as limitações naturais da área e evitando a degradação dela. No entanto, essa proposição não deve ser categórica, pois, atualmente, com as práticas de manejo e conservação do solo é possível o desenvolvimento de atividades em áreas não indicadas.

O arquivo gerado de matriz PUC deve ser corrigido através da ferramenta “Corrigir Geometrias” e salvo na pasta de resultados com o nome de “05_Bacia_conflito_puc_uso_pol”. Como forma de organização, o shapefile deve possuir em sua tabela de atributos: *puc*, *uso1*, *uso2*, *uso3*, *compatibil*, *area_ha* onde o atributo de compatibilidade deve ser identificado com “sim” para compatível, “nao” para incompatível, “dep” para Depende de Manejo e “na” para Não Aplicável. A análise será feita seguindo a [Tabela 12](#).

Tabela 12 – Compatibilidades entre Classes PUC e Uso e Ocupação da terra

Uso e Ocupação (Nível II)	PUC - Compatibilidade				
	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Áreas Urbanizadas	Não se aplica				
Áreas de Mineração	Não se aplica				
Culturas Agrícolas	Incompatível	Incompatível	Depende de Controle e Manejo	Compatível	Compatível
Pastagens	Incompatível	Incompatível	Depende de Controle e Manejo	Compatível	Compatível
Silvicultura	Incompatível	Depende de Controle e Manejo		Compatível	Compatível
Pivô Central de Irrigação	Incompatível	Incompatível	Depende de Controle e Manejo	Compatível	Compatível
Áreas Florestais	Compatível				
Áreas Campestres	Compatível				
Veredas	Compatível				
Águas Continentais	Não se aplica				
Áreas Descobertas	Incompatível				
Estradas	Depende de Controle e Manejo			Compatível	Compatível
Afloramentos Rochosos	Não se aplica				

Como exemplo, para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana, gerou-se como resultado a [Tabela 13](#) e [Figura 17](#). A partir destas informações, o resultado pode ser apresentado em formato de discussão no relatório. Sugere-se que haja interação com a comunidade da bacia hidrográfica para melhores encaminhamentos neste produto levando em conta o exposto no Capítulo (Tópicos de discussão e interesse do PUC ao relatório do ZAP).

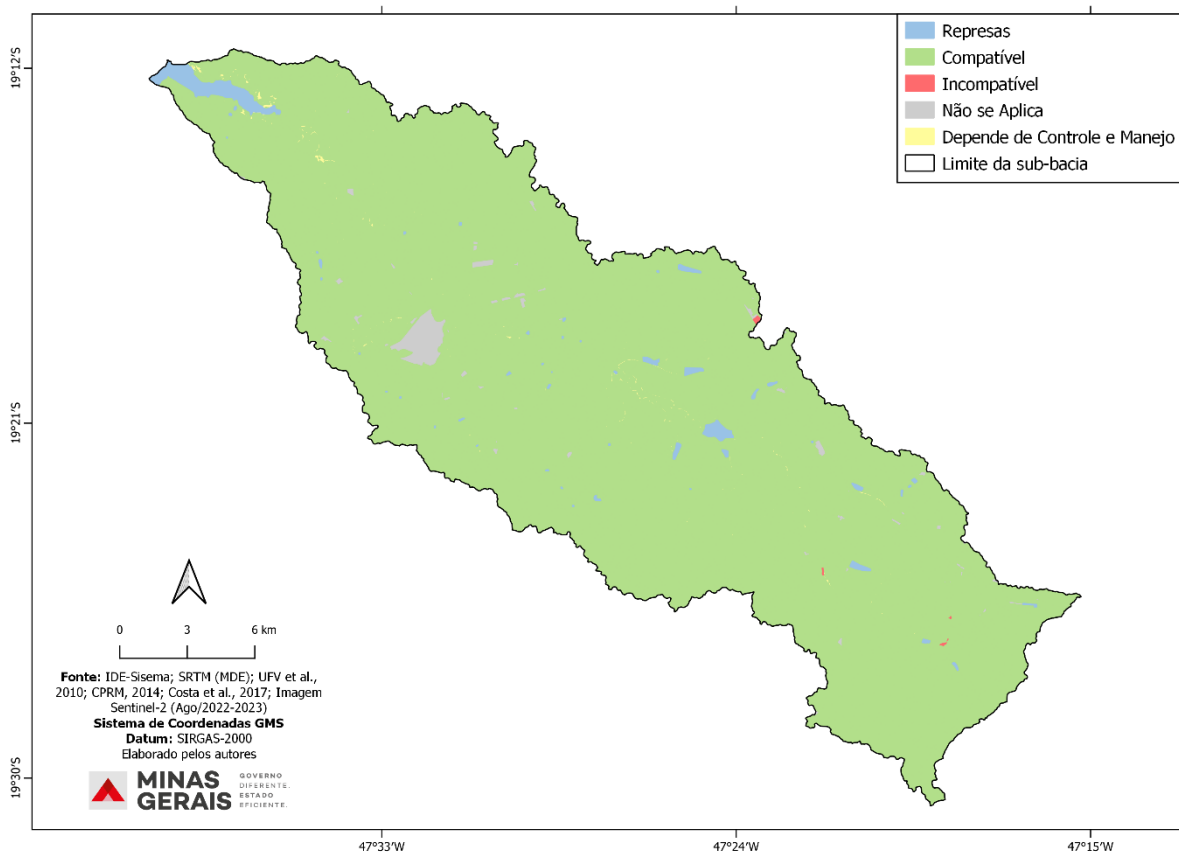
Tabela 13 – Compatibilidade entre classes PUC e Uso e ocupação da terra (Nível II) para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana

Nível II - Subclasse	Classe PUC	Compatibilidade	Área (ha)	Representatividade (%)
Águas Continentais	-	-	577,58	1,15%

	Médio	Depende de Controle e Manejo	0,48	0,001%
	Alto	Compatível	45,32	0,09%
	Muito Alto	Compatível	11,33	0,02%
Áreas Campestres	Médio	Compatível	2,93	0,01%
	Alto	Compatível	30,36	0,06%
	Muito Alto	Compatível	4,42	0,01%
	Baixo	Compatível	0,01	0,00002%
	Médio	Compatível	797,90	1,58%
	Alto	Compatível	5.641,41	11,20%
	Muito Alto	Compatível	331,33	0,66%
	Médio	Compatível	73,10	0,15%
	Alto	Compatível	63,04	0,13%
	Muito Alto	Compatível	7,59	0,02%
Veredas	Médio	Compatível	38,32	0,08%
	Alto	Compatível	1.661,63	3,30%
	Muito Alto	Compatível	299,42	0,59%
Culturas Agrícolas	Baixo	Incompatível	0,14	0,00%
	Médio	Depende de Controle e Manejo	220,31	0,44%
	Alto	Compatível	15.269,94	30,31%
	Muito Alto	Compatível	3.666,53	7,28%
Pastagem	Médio	Depende de Controle e Manejo	292,30	0,58%
	Alto	Compatível	2.830,71	5,62%
	Muito Alto	Compatível	154,75	0,31%
Pivô Central de Irrigação	Médio	Depende de Controle e Manejo	54,99	0,11%
	Alto	Compatível	12.700,85	25,21%
	Muito Alto	Compatível	3.304,49	6,56%
Silvicultura	Baixo	Depende de Controle e Manejo	0,22	0,0004%
	Médio	Depende de Controle e Manejo	111,17	0,22%
	Alto	Compatível	1.027,23	2,04%

	Muito Alto	Compatível	75,15	0,15%
Áreas Urbanizadas	Médio	Não se aplica	1,64	0,003%
	Alto	Não se aplica	322,74	0,64%
	Muito Alto	Não se aplica	49,76	0,10%
	Médio	Não se aplica	1,51	0,003%
	Alto	Não se aplica	233,72	0,46%
	Muito Alto	Não se aplica	52,57	0,10%
	Áreas Descobertas	Médio	Incompatível	2,71
Alto		Incompatível	19,57	0,04%
Muito Alto		Incompatível	4,97	0,01%
Estradas	Médio	Depende de Controle e Manejo	2,62	0,01%
	Alto	Compatível	317,84	0,63%
	Muito Alto	Compatível	69,70	0,14%

Figura 17 - Mapa de Conflito entre Classes PUC e Uso e Ocupação da terra para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana



A **Tabela 14** resume a tabela 12 apresentando a representatividade dos usos por compatibilidade.

Tabela 14 - Áreas de uso conflitante resumidas por compatibilidade

Conflito	Área (ha)	Representatividade (%)
Compatível	48.425,32	97,25%
Incompatível	27,39	0,05%
Depende de Controle e Manejo	682,09	1,37%
Não se aplica	661,931	1,33%

A partir dos dados da tabela é possível calcular o “Índice de uso conflitante da sub-bacia”, baseado na **Equação UCB**. Esse índice também apresenta variação de 0 a 100, sendo que quanto maior o valor, maior a taxa de conflito entre o uso da terra atual e as classes PUC na sub-bacia.

Equação UCB:

$$I \text{ Uso conflitante da sub - bacia} = \left(\frac{A \text{ uso conflitante}}{A \text{ bacia}} \right) .100$$

Em que:

A uso conflitante = Área total de uso da terra incompatível às classes de PUC conforme tabela 14 (ha).

Abacia = Área total da bacia (ha).

Cálculo para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana:

$$I \text{ Uso conflitante da sub - bacia} = \left(\frac{27,39}{50.378} \right) .100 = 0,1\%$$

Importante frisar que os resultados de compatibilidade aqui apresentados não levam em conta as legislações ambientais de APPs vigentes, sendo considerado como mera forma de consulta às informações diretas dos cruzamentos destes produtos, ou seja, nenhuma APP é analisada em relação ao seu uso neste resultado. Cada sub-bacia hidrográfica possui suas especificidades e as informações expostas na tabela 13 podem ser alteradas com justificativas registradas em relatório do ZAP.

8.5. Definição do nível de degradação de pastagens

Esta etapa do ZAP tem como objetivo identificar os níveis de degradação da pastagem de acordo com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI, do inglês, *Normalized Difference Vegetation Index*). De forma simplificada, o NDVI é capaz de identificar o estágio de crescimento vegetal através de imagens de satélite, além também de ser útil na caracterização de áreas não vegetadas, como solo exposto, mineração, área urbana, entre outras (ROCHA *et al.*, 2019). É também utilizado e estudado na identificação de nível de degradação das pastagens em diversos artigos (DAL COLLETTO *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2013).

Os procedimentos a serem aplicados são:

- Extração das Pastagens em um *shape* único;
- Aplicação de um *buffer* de 10 metros no *shape* de Pastagens;
- Reclassificação do *raster* "*NDVImediana.tif*" segundo a tabela de níveis de degradação;
- Recorte do *raster* reclassificado em sobreposição ao *shape* de Pastagens com *buffer*;
- Conversão do *raster* reclassificado e recortado em vetor;
- Recorte do vetor utilizando o *shape* original de Pastagens (sem *buffer*);
- Organização da tabela em relação aos dados mínimos da [Tabela 16](#);
- Apresentação do resultado em tabela com informação de área, por nível de degradação e mapa.

Para iniciar o processo, se faz necessário o uso da imagem "*NDVImediana.tif*" gerada automaticamente e extraída a partir do procedimento mencionado no [Anexo V](#). Com a imagem aberta no SIG, deve-se realizar o recorte utilizando apenas a feição de pastagens (com um *buffer* de 10 metros) identificadas no Uso e Ocupação da Terra. O resultado é a coleção de informações do índice apenas para as pastagens.

Para análise dos níveis de degradação das pastagens, foram utilizados critérios propostos por Lima *et al.* (2013) e aplicado por Dal Colletto *et al.* (2020), em imagem Sentinel-2, que, por sua vez, foram ajustados conforme a classificação de pastagem degradada proposta por Dias-Filho (2014).

Para classificação da pastagem degradada, Dias-Filho (2014) identifica quatro níveis de degradação e a diferencia em dois grandes grupos. O primeiro grupo, nomeado de pastagens em degradação, engloba os níveis um e dois de degradação (ND1 e ND2). O ND 1 são pastagens com vigor e solo descoberto e o ND2 é o ND1 agravado e com plantas invasoras.

O segundo grupo é de pastagem degradada formada pelos níveis três e quatro (ND3 e ND4). As pastagens do ND3 representam a “degradação agrícola” com ND2 agravado e com a morte das plantas forrageiras, considerada como degradação forte, enquanto o ND4 é compreendido pela “degradação biológica”, com predominância de solo descobertos e erosão, considerada a degradação muito forte (DIAS-FILHO, 2014; DAL COLLETTI, 2020). Abaixo a [Tabela 15](#), elaborada por Dal Colletto et al. (2020) e aplicada na área de estudo.

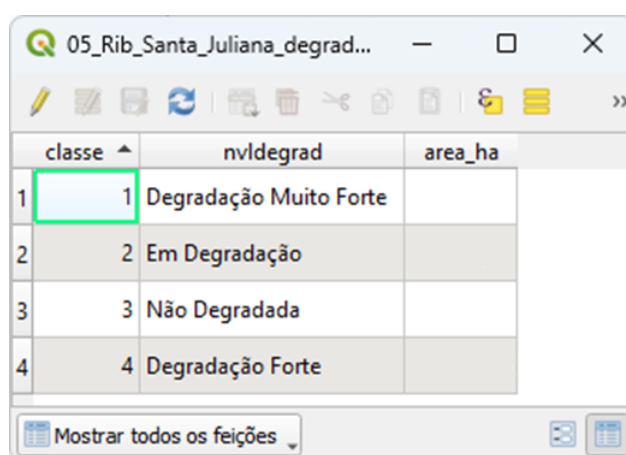
Tabela 15 - Adaptação do nível de degradação de pastagens de Dias-Filho (2014) e dos intervalos do NDVI de Lima et al. (2013).

Nível de Degradação de Pastagens	Dias-Filho (2014)	Valores de NDVI proposto por Lima et al. (2013)
Degradação Muito Forte	ND4	<0,45
Em Degradação	ND1 + ND2	0,45-0,55
Não Degradada	-	0,55-0,75
Degradação Forte	ND3	> 0,75

Fonte: Dal Colletto *et al.* (2020)

Com a [Tabela 16](#), foi possível reclassificar os valores calculados de NDVI para áreas de pastagem no *raster* com feições extraídas pelo mapeamento de Uso e Ocupação da terra na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana ([Figura 18](#)) e [Tabela 17](#) apresenta os valores de área. Essas informações devem ser inseridas em um *shapefile* nomeado como 05_Bacia_degrad_pastagem_pol com os seguintes atributos: classe (tipo inteiro com 10 caracteres); nvldegrad (tipo texto com 50 caracteres); e area_ha (tipo real com 10 caracteres e precisão de 2). O atributo classe há quatro opções de valores: 1, 2, 3 e 4, e nesta ordem, o atributo de nvldegrad recebe: Degradação Muito Forte; Em Degradação; Não Degradada; e Degradação Forte, conforme exemplo abaixo.

Tabela 16 - Reclassificação de valores calculados de NDVI



classe	nvldegrad	area_ha
1	Degradação Muito Forte	
2	Em Degradação	
3	Não Degradada	
4	Degradação Forte	

Figura 18 - Mapa do Nível de Degradação de Pastagens na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.

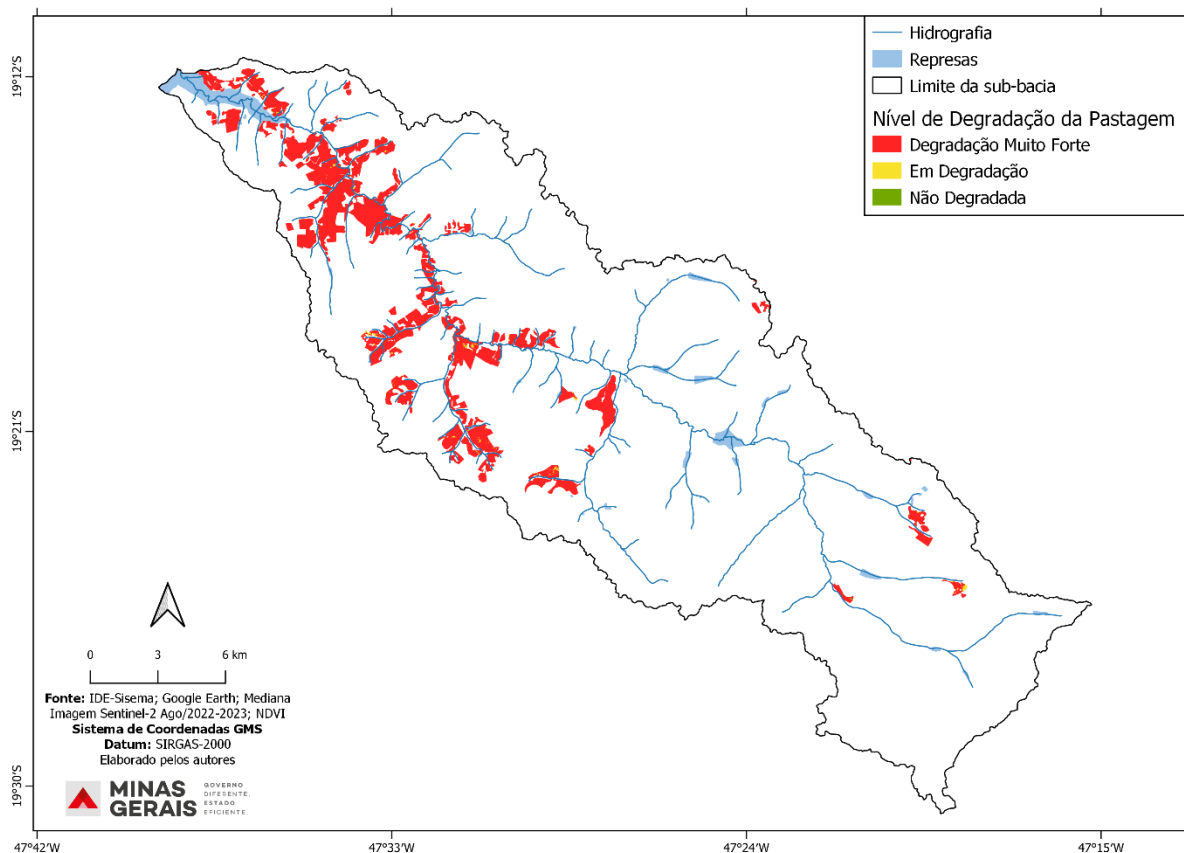


Tabela 17 - Nível de Degradação de Pastagens na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.

Nível de Degradação da Pastagem	Área (ha)	Representatividade (%)
Degradação Muito Forte	3180,7	97,0%
Em Degradação	94,9	2,9%
Não Degradada	2,6	0,1%
Degradação Forte	0,0	0,0%

A partir dos dados da [Tabela 15](#) é possível calcular o “Índice de Degradação de Pastagens”, baseado na **Equação IDP**. Esse índice também apresenta variação de 0 a 100, sendo que quanto maior o valor, maior a degradação das pastagens na bacia.

Equação IDP:

$$I \text{ Degradação de Pastagens} = \left(\frac{\sum(\text{Níveis de Degradação de Pastagens})}{\text{Apastagens}} \right) .100$$

Em que:

$\sum(\text{Níveis de Degradação de Pastagens})$ = Área de degradação de pastagens com exceção do nível “Não degradada” (ha).

Apastagens = Área total de pastagens na bacia (ha).

Cálculo para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana:

$$I \text{ Degradação de Pastagens} = \left(\frac{3.275,6}{3.278,5} \right) .100 = 99,9\%$$

8.6. Tabela resumo dos Índices elaborados

Visando a utilização do ZAP como uma importante ferramenta de priorização de sub-bacias para recuperação e/ou conservação ambiental, esse capítulo propõe a elaboração de uma tabela resumo com os valores de cada índice da bacia. Desta forma, será possível, por exemplo, a comparação entre sub-bacias de uma mesma macrobacia, a fim de identificar aquelas com maior necessidade de adequação e recuperação, bem como aquelas propensas para programas de conservação.

A [Tabela 18](#) apresenta os índices decorrentes da realização do ZAP na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.

Tabela 18 - Síntese dos índices aplicados na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana

Índice	Valor
Conservação da bacia	17,78%
Antropização das APPs	16,30%
Concentração de nascentes	15,9%
Uso conflitante da bacia	0,05%
Degradação de Pastagens	99,92%

9. QUALIDADE CARTOGRÁFICA DOS RESULTADOS DO ZAP

A metodologia do Zoneamento Ambiental e Produtivo tem como premissa básica a utilização e a produção de bases de dados digitais georreferenciadas. Isso porque seus resultados encontram no espaço geográfico seu local de diálogo e síntese. E é por meio dos insumos e produtos cartográficos envolvidos que o leitor realizará a abstração do mundo real representado.

Dessa maneira, a qualidade cartográfica é preocupação intrínseca à metodologia do ZAP, principalmente quanto ao processo de produção das bases digitais vetoriais e a sua correta disponibilização em Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE), como a IDE-Sisema⁷.

Como primeiro ponto de atenção, cabe elucidar o conceito de qualidade, entendida aqui como a totalidade de características de uma entidade que lhe conferem aptidões para satisfazer necessidades explícitas e implícitas (ABNT, 1994). Na seara da geoinformação, traduz-se, portanto, em fatores que determinarão diretamente a qualidade de um dado geoespacial, como a precisão geométrica e semântica, a genealogia dos dados (sua rastreabilidade), a consistência lógica e sua integridade.

Há normas nacionais e internacionais específicas para o gerenciamento da qualidade de dados geoespaciais, como por exemplo, a série ISO 19.100. Dentre as vinculadas a ela, a norma ISO 19157:2013 aborda especificamente o tema da qualidade do conjunto de dados e foi com base nela que a Comissão Nacional de Cartografia (Concar) estabeleceu a Especificação Técnica para o Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)⁸.

Nela, são detalhados, com exemplos práticos, os principais elementos componentes na avaliação de qualidade de dados, que deverão ser observados durante a produção das bases de dados contidas nos produtos do ZAP, tais como:

Compleitude: Descreve a presença ou ausência de instâncias de feições, relacionamentos e atributos. É a relação entre os objetos representados no conjunto de dados espaciais e os que conformam o modelo cartográfico da realidade (terreno nominal).

Consistência lógica: Avalia a integridade estrutural de um conjunto de dados, por meio do grau de aderência deste conjunto de dados às regras lógicas do modelo de dados espaciais utilizados.

Acurácia posicional: Refere-se à precisão planimétrica e altimétrica do conjunto de dados.

⁷ Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>

⁸ Disponível em: https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/cqdg/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf

Acurácia temática: Trata-se da classificação correta entre as classes e seus atributos em relação a um universo de discussão, definindo dois tipos de atributos quantitativos e não quantitativos.

Usabilidade: Aspecto de qualidade baseado nos requisitos específicos de usuários e/ou universos de discussão, onde todos os elementos de qualidade de dados espaciais podem ser utilizados na sua avaliação.

Para aprofundamento conceitual na temática, recomenda-se a leitura do Manual Técnico em Geociências nº 13, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, voltado exclusivamente à avaliação da qualidade de dados geoespaciais⁹.

Uma vez apresentado o embasamento conceitual de referência sobre qualidade de dados geográficos, cabe elencar os critérios técnicos específicos que deverão ser observados pelos produtores de estudos de ZAP em Minas Gerais, bem como pelo Comitê Gestor responsável pela avaliação dos documentos.

Em linhas gerais, os critérios acima descritos encontram-se dispostos na Resolução Conjunta Semad/Feam/IEF/Igam nº 3.147/2022¹⁰, que estabelece o trâmite para o encaminhamento de dados geoespaciais digitais vetoriais e suas especificações técnicas à Feam, através da Gerência de Avaliação Ambiental e Desenvolvimento Territorial (Gead), para recepção, consistência e publicação na IDE-Sisema

Como requisitos lógicos, portanto, a representação dos objetos derivados os estudos de ZAP deverão ser produzidos, exclusivamente, no formato Shapefile (contendo, no mínimo, as extensões .shp, .dbf, .shx e .prj), devendo ser utilizado modelo de estrutura de dados vetoriais e primitiva geométrica (ponto, linha ou polígono) compatível com a natureza do objeto. Não serão aceitos dados geoespaciais em formatos distintos dos acima explicitados, como por exemplo, nativos do ambiente CAD (.dwg e .dxf) ou Google Earth (.kml e .kmz).

Áreas mapeadas deverão ser necessariamente representadas por polígonos, devendo ter sua topologia validada e totalmente coberta, sem existência de vazios de mapeamento, sobreposições de vértices e/ou segmentos, feições truncadas, entre outros problemas de cunho geométrico/topológico. Trechos e estruturas de características lineares, por sua vez, deverão ser representados por linhas.

A escala de toda e qualquer vetorização manual deverá ser compatível com a resolução espacial da imagem de satélite utilizada como referência, isto é, não podendo superar a acuidade visual (definida como 0,2 mm na escala da carta) (SADECK, 2009) . Em outras

⁹ Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101152.pdf>.

¹⁰ Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=55963>

palavras, se o produtor do dado geoespacial utilizar como referência insumos matriciais do satélite Landsat 8, que possui resolução espacial de 30 metros, a escala de mapeamento deverá ser de 1:150.000. Se utilizadas imagens do satélite Sentinel 2, de resolução espacial de 10 metros, a escala mínima para vetorização manual de feições deverá ser de 1:50.000, conforme fórmula de transformação abaixo:

$$Escala = \frac{Resolução\ Espacial \times 1.000}{0,2}$$

Arquivos gerados deverão estar em coordenadas geográficas e referenciados ao Datum oficial do Sistema Geodésico Brasileiro e do Sistema Cartográfico Nacional, estabelecido conforme Resolução IBGE nº 01, de 24 de fevereiro de 2015¹¹ como SIRGAS 2000 (código EPSG: 4674).

Todas as informações correlatas aos objetos delimitados, relevantes a sua interpretação, deverão ser registradas nas respectivas tabelas de atributos dos arquivos produzidos, seguindo o padrão universal de codificação de caracteres (UTF-8) e respeitando nomenclatura estritamente minúscula para nomes de campos e/ou colunas, não podendo conter, ainda, acentuações, espaços ou quaisquer outros caracteres especiais.

O modelo de dicionário de dados para cada camada dos estudos ZAP se encontra nos anexos da metodologia, devendo ser seguido para a perfeita padronização dos conteúdos. Também será necessário produzir documento com o registro dos metadados para cada camada elaborada, conforme modelo anexo, garantindo a rastreabilidade da informação.

Por fim, cabe destacar que os arquivos produzidos deverão ser estruturados em pastas e subpastas de acordo com as regras de Categorias de Informação da IDE-Sisema, não podendo exceder três níveis hierárquicos. O detalhamento da referida estruturação pode ser consultado no “Manual 01 – Normas, Estruturação, Padrões de Nomenclatura e Armazenamento dos Dados Geoespaciais”¹², da IDE-Sisema.

¹¹ Disponível em:

https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf

¹² Disponível em: [https://meioambientemg-](https://meioambientemg-my.sharepoint.com/:b/g/personal/dgta_samad_meioambiente_mg_gov_br/EaWbyUg26eBChiqkeph4PvYB58ORGzrOL_pzJQfQnUR7ig?e=uHOYvV)

[my.sharepoint.com/:b/g/personal/dgta_samad_meioambiente_mg_gov_br/EaWbyUg26eBChiqkeph4PvYB58ORGzrOL_pzJQfQnUR7ig?e=uHOYvV](https://meioambientemg-my.sharepoint.com/:b/g/personal/dgta_samad_meioambiente_mg_gov_br/EaWbyUg26eBChiqkeph4PvYB58ORGzrOL_pzJQfQnUR7ig?e=uHOYvV)

10. ENTREGAS DO ZAP

Como forma de apresentação dos resultados obtidos após aplicação da metodologia ZAP em uma determinada sub-bacia faz-se necessária a elaboração de um Relatório e de uma base de dados em sistema de informações geográficas – SIG. Essas entregas deverão ser apresentadas ao Comitê Gestor do ZAP para validação, sistematização e disponibilização em ambiente eletrônico apropriado para todo o Estado, propiciando a utilização por órgãos e entidades públicas e privadas, bem como demais interessados, para formulação de planos, programas e ações de manejo adequado do uso da terra e gestão sustentável de bacias hidrográficas.

O Relatório deverá apresentar, de forma clara e objetiva, os resultados obtidos para cada etapa do ZAP, bem como inter-relacioná-los, destacando as conclusões mais relevantes. A base de dados em SIG deve trazer todos os produtos geoespacializados gerados ao longo da aplicação da metodologia ZAP na sub-bacia.

Nesse sentido, esse capítulo visa detalhar e padronizar a forma e conteúdo do Relatório e base de dados em SIG dos ZAPs realizados no Estado de Minas.

10.1. Relatório do ZAP

O Relatório do ZAP de uma sub-bacia hidrográfica deve conter os itens relacionados abaixo. Recomenda-se, sempre que possível, a priorização do uso de elementos gráficos e visuais, tais como tabelas, figuras e quadros, minimizando o discurso na forma textual. Ressalta-se também, a objetividade desse documento, para o qual sugere-se um máximo de 10.000 palavras.

Autores e colaboradores: Descrição das seguintes informações para cada membro mencionado: nome completo; entidade, instituição ou empresa pertencente; mini currículo e meios para contato. Destaque para o membro coordenador e responsável pelo estudo.

Introdução: Descrição breve das características da sub-bacia e exposição da finalidade da elaboração do ZAP para a área escolhida.

Metodologia: Este item somente será necessário se houver uso de métodos ou procedimentos diferentes daqueles sugeridos e especificados no [Capítulo 2](#) deste documento. Sendo assim, deve-se descrever os métodos/procedimentos diferenciados utilizados para desenvolvimento dos estudos do ZAP em questão. Ressaltando que as fontes e bases de dados oficiais citadas no [Capítulo 2](#) devem ser mantidas.

Caracterização das Unidades de Paisagem: Descrição de considerações gerais sobre as unidades de paisagem da sub-bacia com fotografias de cada UP identificada.

Método Potencial de Uso Conservacionista:

- Mapas e tabelas das variáveis de PUC (Solos, Litologia e Declividade) com seus respectivos valores aplicados.
- Mapa do Potencial de Uso Conservacionista para a sub-bacia.
- Tabela com as classes PUC, área em hectares e representatividade.
- Descrição de considerações gerais sobre as classes PUC, incluindo fotografias que identifiquem cada classe.

Cálculo do Índice de Demanda Hídrica Superficial:

- Mapa dos Usuários de água (tipo superficial) com processos vigentes da sub-bacia.
- Mapa de Classificação dos trechos dos cursos d'água da sub-bacia de acordo com o índice de demanda hídrica superficial à montante.
- Mapa do índice de demanda hídrica superficial a jusante e montante de cada trecho da sub-bacia.
- Quadro dos trechos com demanda hídrica contendo as seguintes informações: Código do trecho (cotrecho); Nome do curso d'água (Noriocomp); Vazões de referências (m³/s): Q_{7,10}; Q outorgável (%); Vazão de demanda total (m³/s); Índice de demanda hídrica superficial a montante (%); Índice de demanda hídrica superficial – Montante (Nível); Índice de demanda hídrica superficial – Montante e Jusante (Nível).
- Descrição de considerações gerais sobre as condições de índice de demanda hídrica superficial da sub-bacia (Opcional).

Levantamento do Uso e Ocupação da Terra:

- Mapa da imagem de satélite tratada recortada para a área da sub-bacia.
- Mapa final de classificação do uso e ocupação da terra na sub-bacia.
- Tabela de quantificação das classes de uso da terra da sub-bacia.
- Mapa das áreas de preservação permanente da sub-bacia (e demais áreas protegidas se forem mapeadas).
- Descrição de considerações gerais sobre o uso e ocupação da terra da sub-bacia (Opcional).

Resultados finais do ZAP: Apresentação das interpretações obtidas por meio da correlação dos resultados das três etapas do ZAP. Exemplos:

- Mapeamento e cálculo com tabela das áreas conservadas e antropizadas;

- Mapeamento e cálculo com tabela das áreas protegidas conservadas e as antropizadas;
- Cálculo da concentração de nascentes;
- Definição do nível de degradação de pastagens e cálculo com tabela destas áreas;
- Levantamento dos conflitos do uso e ocupação da terra com o potencial de uso conservacionista e cálculo com tabela; e
- Quadro Resumo dos Índices.

Anexos:

- Relatório de campo (contendo informações gerais dos locais verificados e anexadas as Fichas Técnicas de Observações em Campo elaboradas).

Fontes utilizadas: Descrição, conforme regra da ABNT atual, de todas as fontes, referências e base de dados utilizadas para elaboração do ZAP em questão. Ressalta-se a importância de relatar a data de elaboração da base ou estudo, assim como a forma e a data de acesso aos mesmos.

Obs.: Os mapas deverão ser apresentados em base cartográfica com escala compatível.

10.2. Base de dados em SIG

As bases geoespaciais devem ser geradas e agrupadas em um Sistema de Informações Geográficas - SIG, o qual deverá ser disponibilizado através de um link que direcione a um diretório em nuvem, como *Microsoft OneDrive* ou *Google Drive*.

Todos os dados e produtos finais ou intermediários gerados, quando apresentados e validados pelo Comitê Gestor do ZAP serão de domínio do Governo de Minas Gerais, assim cumprindo o objetivo explicitado no artigo 2º do Decreto Estadual nº 46.650/2014 que institui o Zoneamento Ambiental e Produtivo.

Todos os dados deverão ser entregues em formato fonte (com todos os requisitos, relacionamentos, tabelas de atributos, integridade topológica e domínios), incluindo obrigatoriamente os metadados organizados conforme o padrão especificado nos manuais da IDE-Sisema. Destaca-se para a relevância em gerar os dados seguindo os padrões e aspectos abaixo:

- **Datum:** SIRGAS 2000 em formato geográfico EPSG: 4674;
- Anexação de todos os arquivos padrões que compõem o shapefile (.shp; .shx; .dbf; .prj) e quaisquer outros gerados pelo software utilizado no momento da criação do dado;

- Tabela de atributos organizada respeitando o padrão de codificação UTF-8 e campos com nomenclatura em caracteres minúsculos, conforme explicitado no [Capítulo 9](#) e demonstrado na [Figura 19](#).
- Os dados devem estar em total integridade topológica, isto é, não devem haver sobreposições, lacunas, geometrias inválidas ou geometrias duplicadas que caracterizem informações incorretas na feição geográfica em questão;
- Juntamente aos dados deve ser encaminhado obrigatoriamente um arquivo referente aos metadados e dicionário de dados de cada dado produzido em formato .DOCX, organizados conforme o padrão mais recente da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sisema (IDE-Sisema) ([Anexo X](#)), e que deverão ter a mesma nomenclatura dos arquivos a que se referem;
- Arquivos de definição da representação temática dos produtos (simbologia), em formato SLD (sld.), gerados a partir do projeto GIS estruturado, para fins de padronização da representação dos dados, seja na base SIG e na IDE-Sisema. A nomenclatura dos arquivos SLD deve ser a mesma dos arquivos vetoriais e matriciais indicados acima.

Figura 19 - Exemplo de estrutura adotada no levantamento do uso e ocupação da terra na sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana

	uso1	uso2	uso3	area_ha
1	Água	Águas Continentais	Represas	460,122
2	Água	Águas Continentais	Reservatório elevado para irrigação	12,459
3	Área de Vegetação Natural	Veredas	NULL	2008,695
4	Área de Vegetação Natural	Área Campestre	Cerrado	7151,232
5	Áreas Antrópicas Agrícolas	Pastagens	NULL	3185,858
6	Áreas Antrópicas Agrícolas	Pivô Central de Irrigação	NULL	13291,089
7	Áreas Antrópicas Agrícolas	Silvicultura	NULL	1433,160
8	Áreas Antrópicas Agrícolas	Culturas Agrícolas	Cultivos Permanentes - Café	261,257
9	Áreas Antrópicas Agrícolas	Culturas Agrícolas	Cultivos Permanentes - Frutíferas	53,458
10	Áreas Antrópicas Agrícolas	Culturas Agrícolas	Cultivos Temporários - Cana-de-açúcar	2582,454
11	Áreas Antrópicas Agrícolas	Culturas Agrícolas	Cultivos Temporários diversificados	17493,587
12	Áreas Antrópicas Não Agrícolas	Áreas Urbanizadas	Benfeitorias	171,104
13	Áreas Antrópicas Não Agrícolas	Áreas Urbanizadas	Cidades	334,742
14	Outras áreas	Estradas	NULL	388,406

10.2.1. Da organização das categorias e subcategorias de pasta

Categorias

Todos os arquivos devem ser separados em categorias (pastas) identificadas com um máximo de dois números (Nn) e o nome da categoria (Nome_Categoria), como em: Nn_Nome_Categoria. As nomeações não possuem limite de caracteres e deve-se evitar espaços (utiliza-se um traço inferior simples: _). Caracteres especiais, como cedilha, acentos e símbolos devem ser suprimidos e/ou simplificados (como no exemplo: 01_Delimitacao_e_hidrografia). Também deverão começar com letra maiúscula e as demais minúsculas (salvo o uso de siglas). As categorias devem ser nomeadas de acordo com os arquivos vetoriais ou *rasters* que irão compô-la. A divisão padrão das categorias principais deverá ser:

- 01_Delimitacao_e_hidrografia
- 02_ PUC
- 03_IDHS
- 04_Uso_e_ocupacao_da_terra
- 05_Resultados
- 06_Imagens

Subcategorias

Estarão contidas dentro das categorias com as quais se relacionam, visando subdividir temas equivalentes. Ademais as nomeações seguem as mesmas regras das categorias, como em: Nn_Nome_Subcategoria. Exemplo de subcategorias da categoria 05_Resultados:

- 05_Bacia_areas_con_ant_pol.shp
- 05_Bacia_apps_con_ant_pol.shp
- 05_Bacia_con_puc_uso_pol.shp

10.2.2. Dos arquivos de vetores e *rasters*

Todos os vetores utilizados deverão ser encaminhados em formato *shapefile* com suas extensões (*.shp, .shx, .dbf, .prj) bem como todos os *rasters* deverão ser em formato GeoTiff (*.tif). As nomeações seguem as mesmas regras das categorias, com exceção do limite de caracteres. O padrão para os nomes dos arquivos deve ser:

Estrutura vetorial:

NN_Bacia_Nome_do_Arquivo_Feição (ponto, linha ou polígono) sinalizados através das abreviaturas (pto, lin, pol) respectivamente.

Exemplo:

- *01_Santa_Juliana_delimitacao_subbacia_pol*

Estrutura matricial (*Raster*):

06_Bacia_Sigla_do_Satélite_Bandas_Utilizadas_Mês(es)_Aquisição_Ano

Exemplo:

- *06_Santa_Juliana_S2_B2B3B4B8_Jun_2022_Jun_2023*

10.2.3. Dos metadados e Dicionários de Dados

Todos os *shapefiles* e *rasters* deverão ser acompanhados de um arquivo de Word (.docx) de mesmo nome, contendo informações conforme modelo apresentado no [Anexo VIII](#) e abaixo:

- NN_Bacia_nome_arquivo_metadado.docx (para metadados)
- NN_Bacia_nome_arquivo_rco.docx (para dicionário de dados)

Exemplo:

- *04_Bacia_uso_e_ocupacao_da_terra_metadado.docx*;
- *04_Bacia_uso_e_ocupacao_da_terra_rco.docx*

10.2.4. Das Simbologia dos arquivos vetoriais e matriciais

Todos os *shapefiles* e *rasters* deverão estar acompanhados de seus respectivos arquivos de simbologia com o mesmo nome, que contém os parâmetros de classificação temática dos dados, em formato SLD (.sld), conforme abaixo:

- NN_Bacia_nome_arquivo_estilo.sld


Exemplo:

- *04_Bacia_uso_e_cobertura_da_terra_estilo.sld*









10.2.5. Da estrutura de pastas


A seguir será apresentada a estrutura modelo, exemplificada com os dados do ZAP de uma bacia anônima, especificando as categorias, subcategorias e os arquivos *shapefile* ou *raster* que deverão compor a base de dados. Ressalta-se que, os arquivos *shapefile* deverão ser






acompanhados pelos demais arquivos necessários para o seu adequado funcionamento (.shp, .shx, .dbf e .prj).


 ZAP_Nome_Bacia



 01_Delimitacao_e_hidrografia


-  01_Bacia_delimitacao_subbacia_pol.shp
-  01_Bacia_delimitacao_subbacia_metadado.docx¹³
-  01_Bacia_hidrografia_subbacia_rco.docx¹⁴
-  01_Bacia_hidrografia_subbacia_estilo.sld¹⁵
-  01_Bacia_hidrografia_original_lin.shp
-  01_Bacia_hidrografia_corrigida_lin.shp
-  01_Bacia_nascentes_originais_pto.shp
-  01_Bacia_nascentes_corrigidas_pto.shp









 02_PUC

-  02_Bacia_declividade.tif
-  02_Bacia_litotipos_pol.shp
-  02_Bacia_puc_pol.shp
-  02_Bacia_puc.tif
-  02_Bacia_solos_pol.shp

 03_IDHS

-  03_Bacia_usuarios_sup_pto.shp
-  03_Bacia_outorgas_coletivas_pto.shp






 04_Uso_e_ocupacao_da_terra







-  04_Bacia_uso_e_ocupacao_da_terra_pol.shp
-  04_Bacia_apps_pol.shp
-  04_Bacia_app_hidrografia_pol.shp
-  04_Bacia_app_nascentes_pol.shp
-  04_Bacia_app_represas_pol.shp
-  04_Bacia_app_veredas_pol.shp
-  04_Bacia_app_declividade_pol.shp
-  04_Bacia_app_altitude_pol.shp

¹³ Todos os arquivos vetoriais e matriciais devem possuir seu arquivo metadado correspondente.

¹⁴ Todos os arquivos vetoriais e matriciais devem possuir seu arquivo de dicionário de dados correspondente

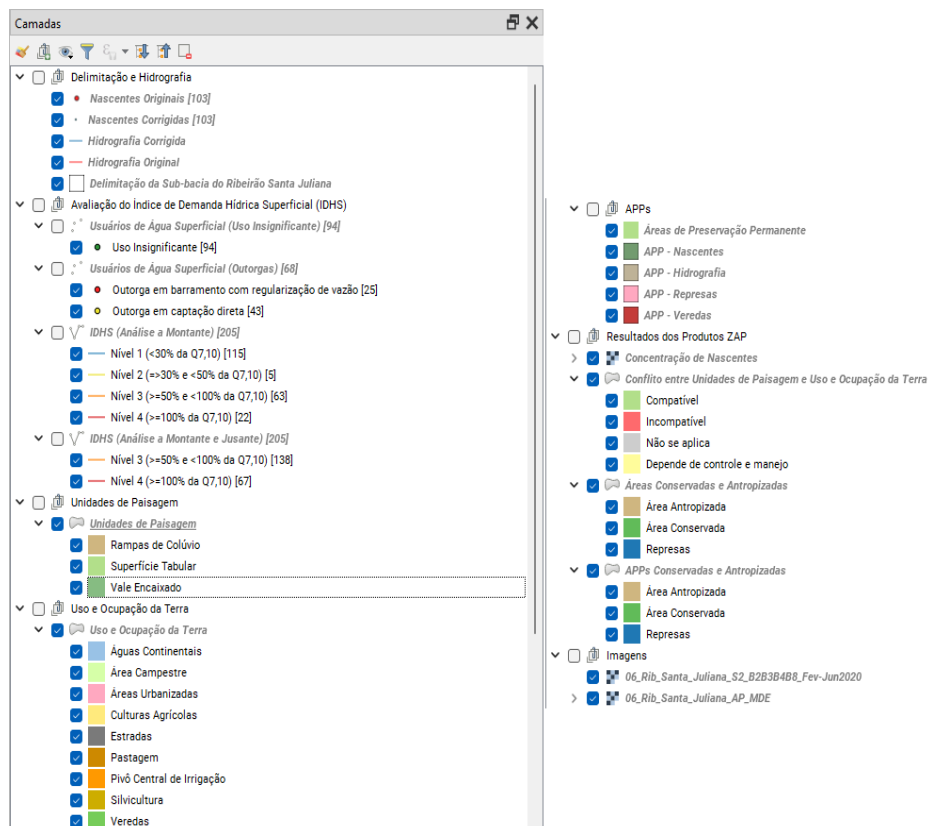
¹⁵ Todos os arquivos vetoriais e matriciais devem possuir seu arquivo de estilo (simbologia) correspondente

- 
05_ Resultados
 -  05_Bacia_areas_con_ant_pol.shp
 -  05_Bacia_apps_con_ant_pol.shp
 -  05_Bacia_degrad_pastagem_pol.shp
 -  05_Bacia_conflito_puc_uso_pol.shp

- 
06_ Imagens
 -  06_Bacia_S2_B2B3B4B8_Data_de_Aquisicao.tif
 -  06_Bacia_ndvi_Data_de_Aquisicao.tif
 -  06_Bacia_ndvireclass_Data_de_Aquisicao.tif
 -  06_Bacia_AP_MDE.tif
 -  06_Bacia_con_nasc.tif

Semelhantemente, a [Figura 20](#) demonstra um exemplo do padrão de organização das bases de dados dentro do software QGIS, as quais deverão estar em total integridade topológica e com suas simbologias configuradas conforme padrões explicitados nesta metodologia, quando o projeto for entregue em formato QGIS.

Figura 20 - Padrão de organização das bases de dados do ZAP Santa Juliana no QGIS



O detalhamento das informações, dados e atributos mínimos necessários de cada arquivo foi apresentado na [Tabela 19](#).

Tabela 19 - Atributos necessários para cada arquivo shapefile

Nome arquivo	Atributos mínimos campos	Observações
01_Delimitacao_e_hidrografia		
01_Bacia_delimitacao_subbacia_po l	area_ha, *ind_nome	Inserir colunas com os valores dos índices obtidos no capítulo 7 e expostos no exemplo do quadro do subcapítulo 7.5.
01_Bacia_hidrografia_original_lin	Todos os atributos existentes no arquivo original obtido na IDE-Sisema (conforme procedimento do capítulo 5) além de: qdemtotal, idhsm e idhsmj (Exceto para o <i>shape</i> 01_Bacia_hidrografia_corrigida_lin)	Arquivo original conforme base de dados enviada.
01_Bacia_hidrografia_corrigida_lin		Esse arquivo somente existirá se houver necessidade de adequação da hidrografia em relação à realidade da sub-bacia. Esse <i>shapefile</i> contém todas as adequações, incluindo as correções de deslocamento dos cursos d'água.
01_Bacia_nascentes_originais_pto	-	-
01_Bacia_nascentes_corrigidas_pt o	-	-
02_PUC		
02_Bacia_litotipos_pol	litotipo, puc_notas	-
02_Bacia_solos_pol	solo, puc_notas	-
02_Bacia_declividade.tif	-	-
02_Bacia_puc_pol	puc, area_ha	-
03_IDHS		
03_Bacia_usuarios_sup_pto	Número do processo; portaria; data de publicação; data de vencimento da portaria; status do processo; empreendedor; bacia; circunscrição hidrográfica - ch; curso d'água; tipo; finalidades; modo de uso; coordenadas geográficas; datum; vazão captada (m³/s); e vazão de demanda (m³/s).	-

03_Bacia_outorgas_coletivas_pto	Número do processo; portaria; data de publicação; data de vencimento da portaria; status do processo; empreendedor; bacia; circunscrição hidrográfica - ch; curso d'água; tipo; finalidades; modo de uso; coordenadas geográficas; datum; vazão captada (m³/s); e vazão de demanda (m³/s).	-
04_Uso_e_ocupacao_da_terra		
04_Bacia_uso_e_ocupacao_da_terra_pol	uso1*, uso2*, uso3*, area_ha	*Tipo de uso e ocupação da terra, conforme Anexo II. Ex: Área Urbanizada, Águas Continentais, Silvicultura, etc.
04_Bacia_apps_pol	app_tipo*, area_ha	União entre todas as APPs abaixo. *Nome do tipo de app, ex.: Hidrografia, Nascentes, Represas, etc.
04_Bacia_app_hidrografia_pol	app_tipo*, area_ha	Redobrar atenção quando houver cursos d'água acima de 10 metros de largura. *Nome do tipo de app, neste caso: Hidrografia
04_Bacia_app_nascentes_pol	app_tipo*, area_ha	Gerado através do shapefile de nascentes corrigidas. *Nome do tipo de app, neste caso: Nascentes
04_Bacia_app_represas_pol	app_tipo*, area_ha	Quando houver represas acima de 1 hectare na área de estudo. *Nome do tipo de app, neste caso: Represas
04_Bacia_app_veredas_pol	app_tipo*, area_ha	Quando houver a fitofisionomia Veredas na área de estudo. *Nome do tipo de app, neste caso: Veredas
04_Bacia_app_declividade_pol	app_tipo*, area_ha	Quando houver declividades acima de 45° (ou 100%) na área de estudo. *Nome do tipo de app, neste caso: Declividade
04_Bacia_app_altitude_pol	app_tipo*, area_ha	Quando houver curvas de nível igual ou acima de 1800 metros na área de estudo. *Nome do tipo de app, neste caso: Altitude. Este tipo de APP estará presente em poucos pontos no Estado.
05_Resultados		
05_Bacia_areas_con_ant_pol	uso1, uso2, uso3, area_tipo*, area_ha	*Tipos divididos entre "con" para conservada e "ant" para antropizada.
05_Bacia_apps_con_ant_pol	uso1, uso2, uso3, area_tipo*, area_ha	*Tipos divididos entre "con" para conservada e "ant" para antropizada.

05_Bacia_conflito_puc _uso_pol	puc, uso1, uso2, uso3, compatibil*, area_ha	*Coluna de compatibilidade deve ser identificada como "Compatível ", "Incompatível ", "Depende de Controle e Manejo" e " Não Aplicável".
05_Bacia_degrad_pastagem_pol	classe*, nvldegrad**, area_ha	* Número inteiro de 1 caractere com os seguintes possíveis resultados: 1, 2, 3, 4 ** Nível de degradação a partir do atributo de classe: 1: Degradação Muito Forte; 2: Em Degradação; 3: Não Degradada; 4: Degradação Forte.
06_Imagens		
06_Bacia_S2_B2B3B4B8_Ago2022-2023	-	Arquivo raster. Neste exemplo, imagem Sentinel-2 com as bandas 2, 3, 4 e 8, mediana no período de agosto de 2022 a agosto de 2023.
06_Bacia_SRTM_MDE	-	Arquivo raster. Neste exemplo, imagem SRTM para modelo digital de elevação.
06_Bacia_con_nasc	-	Arquivo raster para o resultado de Concentração de Nascentes.
06_Bacia_ndvi_Ago2022-2023	-	Arquivo raster. Neste exemplo, NDVI obtido através do script padrão por mediana no período de agosto de 2022 a agosto de 2023.
06_Bacia_ndvireclass_Ago2022-2023	-	Arquivo raster. Neste exemplo, reclassificação do arquivo acima para obtenção das informações de degradação de pastagens.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Manual apresentou a metodologia para elaboração do estudo de ZAP. A adoção dos preceitos técnicos dispostos é de suma importância, pois possibilita a obtenção de resultados compatíveis com os objetivos que norteiam o ZAP.

Quando utilizado como um instrumento de gestão e planejamento ambiental e territorial aplicado a sub-bacias hidrográficas, o ZAP tem o potencial de contribuir para a sustentabilidade e adequação de propriedades rurais sob os aspectos ambientais e produtivos, visando o uso conservacionista dos recursos.

Espera-se que os resultados do ZAP possam contribuir com as várias decisões e diretrizes que são indicadas no âmbito de bacias hidrográficas, tanto por agentes privados quanto por agentes públicos.

12. REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR ISO 8402**. Gestão da qualidade e garantia da qualidade – terminologia. 1994.
ABBOTT, L. Quality and competition.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei nº 9.433, de 8 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. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm.

CODEMIG; UFMG; CPMTC. **Projeto Triângulo Mineiro: Mapa Geológico Escala 1:100.000** Folha Nova Ponte SE 23-Y-C4, Projeção UTM, *datum* original WGS84. 2017a. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>.

CODEMIG; UFMG; CPMTC. **Projeto Triângulo Mineiro: Mapa Geológico Escala 1:100.000** Folha Perdizes SE 23-Y-CII, Projeção UTM, *datum* original WGS84. 2017b. Disponível em: <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>.

CPRM **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais Escala 1.1.000.000**: Projeção Policônica, *datum* original WGS84. Programa Geologia do Brasil - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Sgb - Serviço Geológico Do Brasil.

COSTA, A. M.; SALIS, H. H. C.; ARAUJO, B. J. R. S. A.; MOURA, M. S.; SILVA, V. C.; OLIVEIRA, A. R.; PEREIRA, M. P. R.; VIANA, J. H. M. Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do Rio Gualaxo do Norte - MG. 2019a. **Revista GEOgrafias**, 27(2), 127–147. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/19891>.

COSTA, A. M.; SILVA, L. H.; SILVA, V. C.; MOURA, M. S.; MOTA, P. K.; ARAUJO, B. J. R. S. Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Guavirá, PR. **Perspectiva Geográfica**, [S. l.], v. 14, n. 20, p. 107–122, 2019b. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica/article/view/24034>.

COSTA, A. M.; VIANA, J. H. M.; EVANGELISTA, L. P.; CARVALHO, D. C.; PEDRAS, K. C.; HORTA, I. M.; SALIS, H. H. C., PEREIRA, M. P. R.; SAMPAIO, J. L. D. 2017. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais. **Revista GEOgrafias**, 13(1), 118–133. Disponível

em:<https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13439>. (Original work published 6 de jul. 2018).

CSR - CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO DA UFMG - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Dinamica EGO**. 2022. Disponível em: <https://csr.ufmg.br/dinamica/>.

DAL COLLETTI, L. C.; GALDINO, S.; OLIVEIRA, J. E. S.; BARROSO, P. A. V. Estimativa do NDVI utilizando imagens do Sentinel-2 e do SIG SNAP para avaliação de estádios de degradação de pastagens em Alcinoópolis-MS. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2020, Campinas. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2020. 11 p

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). (1979). **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro:1979. 83p. (Embrapa-SNLCS. Miscelânea, 1).

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). ArcGIS. (2022). Redlands, CA.

FERNANDES, M. R. **Manejo Integrado de bacias hidrográficas: Fundamentos e Aplicações**, Belo Horizonte: SMEA/CREA, 2010.

FERNANDES, M. R *et al.* Minas Gerais: **Caracterização de Unidades de Paisagem**. Belo horizonte, MG: EMATER-MG. 2013. 92 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro, 2013. 171 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução da Presidência R.PR nº 01/2015**. Define a data de término do Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística RESOLUÇÃO da Presidência período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil. 2015. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Construção de Base Ottocodificada de Minas Gerais (Manual Técnico)**. Belo Horizonte. 2012. 72 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais** / Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos UFC. Belo Horizonte, 2012

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A. DA; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Revista Ambiente e Água**, v. 8, p.204-214, 2013.

MINAS GERAIS. **Lei Nº13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. 1999. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>.

MINAS GERAIS. **Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013**. Dispõe sobre as Políticas Florestal e de Proteção à Biodiversidade no Estado. Publicada Imprensa Oficial de Minas Gerais em 17 de outubro de 2013.

MINAS GERAIS. **Decreto Estadual nº 46.650 de 19 de novembro de 2014**, que aprova a Metodologia Mineira de Caracterização Socioeconômica e Ambiental de Sub-bacias Hidrográficas, denominada Zoneamento Ambiental e Produtivo – ZAP – e dá outras providências. Publicado na Imprensa Oficial de Minas Gerais em 20 de novembro de 2014. Disponível em: <<http://jornal.iof.mg.gov.br/xmlui/handle/123456789/134277>>.

MINAS GERAIS. Sisema - Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Comitê Gestor da Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE - do Sisema. **Manual 01 - Normas, estruturação, padrões de nomenclatura e armazenamento dos dados geoespaciais**. 2022. 3. ed. 28 p. Disponível em: https://meioambientemg-my.sharepoint.com/:b/g/personal/dgta_semad_meioambiente_mg_gov_br/Ea63wL524PVBsGhth2MBNkQBV70vAwnwDdvYnush2vLJmA?e=FM1i37.

NEPZAP UFMG - NÚCLEO DE ESTUDO E PESQUISA DO ZONEAMENTO PRODUTIVO DA UFMG. **Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) da bacia hidrográfica do Ribeirão Jequitibá**. Relatório. 2022. Belo Horizonte: 2022.

OLIVEIRA, A. R. **Esquema ilustrativo do Método PUC para a bacia hidrográfica do Rio das Velhas**. 2020. Belo Horizonte: 2020, adaptado para a bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana.

OLOFSSON, P.; FOODY, G. M., HEROLD, M.; STEHMAN, S. V.; WOODCOCK, C. E.; WULDER, M. A. **Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change**. *Remote Sensing of Environment*, v. 148, n. 1, p. 42-57, 2014.

PONTIUS JUNIOR, R. G.; MILLONES, M. **Death to kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 15, p. 4407-4429, 2011.

QGIS. Org. QGIS Association. **QGIS Geographic Information System**. 2022. Disponível em: <http://www.qgis.org>.

ROCHA, C.P.F.; LADISLAU, F. F.; MACHADO, F.L.V. **Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Análise Espacial de Atividades Minerárias no Estado de Minas Gerais: Areia, Cascalho e Rochas Ornamentais**. 28º Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Fortaleza - CE, 2019.10p

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. 1977. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281.

SADECK, Luis Waldyr Rodrigues. **Resolução Espacial vs. Escala**. Sadeck – Geotecnologias. Belém, 2009. Disponível em: <https://geotecnologias.wordpress.com/2009/09/179/resolucao-espacial-vs-escala/>. Acesso em: 07/04/2022

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2013. 3ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013, 353 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>.

SEMAD - SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SEAPA - SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana**. 2017. Minas Gerais: 2017.

SEMAD - SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SEAPA - SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana**. 2017. Base de dados SIG. Minas Gerais: 2017. Disponível em: <https://drive.google.com/drive/folders/0BxvnYOhHUS3hTS1rRWNuOUZzR1k?resourcekey=0-SUxZNargEsGDL5FLn8lCng>.

UFV - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC; UFLA - UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FEAM -

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapeamento de Solos do Estado de Minas Gerais Escala 1:650.000**. 2010a. Belo Horizonte: 2010. Disponível em: <https://dps.ufv.br/software/>.

UFV - UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC; UFLA - UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapeamento de Solos do Estado de Minas Gerais Escala 1:650.000: Legenda Expandida**. 2010b. Belo Horizonte: 2010. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/13517989/mapa-de-solos-do-estado-de-minas-gerais-legenda-expandida>.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY *apud* EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. **USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled**. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects.

Acesso em: 10 fev. 2020. In <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>.

ANEXO I - Delimitação da sub-bacia hidrográfica utilizando o QGIS

Neste [Anexo I](#) é apresentado o procedimento para delimitação da sub-bacia hidrográfica nos parâmetros sugeridos de área utilizando o software QGIS 3. Para a divisão de sub-bacias maiores que 55 mil hectares os procedimentos podem se diferenciar dos aqui citados. Inicialmente, devem ser adicionadas ao projeto no QGIS as bases referentes à sub-bacia hidrográfica em estudo, quais sejam: 1) hidrografia ottocodificada; e 2) bacia hidrográfica ottocodificada.

Em seguida, “identificar” o trecho hídrico localizado no ponto mais a jusante da sub-bacia, tendo como referência a “hidrografia ottocodificada”, de modo a verificar o seu código de curso d’água “cocursodag”. Essa informação advém da tabela de atributos desse shapefile. O valor deve ser anotado ou memorizado para as etapas posteriores.

Na coluna “cocursodag”, deve ser aplicado o filtro de expressão em seus atributos, função acessada ao clicar com o botão direito na camada e em seguida “filtrar”. Será inserida a seguinte expressão:

“cocursodag” LIKE ‘código%’

em que o ‘código’ representa o número memorizado ou extraído da coluna “cocursodag” da tabela de atributos do shapefile “hidrografia ottocodificada”.

Esse procedimento deverá retornar a rede hidrográfica da sub-bacia objeto de estudo, que deverá ser salva como uma nova camada no projeto.

Como a construção da base ottocodificada seguiu a mesma regra para ambos os shapefiles, para a realização da filtragem da base de microbacias, o código de identificação para o trecho hídrico a jusante será o mesmo utilizado para o recorte da hidrografia. Torna-se necessário apenas clicar com o botão direito na camada poligonal e em seguida “filtrar”, utilizando a mesma expressão: “cocursodag” LIKE ‘código%’.

O resultado gerado deverá retornar o recorte das microbacias. Para determinar o contorno da sub-bacia (seu limite externo) deverá ser aplicada a função “dissolve”. Para tanto, primeiramente é necessário selecionar todas as feições da camada filtrada. Em seguida, acessar o menu “vetor” localizado na barra superior do software, clicar em “geoprocessamento” e então “dissolver”.

Na caixa de diálogo, selecione a camada de entrada e marque a opção “apenas feições selecionadas”. Em “dissolvido”, deve-se clicar na caixa de busca e escolher nome e local para salvar o novo arquivo gerado.

Nos casos em que for considerado o recorte de uma sub-bacia por meio do conjunto de sub-bacias de seu alto, médio e/ou baixo curso, a base otocodificada de Minas Gerais permite a customização da delimitação de uma bacia, a partir do incremento na expressão SQL utilizado anteriormente. Para tanto, um atributo adicional deverá ser identificado exatamente no trecho de curso d’água para o qual, à montante dele, deseja-se delimitar a bacia.

Basta acessar novamente a opção “filtrar” e inserir a seguinte expressão:

"coursodag" LIKE 'código%' AND "cobacia" >= 'código'

Da mesma maneira que a etapa anterior, o resultado poderá ser dissolvido para exibição do contorno da bacia de contribuição.

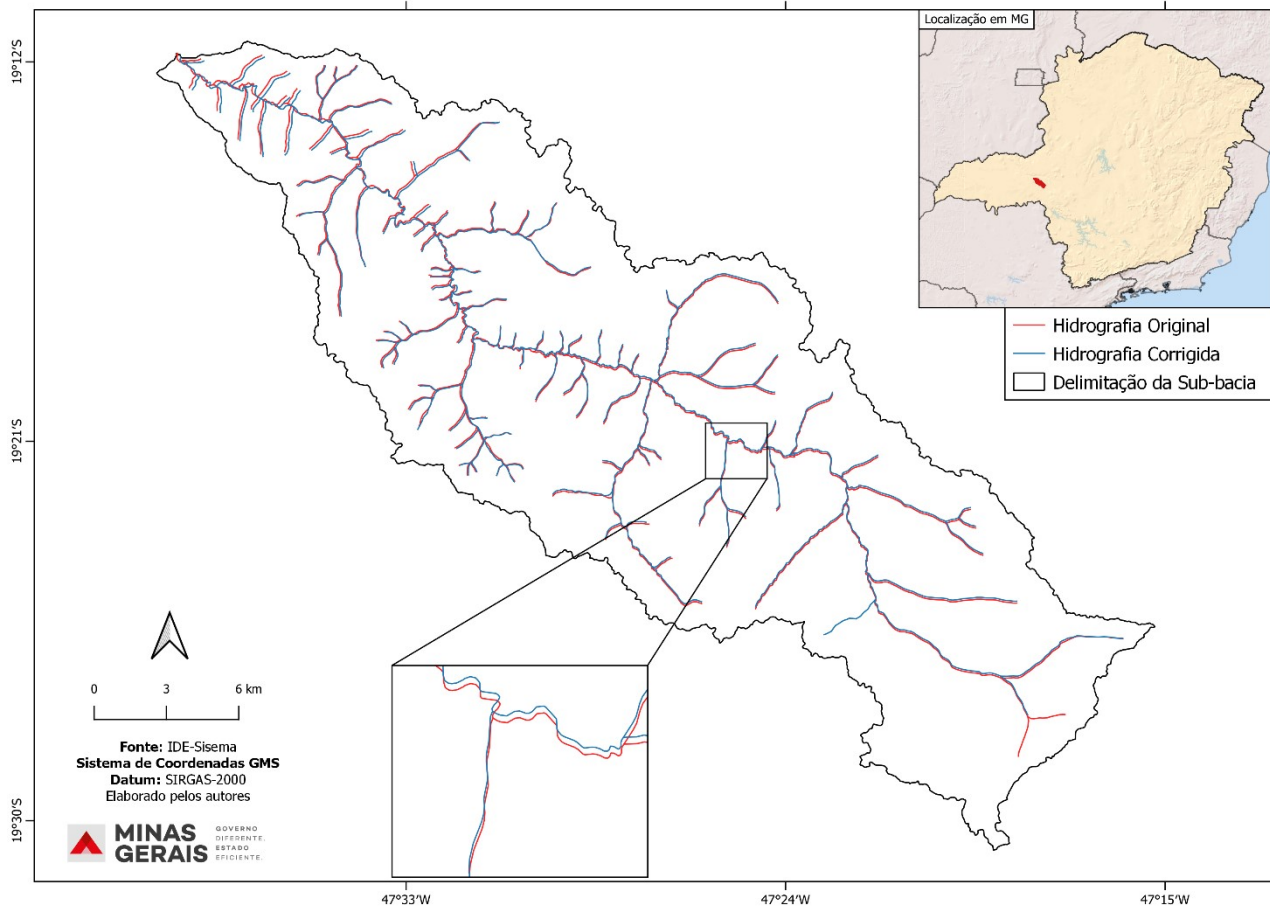
Observação: Para realizar o cálculo de área e operação entre vetores, é importante que o shapefile esteja em um sistema de coordenadas métricas, por exemplo, Universal Transversa de Mercator (UTM). Os cálculos só podem ser feitos pelo software se houver uma relação métrica entre os vértices que compõem a feição. Portanto, se for o caso, o shapefile deve ser projetado novamente.

Para calcular a área da sub-bacia, deve-se colocar em edição, a tabela de atributos do shapefile através do ícone do lápis amarelo. Em “novo campo”, nomear a nova coluna e formatar para “número decimal (real)”, ajustando o comprimento e a precisão desejada. A partir deste ponto, abrir a “calculadora de campo” e na opção “atualizar um campo existente” apontar o campo que foi criado. Na opção “row_number” utilizar a expressão: \$area / 10000. O Mapa gerado pode ser observado no capítulo de seleção de área.

A rede hidrográfica extraída da base oficial do Igam deve ser analisada e comparada com a realidade da bacia, visando corrigir possíveis trechos inexistentes e/ou deslocamentos de cursos d’água, mesmo quando a imagem e base hidrográfica se encontram na mesma projeção e Datum. Para essa análise é importante utilizar de imagem de satélite de boa resolução. Essas correções são imprescindíveis para a identificação com maior acurácia das Áreas de Preservação Permanente (APPs) hídricas da sub-bacia, inclusive seu estado de conservação. Desse modo, os ajustes na base hidrográfica podem ser feitos de forma manual, trecho a trecho. Ressalta-se que isso provocará alterações em uma base oficial do órgão gestor dos recursos hídricos e, portanto, a hidrografia “corrigida” só deverá ser utilizada para fins de elaboração do estudo de ZAP, até uma maior acurácia de tal base pelo órgão competente.

Para comparação e melhor compreensão do procedimento, a [Figura I](#) a seguir apresenta a hidrografia “corrigida” e a hidrografia “original” da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana.

Figura I - Redes hidrográficas “corrigida” e “original” da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana



ANEXO II - Unidades de Paisagem do Estado de Minas Gerais

Unidades de Paisagem	Características	Tipos de Solo	Potencialidades	Limitações	Aptidões - Uso recomendado
Planícies Fluviais	Unidades que ocupam as cotas mais baixas da bacia hidrográfica. Constituem leitos maiores dos respectivos cursos d'água. Dependendo das características geomorfológicas das bacias hidrográficas onde se inserem, podem estar sujeitas a inundações periódicas. Relevo plano, ao longo dos cursos d'água, com declividades inferiores a 3%.	Os solos são formados por acumulação de sedimentos. São os Neossolos Flúvicos e Gleissolos. Os Neossolos flúvicos são variados tanto na horizontal quanto na vertical. Os Gleissolos são resultantes da oscilação do aquífero freático. Propiciando ciclos de oxidação e redução	Relevo plano podendo ocorrer solos de média e alta fertilidade.	Suscetibilidades às ocorrências de inundações periódicas e encharcamento dos solos. Redução de áreas pela ocupação da vegetação ciliar.	Culturas anuais de entressafra, preservação de nascentes difusas. Parte de sua área pode ser considerada APP.
Terraços Fluviais	Antigas planícies de inundações de cursos d'água quando fluíam em níveis de cotas superiores à atual. Em geral, estão associadas às planícies fluviais.	Solos originados de sedimentos variados, em evolução para Cambissolos e Argissolos.	Relevo plano podendo ocorrer solos de média e alta fertilidade.	Não apresenta limitações para usos e ocupações	Agropecuária e expansão urbana.

<p>Colinas de Topo Alongado</p>	<p>Comumente associada a vertentes côncavas, convexas e rampas coluviais. Ocupam os topos de colina. O relevo é plano ou suavemente ondulado</p>	<p>Profundos e permeáveis - Latossolos com expressivo horizonte B e elevada estabilidade mecânica</p>	<p>Podem constituir áreas de recarga de aquíferos freáticos. O relevo é plano ou suavemente ondulado</p>	<p>Baixos níveis de fertilidade e elevada acidez dos solos e suscetibilidade a compactação.</p>	<p>Manutenção da vegetação nativa nos topos. Culturas permanentes incluindo cafeicultura, fruticultura e silvicultura.</p>
<p>Vertentes Convexas</p>	<p>Apresentam uniformidade do relevo que condiciona a distribuição uniforme do escoamento.</p>	<p>Latossolos</p>	<p>Solos profundos e permeáveis.</p>	<p>Baixa fertilidade e acidez elevada, comprimento da vertente em declive acentuado e suscetibilidade a processos de erosão hídrica laminar.</p>	<p>Culturas permanentes, pastagens e silvicultura.</p>
<p>Vertentes Côncavas em anfiteatros</p>	<p>São áreas de concentração de águas pluviais e nutrientes. Estas unidades são conhecidas como grotas quando fechadas e como anfiteatros quando abertas.</p>	<p>Nas vertentes côncavas fechadas ocorrem Cambissolos e Neossolo Litólico. Nas concavidades abertas podem ocorrer os Argisolos.</p>	<p>Concentração de águas de chuva e nutrientes. Estas condições possibilitam a instalação de estruturas para coleta de águas pluviais. Podem abrigar nascentes perenes, temporárias ou efêmeras.</p>	<p>Solos rasos e instáveis, suscetibilidade à instalação de processos erosivos.</p>	<p>Fruticultura, cafeicultura, capineira e olericultura. Para a côncava fechada (grotas) manter a vegetação nativa.</p>
<p>Vertente Ravinada</p>	<p>Vertentes de colinas de elevada declividade e sequência de ravinadas. Podem abrigar nascentes perenes, temporárias ou efêmeras.</p>	<p>Neossolos Litólicos e Cambissolos</p>	<p>Áreas de ocorrências de nascentes e concentração de águas pluviais.</p>	<p>Relevos acidentados e ocorrências de solos rasos e instáveis.</p>	<p>Áreas para preservação permanente</p>

Vale Encaixado	São vales fechados (vale em V) com inexistência de planícies fluviais e ocorrência de drenagem superficial com elevado gradiente de canal.	Neossolos Litólicos e Cambissolos	Áreas de surgências de aquíferos ao longo da calha. Cursos d'água com elevada velocidade de fluxo permitindo oxigenação e aporte de sedimentos.	Solos rasos e pedregosos em relevos fortemente acidentados.	Áreas para preservação permanente
Superfícies Tabulares	Apresenta o relevo plano em altitudes em torno de 800 m. A vegetação original é o cerrado "stricto sensu". Vulgarmente conhecida como chapada.	Latossolos e Neossolos Quartzarênicos (quando derivados de arenitos e quartzitos)	Relevo plano e solos bem desenvolvidos e permeáveis.	Solos de baixa fertilidade e acidez elevada.	Agricultura tecnificada, silvicultura, fruticultura, pastagens cultivadas e expansão urbana.
Superfícies Onduladas	Relevo suavemente ondulado. A vegetação original é o cerrado. A vegetação original é o cerrado "stricto sensu". Vulgarmente conhecida como chapada.	Latossolo	Relevo suavemente ondulado, solos bem desenvolvidos e permeáveis.	Solos de baixa fertilidade e acidez elevada.	Agricultura tecnificada, silvicultura, fruticultura, pastagens cultivadas e expansão urbana
Dolinas	Depressões formadas pela dissolução de rochas subjacentes. Em especial em ambientes cársticos.	Gleissolos e Vertissolos	Beleza cênica	Área de acúmulo de água calcária (dura).	Lazer e turismo
Grutas	Cavidades formadas pela dissolução de rochas calcárias.	Não se aplica.	Beleza cênica pelos espeleotemas e possibilidades de sítios arqueológicos	Fragilidade e vandalismo.	Turismo espeleologia e pesquisas arqueológicas.

Rampas de Colúvio	Vertentes retilíneas em declive, resultante do deslocamento natural dos solos.	Latossolos	Solos profundos, estáveis e permeáveis.	Comprimento da rampa e favorecimento de processos de erosão laminar. Quando argilosos, são suscetíveis à compactação por pressão de máquinas e pisoteio de animais.	Culturas anuais, pastagens, silvicultura, fruticultura e capineiras sob sistemas de controle de erosão. Expansão urbana.
Dissecados Estruturais	Vertentes ravinadas e patamares estruturais. Relevo ondulado a fortemente ondulado.	Neossolos litólicos e Cambissolos	Nível de fertilidade variados.	Relevo acidentado, solos rasos e elevada erodibilidade.	Predominantemente para áreas de preservação permanente
Domo	Geoformas convexas arredondadas estruturadas por um arcabouço rochoso, principalmente granito e gnaisse.	Neossolo Litólico	Ocorrência de granitos e gnaisses como materiais empregados em construção civil e pavimentação de vias.	Solos rasos e instáveis. Constituem em alguns casos áreas de risco e deslizamento	Pastagem natural. Jazida de brita.
Platôs	Superfícies superiores planas e vertentes escarpadas com feições de baús.	Neossolos Quartzarênicos.	Superfícies alicerçadas em rochas (arenitos e lateritas) ocorrência de áreas de recargas de aquíferos.	Solos com baixa retenção hídrica e de nutrientes apresentando forte deficiência de umidade.	Recarga de aquíferos.

Pontões Graníticos	Afloramento de granito em forma de “pão-de-açúcar”.	Afloramento de rocha e Neossolo Litólico	Beleza cênica e ocorrência de aquífero em meio fraturado.	Afloramento de rochas e relevo escarpado.	Esportes radicais e ecoturismo.
Cristas de Quartzito	Afloramentos rochosos com predominância de quartzito em relevo montanhoso, associados a rampas arenosas (Neossolos Quartzarênicos). Ocorrem inclusões de solos orgânicos. São cristas e vertentes escarpadas (predominância de intemperismo físico). Vegetação de campos rupestres.	Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico	Beleza cênica com ocorrência de quedas d'água e cavernas. Águas superficiais cristalinas e oxigenadas.	Alta vulnerabilidade ambiental, relevo fortemente acidentado e escarpado.	Turismo ecológico; extrativismo sustentável (Sempre Vivas), abastecimento público de água e área de preservação permanente.
Cristas de Filito/Itabirito	Afloramentos rochosos (filitos e metargilitos);	Neossolo Litólico	Ocorrência de minerais ferrosos	Instabilidade mecânica.	Mineração.
Cristas da Serra da Mantiqueira	Cumeeira das elevações em forma de serra, com afloramentos rochosos. No caso da Serra da Mantiqueira de rochas cristalinas, associados aos Neossolos Litólicos e Cambissolos na parte média das vertentes íngremes.	Neossolo Litólico	Beleza cênica e abundância em recursos hídricos em meio fraturado.	Relevo fortemente acidentado e solos rasos.	Preservação permanente, fruticultura e ecoturismo.

Cristas de Quartzito e Itabirito	Afloramento de quartzito e itabirito associados aos Neossolos Litólicos. Relevo acidentado, formado por cristas e vertentes escarpadas.	Neossolo Litólico	Beleza cênica, jazidas de minerais ferrosos e recarga de aquíferos.	Afloramento rochoso, declive acentuado e solos rasos.	Áreas para preservação permanente e mineração (em Itabirito).
Ambientes lênticos	Áreas inundadas natural ou artificialmente	Não se aplica	Beleza cênica, lazer e manancial de água.	Inviabilização de áreas para ocupação.	Geração de energia, abastecimento público, aquíicultura e lazer.
Ilhas fluviais	São depósitos de sedimentos na calha fluvial.	Neossolos Flúvicos	Área de preservação permanente.	Risco à inundações.	Área de preservação permanente.
Rebordos	Encostas com grotas (ravinas) cobertas com vegetação campestre.	Cambissolo cascalhento e Neossolo Litólico.	Refúgio de fauna silvestre e ocorrência de nascentes.	Instabilidade mecânica, relevo acidentado e solos rasos.	Área de preservação permanente.
Afloramento de Gnaise	Ocorrência de matacões (blocos de rocha).	Neossolo Litólico	Beleza cênica.	Afloramento e relevo escarpado.	Fornecimento de material para a construção civil.
Afloramento de Granito	Pontões em forma de "pão de açúcar".	Neossolo Litólico	Beleza cênica.	Afloramento, áreas de risco de deslizamentos e relevo escarpado.	Fornecimento de material para a construção civil e Lazer (esportes radicais).
Afloramento de Arenito	Rochas sedimentares que podem abrigar aquífero em meio granular.	Neossolo Quartzarênico	Possibilidade de ocorrência de aquíferos em meio granular e de sítios paleontológicos.	Solos arenosos, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes resultando em	Área de preservação permanente, ecoturismo e estudos paleontológicos.

				limitação para agricultura.	
Afloramento de Calcário	Afloramentos rochosos com aspecto ruiniforme e inclusão de solos rasos. Vegetação nativa: mata caducifólia (mata seca).	Neossolo Litólico e Neossolo Rêndzicos.	Beleza cênica, sítios arqueológicos e ocorrência de cavernas.	Relevo acidentado e afloramento rochoso.	Área de preservação permanente, ecoturismo e estudos arqueológicos.
Rochas Pelíticas	Ocorrência de ardósia e metassilitos.	Cambissolo e Neossolo Litólico	Jazida de ardósia.	Solos rasos e elevada instabilidade mecânica. Suscetibilidade à formação de voçorocas.	Pastagem natural e mineração.
Colina cônica	Feições em forma de pirâmide.	Neossolo litólico e Cambissolo	Preservação de vegetação nativa	Solos rasos e instáveis em relevo fortemente acidentados.	Área de preservação permanente.
Diques	Intrusão de rochas máficas em fraturas da rocha pré-existente.	Latossolo ou Nitossolos	Elevada fertilidade natural do solo.	Susceptibilidade a erosão em sulcos.	Produção de hortaliças e cereais.
Veredas	Áreas com aquífero aflorados e vegetação hidrófilas (buritis).	Gleissolos.	Mananciais hídricos.	Ecossistema frágil.	Área de preservação permanente.
Área descaracterizada	Áreas fortemente antropizadas como mineração, terraplanagem extensas, áreas industriais e etc.	Não se aplica.	Não se aplica.	Não se aplica.	Não se aplica.

ANEXO III - Método PUC aplicado no ambiente SIG

I) Atribuição de notas aos vetores convertidos em raster

a) Pré-processamentos gerais e edição dos vetores

Considerando as instruções de configuração do projeto, dadas no Anexo I (Procedimento para delimitação da sub-bacia utilizando o QGIS), o PUC será calculado no ambiente GIS, tendo, por princípio, a bacia hidrográfica delimitada, carregada em tela. A adição de nova camada vetorial pode ser feita pelo atalho Ctrl+L ou pelo Gerenciador de Camadas ([Figura I](#) abaixo).

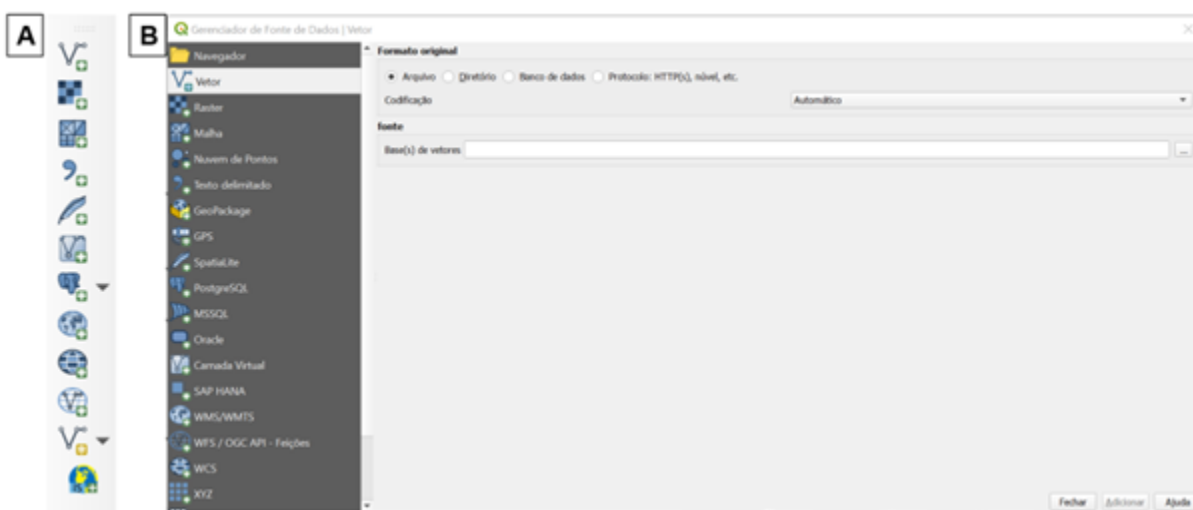


Figura I - (A) apresenta o menu Gerenciador de Camadas do QGIS e (B) a sua caixa de diálogo, que permite adicionar feições ao projeto em diversos formatos e fontes, incluindo vetores, como necessário ao projeto para o Método PUC, na etapa supracitada.

O vetor correspondente à bacia hidrográfica será adicionado ao ambiente de trabalho, ambos com projeção plana (Universal Transversa de Mercator, UTM), para o *datum* SIRGAS 2000, como na [Figura II](#), a seguir.

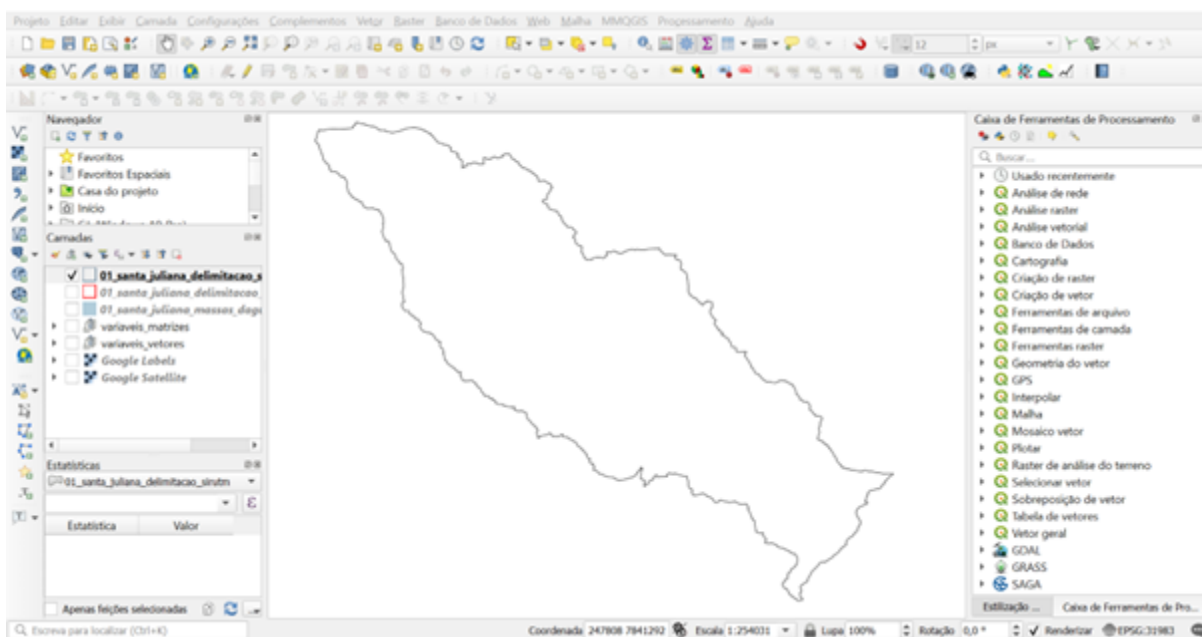


Figura II - Tela inicial de sugestão de organização do projeto para aplicação do Método PUC, com feições agrupadas no controle “Camadas”, à esquerda; e bacia hidrográfica de interesse, em tela: neste exemplo, a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana, delimitada em procedimento anterior. Note o EPSG configurado para SIRGAS2000, no canto direito do rodapé.

A fim de evitar efeitos de perda de dados no recorte das matrizes, importantes aos cálculos necessários *a posteriori*, como derivações da Matriz PUC (análise que será posteriormente detalhada, onde é feita uma integração entre os resultados do PUC e do uso e cobertura da terra) e outros quantitativos, recomenda-se realizar procedimento que auxiliará na diminuição do efeito de borda no *raster*. Ou seja, aplicar uma superfície envoltória, por *buffer*, ao limite da área de estudo. Esta poligonal será útil no recorte de todas as bases de entrada (vetores que serão *rasterizados* e a matriz do Modelo Digital de Elevação, MDE).

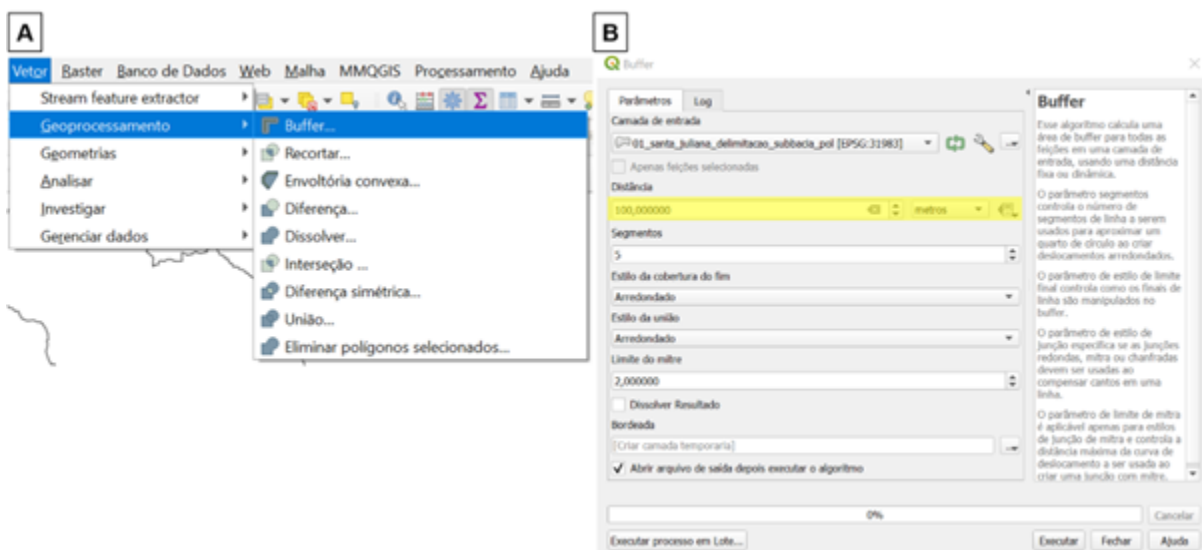


Figura III - (A) aponta ao menu principal do QGIS para acesso à ferramenta de processamento do *buffer*, no QGIS, a partir do Menu Vetor. E **(B)** é a caixa de diálogo com destaque para distância calculada, a partir da camada de entrada (delimitação da bacia hidrográfica)

No menu principal, acesse “Vetor” e se direcione até a ferramenta “*Buffer*” (Figura III-A) ou faça a busca por ela na Caixa de Ferramentas. Na caixa de diálogo do *buffer*, informe o limite da bacia como camada de entrada e defina 100 m (Figura III-B), como parâmetro para geração do polígono envolvente. O procedimento irá gerar um arquivo temporário (Figura IV), exporte-o como vetor auxiliar, também, no *datum* SIRGAS2000, projeção UTM.



Figura IV - Detalhe para representação do polígono envolvente da bacia hidrográfica, com simbologia em cor vermelha - em relação à bacia delimitada originalmente (na cor preta)

Inicie o pré-processamento das bases de entrada, adicionando os vetores (solos e litologias¹⁶) ao ambiente do projeto no QGIS e recorte-os para a área de interesse, usando do *buffer* delimitado na etapa acima. Para isso, utilize o menu “Vetor > Geoprocessamento > Recortar” (Figura V-A), sendo as camadas de solos e de litotipos, as de entrada, recortadas pela sobreposição da poligonal em *buffer* (Figura V-B). Exporte cada um dos arquivos (solos recortado e litotipos recortado) (Figuras VI-A e VI-B), obedecendo à codificação e organização

¹⁶ Por padrão, estes mapeamentos regionais, como no caso para o estado de Minas Gerais, estão disponíveis no datum World Geodetic System 84 (WGS84), uma vez que foram elaborados anteriormente à mudança do marco referencial para o Brasil (ver IBGE), cuja transição encerrou-se em 2015, ficando fixado o uso oficial do datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS2000) (IBGE, 2015). Diante disso, recomenda-se, junto ao pré-processamento do Item 3.1 deste manual, reprojeter as camadas de solos e litologias, anteriormente, ao corte em função do *buffer*. Use o Menu Vetor > Gerenciar Dados > Reprojeter Camada. Na opção SRC de destino, indique o EPSG:31983. Com este arquivo, mesmo temporário, execute os recortes para a área de interesse.

temática das camadas conforme a IDE-Sisema (MINAS GERAIS, 2022) e o capítulo 10.2 deste documento: 02_Nome_da_Bacia_solos_pol e 02_Nome_da_Bacia_litotipos_pol.

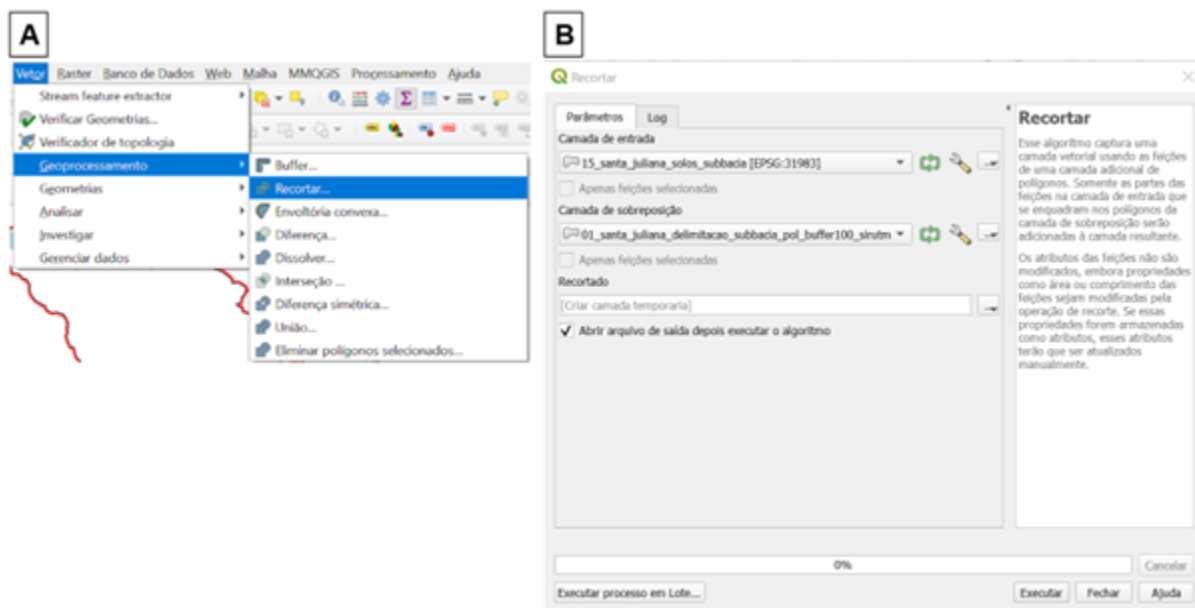


Figura V - (A) acesso à ferramenta Clip/Recortar, de geoprocessamento no QGIS, pelo Menu Vetor. E caixa de diálogo da ferramenta (B), em que as camadas de entrada serão os vetores dos mapeamentos de solos e de litotipos utilizados no projeto para o Método PUC e a camada de sobreposição é a bacia hidrográfica.

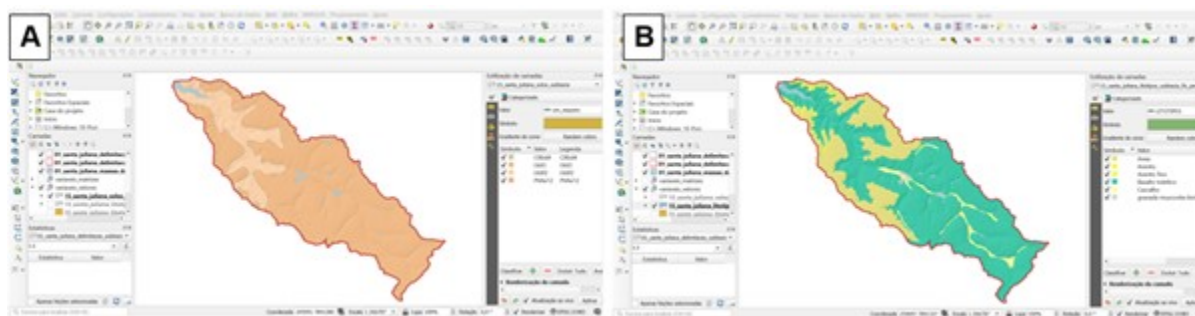




Figura VI - (A) e (B) representam, respectivamente, os recortes feitos, com uso do buffer da bacia, ao mapeamento de solos (UFV et al., 2010a) e geológico, para as folhas Nova Ponte e Perdizes, realizados pela Codemig et al. (2017a, 2017b)².

Prossiga com a edição destas camadas vetoriais, inserindo novas colunas nas tabelas de atributos, às quais receberão as notas de cada classe de solo e cada litotipo, respectivamente, conforme Costa et al. (2017), para a área de estudos. Abra a tabela de atributos (use do atalho com a tecla F6 ou clicando com o botão direito sobre a camada correspondente, a editar). Ative a edição da camada (selecione alternar modo de edição pelo ícone  ou use o atalho

Ctrl+E). Com a edição ativada, o ícone do lápis ficará realçado em sua tela , com isso, selecione “Novo Campo (Ctrl+W), pelo ícone destacado na [Figura VII](#) abaixo.

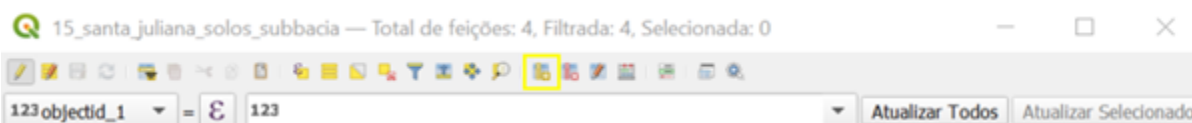


Figura VII - Tela da tabela de atributos, com seus menus de manipulação de dados. Destaque, em cor amarela, que possibilita inserir novo campo (nova coluna), o qual receberá as notas correspondentes à cada classe contida nos vetores (solos e litotipos)

Acionada a edição da primeira camada vetorial e selecionada a opção de incluir novo campo, deve-se informar o nome do campo: 'puc_notas'. O tipo de dado deverá ser decimal real, com comprimento e precisão que permitam inserir as notas PUC de forma fidedigna, sem arredondamento e com representação das casas decimais necessárias. Com isso, utilize comprimento igual a 5 e precisão igual a 2. Clique em Ok para finalizar o procedimento ([Figura VIII](#), procedimento **a**).

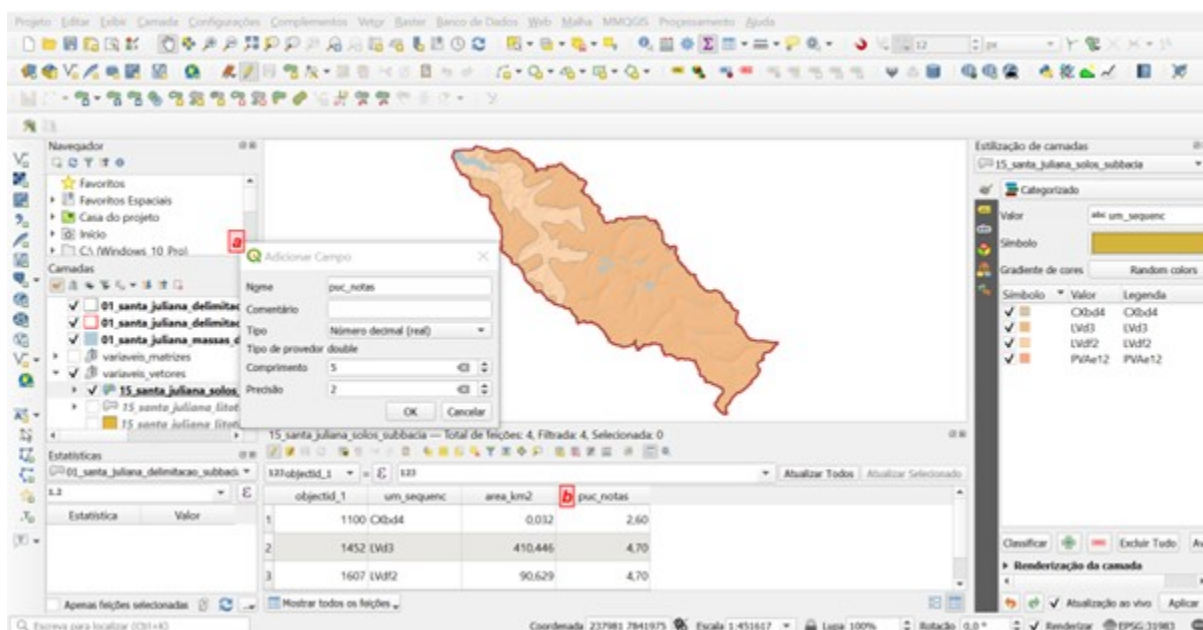



Figura VIII - Edição da primeira camada vetorial para o Método PUC: variável solo. O procedimento **a**, em vermelho, indica caixa de diálogo para criação de novo campo (coluna) na tabela de atributos. Já o procedimento **b**, também em destaque, mostra coluna criada, que deriva desta caixa de diálogo, a qual, em cada uma de suas linhas, receberá as notas das classes de solos correspondentes, contidas na área de estudo, de acordo com a Tabela 2 (COSTA et al., 2017)

Na coluna criada ([Figura VIII](#), procedimento **b**), insira cada nota PUC correspondente à variável do mapeamento, indicada em linha e coluna correspondentes. Ou seja, no exemplo

(Figura VIII), a coluna original (UFV *et al.*, 2010a)³ denominada 'um_sequenc', no mapeamento de solos, denomina cada classe de cobertura pedológica distribuída, espacialmente, por sigla que pode ser conferida em sua legenda expandida (UFV *et al.*, 2010b).³

A partir deste dado, para cada feição no vetor, informar a nota PUC final para solos (Tabela 3). Os valores podem ser inseridos diretamente em cada linha ou por meio de expressão e atualização do item selecionado, conforme preferência do analista. Ao finalizar o preenchimento da tabela de atributos, encerre a edição clicando em . Exporte o arquivo editado, portanto, já com as notas, com a mesma nomenclatura, porém no datum SIRGAS 2000, em UTM dentro da pasta 02_PUC.

Os procedimentos deverão ser repetidos para a outra camada em formato de vetor, isto é, correspondente ao mapeamento geológico, informando-se as notas de cada litotipo presente na área de estudos (Figura VIII, procedimentos a e b). Em seguida, ao finalizar e salvar edição do vetor, exportar a camada com notas atribuídas, com a mesma nomenclatura, porém no datum SIRGAS 2000, em UTM dentro da pasta 02_PUC.

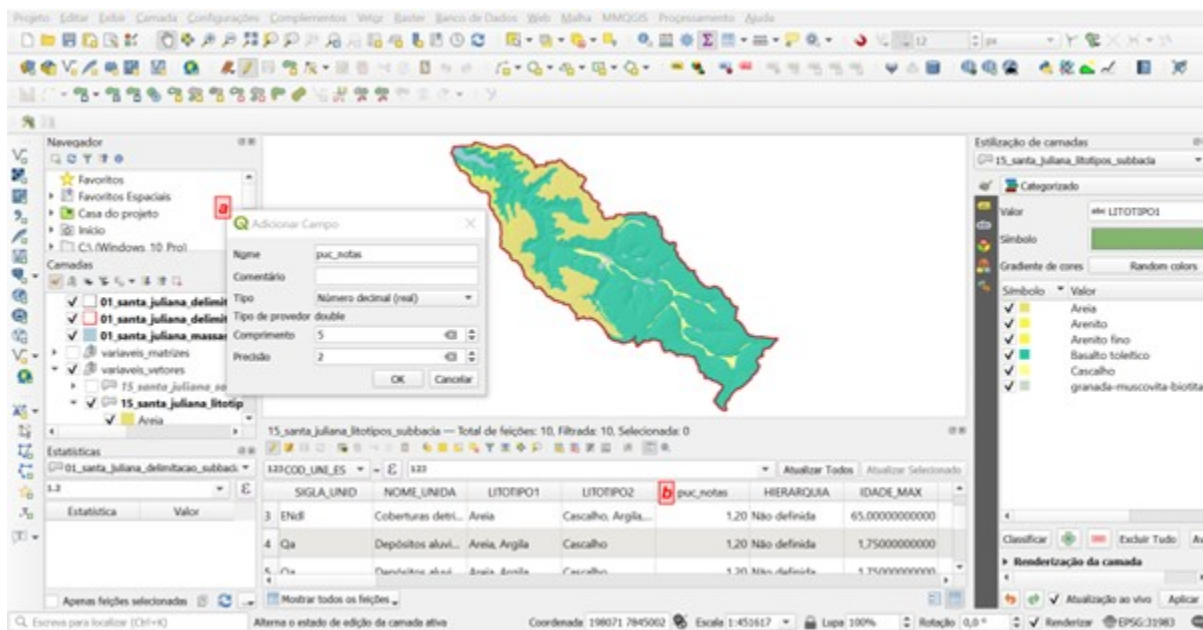


Figura IX - Edição da segunda camada vetorial para o Método PUC: variável litologia. O procedimento a, em vermelho, indica caixa de diálogo para criação de novo campo (coluna) na tabela de atributos. Já o procedimento b, também em destaque, mostra coluna criada, que deriva desta caixa de diálogo, a qual, em cada uma de suas linhas, receberá as notas das classes de litotipos correspondentes, contidas na área de estudo, de acordo com a Tabela 3 (COSTA *et al.*, 2017)

II) Pré-processamentos gerais e edição do *raster* de declividade

Os procedimentos indicados a seguir tratam do preparo da base referente ao *raster* (matriz) de declividade, cujo Modelo Digital de Elevação (MDE), que o origina, poderá ser adquirido, livre e gratuitamente, em repositórios como do [Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil TOPODATA](#) (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE); da Coleção Brasil em Relevo, com imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), via Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (USGS *apud* EMBRAPA, 2020), por exemplo ou, via [Earth Explorer](#)⁴, também com dados da missão SRTM disponíveis, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* - USGS).

Recomendam-se, aqui, duas considerações, verificar a resolução espacial (métrica ou submétrica) dos produtos referentes aos Modelos Digitais de Elevação (MDE) disponíveis para uso nesta etapa. Em geral, produtos livres possuem resoluções de 30m ou dados reamostrados por degradação destes para 12,5m (*Alaska Satellite Facility* - ASF, 2015). Diante disso, decorre a segunda recomendação de sugestão do uso do modelo digital [ALOS \(*Advanced Land Observing Satellite*\) PALSAR](#), disponibilizado por missão da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA), passível de *download* em ASF Vertex/*Earthdata* NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) (*Figura X*). Os dados utilizados para filtragem das imagens Alos Palsar para o ZAP são: File Type: Hi-Res Terrain Corrected e Beam Mode: FBS.

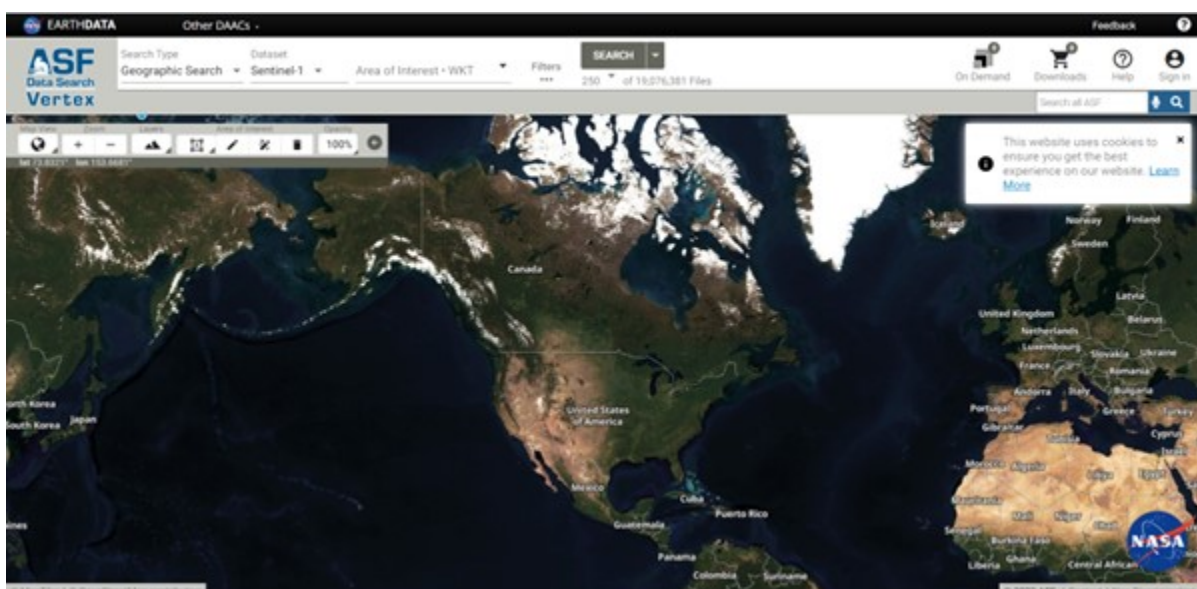


Figura X - Interface principal de busca e acesso aos dados ALOS PALSAR, em <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Este repositório livre também exige cadastro prévio simples.

Realizado o *download* do pacote de dados que contém o MDE para área de interesse, ele deverá ser extraído da pasta compactada e adicionado ao projeto no QGIS, utilizando-se do Gerenciador de Camadas, como visto anteriormente, desta vez, com o uso do item “*Raster*” (destacado em amarelo na [Figura XI](#), com duas formas de acesso, por menu e na caixa de diálogo, pelo atalho Ctrl+L). A [Figura XII](#) apresenta o *raster* já adicionado ao projeto, seguindo estes procedimentos.

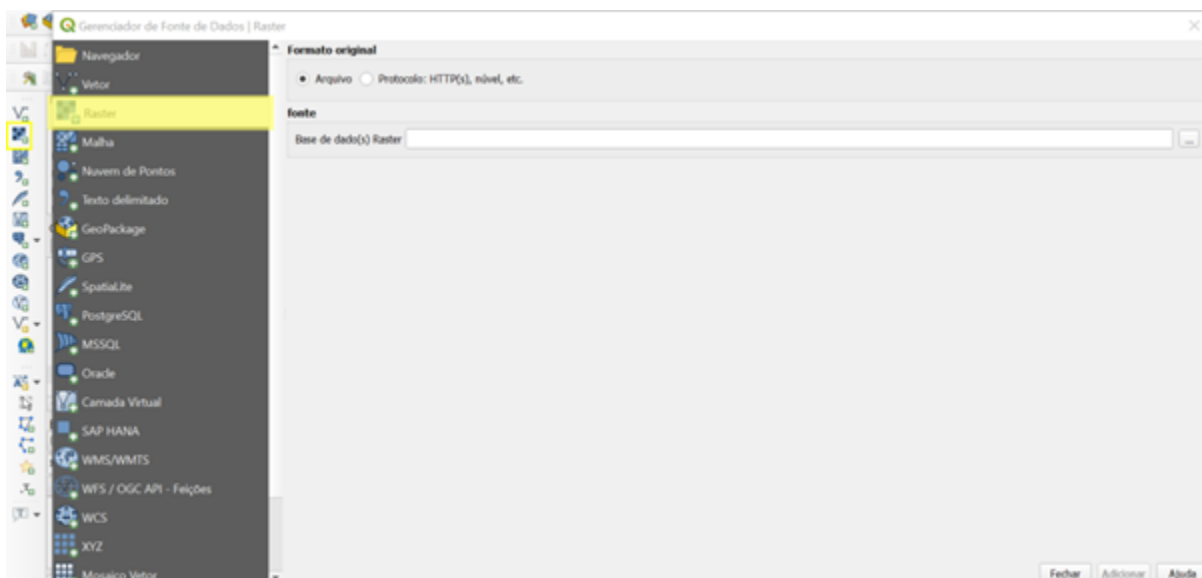


Figura XI - Tela para adição de camada raster ao projeto no QGIS que possibilitará utilizar do MDE ALOS PALSAR. Destaques em cor amarela de formas de inserção de arquivo de imagem (matriz); no campo Fonte, deve-se buscar pelo arquivo em diretório no computador, clicando-se no botão de reticências ao lado direito da caixa “Base de dado(s) Raster”

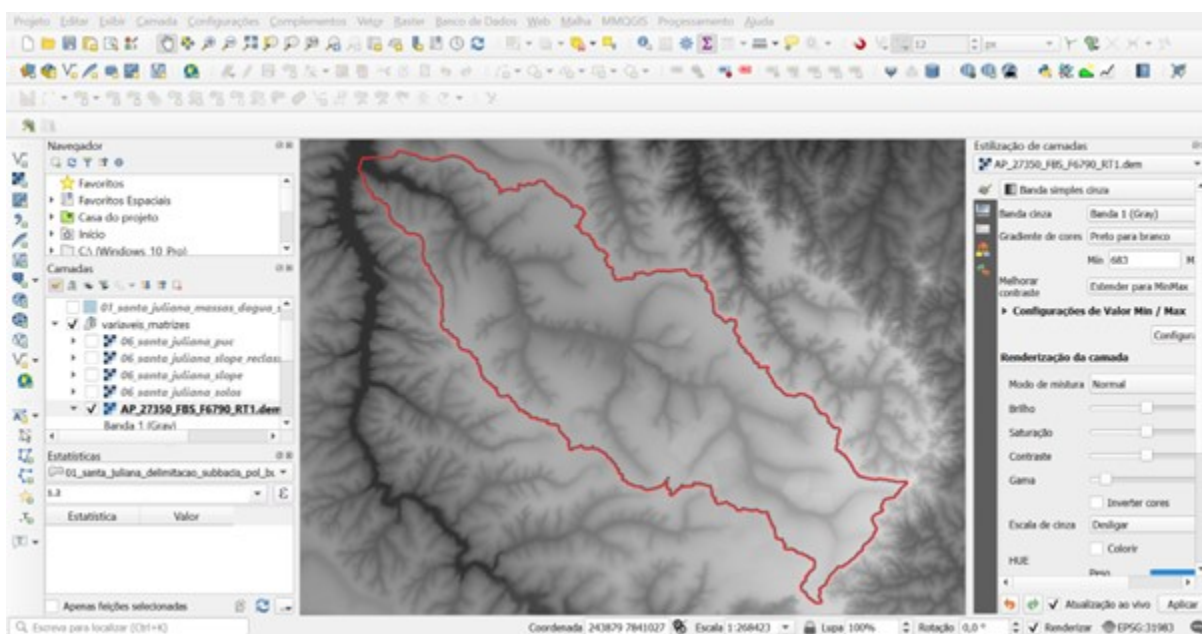


Figura XII - Arquivo de extensão .tif (Tagged Image File Format) correspondente ao MDE adicionado ao projeto no QGIS. Note que toda a quadrícula referente à imagem baixada foi adicionada ao projeto

Para suavizar o processo (tempo de processamento) e evitar sobrecarga operacional do computador, utiliza-se o MDE somente para a área de interesse, ou seja, dentro dos limites da bacia hidrográfica. Novamente, usa-se o *buffer* criado como recurso para recorte da imagem em função da bacia hidrográfica em estudo no ZAP. Para tanto, utiliza-se do Menu *Raster > Extrair > Recortar Raster pela Camada de Máscara* (os nomes das etapas estão sujeitos a pequenas modificações, a depender da versão do QGIS utilizada) (Figura XIII-A). A etapa seguinte (Figura XIV) é o cálculo da declividade por meio de um dos algoritmos nativos do QGIS.

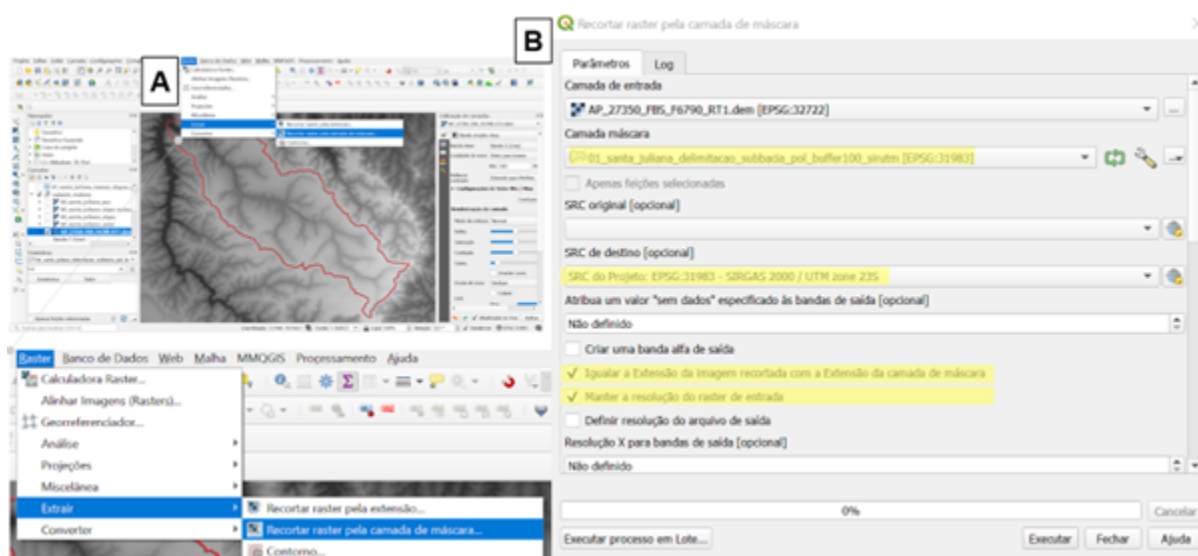


Figura XIII - As telas acima representam reprodução do acesso ao Menu *Raster* (A), com detalhe (à esquerda e abaixo), do Menu *Extrair* por camada máscara. Ao lado, em (B), a caixa de diálogo desta ferramenta, com destaques importantes, como a camada máscara utilizada (vetor em buffer da bacia, calculado anteriormente); o sistema de coordenadas e projeção de saída, em consonância com o projeto e demais camadas (SIRGAS2000, UTM); e os indicativos para deixar marcadas as caixas de seleção referentes à igualar a extensão da imagem à máscara e manter a resolução original, de 12,5m. Ao finalizar, clicar em *Executar*

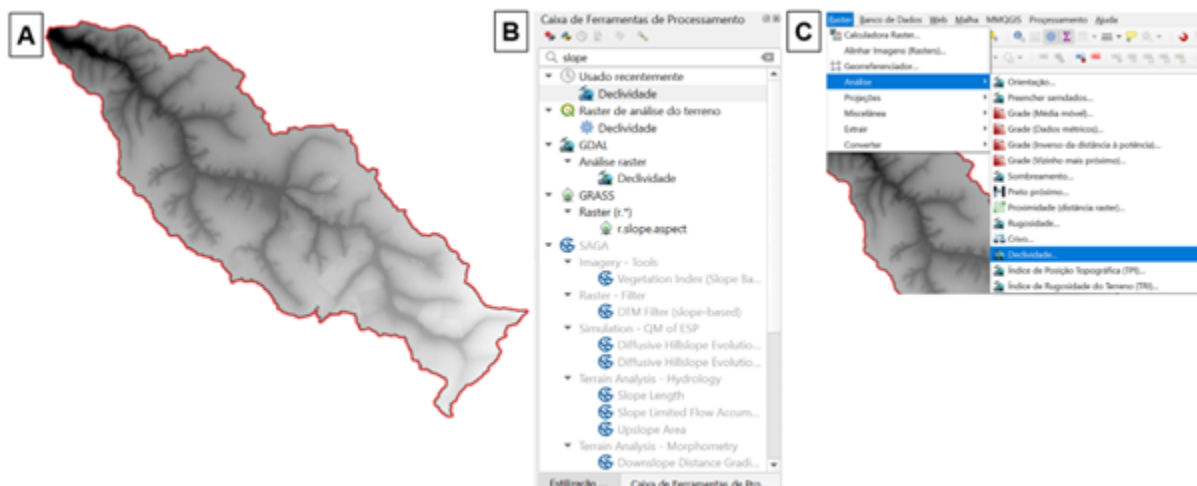


Figura XIV - (A) é a imagem resultante do procedimento de extração (Figura 15). (B) e (C) são, respectivamente, formas de acessar o algoritmo de declividade do GDAL que será aplicado ao raster recortado do MDE. Isto é, por busca na Caixa de Ferramentas, digitando-se o termo-chave “slope” ou, via Menu Raster > Análise > Declividade


A [Figura XV](#) apresenta a caixa de diálogo do algoritmo de declividade, na qual deve-se apontar ao *software* para extração destes valores em porcentagem, assim, o resultado estará em acordo aos intervalos propostos por Embrapa (1979) e à [Tabela 2](#). Sendo, aqui, um produto para reclassificação posterior para as notas finais de declividade de Costa *et al.* (2017) ([Tabela 2](#)).



Figura XV - A caixa de diálogo do cálculo de declividade está representada em (A), com destaque, na cor amarela, para a expressão dos dados em porcentagem e **não em** graus. A camada de entrada é o raster recortado. Demais parâmetros não devem ser marcados nesta caixa. Clica-se em Executar para ter o produto representado em (B)

O passo seguinte se refere a reclassificar este *raster* de declividade. Isto é, os valores aqui obtidos conforme [Figura XV](#) são aqueles computados para as declividades, conforme

resolução, para o conjunto de *pixel* e coleções de vertentes (formas, elementos e segmentos nas feições da paisagem), que permitam classificá-los como mais suavizados ou mais dissecados. Para o PUC, estes atributos, relacionados, diretamente, à recarga hídrica, por exemplo, ou à suscetibilidade à perda de solos por erosão, estão ranqueados de 5 a 1 ([Tabela 2](#)); devendo-se, portanto, informar ao *software*, esta nova associação, correlacionando notas PUC aos respectivos potenciais.

A ferramenta utilizada para reclassificar (*r.reclass*  *r.reclass*) pode ser encontrada na Caixa de Ferramentas ([Figura XVI-A](#)), com o uso do GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*). Basta digitar “*reclass*” no campo de buscas ([Figura XVI-A](#)). O acesso ao algoritmo se dá por duplo clique sobre o *r.reclass* na lista de ferramentas.

Reclassificar implica em informar ao QGIS quais intervalos deverão ter os seus valores reais, novamente, associados aos intervalos já classificados. Uma vez que, por exemplo, para a Embrapa, os intervalos entre 0% e 3% de declividade indicam formas planas de relevo e o PUC classifica-os como de maior potencial (logo, com nota 5), é necessário apontar cada uma destas faixas ao programa. Uma forma de fazê-lo, no uso do *r.reclass*, é por meio de expressões, inseridas por arquivo *.txt* ou, diretamente, na caixa de diálogo ([Figura XVI-C](#)). Note que, para saber o valor mais alto do intervalo final, ou seja, ranqueado associado às formas mais escarpadas, é necessário acessar as propriedades da camada do *raster* de declividade, clicando-se sobre ela duas vezes ou, com o botão direito, em seguida acessando “Propriedades” ([Figura XVI-B](#)).

Nas propriedades da camada, acessa-se “Simbologia” e o último valor necessário para listar os intervalos e reclassificação será obtido ao estimar a precisão real do *raster* inteiro, tomando-se o seu valor máximo (destaques na cor amarela na [Figura XVI-B](#)).

Com este valor, é possível construir a listagem de expressões de reclassificação. No exemplo, o valor maior de declividade para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana tem valor de 60,8276%, para tal, arredonda-se o valor para o maior inteiro seguinte, ou seja, 61%. Sendo assim, tem-se as expressões de regra para reclassificação ao *r.reclass* no QGIS:

```
0.000 thru 3.000 = 5
3.001 thru 8.000 = 4
8.001 thru 20.000 = 3
20.001 thru 45.000 = 2
45.001 thru 61.000 = 1
```

Assim, retomando-se a [Tabela 2](#), tem-se a [Tabela I](#):

Tabela I - Notas finais atribuídas às classes de declividade e expressão para se atingir a nota PUC

Declividade (%)	Tipo de Relevo	Expressão para atingir Nota PUC	Notas finais PUC
0 a 3	Plano	0.000 thru 3.000 = 5	5
3 a 8	Suave Ondulado	3.001* thru 8.000 = 4	4
8 a 20	Moderadamente Ondulado a Ondulado	8.001 thru 20.000 = 3	3
20 a 45	Forte Ondulado	20.001 thru 45.000 = 2	2
> 45	Montanhoso a Escarpado	45.001 thru 61.000** = 1	1

Fontes: Costa *et al.* (2017) e Embrapa (1979).

* Por tratar-se de propriedade de conjuntos matemáticos, cada intervalo deverá ser delimitado para reclassificação, ou seja, por exemplo, $(3,001 < \text{NOTA } 4_{\text{PUC}} \leq 8,000)$.

**Indica-se sempre o valor subsequente ao mais alto calculado para a declividade.

O produto da reclassificação será uma camada raster, que deverá ser exportada com a denominação 02_Nome_Bacia_declividade.tif (no exemplo 02_Santa_Juliana_d eclividade.tif) dentro da pasta 02_PUC.

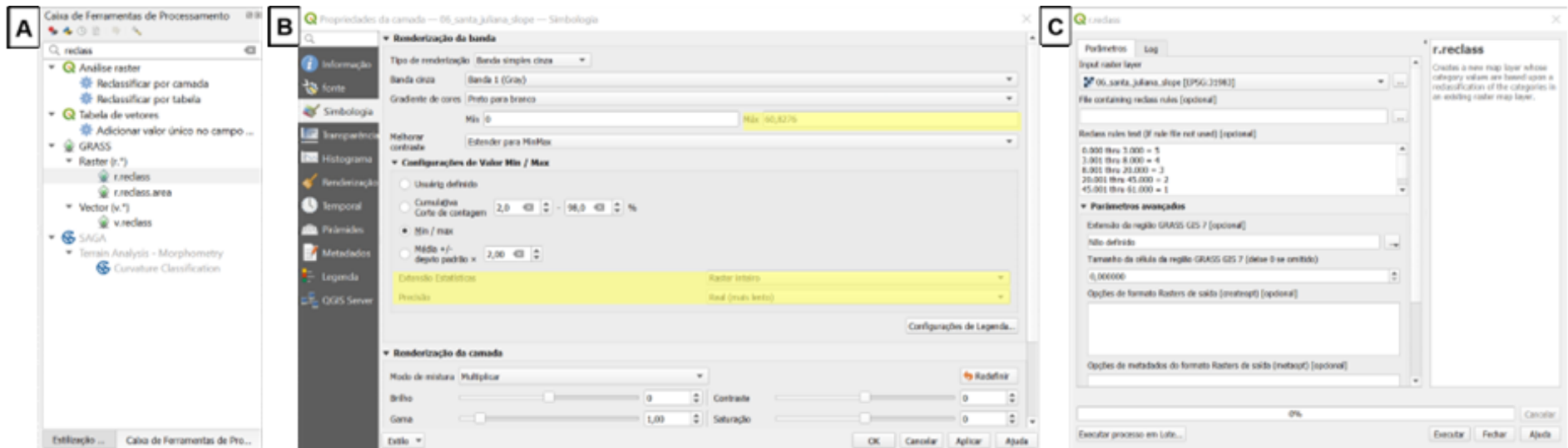


Figura XVI - (A) Localização do r.reclass por busca na Caixa de Ferramentas do QGIS. (B) é a Simbologia das Propriedades da camada do raster de declividade calculada para bacia, com destaque para o valor máximo obtido, a partir das estatísticas por extensão do raster inteiro e precisão real. (C) é a caixa de diálogo da reclassificação do raster de declividade, em que se informam as expressões textuais que funcionam como regra ao programa, na associação dos valores a cada pixel

Conversão de camadas vetoriais para o formato *raster*

No Item 5.1 foram apresentados procedimentos para atribuição das notas PUC às variáveis solo e litologia, no entanto, estas são camadas originalmente manipuladas no ambiente do QGIS, na forma de vetor, quase sempre no formato *shapefile*. Como o PUC será expresso de forma espacialmente distribuída, graças à uma álgebra de mapas, por ponderação das variáveis envolvidas, todas as camadas de entrada deverão estar no mesmo formato e, ainda, em consonância ao empilhamento (somatório) destas camadas. O que exige que todas elas sejam imagens, de mesma resolução espacial, georreferenciadas, logo, em formato *raster*.

Inicia-se, então, pela camada vetorial de solo, com as notas atribuídas. Importante lembrar que a camada deve ter sido exportada, anteriormente, na forma correta de suas configurações de projeção (sistema de coordenadas planas), arquivos em formatos de coordenadas geográficas não servirão aos procedimentos exigidos. A rasterização de uma camada se dá por conversão do vetor com o uso do GDAL; para tal, busca-se pelo algoritmo na Caixa de Ferramentas, devendo-se utilizar a palavra-chave “rasterizar” (Figura XVII). Usa-se “Converter Vetor para *Raster* (Rasterizar)”. Novamente, para ter acesso à caixa de diálogo correspondente à ferramenta, clique sobre ela duas vezes na lista.

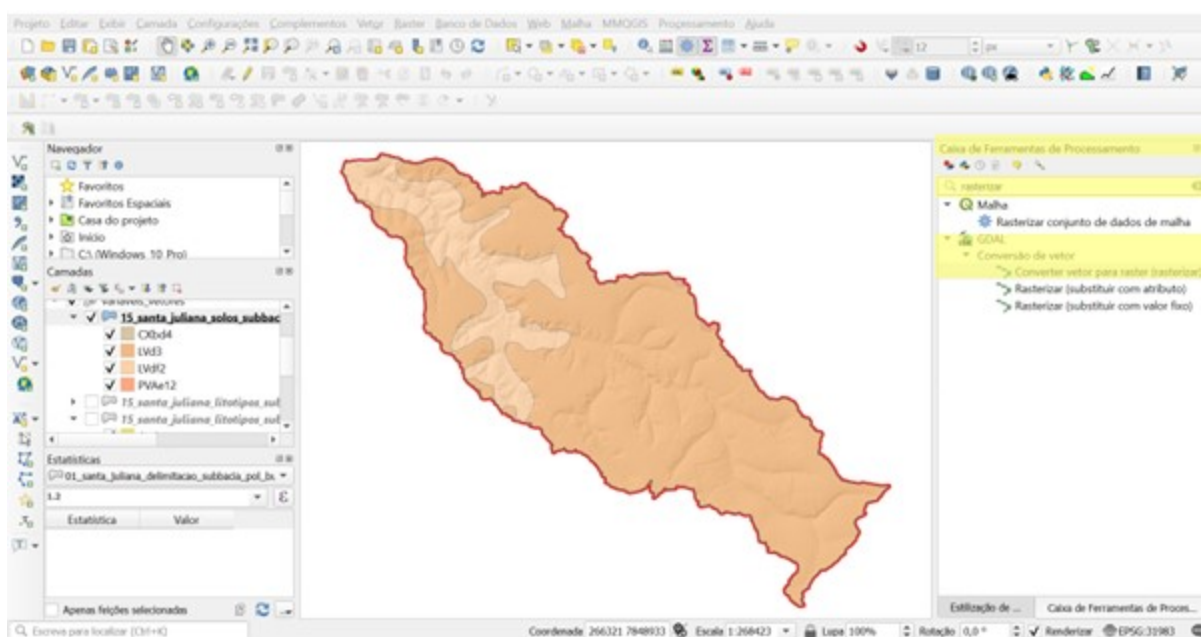


Figura XVII - Nesta tela, é possível ver, nos destaques, como localizar e acessar a ferramenta que será útil à conversão das camadas vetoriais (solo e litologia), trabalhadas anteriormente, no começo da aplicação do Método PUC no QGIS

A conversão, propriamente dita, será realizada tendo-se o vetor como camada de entrada. Deve-se informar, na caixa de diálogo da ferramenta (Figura XVIII-A), o campo de *burn-in*, ou

seja, quais valores do vetor serão transformados e mantidos como imagem. No caso, a coluna denominada 'puc_notas' é a que será convertida. Por fim, informam-se as unidades georreferenciadas (como tamanho de saída) e as resoluções horizontal e vertical, devendo estas serem iguais à resolução do *raster* do MDE utilizado para a declividade. No caso apresentado aqui, como fez-se o uso do ALOS PALSAR, as resoluções correspondem a 12,5m. A [Figura XVIII](#) ilustra a conversão do vetor, em *raster*, para a variável solo, após clicar em 'Executar'. Os arquivos a serem *rasterizados* correspondem aos 02_Nome_da_Bacia_solos_pol e 20_Nome_da_Bacia_litotipos_pol. Ambas as conversões devem ser salvas na mesma pasta (02_PUC) com extensão. tif.

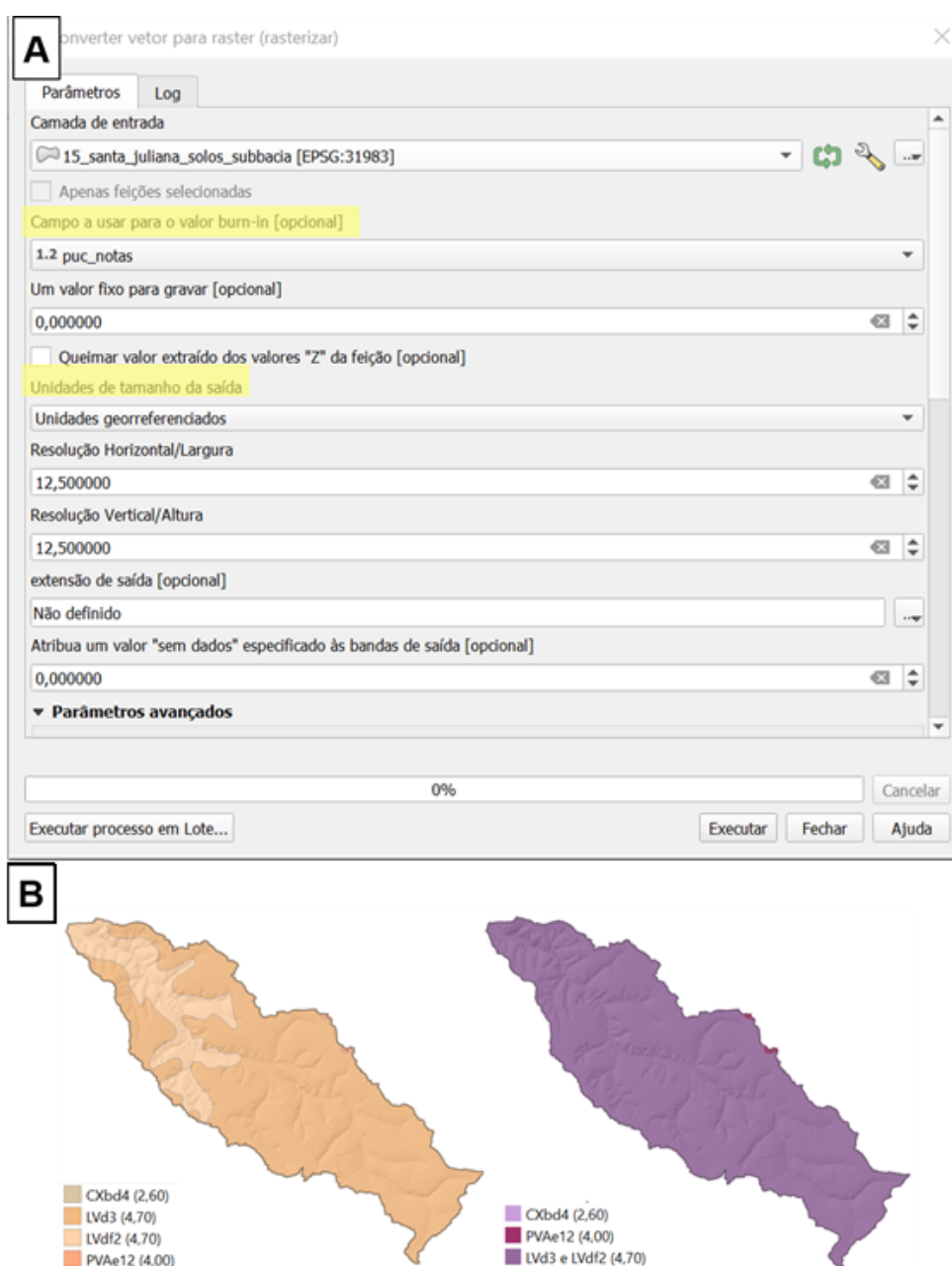


Figura XVIII - (A) configurações ajustadas para a rasterização da camada de solo da bacia hidrográfica trabalhada. E (B) o resultado da conversão, à esquerda, o vetor, com as 4 variáveis às quais foram

atribuídas as notas e, à direita, a imagem resultante, tendo-se a coluna de notas por base para a conversão. Note que porções mesmo diminutas, no mapeamento original, em função do recorte, também foram computadas. E serão utilizadas ao final, na álgebra de mapas, cujo produto (PUC), posteriormente será recortado para a bacia e para aplicação na Matriz PUC

Repetem-se, neste caso, as configurações para o procedimento de conversão para o vetor da variável litologia, sendo esta, agora, a camada de entrada (Figura XIX).

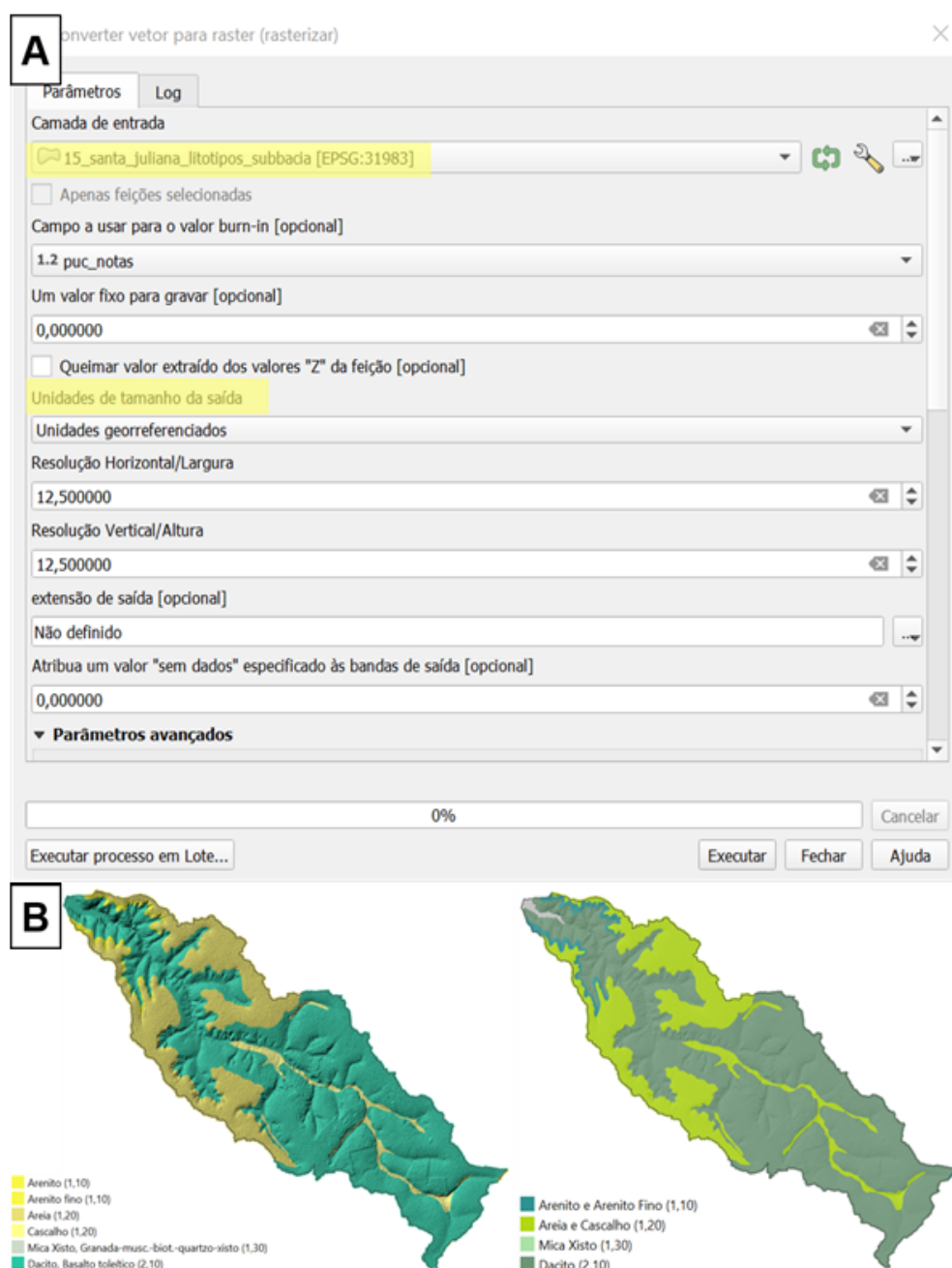


Figura XIX - (A) configurações ajustadas para a rasterização da camada de litologia. E (B) o resultado da conversão, à esquerda, o vetor, e, à direita, a imagem resultante, tendo-se a coluna de 'puc_notas' por base para a rasterização

Aplicação de álgebra de mapas do Método PUC

O Método PUC é sintetizado, conforme Costa *et al.* (2019a, 2019b) em uma álgebra de mapas, a qual permitirá, também, a representação cartográfica das zonas de potenciais, conforme faixas (intervalos) definidos (Tabela II), em escala de cinco classes: Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto PUC. A estas classes, além dos intervalos matemáticos iguais, também está atribuído um padrão de conjunto de cores, para simbologia cartográfica, que deverá ser obrigatoriamente seguido nos produtos cartográficos

Tabela II - Classes, intervalos e simbologia do Método PUC

Classes PUC	Intervalos	Cores	Referências (#Hex)
Muito Baixo	1,00 – 1,80	Vermelha	#ff0000
Baixo	1,81 – 2,60	Laranja	#ff9900
Médio	2,61 – 3,40	Amarela	#ffff12
Alto	3,41 – 4,20	Verde	#66bc41
Muito Alto	4,21 – 5,00	Azul	#3c78d8

Fontes: Núcleo de Estudo e Pesquisa do ZAP UFMG (2021), conforme Costa *et al.* (2017) e Costa *et al.* (2019a), adaptado.

Assim, a aplicação da álgebra dá-se com o uso da Calculadora Raster do QGIS, disponível no Menu *Raster > Calculadora Raster* (Figura XX-A), com a qual será possível inserir a expressão da Equação 1 (Figura XX-B) e exportar o arquivo de imagem georreferenciada, em formato .tif, referente ao PUC, para uso em cartas e produtos derivados, como a Matriz PUC e no produto de Conflitos de Uso do ZAP.

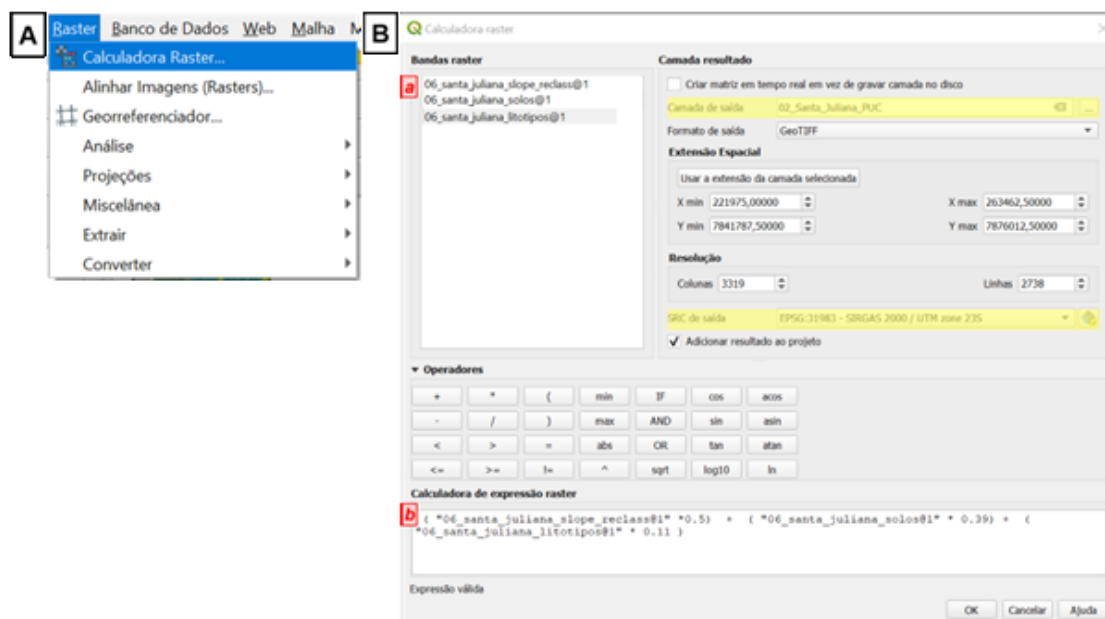


Figura XX - Em (A) vê-se a forma de acesso, pelo menu principal, à Calculadora Raster, via Menu Raster. Já (B) é a tela referente à calculadora em si, em que devem ser feitos alguns procedimentos, para digitação da Equação 1

O primeiro passo é verificar as bandas *raster* disponíveis, carregadas no projeto. Ou seja, o *raster* de declividade com notas finais do PUC e as demais matrizes, correspondentes à rasterização do solo e da litologia da bacia. Todas as imagens foram obtidas em processos anteriores. Este é o procedimento **a**, identificado em destaque na cor vermelha. Uma etapa de conferência.

Estas serão as bandas utilizadas na montagem da expressão, onde cada variável deverá figurar entre parêntesis, ponderada. Ou seja, conforme o procedimento **b** (em vermelho), abre-se o primeiro parêntese (clcando duas vezes sobre o seu ícone em tela), clica-se duas vezes no *raster* de declividade (na lista de bandas), clica-se no sinal de produto (*) e digita-se o peso correspondente (0.5); fecha-se o parêntese. Insere-se o sinal de soma (+). Repete-se o procedimento para as variáveis solo (ponderada em 0.39) e litologia (multiplicada por 0.11).

Antes de concluir é necessário selecionar um local no computador para salvar o *raster* resultante (Camada de Saída) e indicar o SRC de Saída (*datum* e projeção). Salve em coordenadas planas, que auxiliarão nos cálculos da Matriz PUC. Se tudo estiver corretamente realizado, o QGIS aponta, na margem da caixa de diálogo, na base, a mensagem “expressão válida”. Clique em Ok para executar. O produto será o PUC para a bacia hidrográfica em análise (no exemplo, a bacia do Santa Juliana, no Triângulo Mineiro) (Figura XXI).

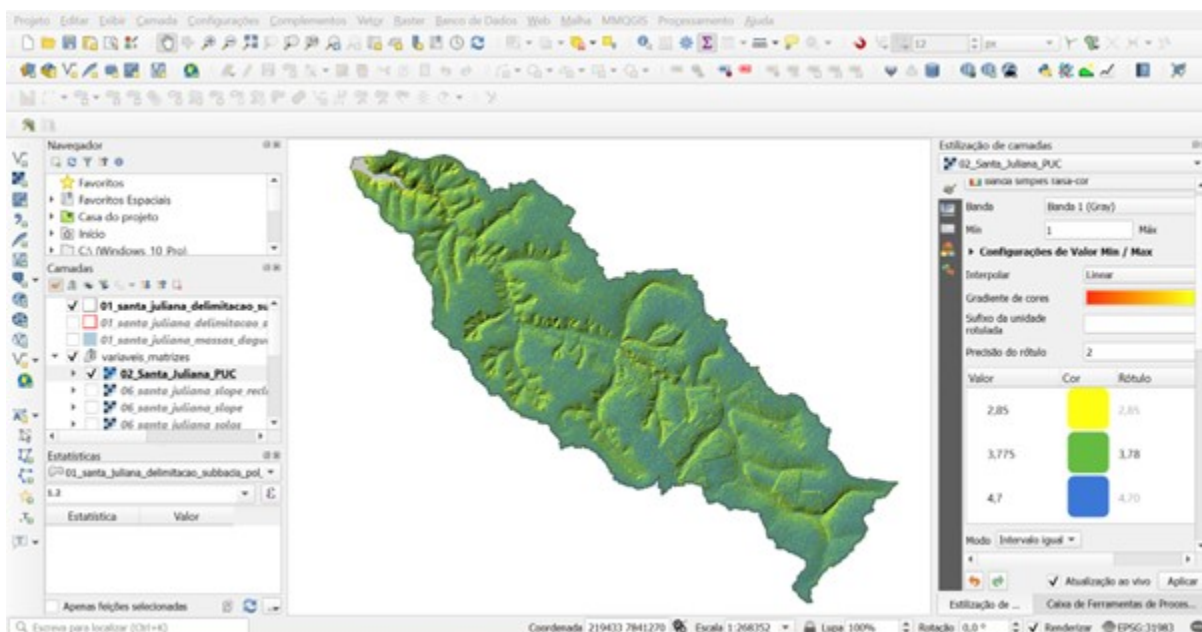


Figura XXI - Resultado da aplicação da Equação 1 com potenciais da bacia do Santa Juliana, carregado em tela. A representação das cores, aqui, é acompanhada de sobreposição a um relevo sombreado (Hillshading/Sombreamento), obtido com o MDE ALOS PALSAR. É uma forma sugerida de composição de layout de apresentação no relatório do ZAP, facilitando ao leitor a compreensão da organização das formas da paisagem

Por fim, considerando-se que são cinco classes de PUC e vinculadas a intervalos iguais (a cada 0,8, adimensional), faz-se reclassificação final do produto obtido na etapa anterior, para valores inteiros, utilizando-se, novamente, no `r.reclass`, conforme a [Figura XXII](#).

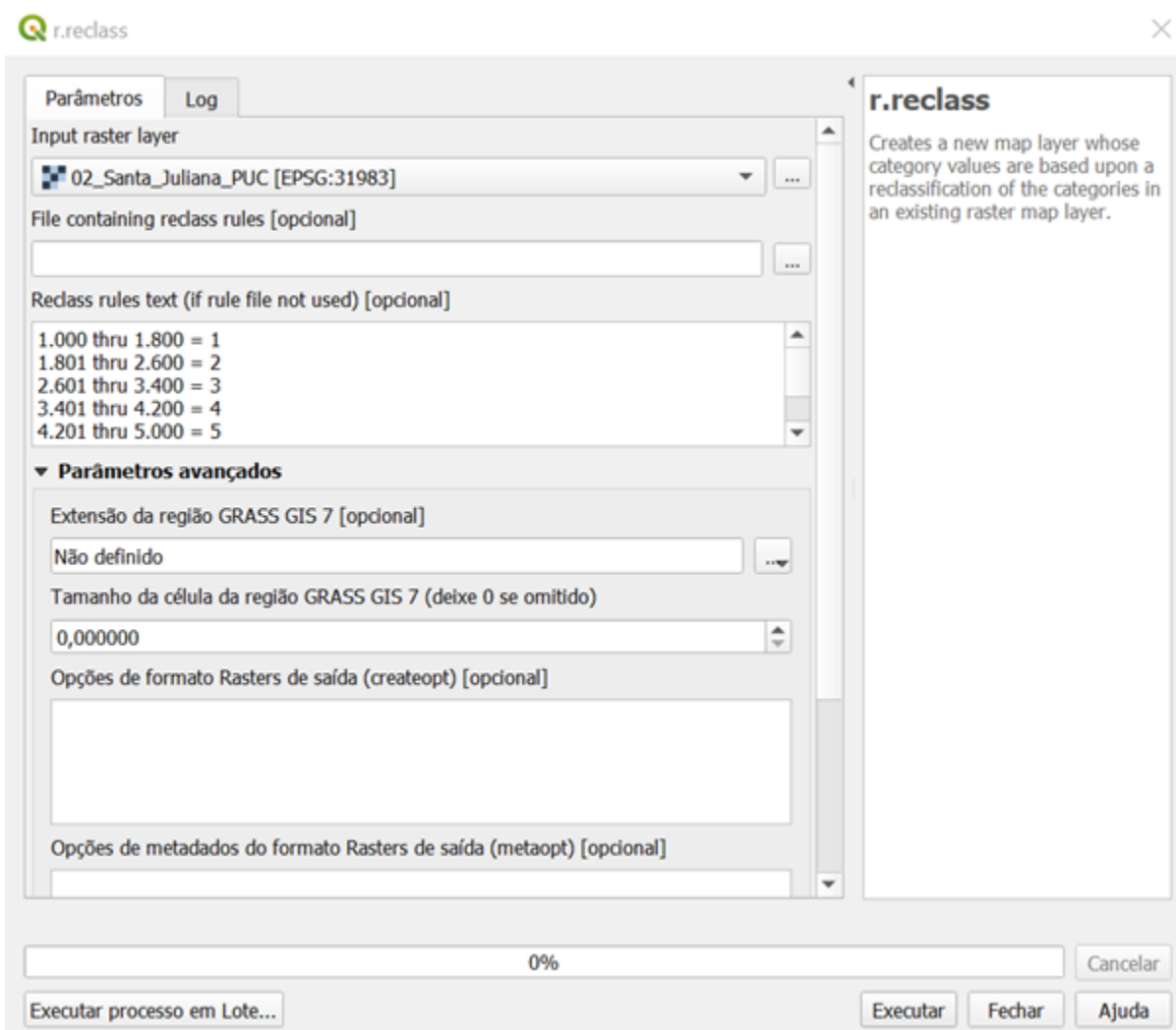


Figura XXII - Janela da caixa de diálogo do *r.reclass* para reclassificação final do PUC. É este o produto que será utilizado para parear ao uso e cobertura na Matriz. Note as regras apontadas nas expressões conforme os intervalos do Quadro 1, que foram inseridas no campo “Reclass rules text”

Antes de finalizar o procedimento, é necessário remover as massas d’água no *raster* PUC gerado. Para isso, é necessário que o produto de uso e ocupação da terra (Capítulo 7) já esteja finalizado, pois deve-se utilizar a classe “Águas Continentais” para remoção das classes de PUC nesses usos (que sempre será Muito Alto), evitando distorções no resultado.

Com a classe de Águas Continentais do uso e ocupação da terra carregada em ambiente SIG, rasterize-a seguindo os mesmos procedimentos adotados para a base de solos e litologia, porém, sem utilizar um campo para valor “burn-in” alterando a opção “sem dados” de 0 para 1 (Figura XXIII) e a extensão deve ser exatamente igual à do arquivo PUC reclassificado. Esse valor é importante, pois todo o *raster* PUC se multiplicará a este *raster* gerado de Águas Continentais, através da “Calculadora Raster”.

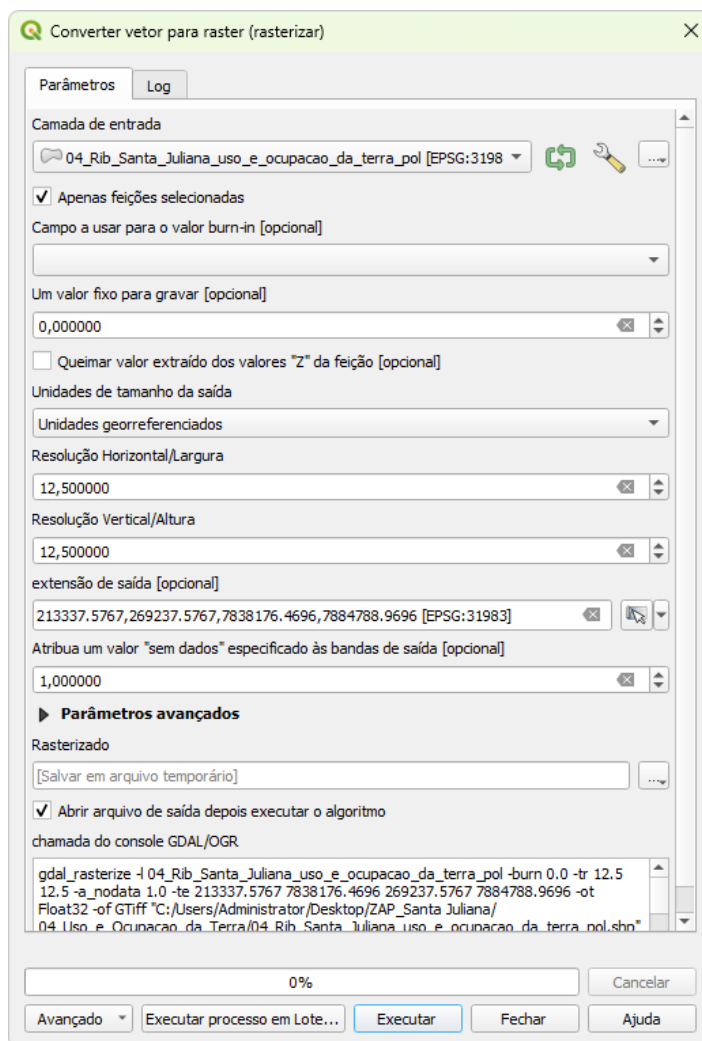


Figura XXIII - Configurações ajustadas para a rasterização da classe “Águas Continentais” para a camada de uso e ocupação da terra.

O resultado deste produto para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana pode ser observado na [Figura XXIV](#) abaixo, onde a classe “Águas Continentais” rasterizada compreende o valor 0, enquanto o restante tem o valor de 1.

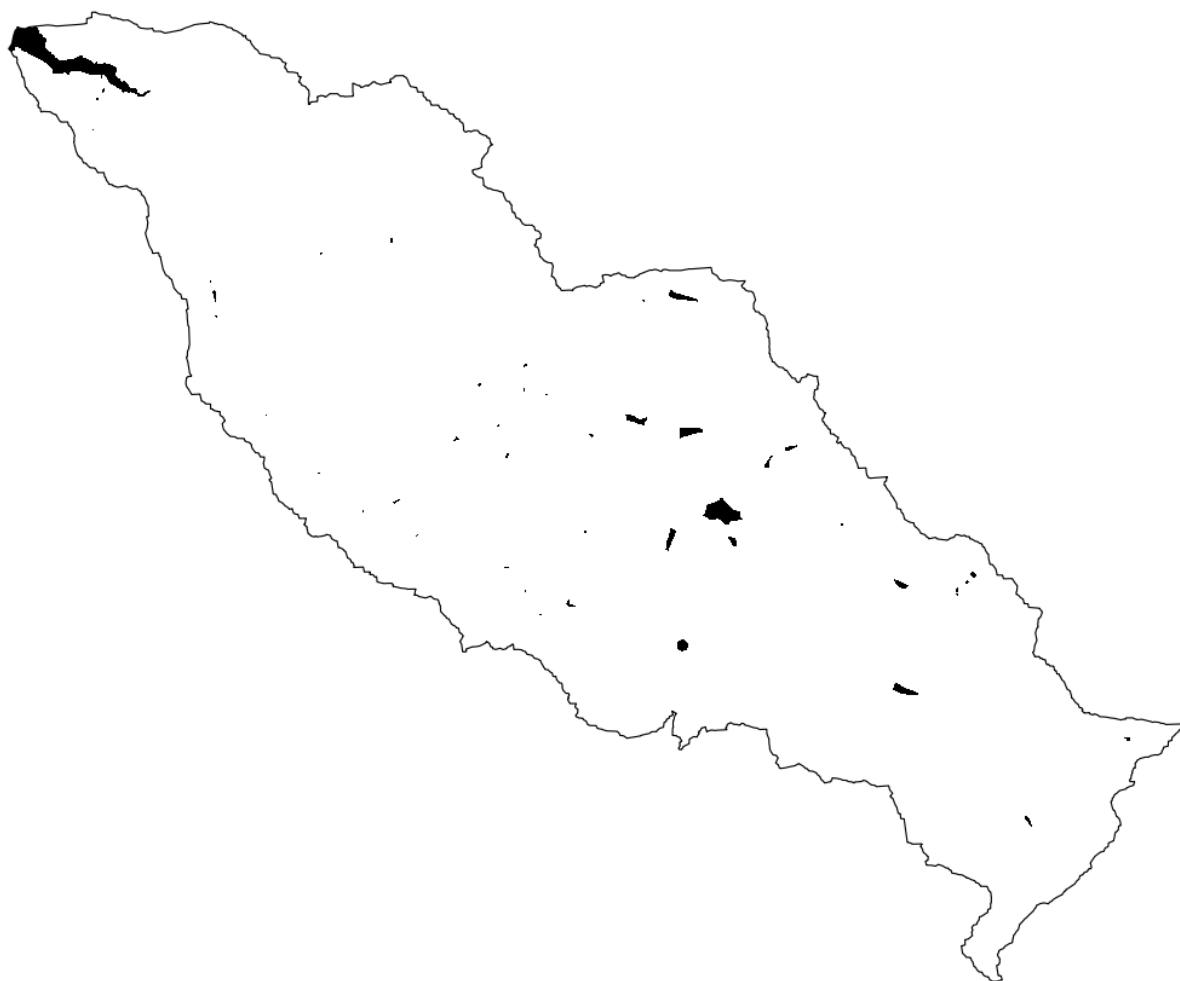


Figura XXIV - A classe de uso e ocupação da terra “Águas Continentais” rasterizada para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana.

Utilizando a calculadora *raster*, multiplica-se o *raster* PUC reclassificado com o *raster* de águas continentais conforme [Figura XXV](#) abaixo, removendo assim, os valores de PUC para onde há massas d’água.

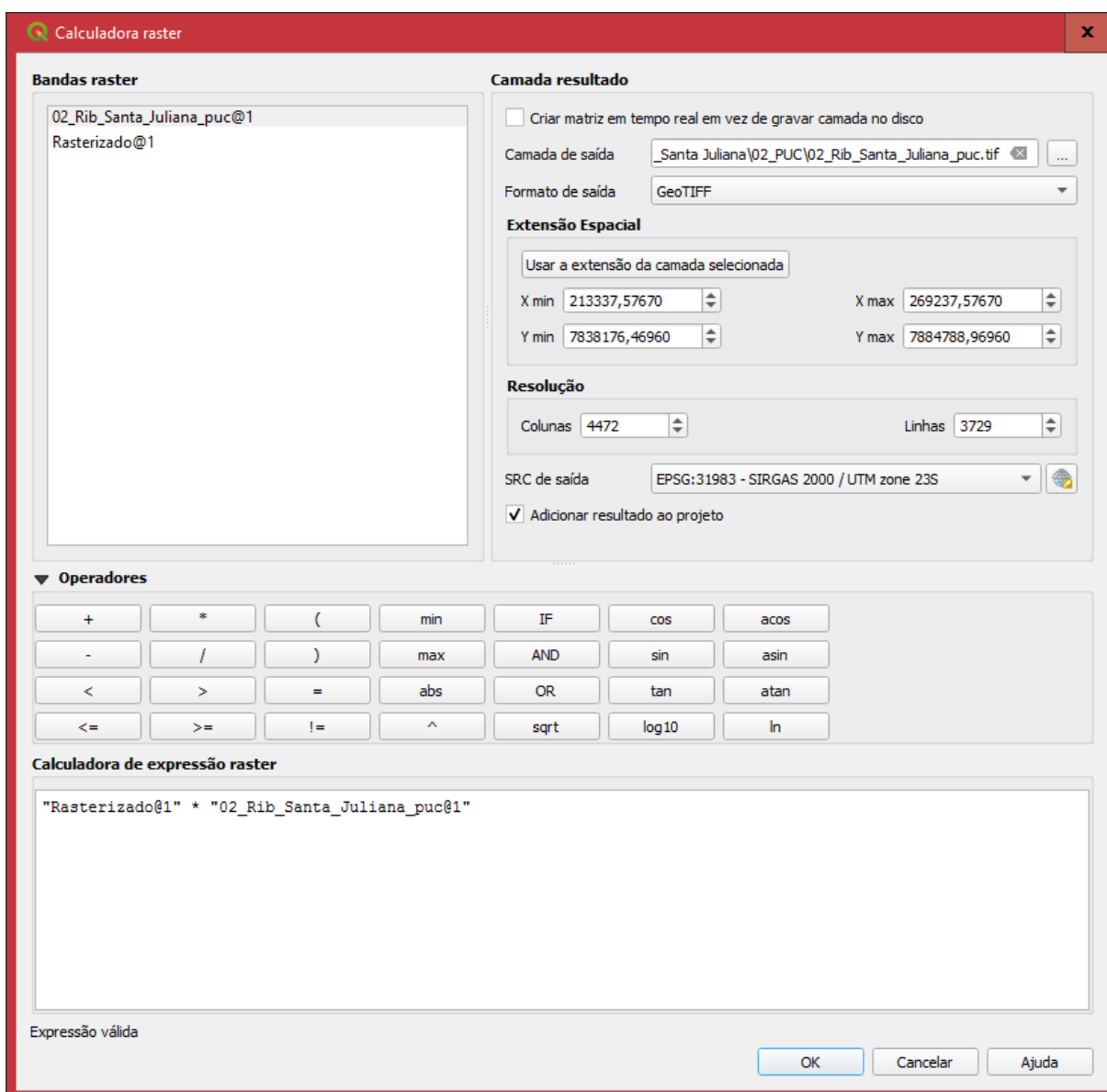


Figura XXV - Cálculo para remover as Águas Continentais do produto final de PUC.

Finalizando, aplica-se a simbologia das cores contidas no Quadro 1 e usa-se deste produto para a Matriz e composições cartográficas ([Exemplo para a sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana no capítulo Método Potencial de Uso Conservacionista](#)). O arquivo final após reclassificação deve ser salvo como 02_Nome_da_Bacia_PUC.tif na pasta 02_PUC. Cabe lembrar que, como será apresentado no capítulo de resultados, a Matriz é fruto de uma interseção com o produto de uso e ocupação da terra, mapeado para outro produto do ZAP. Assim, sendo fiel aos cálculos, faz-se necessário recortar para a área da bacia, uma vez que todos os procedimentos foram feitos, sem perdas, com o suporte do *buffer*, como polígono envolvente.

III) MATRIZ PUC

O resultado da álgebra de mapas apresenta um arquivo no formato *raster*, com um conjunto de *pixels* formados por valores decimais compreendidos no intervalo de 1 a 5 como estabelecido [Tabela II](#). Levando em conta que a área de abrangência de cada *pixel* é 156,25 m² (12,5 x 12,5), é sabido que uma extensa quantidade é necessária para a cobertura de uma área, sendo matematicamente possível aparecer *pixels* com valores diferentes no infinito dentro de um mesmo intervalo. Nessa prerrogativa, para a aplicação da Matriz PUC, é conveniente que ocorra a reclassificação dos valores, como efetuado no item anterior para o *raster* de declividade buscando uma homogeneização dos intervalos.

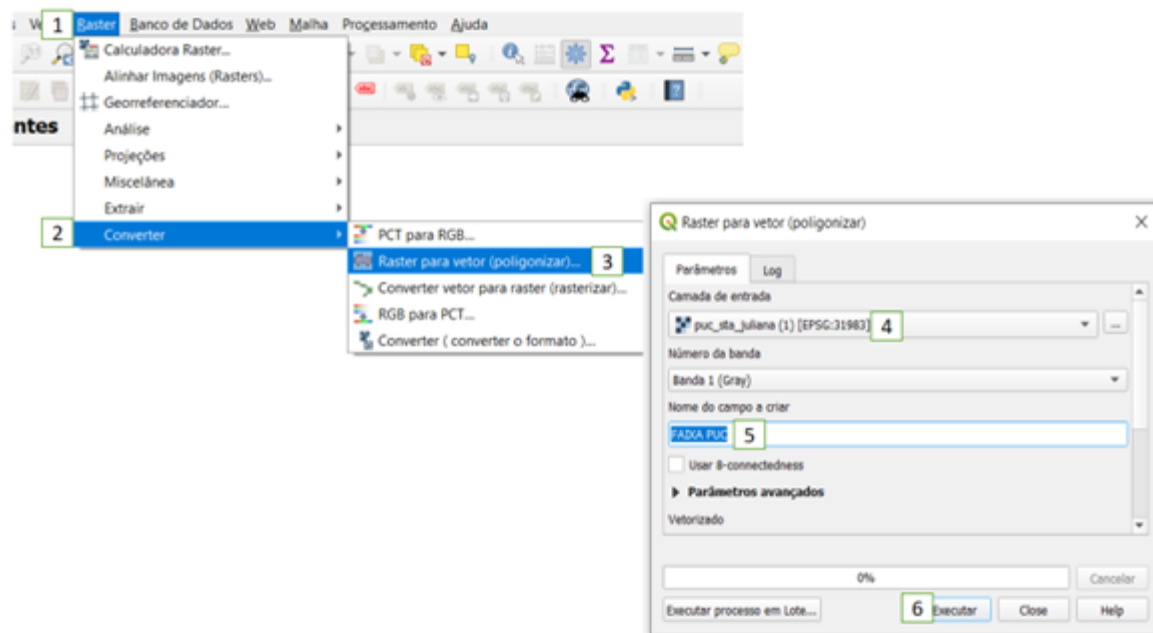
A reclassificação do *raster* permite classificar seus valores decimais, conforme a distribuição de seus intervalos em novos valores inteiros, não havendo dessa maneira uma extensa quantidade de pixels para representar apenas um intervalo. Assim, tem-se:

```
1.000 thru 1.800 = 1 (Muito Baixo)
  1.801 thru 2.600 = 2 (Baixo)
  2.601 thru 3.400 = 3 (Médio)
  3.401 thru 4.200 = 4 (Alto)
  4.201 thru 5.000 = 5 (Muito Alto)
```

De maneira que os valores novos sejam definidos com base nos processos de atribuição de pesos definidos por Costa *et. al.* (2017) na elaboração dos procedimentos de ponderação das variáveis ambientais inseridas no modelo.

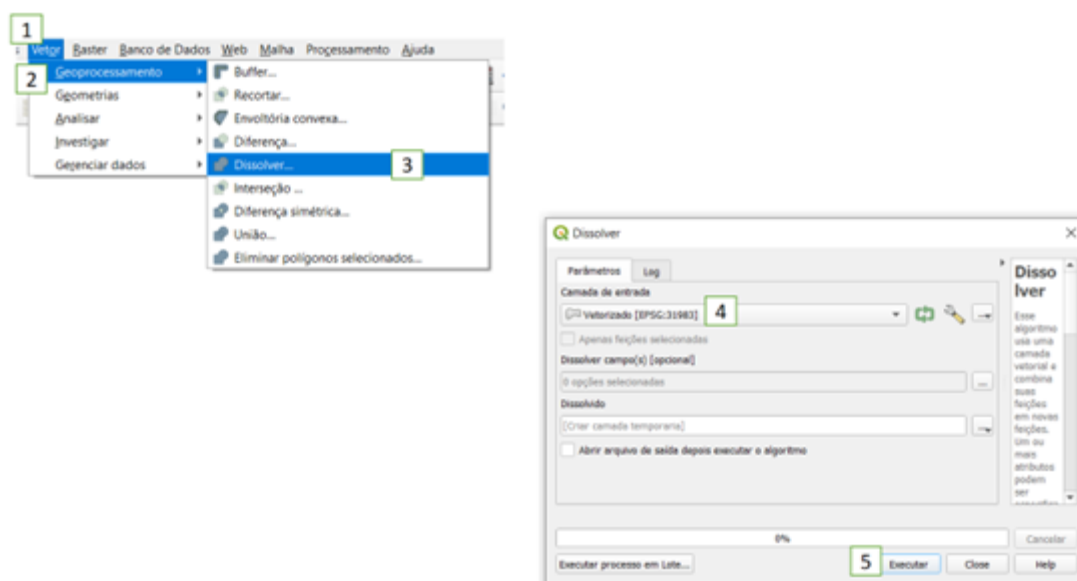
Posteriormente à reclassificação do raster final de PUC a conversão, é necessário realizar a conversão do arquivo para o formato vetorial, objetivando a utilização de ferramentas do software voltadas para o processamento de arquivos vetoriais. Na aba superior do QGis, no interior do menu *raster*, assinalada pelo número 1 na [Figura XXVI](#), existe um conjunto de ferramentas de conversão (Converter [2]) com diversas funcionalidades. Dentre elas a de converter um arquivo *Raster* para polígono (Poligonizar [3]), atuando na transformação dos valores contidos nos *pixels* para tabela de atributos do arquivo vetorial. A inserção do arquivo *raster* que será convertido (02_Nome_da_Bacia_PUC.tif PUC_Sta_Juliana [4]) deve ser efetuada de maneira manual, indicando qual dos arquivos *raster* deve passar pela operação. Os valores dos *pixels* serão transmitidos para uma coluna que será criada, automaticamente, na tabela de atributos do novo arquivo vetorial, sendo necessário a definição de um nome para o conjunto de dados (Nome do campo a criar [5]). Por fim, o último passo dessa etapa é a execução do algoritmo de conversão [6].

Figura XXVI - Passo a passo para a conversão do arquivo matricial para o arquivo vetorial



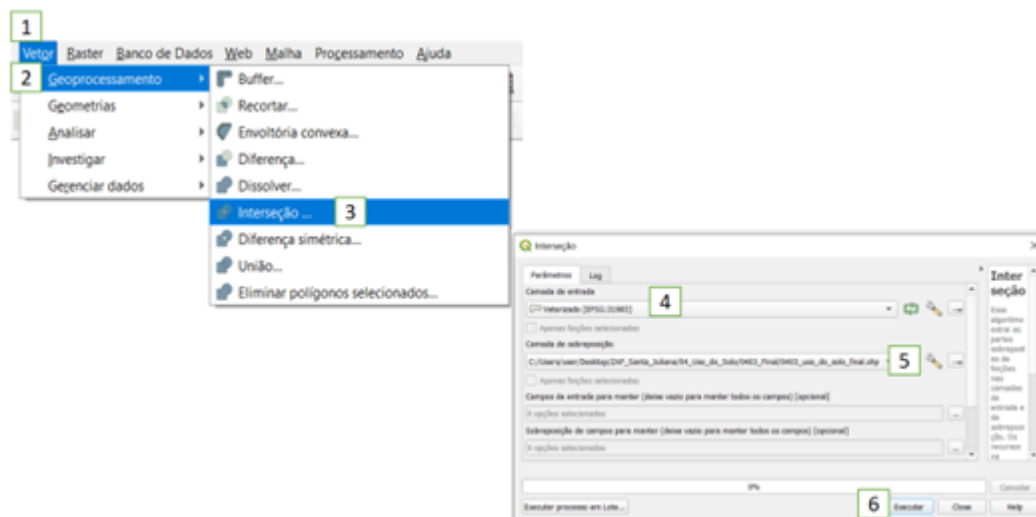
O arquivo gerado será de caráter temporário, estando salvo apenas na memória do software durante sua execução. Para sua utilização em outros ambientes, é necessário que ele seja exportado e salvo na máquina utilizada durante o processamento. Tal ação é possível com um clique com o botão direito do *mouse*, indo na função de exportar clicando a opção de “Guardar Feições Como”, designado a partir daí um lugar para ser salvo e seu respectivo nome. Buscando uma menor quantidade de polígonos, é interessante que polígonos com valores iguais sejam aglutinados em um único polígono. Essa operação deve ser efetuada por meio da ferramenta Dissolver [3] (Figura XXVII), ferramenta presente no interior do menu vetor [1] do *software*, sendo necessário a indicação de qual arquivo deverá ser unificado [4].

Figura XXVII - Passo a passo para a efetivação do dissolve em um arquivo vetorial



Este procedimento pode gerar inúmeros erros topológicos e como forma de reduzir quaisquer problemas na camada, se faz importante executar a ferramenta “Corrigir Geometrias” no arquivo vetorizado antes de cruzar as informações. Os passos seguintes consistem na elaboração de uma interseção dos arquivos vetoriais de uso e cobertura da terra e o resultado PUC. No menu vetor na aba superior do QGIS, demarcado por 1 na [Figura XXVIII](#) há o conjunto de ferramentas voltadas para o processamento de dados exclusivamente vetoriais. Dado isso é necessário clicar sobre o menu Geoprocessamento [2] e posteriormente na área de interseção [3], em que haverá a sobreposição. Uma nova janela será aberta e os arquivos que serão cruzados devem ser inseridos manualmente [4 e 5], sendo o potencial de uso conservacionista vetorial e o mapeamento de uso e cobertura da terra, não importando a ordem de inserção dos arquivos. Por fim, o algoritmo de interseção deve ser executado [6].

XXVIII - Passo a passo para a interseção dos arquivos vetoriais de uso e cobertura e o PUC



Após a execução do algoritmo, um novo arquivo vetorial é gerado apresentando na tabela de atributos desse arquivo os dados dos arquivos do potencial de uso conservacionista e o mapeamento de uso e cobertura da terra sobrepostos, sendo possível elaborar o cálculo da área de cada ambiente, por meio de operações na tabela de atributos, identificando qual a extensão de uma determinada classe de uso sobre uma específica faixa de potencial.

ANEXO IV - Cálculo do IDHS no ambiente SIG

I) Processamento dos dados dos usuários de água

A planilha dos usuários de água conterá os processos do tipo de uso superficial (individual ou coletivo) localizados na sub-bacia em estudo ou Circunscrição Hidrográfica - CH na qual se encontra. Com a planilha em mãos, os seguintes passos devem ser seguidos.

É possível conferir a vazão de captação de cada processo por meio das Portarias de Outorgas, através do sítio eletrônico: <https://t.ly/67Wr/>, principalmente no que diz respeito às unidades de medida em l/s ou m³/s e as outorgas coletivas, em caso de dúvidas em relação à alguma vazão informada.

Com a tabela em mãos, é necessário organizar coordenadas Latitude e Longitude (se necessário):

- Na planilha existem colunas com coordenadas em graus, minutos e segundos (GMS) e coordenadas métricas UTM. Observar que, para cada tipo, haverá um procedimento para adicionar os pontos no QGIS. Observar também os diferentes *Data* apresentados na planilha de usuários (a codificação dos *Data* é: 1 = SAD 69; 2 = WGS 84; 3 = Córrego Alegre).
- Para as coordenadas em GMS, observar erros de grafia que prejudicam a importação para o QGIS. Principais erros: espaços entre os números da coordenada e símbolos de grau, minuto e segundos (confundidos com aspas, por exemplo).

II) Importação e organização dos dados dos usuários de água

Após a validação e organização dos dados dos usuários da sub-bacia em estudo, o próximo passo é a geração de um arquivo "CSV" (separado por vírgulas) para adição dos pontos no *software* QGIS. Esse arquivo é gerado a partir de cada pasta do Excel, em "salvar como > tipo CSV (separado por vírgulas)". Nesse sentido, sugere-se salvar um .CSV (separado por vírgulas) para cada pasta (de Outorgas e Cadastros de Uso Insignificante). Ressalta-se que, caso necessário, devem ser salvos os arquivos separados pelos diferentes tipos de projeção, garantindo a importação correta do arquivo. Não é necessário gerar novo arquivo .CSV (separado por vírgulas) separado para os dados em GMS e UTM, pois é possível utilizar o mesmo arquivo duas vezes com procedimentos diferentes no QGIS.

Para plotagem dos dados no QGIS ([Figuras I e II](#)), acesse a ferramenta "adicionar uma camada de texto delimitado" e utilize os arquivos .CSV (separado por vírgulas).

Figura I - Plotagem dos dados de usuários de água superficial com coordenadas em GMS

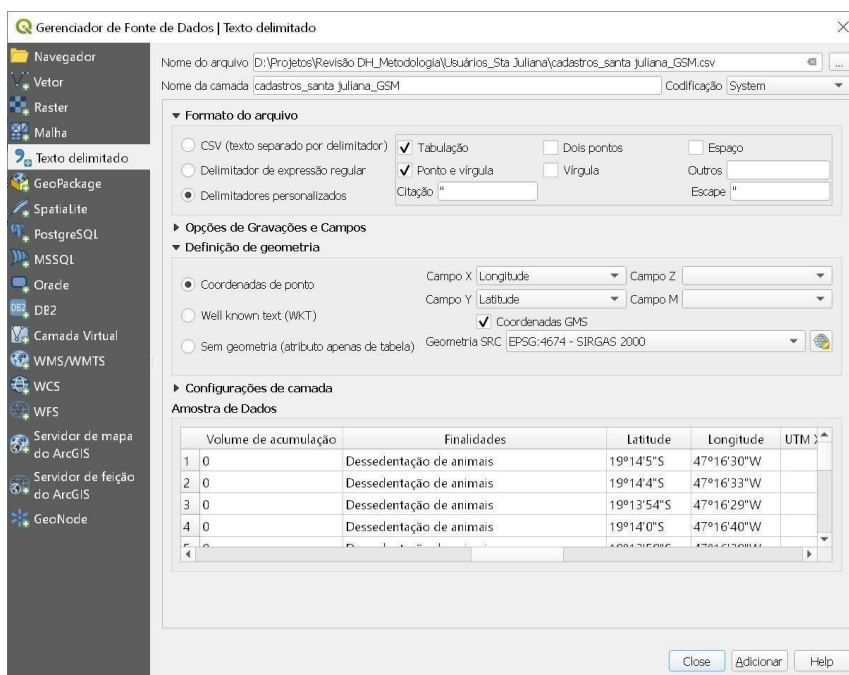
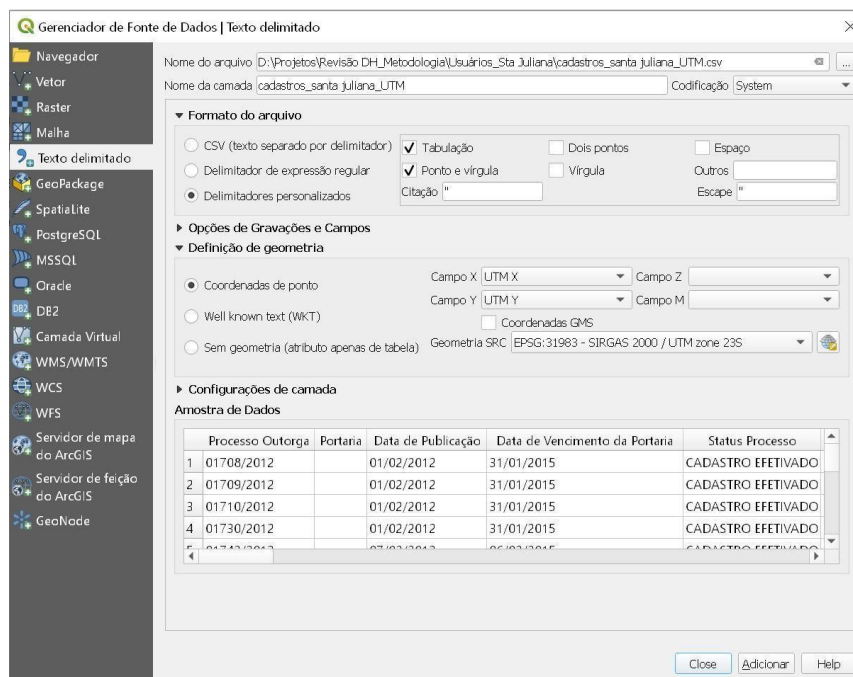


Figura II - Plotagem dos dados de usuários de água superficial com coordenadas em UTM



Será necessário, selecionar o sistema de coordenadas, observando o uso de coordenadas geográficas para os dados em GMS e de coordenadas planas para aqueles em UTM, assim como a correlação com o *Datum* correto.

Antes de utilizar os pontos dos usuários plotados, é importante definir o sistema de referência de coordenadas (SRC) do projeto no QGIS. É necessário padronizar todos os arquivos para SIRGAS 2000, *Datum* oficial do Brasil, adotado pela Infraestrutura Nacional de Dados

Metodologia do Zoneamento Ambiental e Produtivo de sub-bacias hidrográficas - 4ª Edição, 2023
Espaciais (INDE) - consequentemente pela IDE-Sisema. O [capítulo 10.2](#) apresenta o formato e o padrão da base SIG do ZAP a ser entregue.

Com todos os *shapes* dos pontos de usuários no mesmo SRC é possível fazer a junção daqueles referentes aos pontos de Outorgas, assim como daqueles de Cadastros de Uso Insignificante. Para isso, utiliza-se a ferramenta “mesclar camadas vetoriais” (em Vetor > Gerenciar dados), criando um arquivo para todas as Outorgas e outro para todos os Cadastros.

Como serão utilizados somente os pontos inseridos na área da sub-bacia em estudo, a próxima etapa é realizar o recorte dos *shapes* de Outorgas e Cadastros de uso insignificante com base na área da sub-bacia (utilizando a ferramenta “Vetor” > “Geoprocessamento” > “Cortar”).

Para facilitar a visualização de trechos onde existem barramentos com regularização de vazão, sugere-se destacar com cor diferenciada, os seguintes modos de uso: 1) Captação em barramento com regularização de vazão; 2) barramento sem captação com fins de regularização de vazão; e 3) aproveitamento do potencial hidrelétrico. Para isso, deve-se selecionar o *shapefile* de Outorgas, ir em “propriedades” em seguida “simbologia” e “categorizado”.

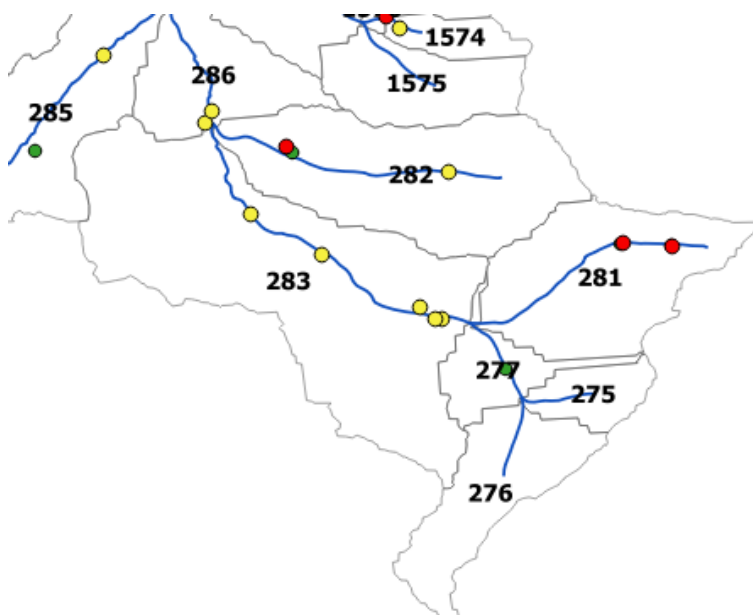
Esses destaques são importantes para as etapas posteriores, pois as captações a montante de barramentos com regularização de vazão não são consideradas nos cálculos.

Verifique o mapa de usuários de água no capítulo de IDHS, onde estão representados os produtos obtidos nessa etapa, ou seja, os usuários de água (tipo superficial) com processos vigentes na sub-bacia.

III) Cálculo da demanda hídrica a montante de cada trecho

O primeiro passo para o cálculo da demanda hídrica a montante é delimitar a área de drenagem de cada trecho. Para isso, é necessária a utilização dos arquivos *shapefiles* da rede hidrográfica e das ottobacias disponibilizados na IDE-Sisema. A área de drenagem de cada trecho é composta pela sua ottobacia e pelas ottobacias que têm suas drenagens escoando para o trecho em análise ([Figura III](#)).

Figura III - Cursos d'água e ottobacias em parte da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana



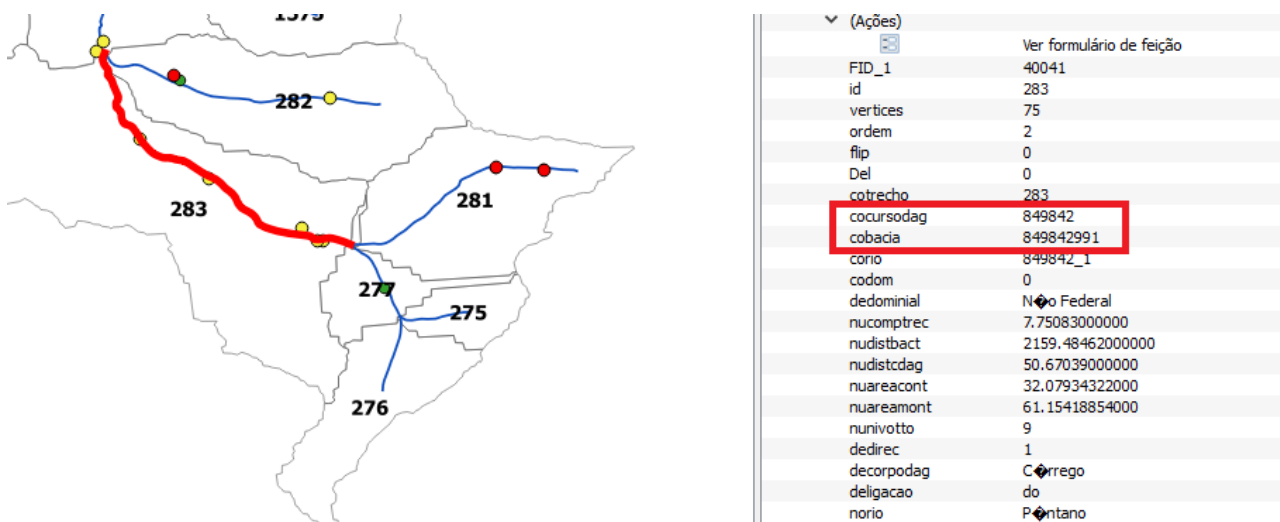
Exemplo 1: Trecho id 281 – A sua área de drenagem é composta apenas pela sua própria ottobacia, uma vez que nenhuma outra ottobacia escoam para ela.


Exemplo 2: Trecho id 283 – A sua área de drenagem é composta pela sua própria ottobacia e pelas ottobacias 275, 276, 277 e 281 uma vez que essas ottobacias escoam para a ottobacia 283.

No programa QGIS, a seleção da área de drenagem do trecho pode ser realizada utilizando uma expressão no *shape* de ottobacias.

Primeiro passo: Anotar o “coursodag” e o “cobacia” do trecho em análise ([Figura IV](#));

Figura IV - Informações referentes a um curso d'água e sua microbacia

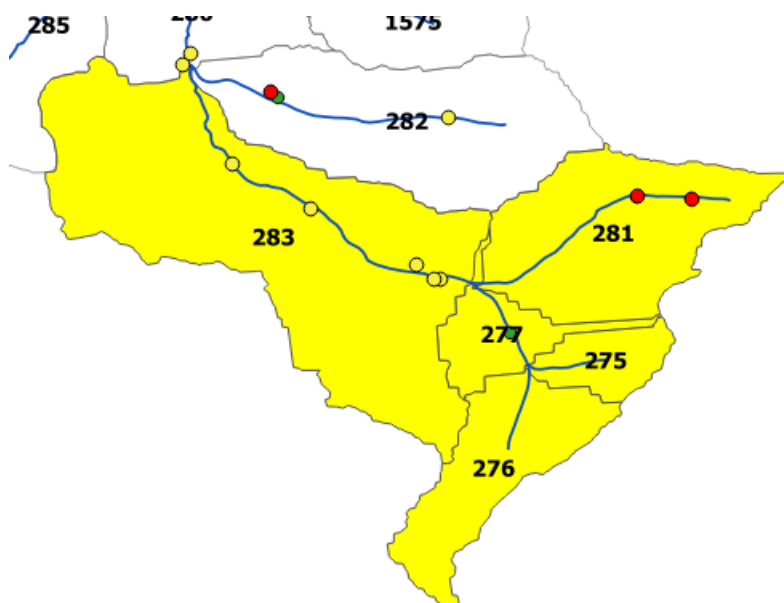


Segundo passo: Selecionar o *shape* de ottobacias e clicar no *link* de “selecionar feições usando uma expressão”  ;

Terceiro passo: Utilizar a seguinte expressão: “cobacia” >= '*nºcobacia*' AND “cocursodag” LIKE '*nºcocursodag%*' (Exemplo: “cobacia” >= '849842991' AND “cocursodag” LIKE '849842%')

Clicando no botão “Selecionar” o programa seleciona a área de drenagem do trecho em análise ([Figura V](#)).

Figura V - Exemplo de seleção de ottobacias no QGIS



Após identificada a área a montante do trecho em análise (283), serão selecionadas as intervenções hídricas (camada de usuários de água) de acordo com a seguinte regra:

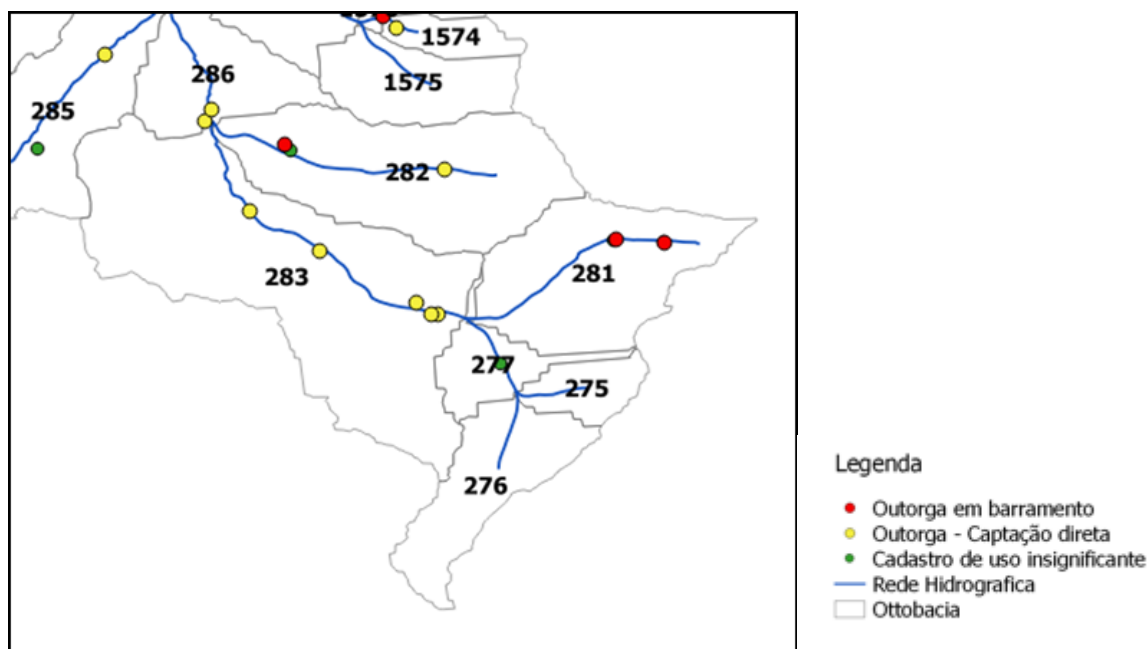
No caso de existência de barramento com regularização de vazão, na área de drenagem do trecho em estudo, o potencial de regularização da estrutura gera uma alteração no índice de demanda hídrica superficial a jusante, no qual as captações realizadas a montante do barramento não alteram o índice de demanda hídrica superficial à jusante dos barramentos, com isso, para o cálculo de índice de demanda hídrica superficial não são considerados as demandas a montante dos barramentos com regularização de vazão.

Selecionadas as intervenções hídricas conforme a regra, será feita a somatória da coluna vazão de demanda (camada de usuários de água) sendo preenchida na coluna “QDemTotal” (correspondente ao valor da coluna “Vazão de demanda (m³/s)” do relatório de usuários enviado) que deverá ser criada para a camada de regionalização de vazão.

A fim de facilitar a compreensão destes passos, disponibilizam-se os exemplos abaixo¹⁷:

Exemplo 1:

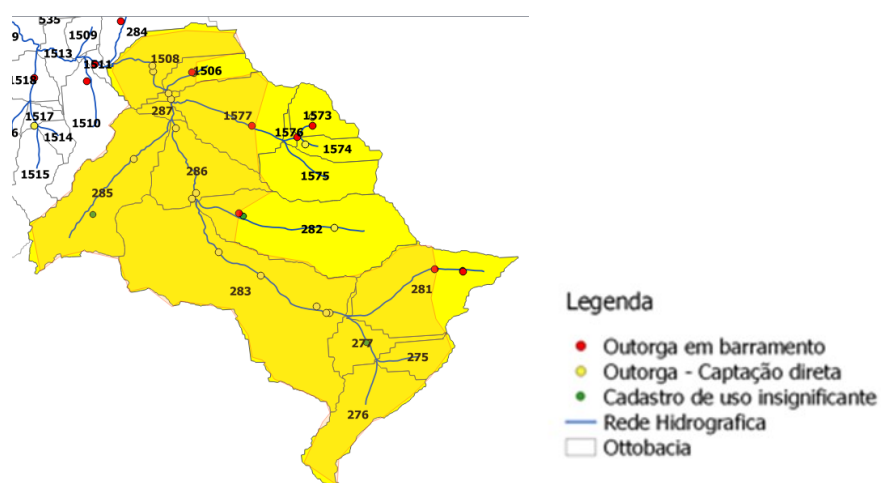
Figura VI - Seleção de ottobacias no QGIS



A demanda total no trecho id 282 é apenas o ponto vermelho que é uma outorga em barramento (Figura VI). O cadastro de uso insignificante e a outorga com captação direta presentes no trecho não são computadas, uma vez que estão localizadas a montante do barramento.

Exemplo 2:

Figura VII - Seleção de ottobacias no QGIS

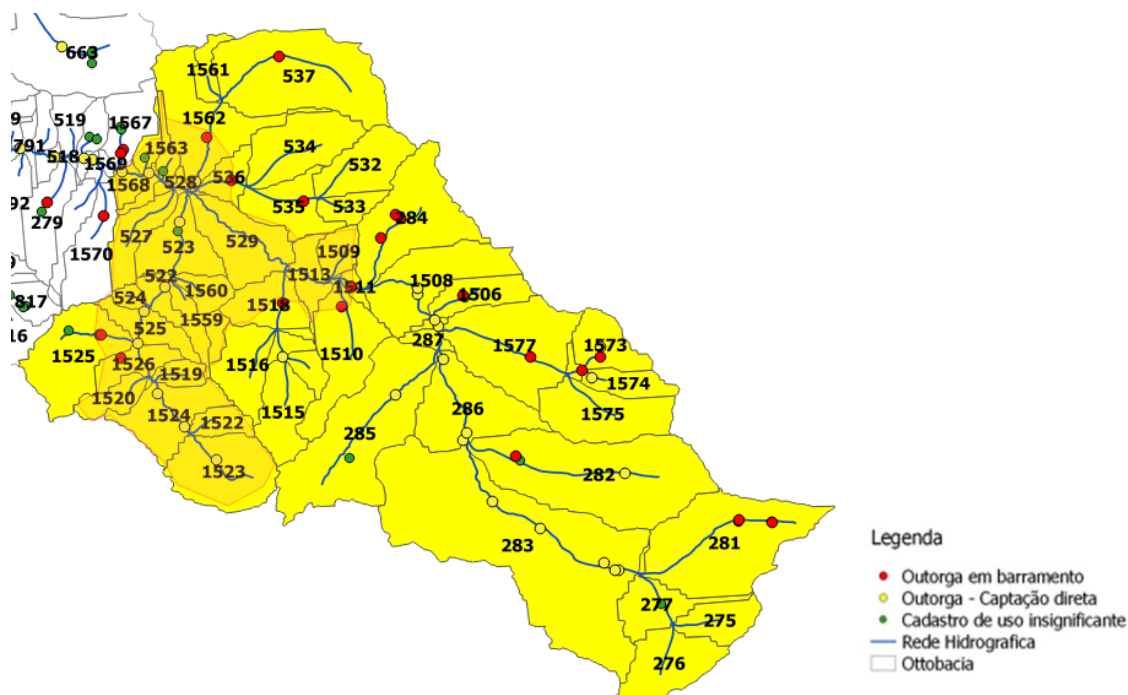


¹⁷ Sugere-se verificar os tutoriais passo-a-passo para a metodologia do ZAP nos sítios eletrônicos do ZAP.

Para o trecho 1508 a seleção das outorgas deve ser feita de forma a não selecionar as outorgas e cadastros que estão a montante de outorgas de barramento, conforme mostrado na [Figura VII](#).

Exemplo 3:

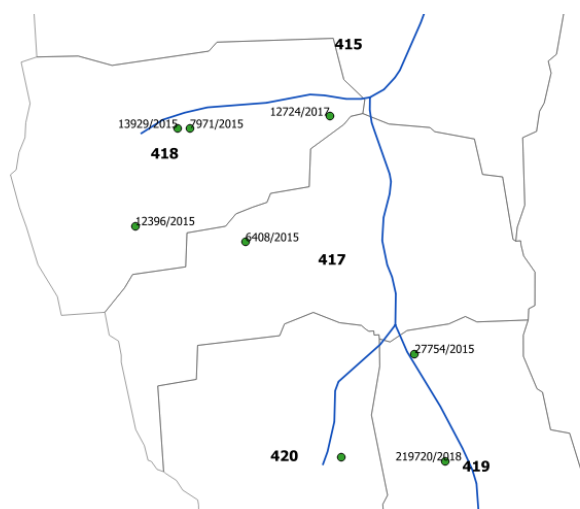
Figura VIII - Seleção de ottobacias no QGIS



Para o trecho 1568 ([Figura VIII](#)) a seleção das outorgas tem que ser feita de forma a não selecionar as outorgas e cadastros que estão a montante de outorgas de barramento, conforme mostrado na imagem.

Exemplo 4:

Figura IX - Seleção de ottobacias no QGIS



Cabe informar que intervenções hídricas fora dos cursos d'água mapeados ([Figura IX](#)) devem ser contabilizadas para o trecho da ottobacia que se encontra, como é o caso da intervenção 6408/2015. Ela deve ser associada ao trecho id 417, conforme ilustrado no exemplo 4 abaixo. A intervenção 12396/2015 estará associada ao trecho id 418.

ANEXO V - Levantamento do Uso e Ocupação da Terra no ambiente SIG

I) Obtenção das imagens de satélite

Para iniciar o processo de vetorização é necessária uma ou mais imagens de satélite e o tratamento da(s) mesma(s). Deve-se utilizar imagens do satélite Sentinel-2 (10 metros de resolução) que podem ser encontradas e baixadas gratuitamente¹⁸ ou de outros satélites com melhor resolução, como por exemplo, o CBERS-4 (< 10m). Este processo pode ser facilitado através de um script para a plataforma da *Google Earth Engine*, o qual baixa a mediana de 1 ano das imagens Sentinel-2 diretamente recortadas e mosaicadas (quando necessário) para um quadrado envolvente entorno da sub-bacia hidrográfica em estudo, além do MDE SRTM de 30m, declividade (em porcentagem) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)¹⁹. Para utilização deste script acesse o link: <https://code.earthengine.google.com/5e785aa1c8e3ed90c4947cfd277544aa?noload=true> e consulte os materiais de apoio da metodologia nos sítios eletrônicos oficiais do ZAP.

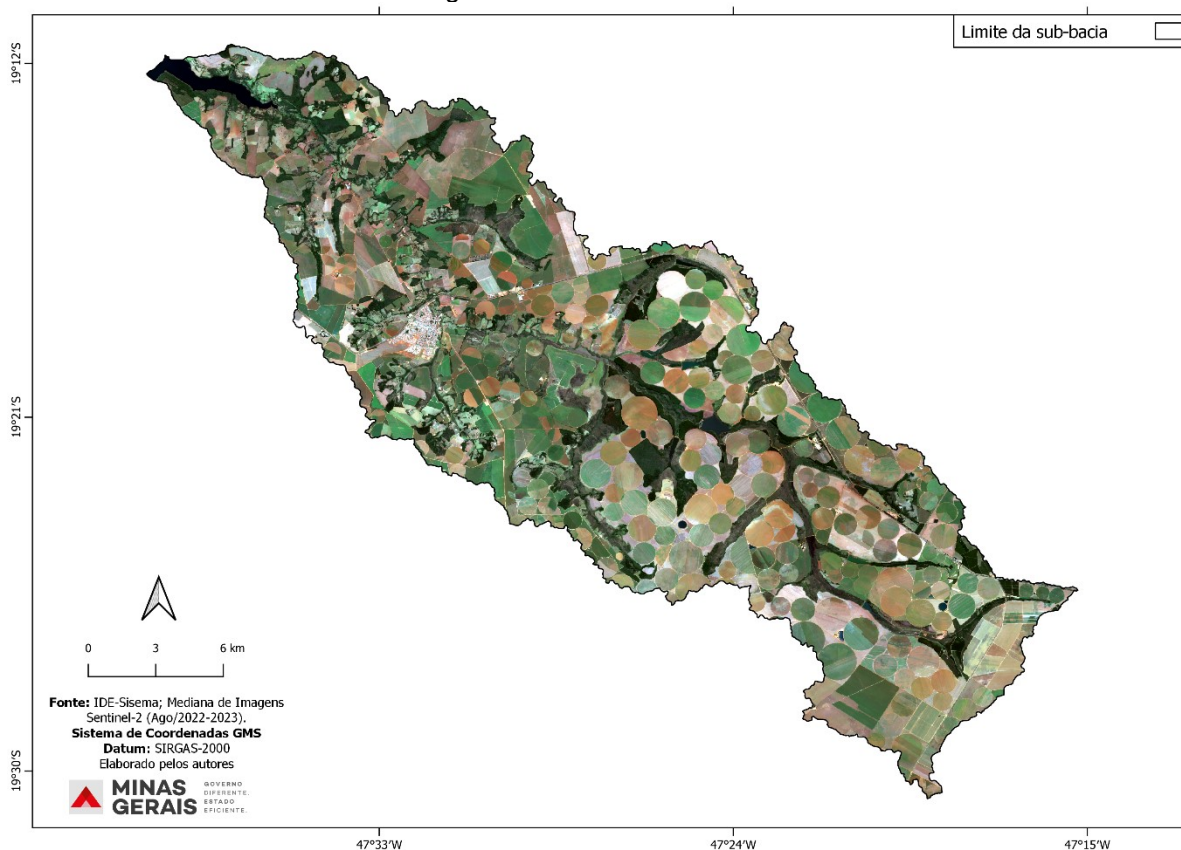
É imprescindível a obtenção de imagens recentes, ou seja, com até 1 (um) ano antes da data de elaboração do estudo utilizando o script mencionado. Isso possibilita atestar que o mapeamento do uso e ocupação da terra reflete o momento atual da bacia quando da realização do ZAP.

Para apresentar os métodos de vetorização manual e automática, foram utilizadas as imagens do Sentinel-2. Tais imagens foram escolhidas pela gratuidade, bem como, em razão da suficiente resolução espacial (pixel de 10 metros), permitindo observar com qualidade, elementos pertinentes à classificação do uso da terra (porções vegetacionais, feições hídricas, cultivos agrícolas, manchas urbanas, entre outros) na escala de sub-bacias hidrográficas. Abaixo um exemplo da imagem Sentinel-2 obtida através do script de GEE (*Google Earth Engine*) para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana ([Figura I](#)).

¹⁸ As imagens do satélite Sentinel-2 podem ser baixadas através de diversas plataformas. Uma das mais acessadas é o *Sentinel Hub*, co-desenvolvido pela Agência Espacial Europeia, detentora do catálogo Sentinel. O acesso ao *Sentinel Hub* por ser realizado em: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>

¹⁹ Vide tutoriais disponibilizados nos anexos.

Figura I - Imagem Sentinel-2 obtida através do script de GEE (Google Earth Engine) para a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Juliana



II) Vetorização manual

Para vetorização manual das feições identificadas na imagem, deve se ter em mãos a imagem tratada com o corte de máscara da área a ser trabalhada e, se já houver, as informações coletadas em campo. Este processo, como mencionado, pode ser simplificado utilizando um script da *Google Earth Engine* disponibilizado nos tutoriais em anexo.

Deve ser criado um arquivo de tipo *shapefile* para o uso e ocupação da terra. Visando padronizar as possibilidades dos diferentes tipos de feições a serem encontradas em determinada sub-bacia e a inserção dos dados na IDE-Sistema, estabeleceu-se a classificação obrigatória de nomes e cores apresentada na [Tabela I](#). A padronização se baseia na 3ª edição do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013 p.149), com adaptações para a biogeografia mineira escalonadas para o ZAP. A classificação é dividida em três níveis hierárquicos: Níveis I, II e III. A obrigatoriedade se aplica até o nível II desta classificação. O nível III é livre, constando no [Anexo VI](#) exemplos do que se pode inserir nesta hierarquia. As padronizações de cores, em código RGB e tripleto hexadecimal, podem ser acessadas no mesmo anexo mencionado.

Tabela I - Classes de uso e ocupação da terra

Nível I - Classe	Dígito II	Nível II - Subclasse
1 - Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1	Áreas Urbanizadas
	1.2	Áreas de Mineração
2 - Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1	Culturas Agrícolas
	2.2	Pastagens
	2.3	Silvicultura
	2.4	Pivô Central de Irrigação
3 - Áreas de Vegetação Natural	3.1	Áreas Florestais
	3.2	Áreas Campestres
	3.3	Veredas ¹
4 - Água	4.1	Águas Continentais
5 - Outras Áreas	5.1	Áreas Descobertas
	5.2	Estradas
	5.3	Afloramentos Rochosos

¹ Formação vegetal típica do Cerrado. Em destaque no ZAP por conta de sua importância ambiental e aplicação nos produtos de APPs.

Fonte: Adaptado de Manual Técnico de Uso da Terra - 3ª edição (IBGE, 2013).

O processo de vetorização deve ser orientado pelos aspectos revelados pela imagem tratada, conhecimentos empíricos dos técnicos, além de informações secundárias de estudos de impacto ambiental. É importante lembrar que o mapeamento deve ser realizado em escala espacial compatível à imagem de satélite utilizada. No caso da Sentinel-2 essa escala é por volta de 1:35.000 na projeção SIRGAS 2000 UTM, sendo esta a mínima necessária (mapeamentos com escalas maiores que 1:35.000 não serão aceitos para o ZAP). Os padrões relacionados à nomenclatura, tão quanto os campos necessários para o *shapefile* de uso e ocupação da terra, podem ser verificados no [Capítulo 10](#).

III) Vetorização automática

A vetorização automática é recomendada para bacias ou sub-bacias de grande extensão e tem como finalidade auxiliar o processo de vetorização manual. Para a classificação das feições de uso da terra por métodos automáticos, a fim de padronizar e reunir a metodologia em um *software*, propõe-se aqui o uso do QGIS 3 e o plugin *dzetsaka*²⁰, por meio da classificação supervisionada utilizando estatísticas diversas. O plugin (complemento) *dzetsaka* pode ser obtido na opção “Complementos > Gerenciar e Instalar Complemento” no QGIS 3.

²⁰ Complemento de classificação de uso e ocupação da terra para o QGIS 3 que pode ser instalado através do Gerenciador de Complementos. Procedimento explicitado nos tutoriais da metodologia ZAP.

Para a classificação supervisionada, recomenda-se o uso das bandas RGB e infravermelho da imagem escolhida, proporcionando um melhor desempenho dos algoritmos na análise espectral.

Primeiramente, deve-se delimitar as áreas de treinamento chamadas de ROI (*Region of Interest*), que são amostras representativas das diversas feições a serem identificadas, como, por exemplo, vegetação nativa, lavouras, pastagens, área urbana, entre outros.

Após a delimitação das ROIs deverá ser escolhido o algoritmo a ser utilizado na classificação e efetivar a classificação propriamente dita. Em seguida, recomenda-se editar a classificação automática e corrigi-la manualmente por quaisquer erros encontrados. Veja o procedimento passo-a-passo de como utilizar o plugin *dzetsaka* nos tutoriais nas páginas do ZAP. Veja um exemplo de resultado para a Sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana no capítulo de Uso e Ocupação da terra.

ANEXO VI - Classificação das feições de Uso e Ocupação da Terra

Nível I (Classe)	Dígito II	Nível II (Subclasse)	Nível III (Livres)	R	G	B	Hex
1 - Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1	Áreas Urbanizadas	Comunidades Rurais	255	168	192	#FFA8C0
			Cidades				
			Indústrias				
			Outras Áreas Urbanizadas				
	1.2	Áreas de Mineração	Complexos Minerários	173	137	205	#AD89CD
			Cavas				
			Indústrias de Beneficiamento				
			Barragens de Rejeitos				
2 - Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1	Culturas Agrícolas	Cultivos Temporários - Graníferas e cerealíferas	255	234	125	#FFEA7D
			Cultivos Temporários - Bulbos, raízes e tubérculos				
			Cultivos Temporários - Hortícolas e floríferas				
			Cultivos Temporários - Oleaginosas				
			Cultivos Temporários - Frutíferas				
			Cultivos Temporários - Cana-de-açúcar				
			Cultivos Temporários diversificados				
			Outros cultivos temporários (abóbora, trevo, forrageiro etc.)				
			Cultivos Permanentes - Frutíferas				
			Cultivos Permanentes - Frutos secos				
			Cultivos Permanentes - Oleaginosas				
			Cultivos Permanentes diversificados				
	Outros cultivos permanentes						
	2.2	Pastagens	Pecuária de animais de grande porte	205	137	0	#CD8900
			Pecuária de animais de médio porte				
			Pecuária de animais de pequeno porte				
2.3	Silvicultura	Reflorestamento	205	173	0	#CDAD00	
		Cultivo agroflorestal					
2.4	Pivô Central de Irrigação	Identificar Cultura, quando possível	255	153	0	#FF9900	
3 - Áreas de Vegetação Natural	3.1	Áreas Florestais	Floresta Atlântica	115	168	0	#73A800
			Floresta Ombrófila Densa				
			Floresta Ombrófila Mista (Mata de Araucárias)				

			Floresta Ombrófila Aberta				
			Floresta Estacional Semidecidual				
			Floresta Estacional Decidual				
			Manguezais				
			Vegetações de Restingas				
			Cerradão				
	3.2	Áreas Campestres	Campos de Mata Atlântica	214	255	168	#D6FFA8
			Cerrado				
			Campos Cerrado				
			Campos de Altitude/Rupestres				
3.3	Veredas¹	Veredas em ótimo estado de preservação	118	204	89	#76CC59	
		Veredas em médio estado de preservação					
		Veredas em péssimo estado de preservação					
4 - Água	4.1	Águas Continentais	Captação para abastecimento em corpo d'água continental	153	194	230	#99C2E6
			Receptor de efluentes em corpo d'água continental				
			Geração de energia em corpo d'água continental				
			Transporte em corpo d'água continental				
			Lazer e desporto em corpo d'água continental				
			Pesca extrativa artesanal em corpo d'água continental				
			Aquicultura em corpo d'água continental				
Uso diversificado em corpo d'água continental							
5 - Outras Áreas	5.1	Áreas Descobertas	Solo Exposto	255	35	35	#FF2323
			Uso não identificado em área descoberta				
			Uso diversificado em área descoberta				
	5.2	Estradas	Rodovias	122	122	122	#7A7A7A
			Estradas Asfaltas				
			Estradas de Terra				
5.3	Afloramentos Rochosos	Afloramentos Basálticos	225	225	225	#E1E1E1	

ANEXO VII - Modelo de Ficha Técnica de Campo

Visita

Campo

SUB-BACIA DO RIBEIRÃO SANTA JULIANA *Ponto 1*

Data: 05/04/23

Coordenadas:

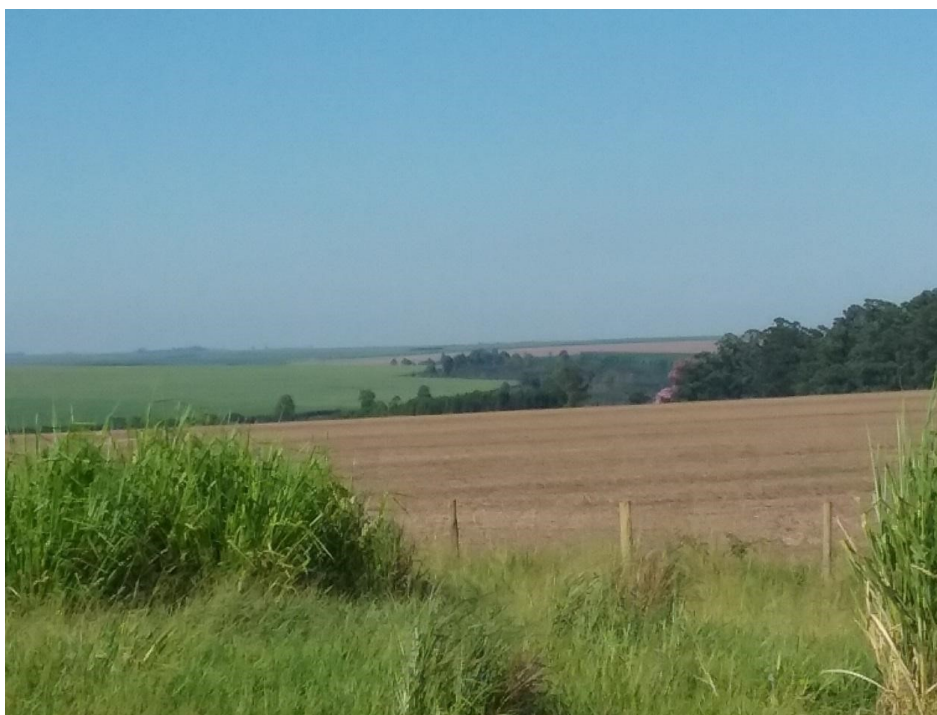
Unidade de paisagem / Características: Chapadas, Rampa de Colúvio e Vales encaixados.

Solo Predominante: Latossolo vermelho combinado com arenito (solo com boa infiltração devido ao material de origem)

Uso e ocupação atual: Cultivos temporários e anuais sob irrigação.

Situação Ambiental: Não observado

Fotos:



ANEXO VIII - Modelo de Metadados

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO		
Título	ZAP – Serra da Piedade – Delimitação da sub-bacia	
Data	Valor da data	06-11-2019
	Tipo da data	Publicação
Edição	1ª	
Série	Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP)	
Resumo	Delimitação do conjunto de sub-bacias hidrográficas do Monumento Natural Estadual Serra da Piedade, a partir da Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) do rio São Francisco, disponibilizada pelo Igam, através de técnicas de filtragem e dos ottotrechos e ottobacias por seus códigos ottocodificados, correspondentes a área mapeada	
Propósito	<p>O Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP), instituído pelo Decreto Estadual nº 46.650/2014, é um instrumento de planejamento e gestão territorial para o uso sustentável dos recursos naturais pela atividade agrossilvopastoril no estado de Minas Gerais.</p> <p>Pela concepção de três produtos básicos, o mapeamento do uso e ocupação da terra, a avaliação da pressão hídrica superficial e a definição das unidades de paisagem, o ZAP busca disponibilizar informações detalhadas sobre o meio natural e produtivo por sub-bacia hidrográfica de Minas Gerais. Além disso, o ZAP proporciona uma avaliação preliminar do potencial de adequação da sub-bacia, fomentando o uso adequado dos recursos naturais sob a perspectiva do manejo conservacionista.</p> <p>Desenvolvida inicialmente pela Semad e Seapa no ano de 2014, a metodologia do ZAP atualmente está na 3ª edição, aprovada pelo Comitê Gestor em dezembro de 2020. O Comitê Gestor, instituído pelo Decreto Estadual nº 46.650/2014, é a instância consultiva e deliberativa do ZAP, coordenado desde novembro de 2019 pela Feam.</p> <p>O ZAP tem sido utilizado no desenvolvimento de estudos voltados à adequação ambiental e à sustentabilidade de propriedades rurais, como Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISAs) e Planos de Adequação Socioeconômica e Ambiental (PASEAs). Instrumentos como o ZAP, ISA, PASEA e Cadastro Ambiental Rural (CAR) têm sido essenciais para a construção de processos sustentáveis no cenário agrossilvopastoril em Minas Gerais.</p>	
Créditos	SECRETARIA DO ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL/ SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – SEMAD/SEAPA. Metodologia para Elaboração do Zoneamento Ambiental e Produtivo: ZAP de sub-bacias hidrográficas. 4ª Edição, 2020.	
Status	Concluído	
Responsável pelo recurso	Nome/unidade	Governo de Minas Gerais
	Papel desempenhado	Detentor
	Telefone	155
	Endereço	Cidade Administrativa do Estado de Minas Gerais – Prédio Minas, 1º andar. Rodovia Papa João Paulo II, 4143, Serra Verde
	Cidade	Belo Horizonte

	Região administrativa	Minas Gerais, BRA	
	Endereço de e-mail	zap@meioambiente.mg.gov.br	
Tipo de representação espacial	Vetorial		
Resolução espacial	Denominador	1:2.500, 1:5.000, 1:50.000 (multiescalar)	
Categoria temática	Instrumentos e Projetos Territoriais		
Extensão	Extensão geográfica	Local (sub-bacia hidrográfica)	
	Latitude limítrofe norte -19,7		
	Latitude limítrofe sul -43,8	Longitude limítrofe oeste -43,6	
	Latitude limítrofe sul -20		
Manutenção do recurso	Frequência de manutenção e atualização	Conforme necessidade	
Palavras-chave	Zoneamento Ambiental Produtivo		
	Serra da Piedade		
	Delimitação de sub-bacias		
	Base Hidrográfica Ottocodificada		
	Ottobacias		
Localidade padrão	Idioma	Português	
	Código de caracteres	UTF-8	
INFORMAÇÃO DE LINHAGEM			
Declaração	<p>A delimitação do conjunto de sub-bacias do Monumento Natural Estadual Serra da Piedade (MONAESP) envolve os municípios de Barão de Cocais, Caeté, Nova União, Sabará, Santa Luzia e Taquaraçu de Minas, totalizando aproximadamente 37.358 hectares. É composta pelo conjunto de sub-bacias hidrográficas do Alto e Médio Ribeirão do Peixe (5.151,9 ha), Alto e Médio Ribeirão Sabará (9.703,2 ha), Alto Ribeirão Vermelho (8.034,3 ha), Córrego do Engenho Velho (4.418,4 ha) e Ribeirão Ribeiro Bonito (10.450,7 ha). Todas as sub-bacias hidrográficas citadas tem como deságue final o Rio das Velhas e se encontram na área de abrangência dos Subcomitês Poderoso Vermelho, do Rio Taquaraçu e dos Ribeirões Caeté-Sabará da bacia hidrográfica do Rio das Velhas.</p> <p>O processo de delimitação considerou a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) disponibilizada pelo IGAM para o Estado de Minas Gerais. A BHO contemplada foi a da bacia do rio São Francisco, tendo o processo perpassado pela filtragem da base a partir do método de delimitação proposto pela "Metodologia oficial para elaboração do ZAP", através dos campos "cobacia" e "coursodag" da BHO.</p> <p>Subsequente a delimitação, foi feita a correção da base para adequar-se à proposta de mapeamento das APPs hídricas da metodologia do ZAP. A consistência realizada teve como suporte as imagens do mosaico ortorretificado disponibilizado pelo Google através do software visualizador Google Earth. Houve a adição de 250 trechos de drenagem à base original, além da exclusão daqueles localizados em áreas urbanas e/ou</p>		

	mineradas.	
Escopo	Nível do escopo	Conjunto de dados geográficos
	Descrição do conjunto de dados	Delimitação das sub-bacias do Monumento Natural Estadual Serra da Piedade
	Descrição dos tipos de feição	Feições vetoriais do tipo zonal (polígonos)
INFORMAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Identificador do sistema de referência	Código	4674
	codeSpace	EPSG
	Descrição	SIRGAS 2000
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Formato de distribuição	Título	ESRI Shapefile
	Data	06-11-2019
	Tipo data	Publicação
	Identificador	SHP
Formato de distribuição	Título	Keyhole Markup Language
	Data	06-11-2019
	Tipo data	Publicação
	Identificador	KML
Formato de distribuição	Título	GeoJSON
	Data	06-11-2019
	Tipo data	Publicação
	Identificador	json
Formato de distribuição	Título	Planilha alfanumérica
	Data	06-11-2019
	Tipo data	Publicação
	Identificador	XLSX
Formato de distribuição	Título	Web Map Service
	Data	06-11-2019
	Tipo data	Publicação

	Identificador	WMS
INFORMAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO		
Distribuidor	Nome	Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IDE-Sisema
	Papel desempenhado	Provedor
	Telefone	(31) 3915-1302
	Endereço	Cidade Administrativa do Estado de Minas Gerais – Prédio Minas, 2º andar. Rodovia Papa João Paulo II, 4143, Serra Verde
	Cidade	Belo Horizonte
	Região administrativa	MG
	Endereço de e-mail	suporte.idesisema@meioambiente.mg.gov.br
Opções de transferência	Online	idesisema.meioambiente.mg.gov.br
METAMETADADOS		
Localidade padrão	Idioma	Português
	Código de caracteres	UTF-8
Escopo do metadado	Conjunto de dados geográficos	
Responsável pelo metadado	Nome/unidade	Governo de Minas
	Papel desempenhado	Autor
	Endereço	Cidade Administrativa do Estado de Minas Gerais. Rodovia Papa João Paulo II, 4143, Serra Verde
	Cidade	Belo Horizonte
	Região administrativa	Minas Gerais, BRA
	Endereço de e-mail	zap@meioambiente.mg.gov.br
Data do metadado	Valor da data	07-04-2022
	Tipo da data	Elaboração
Padrão de metadados	ISO 19115-1:2014	
Perfil de metadados	Perfil MGB 2.0	

ANEXO IX – Dicionário de Dados

INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO DA CAMADA	
Título	Nomenclatura utilizada para identificação da camada (ex.: Municípios de Minas Gerais)
Descrição	Informação resumida e concisa do que é representado pela camada (ex.: representação dos limites político-administrativos municipais do Estado de Minas Gerais)
INFORMAÇÃO DE IDENTIFICAÇÃO DOS ATRIBUTOS	
Campo	Descrição
Nome do campo associado	Explicação das informações descritas pelo campo
Ex.: id	Ex.: Identificador sequencial único referente as feições contidas na camada
Ex.: nome	Ex.: Topônimo oficial do Município associado
Ex.: geocodigo	Ex.: Identificador geográfico de sete dígitos instituído pelo IBGE para identificação única dos municípios
Ex.: anoderefer	Ex.: Ano de emancipação do município associado
Ex.: leicriacao	Ex.: Lei instituída de emancipação do município associado
Ex.: area	Ex.: Área oficial, em metros quadrados, do município associado

ANEXO X - Identificação de erros topológicos dos produtos cartográficos do ZAP

Para a verificação de consistência topológica dos dados cartográficos apresentados, sugere-se a utilização da ferramenta “Verificar a validade”, disponível de forma nativa no QGIS – preferencialmente em sua versão LTR (Long Term Release, “Versão Estável” na tradução livre). Por meio da ferramenta, é possível identificar erros provenientes dos processamentos executados durante as etapas de construção dos produtos do ZAP, como sobreposições, geometrias inválidas, duplicadas, com lacunas e demais feições incompletas. As seguintes etapas abaixo auxiliam na identificação dos erros topológicos possíveis:

1. Com a interface do QGIS aberta, acessar o menu superior “Vetor”, e em seguida selecionar “Geometrias” > “Verificar a Validade”.

2. No painel da ferramenta, selecionar a camada vetorial a ser analisada, no “Camada de entrada”. Em seguida, deve-se indicar o método de verificação da estrutura vetorial da camada. O QGIS dispõe, pela ferramenta, de três métodos padrão:

a. O primeiro, “O que está selecionado nas configurações de vetorização”, utiliza os parâmetros de relação topológica previstos no ato de construção da camada, como, por exemplo, o nível de aderência pré-estabelecido, além das características da premissa geométrica trabalhada (feições de partes únicas, multipartes etc);

b. O método “QGIS” utiliza a biblioteca de validação de topologias padrão do QGIS, utilizando, portanto, os padrões de verificação pré-estabelecidos pelos

desenvolvedores do SIG para conferência da camada. Em relação a primeira opção, possui maior acurácia;

c. Por fim, o método “GEOS” utiliza a biblioteca de mesmo nome (sigla advinda de “Geometry Engine”), uma biblioteca de parâmetros open source, que contém inúmeras variações de complexidade e pressupostos de relacionamento topológico. Devido a sua amplitude de opções e configurações, além de possuir um contínuo aprimoramento – por ser de desenvolvimento livre – este método se apresenta como o mais indicado para as validações topológicas necessárias.

A opção “Ignorar auto intersecção anel” deve ser marcada em camadas onde anéis intermediários – decorrentes da geração de buffers de APP, por exemplo – não sejam, de fato, um erro topológico. Quando essa característica não ocorrer no dado, a opção deve ser

mantida desabilitada. Por fim, a ferramenta gera três resultados: o primeiro, “Saída válida”, apresenta os resultados que não contém nenhum problema topológico. O segundo, “Saída inválida”, apresenta as feições que demonstram algum problema topológico. Por fim, o terceiro resultado, “Erro de saída”, localiza os pontos onde se localizam os problemas topológicos encontrados, além de informar, na tabela de atributos, qual a natureza do erro encontrado.

3. Conforme pode ser visualizado abaixo, na análise em questão, da camada de uso e ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Santa Juliana, não foram encontradas geometrias inválidas, conseqüentemente sem os pontos de localização de erros de saída.

4. Em um segundo exemplo, observa-se a identificação de saídas inválidas e a localização dos erros de saída, com a indicação, na tabela de atributos dos erros, da natureza da inconsistência.

Como pode ser observado acima, pelo fato de não ter sido indicada a ferramenta para ignorar interseções de anel interno, essas foram consideradas erros topológicos. Como os produtos do ZAP – como as APPs – são, ao final, agregados em feições multiparte (dissolve), o parâmetro deve ser sempre utilizado para evitar que não haja identificação indevida de erros.

5. Após a etapa de identificação dos eventuais erros, deve-se realizar análise das inconsistências apresentadas, considerando os aspectos metodológicos empregados, bem como as etapas de geoprocessamento, sensoriamento e/ou validação *in loco* realizadas.

Reforça-se a necessidade de aderência e compatibilidade dos dados com os pressupostos de qualidade referenciados pelo Manual da Qualidade de Dados Geoespaciais do IBGE, dispostos no capítulo 8 da metodologia, além dos exemplos de consistência de dados orientados pela Resolução Conjunta Semad/IEF/Feam/Igam nº 3.147/2022 e pelo Manual 01 - Normas, Estruturação, Padrões de Nomenclatura e Armazenamento de Dados Geoespaciais da IDE-Sisema, que auxiliarão diante da necessidade de correção das entregas do ZAP

ANEXO XI - Fichas das Unidades da Paisagem de Minas Gerais

PLANÍCIES FLUVIAIS

Regiões de ocorrência

Estas Unidades de Paisagem ocorrem em todas as regiões de Minas

Características da Unidade de Paisagem

Unidades que ocupam as cotas mais baixas da bacia hidrográfica. Constituem leitos maiores dos respectivos cursos d'água. Dependendo das características geomorfológicas das bacias hidrográficas onde se inserem, podem estar sujeitas a inundações periódicas. Relevo plano, ao longo dos cursos d'água, com declividade inferiores a 3%.

Tipos de Solos

Os solos são formados por acumulação de sedimentos. São os Neossolos Flúvicos e Gleissolos. Os Neossolos flúvicos são variados tanto na horizontal quanto na vertical. Os Gleissolos são resultantes da oscilação do aquífero freático. Propiciando ciclos de oxidação e redução



Limitações

Suscetibilidades às ocorrências de inundações periódicas e encharcamento dos solos. Redução de áreas pela ocupação da vegetação ciliar.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Relevo plano podendo ocorrer solos de média e alta fertilidade./Culturas anuais de entressafra, preservação de nascentes difusas. Parte de sua área pode ser considerada APP.

TERRAÇOS FLUVIAIS

Regiões de Ocorrência

Ocorrem em todas as regiões de Minas com ênfase para as regiões mais acidentadas.

Características da Unidade de Paisagem

Antigas planícies de inundações de cursos d'água quando fluíam em níveis de cotas superiores à atual. Em geral, estão associadas às planícies fluviais.

Tipos de Solos

Solos originados de sedimentos variados, em evolução para Cambissolos e Argissolos.



Limitações

Não apresenta limitações para usos e ocupações.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Relevo plano podendo ocorrer solos de média e alta fertilidade./ Agropecuária e expansão urbana.

COLINAS DE TOPO ALONGADO

Regiões de Ocorrência

Ocorrem com maior frequência no Sul de Minas, Campo das Vertentes, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata.

Características da Unidade de Paisagem

Comumente associada a vertentes côncavas, convexas e rampas coluviais. Ocupam os topos de colina. O relevo é plano ou suavemente ondulado.

Tipos de Solos

Os solos são profundos e permeáveis - Latossolos com expressivo horizonte B e elevada estabilidade mecânica



Limitações

Baixos níveis de fertilidade e elevada acidez dos solos e suscetibilidade à compactação.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Podem constituir áreas de recarga de aquíferos freáticos. O relevo é plano ou suavemente ondulado./ Manutenção da vegetação nativa nos topos. Culturas permanentes incluindo cafeicultura, fruticultura e silvicultura.

VERTENTES CONVEXAS

Região de Ocorrência

Campo das Vertentes, Jequitinhonha, Quadrilátero Ferrífero, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce, Região Cárstica e Zona da Mata

Características da Unidade da Paisagem

São comumente conhecidas como colina meia laranja. Apresentam uniformidade do relevo que condiciona a distribuição uniforme do escoamento.

Tipos de Solos

Latossolos são os solos predominantes nesta Unidade da Paisagem



Limitações

Baixa fertilidade e acidez elevada, comprimento da vertente em declive acentuado e suscetibilidade a processos de erosão hídrica laminar.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Solos profundos e permeáveis./ Culturas permanentes, pastagens e silvicultura.

VERTENTES CÔNCAVAS EM ANFITEATRO

Regiões de Ocorrência

Campo das Vertentes, Jequitinhonha, Região da Mantiqueira, Quadrilátero Ferrífero, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce, Região Cárstica e Zona da Mata

Características da Unidade da Paisagem

São áreas de concentração de águas pluviais e nutrientes. Estas unidades são conhecidas como grotas quando fechadas e como anfiteatros quando abertas.

Tipos de Solos

Nas vertentes côncavas fechadas ocorrem Cambissolos e Neossolo Litólico. Nas concavidades abertas podem ocorrer os Argissolos.



Limitações

Solos rasos e instáveis, suscetibilidade à instalação de processos erosivos.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Concentração de águas de chuva e nutrientes. Estas condições possibilitam a instalação de estruturas para coleta de águas pluviais. Podem abrigar nascentes perenes, temporárias ou efêmeras./ Aptidão para fruticultura, cafeicultura, capineira e olericultura. Para a cônica fechada (grotas) manter a vegetação nativa.

VERTENTE RAVINADA

Regiões de Ocorrência

Campo das Vertentes, Jequitinhonha, Região da Mantiqueira, Quadrilátero Ferrífero, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce, Região Cárstica e Zona da Mata

Características da Unidade da Paisagem

Vertentes de colinas de elevada declividade e sequência de ravinas. Podem abrigar nascentes perenes, temporárias ou efêmeras.

Tipos de Solos

Neossolo Litólico e Cambissolo



Limitações

Relevos acidentados e ocorrências de solos rasos e instáveis.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Áreas de surgências de aquíferos ao longo da calha. Cursos d'água com elevada velocidade de fluxo permitindo oxigenação e aporte de sedimentos./Aptidão para Áreas para preservação permanente

VALE ENCAIXADO

Regiões de Ocorrência

Campo das Vertentes, Jequitinhonha, Região da Mantiqueira, Quadrilátero Ferrífero, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce, Região Cárstica e Zona da Mata

Características da Unidade da Paisagem

São vales fechados (vale em V) com inexistência de planícies fluviais e ocorrência de drenagem superficial com elevado gradiente de canal.

Tipos de Solos

Neossolo Litólico e Cambissolo



Limitações

Solos rasos e pedregosos em relevos fortemente acidentados.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Áreas de surgências de aquíferos ao longo da calha. Cursos d'água com elevada velocidade de fluxo permitindo oxigenação e aporte de sedimentos./Aptidão para áreas para preservação permanente.

SUPERFÍCIE TABULAR

Regiões de Ocorrência

Jequitinhonha, Noroeste de Minas,
Triângulo Mineiro, Áreas Cárticas.

Características da Unidade da Paisagem

Apresenta o relevo plano. Ocorre em altitudes em torno de 800 m. A vegetação original é o cerrado "stricto sensu". Vulgarmente conhecida como chapada.

Tipos de Solos

Latossolos e Neossolos Quartzarênicos (quando derivados de arenitos e quartzitos)



Limitações

Solos de baixa fertilidade e acidez elevada.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Relevo plano e solos bem desenvolvidos e permeáveis./ Aptidão para Agricultura tecnificada, silvicultura, fruticultura, pastagens cultivadas e expansão urbana.

SUPERFÍCIE ONDULADA

Regiões de Ocorrência

Jequitinhonha, Noroeste de Minas,
Triângulo Mineiro, Áreas Cársticas.

Características da Unidade da Paisagem

Apresenta o relevo plano. Ocorre em altitudes em torno de 800 m. A vegetação original é o cerrado "stricto sensu". Vulgarmente conhecida como chapada.

Tipos de Solos

Latossolos e Neossolos Quartzarênicos
(quando derivados de arenitos e quartzitos)



Limitações

Solos de baixa fertilidade e acidez elevada.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Relevo plano e solos bem desenvolvidos e permeáveis./ Aptidão para Agricultura tecnificada, silvicultura, fruticultura, pastagens cultivadas e expansão urbana.

DOLINAS – RELEVO CÁRSTICO

Regiões de Ocorrência
Áreas Cársticas, Norte de Minas

Características da Unidade da Paisagem

Depressões formadas pela dissolução de rochas subjacentes. Em especial em ambientes cársticos.

Tipos de Solos

Gleissolos e Vertissolos.



Limitações

Área de acúmulo de água calcária (dura). Ocorrência também de Caramujos muitas vezes infectados por vermes causadores da Esquistossomose.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Beleza cênica./ Lazer e turismo

GRUTAS - RELEVO CÁRSTICO

Regiões de Ocorrência
Áreas Cársticas, Norte de Minas

Características da Unidade da Paisagem

As grutas são formadas mais frequentemente pela dissolução de rochas solúveis, pelas águas de chuva ou de rios, principalmente as rochas carbonáticas (calcário, mármore e dolomitos)

Tipos de Solos

Não se aplica



Limitações

Fragilidade e vandalismo

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Beleza cênica pelos espeleotemas e possibilidades de sítios arqueológicos./ Turismo , espeleologia e pesquisas arqueológicas.

RAMPAS DE COLÚVIO

Regiões de Ocorrência
Campo das Vertentes,
Jequitinhonha, Região da
Mantiqueira, Quadrilátero
Ferrífero, Vale do Mucuri, Vale do
Rio Doce, Região Cárstica e Zona
da Mata

**Características da Unidade da
Paisagem**

Vertentes retilíneas em declive,
resultante do deslocamento
natural dos solos.

Tipos de Solos

Latossolos



Limitações

Comprimento da rampa e favorecimento de processos de erosão laminar. Quando argilosos, são suscetíveis à compactação por pressão de máquinas e pisoteio de animais.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Solos profundos, estáveis e permeáveis. / Aptidão para culturas anuais, pastagens, silvicultura, fruticultura e capineiras sob sistemas de controle de erosão. Expansão urbana.

DISSECADOS ESTRUTURAIS

Regiões de Ocorrência
Norte e Noroeste de Minas

Características das Unidades da Paisagem

Vertentes ravinadas e patamares estruturais basálticos. Relevo ondulado a fortemente ondulado.

Tipos de Solos

Neossolos Litólicos e Cambissolos



Limitações

Relevo acidentado, solos rasos com elevada erodibilidade.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Nível de fertilidade variado./ Aptidão predominantemente para áreas de preservação permanente

DOMO

Regiões de Ocorrência

Campo das Vertentes, Jequitinhonha, Região da Mantiqueira, Quadrilátero Ferrífero, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce, Região Cárstica e Zona da Mata

Características da Unidade da Paisagem

São geoformas convexas arredondadas estruturadas por um arcabouço rochoso, principalmente granito e gnaise

Tipos de Solos

Neossolos Litólicos.



Limitações

Solos rasos e instáveis. Constituem em alguns casos áreas de risco e deslizamento.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Ocorrência de granitos e gnaises como materiais empregados em construção civil e pavimentação de vias./Aptidões para pastagem natural e exploração da Jazida de brita.

PLATÔS

Regiões de Ocorrência

Norte e Noroeste de Minas,
Vale do Mucuri, Vale do
Jequitinhonha

Características da Unidade da Paisagem

Superfícies superiores planas
e vertentes escarpadas com
feições de baús.

Tipos de Solos

Neossolos quartzarênicos.



Limitações

Solos com baixa retenção hídrica e de nutrientes apresentando forte deficiência de umidade.

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados

Superfícies alicerçadas em rochas (arenitos e lateritas) ocorrência de áreas de recargas de aquíferos./ Aptidão para recarga de aquíferos.

PONTÕES GRANÍTICOS

Regiões de Ocorrência
Campo das Vertentes,
Jequitinhonha, Região da
Mantiqueira, Vale do Mucuri, Vale do
Rio Doce e Zona da Mata

**Características da Unidade da
Paisagem**
Afloramento de granito em forma de
“pão-de-açúcar”

Tipo de Solo
Afloramento de rocha e
Neossolo Litólico



Limitações
Afloramento de rocha e relevo escarpado

Potencialidades/Aptidões e Usos Recomendados
Beleza cênica e ocorrência de aquífero em meio fraturado./ Aptidão
para esportes radicais e ecoturismo.

CRISTAS DE QUARTZITO

Regiões de Ocorrência

Região da Mantiqueira, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata

Características da Unidade da Paisagem

Afloramentos rochosos com predominância de quartzito em relevo montanhoso, associados a rampas arenosas (Neossolos Quartzarênicos). Ocorrem inclusões de solos orgânicos. São cristas e vertentes escarpadas (predominância de intemperismo físico). Vegetação de campos rupestres.

Tipos de Solos

Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico



Limitações

Alta vulnerabilidade ambiental, relevo fortemente acidentado e escarpado.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Beleza cênica com ocorrência de quedas d'água e cavernas. Águas superficiais cristalinas e oxigenadas./ Turismo ecológico; Extrativismo sustentável (Sempre Vivas), abastecimento público de água e área de preservação permanente.

CRISTAS DE FILITO - ITABIRITO

Regiões de Ocorrência
Região da Mantiqueira, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata

Características da Unidade da Paisagem

Afloramento de rochas (filito e metargilitos) com solos bastante rasos.

Tipos de Solos

Neossolo Litólico



Limitações

Solos rasos e afloramento de rochas

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Reserva ecológica

CRISTAS DA SERRA DA MANTIQUEIRA

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Sul e sudeste de Minas Gerais

Classes de Solo

Neossolo Litólico e Cambissolos

Descrição

Cumeeira das elevações em forma de serra, com afloramentos rochosos. No caso da Serra da Mantiqueira de rochas cristalinas, associados aos Neossolos Litólicos e Cambissolos na parte média das vertentes íngremes.



Limitações

Relevo fortemente acidentado

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Solos rasos porém de elevada fertilidade natural. Potencialidades para preservação permanente e cultivo de banana, especialmente a prata e a nanica, com manejo adequado.

CRISTAS DE QUARTZITO E ITABIRITO

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Região sudeste, Campo das Vertentes

Classes de Solo

Neossolo Litólico e Neossolo Quartzarênico

Descrição

Afloramento de quartzito e itabirito associados aos Neossolos Litólicos. Relevo acidentado, formado por cristas e vertentes escarpadas. Vegetação de campo rupestre.



Limitações

Alta vulnerabilidade ambiental e baixa fertilidade do solo.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Turismo ecológico, extrativismo sustentável e controlado de flores secas, abastecimento público de água e áreas de preservação permanente.

ILHAS FLUVIAIS

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Todas as Regiões onde encontramos grandes rios

Classes de Solo

Neossolo Litólico

Descrição

São depósitos de sedimentos na calha fluvial.



Limitações

Risco à inundações.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Área de preservação permanente./ Área de preservação permanente

REBORDOS

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Classes de Solo

Cambissolo cascalhento e Neossolo Litólico

Descrição

Encostas com grotas (ravinas) cobertas com vegetação campestre.



Limitações

Instabilidade mecânica, relevo acidentado e solos rasos.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Refúgio de fauna silvestre e ocorrência de nascentes.

AFLORAMENTO DE GNAISSE

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Todas as regiões de Minas

Classes de Solo

Neossolo Litólico

Descrição

Ocorrência de matacões (blocos de rocha).



Limitações

Afloramento e relevo escarpado.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Fornecimento de material para a construção civil./ Beleza cênica.

AFLORAMENTO DE GRANITO

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Sudeste, Norte de Minas, Vale do Mucuri...

Classes de Solo

Neossolo Litólico

Descrição

Pontões em forma de "pão de açúcar".



Limitações

Afloramento, áreas de risco de deslizamentos e relevo escarpado.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Beleza cênica./ Fornecimento de material para a construção civil e Lazer (esportes radicais).

AFLORAMENTO ARENÍTICO

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Norte, noroeste de Minas

Classes de Solo

Neossolo Litólico

Descrição

Rochas sedimentares que podem abrigar aquífero em meio granular.



Limitações

Solos arenosos, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, resultando em limitação para agricultura.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Possibilidade de ocorrência de aquíferos em meio granular e de sítios paleontológicos./ Área de preservação permanente, ecoturismo e estudos paleontológicos.

AFLORAMENTO DE CALCÁRIO

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Regiões calcáreas

Classes de Solo

Neossolo Litólico e Neossolo Rêndzicos.

Descrição

Afloramentos rochosos com aspecto ruiforme e inclusão de solos rasos. Vegetação nativa: mata caducifolia (mata seca).



Limitações

Relevo acidentado e afloramento rochoso.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Beleza cênica, sítios arqueológicos e ocorrência de cavernas./ Área de preservação permanente, ecoturismo e estudos arqueológicos.

ROCHAS PELÍTICAS

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Todas as regiões de Minas

Classes de Solo

Cambissolo e Neossolo Litólico

Descrição

Ocorrência de ardósia e metassilitos.



Limitações

Solos rasos e elevada instabilidade mecânica.
Susceptibilidade à formação de voçorocas.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Jazida de ardósia./ Pastagem natural e mineração.

COLINA CÔNICA

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Zona da Mata, Sul de Minas, Quadrilátero Ferrífero.

Classes de Solo

Neossolo litólico e Cambissolo

Descrição

Feições em forma de pirâmide.



Limitações

Solos rasos e instáveis em relevo fortemente acidentados.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Preservação de vegetação nativa./ Área de preservação permanente.

DIQUES

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Sul, Sudeste e Sudoeste de Minas

Classes de Solo

Neossolo Litólico

Descrição

Intrusão de rochas máficas em fraturas da rocha pré existente.



Limitações

Susceptibilidade a erosão em sulcos.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Elevada fertilidade natural do solo./ Produção de hortaliças e cereais.

VEREDAS

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Norte, Triângulo Mineiro e Alto Jequitinhonha...

Classes de Solo

Gleissolos.

Descrição

Áreas com aquífero aflorado e vegetação hidrófilas (buritis).



Limitações
Ecossistema frágil.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados
Mananciais hídricos./ Área de preservação permanente.

ÁREA DESCARACTERIZADA

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Todas as regiões de Minas

Classes de Solo

Não se aplica

Descrição

Áreas fortemente antropizadas como mineração, terraplanagens extensas, áreas industriais e etc.



Limitações

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

AMBIENTE LÊNICO

Regiões de Ocorrência em Minas Gerais

Todas as regiões de Minas

Classes de Solo

Não se aplica

Descrição

Áreas inundadas natural ou artificialmente



Limitações

Inviabilização de áreas para ocupação.

Potencialidade/Aptidões e Usos Recomendados

Beleza cênica, lazer e manancial de água./ Geração de energia, abastecimento público, aquicultura e lazer.

