[PRODUTO 3.2]

# METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO

## DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO DOCE

UFV Universidade Federal de Viçosa
FUNDAÇÃO renova
UFMG

Setembro de 2018

# EQUIPE RESPONSÁVEL PELA COORDENAÇÃO E REVISÃO DO ESTUDO – FUNDAÇÃO RENOVA

Lucas de Oliveira Scarascia (Líder da célula do Uso Sustentável da Terra)

Felipe Marauê Marques Tieppo (Especialista de programas socioambientais)

Tercio Koehler (Especialista de programas socioambientais)

Felipe de Drummond Alves (Analista de programas socioambientais)

# EQUIPE RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO DO ESTUDO

**IVA e mapas finais**

Prof. Demetrius David da Silva (Departamento de Engenharia Agrícola – UFV)

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Silva (Departamento de Solos – UFV)

Prof. Gleison Augusto Dos Santos (Departamento de Engenharia Florestal – UFV)

**Prof. Silvio Bueno Pereira (*in memorian*) (Coordenador Geral - Departamento de Engenharia Agrícola – UFV)**

Arthur Telles Calegario (Doutorando em Engenharia Agrícola – UFV)

Clívia Dias Coelho (Doutoranda em Engenharia Agrícola – UFV)

Felipe Bernardes Silva (Doutorando em Engenharia Agrícola – UFV)

Lucas Vieira Silva (Estudante de Graduação – UFV)

Raíza Moniz (Doutoranda em Solos e Nutrição de Plantas – UFV)

**IVS e mapas finais**

**Prof. José Ambrósio Ferreira Neto (Departamento de Economia Rural/UFV) – Coordenador geral**

Prof. Janderson Damaceno dos Reis (Departamento de Economia Rural – UFV)

Manuelle Freitas Galvão (Estudante de Graduação – UFV)

Mariane Paulina Batalha Roque (Mestranda em Extensão – UFV)

Thaís Helena Teixeira (Doutoranda em Extensão Rural – UFV)

**IVR e mapas finais**

**Prof. Raoni Guerra Lucas Rajão (Escola de Engenharia – UFMG) – Coordenador geral**

Prof. Adriana Monteiro (Instituto de Geociências – UFMG)

Prof. Britaldo Soares-Filho (Instituto de Geociências – UFMG)

Prof. Marcelo Azevedo Costa (Escola de Engenharia – UFMG)

Prof. Sonia Ribeiro-Carvalho (Instituto de Geociências – UFMG)

Dr. Camilla Marcolino (Escola de Engenharia – UFMG)

Dr. Felipe Nunes (Escola de Engenharia – UFMG)

Dra. Leticia de Lima Santos (Escola de Engenharia – UFMG)

Caroline Salomão (UFMG)

Elaine Lopes (UFMG)

Thomas Rickard (UFMG)

William Leles (UFMG)

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS ..... 3
LISTA DE TABELAS ..... 7
1. CONTEÚDO DO DOCUMENTO ..... 9
2. INTRODUÇÃO ..... 10
2.1. OBJETIVOS ..... 14
2.2. ABORDAGEM GERAL DO ESTUDO ..... 15
3. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL ..... 24
3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO DOCE ..... 25
3.2. IDENTIFICAÇÃO DE MANANCIAIS ALTERNATIVOS ..... 29
3.3. USO E COBERTURA NA BACIA DO RIO DOCE ..... 33
3.4. IDENTIFICAÇÃO DE APPS DEGRADADAS ..... 39
3.4.1. APPS RIPÁRIAS ..... 39
3.4.2. APPS DE TOPO DE MORRO ..... 45
3.4.3. APPS DE DECLIVIDADE ..... 47
3.5. IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS DE RECARGA ..... 48
3.5.1. TERÇOS DO RELEVO ..... 49
3.5.2. CURVATURA HORIZONTAL DO TERRENO ..... 54
3.5.3. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO ..... 56
3.5.4. PEDOLOGIA ..... 61
3.5.5. HIDROGEOLOGIA ..... 64
3.5.6. ANÁLISE AHP ..... 65
3.6. FAVORABILIDADE À REGENERAÇÃO NATURAL ..... 68
4. CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL ..... 80
5. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL ..... 82
5.1. ADEQUAÇÃO DO USO DO SOLO ..... 83
5.2. POTENCIAL DE EROSÃO ..... 94
5.2.1. EROSIVIDADE DA CHUVA ..... 96
5.2.2. ERODIBILIDADE DO SOLO ..... 98
5.2.3. FATOR COMPRIMENTO E DECLIVIDADE DA ENCOSTA (LS) ..... 100

5.2.4. POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO ..... 102
5.3. BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO ..... 103
5.4. QUEIMADAS ..... 105
5.5. ANÁLISE AHP ..... 109
6. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL ..... 115
6.1.1. APRESENTAÇÃO DA BASE DE DADOS DO IVS ..... 118
6.1.2. CÁLCULO DO IVS ..... 127
7. ÍNDICE DE VOCAÇÃO RECUPERAÇÃO (IVR) ..... 145
7.1.1. VOCAÇÃO PARA CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL ..... 151
7.1.2. VOCAÇÃO PARA PLANTIO SEM FINS ECONÔMICOS ..... 155
7.1.3. VOCAÇÃO PARA PLANTIO COM FINS ECONÔMICOS ..... 160
8. MAPA DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL ..... 166
8.1. CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL ..... 172
8.2. PLANTIO TOTAL SEM FINS ECONÔMICOS ..... 176
8.3. PLANTIO TOTAL COM FINS ECONÔMICOS (SAFS) ..... 179
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 182
ANEXOS ..... 193
ANEXO 1. LISTA DE VARIÁVEIS UTILIZADAS NA ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE PRIORIZAÇÃO ..... 193
ANEXO 2. ORÇAMENTO ..... 196

# Lista de Figuras

Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) com enfoque nas sedes municipais e distritos atingidos pelos rejeitos de mineração de Fundão para os quais foram identificadas fontes alternativas de abastecimento. ..... 11

Figura 2. Fluxograma e interdependências dos produtos estabelecidos no TdR. As caixas em azul claro representam as etapas concluídas e as caixas em azul escuro representam as etapas com a participação direta da UFMG e UFV. ..... 12

Figura 3. Fluxograma das etapas para mapeamento de áreas prioritárias para a recuperação ambiental na bacia do Rio Doce. ..... 16

Figura 4. Atribuição de pesos aos parâmetros e processo de validação e discussão da metodologia ..... 20

Figura 5. Fazenda de café no município de Governador Valadares, MG, início dos anos 50, século XX. ..... 26

Figura 6. Evolução do rebanho bovino nos municípios mineiros e capixabas da bacia do rio Doce e total da bacia no período de 1974 a 2016. ..... 28

Figura 7. Mapa de uso e cobertura da terra na bacia do rio Doce. ..... 29

Figura 8. Área de contribuição dos mananciais alternativos identificados para os municípios e distritos afetados, conforme estudo realizado pelo IBIO. ..... 30

Figura 9. Área de contribuição dos mananciais alternativos para abastecimento de água identificados no estudo realizado pela NHC Brasil Consultores Ltda. e RHAMA Consultoria Ambiental Ltda., sob demanda da CT-SHQA. ..... 31

Figura 10. Recorte de priorização para fins de recuperação ambiental na bacia do rio Doce com base nos estudos demandados pela CT-FLOR e CT-SHQA. ..... 32

Figura 11. Mapa com as cenas OLI Landsat necessárias para compor a área da Bacia do Rio Doce. ..... 33

Figura 12. Exemplo de imóvel rural com a indicação do perímetro (linha preta) e faixa de APP a ser recuperada seguindo a Lei da Mata Atlântica (área azul). ..... 41

Figura 13. Propriedades rurais inscritas no Cadastro Ambiental Rural na bacia do Rio Doce. 44

Figura 14. Percentual de passivo de área de preservação permanente ripária por município na bacia do Rio Doce. ..... 45

Figura 15. Percentual de passivo de áreas de preservação permanente de topo de morro por município na bacia do Rio Doce. ..... 47

Figura 16. Percentual de passivo de áreas de preservação permanente de declividade por município na bacia do Rio Doce. ..... 48

Figura 17. Base hidrológica das elevações considerada na definição das zonas de recarga. ..51

Figura 18. Terços das elevações considerados na definição das zonas de recarga. ..... 52

Figura 19. Capacidade de uso da terra nos terços das elevações considerados na definição das zonas de recarga. ..... 53
Figura 20. Capacidade de uso da terra nos terços das elevações na bacia do rio Doce. ..... 54
Figura 21. Curvatura horizontal: (a) Divergente; (b) Convergente; (c) Planar. ..... 55
Figura 22. Curvatura horizontal do terreno na bacia do rio Doce. ..... 56
Figura 23.Precipitação média anual (TRMM) para a bacia do rio Doce (2000 - 2014). ..... 58
Figura 24. Evapotranspiração média anual (MODIS) para a bacia do rio Doce (2000 - 2014). 59
Figura 25. Balanço climatológico médio anual (TRMM e MODIS) para a bacia do rio Doce (2000 - 2014). ..... 60
Figura 26. Classes de solos na bacia do rio Doce. ..... 62
Figura 27. Unidades lito-hidrogeológicas da bacia do rio Doce. ..... 65
Figura 28. Áreas de recarga hídrica na bacia do rio Doce. ..... 68
Figura 29. Resumo das etapas de modelagem para espacialização do potencial de regeneração natural e identificação de classes de favorabilidade à regeneração natural (passiva e ativa) na escala da paisagem para a bacia do Rio Doce. ..... 72
Figura 30. Intensidade histórica de uso agrícola (cultivos) para a bacia do Rio Doce considerando o ano de 1995. ..... 75
Figura 31. Intensidade histórica de uso agrícola (pastagens plantadas) para a bacia do Rio Doce considerando o ano de 1995. ..... 76
Figura 32. Favorabilidade à regeneração natural da vegetação nativa distribuída ao longo da bacia do Rio Doce. ..... 78
Figura 33. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando o solo como fator restritivo. ..... 86
Figura 34. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando a declividade como fator restritivo. ..... 87
Figura 35. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando o terço superior como fator restritivo. ..... 88
Figura 36. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando aspectos legais como fator restritivo. ..... 89
Figura 37. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando solos, declividade, terço superior e aspectos legais como fatores restritivos. ..... 90
Figura 38. Intensidade de uso da terra na bacia do rio Doce. ..... 92
Figura 39. Adequação de uso da terra na bacia do rio Doce. ..... 94
Figura 40. Erosividade da chuva na bacia do rio Doce. ..... 98
Figura 41. Erodibilidade nos quatro grupos de solos identificados na bacia do rio Doce. ..... 99
Figura 42. Modelo digital de elevação da bacia do rio Doce. ..... 101

Figura 43. Mapa do fator comprimento e declividade da encosta (LS)para bacia do rio Doce. ..... 102
Figura 44. Potencial Natural de Erosão (PNE) na bacia do rio Doce. ..... 103
Figura 45. Balanço hídrico quantitativo na bacia do rio Doce. ..... 104
Figura 46. Distribuição dos focos de calor na bacia do rio Doce relativo ao período de 2013 a 2017. ..... 107
Figura 47. Densidade de Kernel para a bacia do rio Doce com raio de 5 km (2013 a 2017). 108
Figura 48. Mapa final da vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Doce. ..... 111
Figura 49. Mapa do índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) dos municípios da bacia do rio Doce. ..... 112
Figura 50. Representação da divisão em setores censitários do município de Governador Valadares, MG. ..... 121
Figura 51. Representação dos resultados do subíndice IVS - Capital Humano, para os setores censitários dos municípios da BHRD. ..... 131
Figura 52. Representação dos resultados do subíndice IVS - Infraestrutura e moradia, para os setores censitários dos municípios da BHRD. ..... 132
Figura 53. Representação dos resultados do subíndice IVS - Renda, para os setores censitários dos municípios da BHRD. ..... 133
Figura 54. Resultados do IVS a partir da média aritmética dos subíndices dos grupos A, B e C. ..... 135
Figura 55. Representação dos resultados do IVS final para os setores censitários do município de Governador Valadares - MG. ..... 137
Figura 56. Resultados obtidos para a produção agrícola, pecuária e silvicultura para os municípios da BHRD, referentes ao ano de 2016. ..... 139
Figura 57. Resultado do IVS final - IVS resultante da média aritmética dos grupos A, B e C, ponderados pelo IPAE. ..... 140
Figura 58. Representação do IVS final por município da Bacia Hidrográfica do rio Doce. .... 142
Figura 59.Variável de entrada da dimensão Prioridade para Conservação. ..... 153
Figura 60. Variável de entrada da dimensão de favorabilidade à regeneração natural. ..... 154
Figura 61. Vocação para regeneração natural da vegetação nativa na bacia do rio Doce. ... 155
Figura 62. APPs ripárias e Zona de Recarga preservadas na bacia do rio Doce. ..... 157
Figura 63. Área média das manchas para plantio total sem fins econômicos na bacia do rio Doce. ..... 158
Figura 64. Variável Capacidade Institucional para condução de plantios de restauração florestal na bacia do rio Doce. ..... 159
Figura 65. Vocação para plantio total sem fins econômicos na bacia do rio Doce. ..... 160
Figura 66. População rural em pequenas propriedades na bacia do rio Doce. ..... 162

Figura 67. Mudanças de uso da terra simuladas pelo modelo Otimizagro entre 2013-2050 na bacia do rio Doce. ..... 163

Figura 68. Capacidade institucional para plantio total com fins econômicos (SAFs) na bacia do rio Doce ..... 164

Figura 69. Vocação para plantio total com fins econômicos (Sistemas agroflorestais – SAFs) na bacia do rio Doce. ..... 165

Figura 70. Visão Geral do modelo computacional de priorização implementado na plataforma de modelagem Dinamica EGO. ..... 168

Figura 71. Exemplo de visualização de mapa através do "Map Viewer" do Dinamica EGO. A categorização por cores permite uma diferenciação visual rápida de valores ..... 171

Figura 72. Mapa de áreas prioritárias para condução da regeneração natural, em escala municipal, na bacia do rio Doce. ..... 175

Figura 73. Mapa de áreas prioritárias para plantio total sem fins econômicos em escala municipal na bacia do rio Doce. ..... 178

Figura 74. Mapa de áreas prioritárias para plantio total com fins econômicos em escala municipal na bacia do rio Doce. ..... 181

# Lista de Tabelas

Tabela 1. Co-variáveis utilizadas na classificação supervisionada ..... 35

Tabela 2. Classificação do mapa temático com base no índice Kappa (Landis & Kock, 1977). 35

Tabela 3. Área e percentual de contribuição dos usos e cobertura da terra mapeados na bacia do rio Doce. ..... 38

Tabela 4. Recomposição de APPs ripárias em áreas consolidadas conforme Lei Federal nº 12.651/2012 ..... 40

Tabela 5. Largura das Áreas de Preservação Permanente (APP) em função dos componentes da hidrografia segundo a Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006) ..... 42

Tabela 6. Descrição das classes de uso e cobertura da terra adotados no estudo realizado pela FBDS ..... 43

Tabela 7. Classes de Capacidade de Uso (CU) considerando o terço superior como fator restritivo ..... 52

Tabela 8. Classes de capacidade de uso e manejo da terra do solo considerando fatores profundidade e drenagem interna e valores de adequabilidade na AMC para obtenção das zonas de recarga ..... 63

Tabela 9. Escala para comparação par a par dos critérios adotados para obtenção das áreas de recarga da bacia do rio Doce ..... 67

Tabela 10. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção das áreas de recarga na bacia do rio Doce ..... 67

Tabela 11. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção das áreas de recarga na bacia do rio Doce ..... 67

Tabela 12. Classes de capacidade de uso em função de característica dos solos proposto por Rio Grande do Sul (1979) ..... 84

Tabela 13. Classes de capacidade de uso e manejo da terra considerando o solo como fator restritivo ..... 85

Tabela 14. Classes de Capacidade de Uso (CU) considerando a declividade como fator restritivo ..... 87

Tabela 15. Classes de Capacidade de Uso (CU) considerando o terço superior como fator restritivo ..... 88

Tabela 16. Data de aquisição das imagens do satélite Landsat 8 segundo ponto e órbita ..... 91

Tabela 17.Classes de intensidade de uso do uso e cobertura do solo ..... 92

Tabela 18. Erodibilidade (K) do solo para os principais tipos de solos na bacia do rio Doce... 99

Tabela 19. Características dos sensores de monitoramento para fins de avaliação dos focos de calor oriundos de queimadas ..... 106

Tabela 20. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Doce ..... 109

Tabela 21. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na bacia do rio Doce ..... 110

Tabela 22. Municípios com os piores IVA na bacia do rio Doce ..... 112

Tabela 23. Indicadores e variáveis utilizados na composição dos subíndices, para o cálculo do IVS dos municípios na Bacia do Rio Doce. ..... 117

Tabela 24. Conjunto de indicadores produtivos utilizados como ponderadores no resultado final do IVS. ..... 118

Tabela 25. Descrição e peso dos indicadores que compõem o Subíndice Capital Humano (Grupo A) ..... 123

Tabela 26. Descrição e peso dos indicadores que compõem o Subíndice Moradia e Infraestrutura (Grupo B) ..... 124

Tabela 27. Descrição e peso dos indicadores que compõem o Subíndice Renda (Grupo C) . 126

Tabela 28. Descrição e peso dos indicadores que compõem o indicador de produção. ..... 127

Tabela 29. Valores atribuídos e categorias do IVS ..... 129

Tabela 30. Resultados médios dos setores censitários da bacia do Rio Doce. ..... 129

Tabela 31. Número de setores censitários por categoria do IVS não ponderado ..... 141

Tabela 32. Número de setores censitários por categoria do IVS final (ponderado). ..... 141

Tabela 33. Número de municípios por categoria do IVS. ..... 142

Tabela 34. Municípios com os piores IVS na bacia do rio Doce. ..... 143

Tabela 35. Vocação para Condução da Regeneração Natural ..... 152

Tabela 36. Indicadores Vocação para Plantio Total sem fins econômicos* ..... 156

Tabela 37. Indicadores de vocação para plantios de SAFs ..... 161

Tabela 38. Escalas de comparação utilizadas entre pares de critérios para análise multicritério hierárquica ..... 167

Tabela 39. Escalas utilizadas para atribuir os pesos para o mapa de condução da regeneração natural ..... 173

Tabela 40. Pesos utilizados para o mapa de condução da regeneração natural ..... 173

Tabela 41. Escalas utilizadas para atribuir os pesos para o mapa de plantio total sem fins econômicos ..... 177

Tabela 42. Pesos utilizados para o mapa de plantio total sem fins econômicos ..... 177

Tabela 43. Escalas utilizadas para atribuir os pesos para o mapa de plantio total com fins econômicos ..... 179

Tabela 44. Pesos utilizados para o mapa de plantio total com fins econômicos ..... 179

# 1. CONTEÚDO DO DOCUMENTO

O presente relatório integra o Produto 3 (P3) do projeto de identificação de áreas prioritárias para a recuperação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD), com foco na atividade 3.2 – "Definição de critérios, parâmetros e pesos socioambientais e socioeconômicos e do modelo de priorização de áreas a serem recuperadas, de forma diferenciada, para as áreas de reflorestamento e regeneração natural", em atendimento ao termo de referência (TdR) da Câmara Técnica de Restauração Florestal e de Produção de Água (CT-FLOR/CIF) – versão 04 (08/06/2016). Este documento contém o detalhamento da metodologia construída para auxiliar a "recuperação de APPs [áreas preservação permanente] degradas e áreas de recarga da Bacia do Rio Doce, preferencialmente, mas não se limitando, nas sub-bacias dos rios definidos como fonte de abastecimento alternativa" (pg. 5, TdR).

De acordo o TdR, o P3 consiste em um "mapeamento com a representação das áreas prioritárias para recuperação conforme parâmetros específicos para a bacia do Rio Doce, a serem definidos após ouvir os atores da região e submetidos à CT-Flor para aprovação" (pg. 8, TdR). Em suma, apresenta um ranqueamento de áreas prioritárias de acordo com pesos e critérios técnicos definidos para o recebimento de ações de reflorestamento (mínimo de 10.000 hectares) e condução da regeneração natural (mínimo de 30.000 hectares) em APPs degradadas e zona de recarga, que é objeto da Cláusula 161 do Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC). Recomenda-se a leitura e análise deste relatório em conjunto com os relatórios dos produtos, a seguir discriminados, já entregues:

- Produto 3.1: Levantamento e revisão de bibliografia, nacional e internacional, relacionados a: (a) métodos de identificação de áreas de vulnerabilidade e sensibilidade ambiental, e (b) critérios de priorização adotados em situações similares de acidentes ambientais ou desastres naturais ocorridos nos últimos 10 anos;
- Produto 3.3: Levantamento das principais fontes de degradação da bacia do Rio Doce, notadamente aquelas relacionadas diretamente com a qualidade e quantidade da água, a conservação do solo e a paisagem.

# 2. INTRODUÇÃO

No dia 5 de novembro de 2015, o rompimento da barragem de rejeitos de minério de Fundão, situada em Mariana, Minas Gerais, e o galgamento da barragem de Santarém, em uma região de cabeceira da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, liberou um volume estimado de 34 milhões de m³ de rejeitos de mineração, água e materiais utilizados em sua construção, causando diversos impactos socioeconômicos e ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Doce - BHRD (ANA, 2016).

Em decorrência dos danos causados ao longo da BHRD, oriundos do rompimento da barragem, firmou-se o TTAC, em 02 de março de 2016, entre órgãos e entidades representantes da União, dos Estados de Minas Gerais e do Espírito Santo e as empresas SAMARCO Mineração S.A., VALE, S.A. e BHP Billiton Brasil LTDA. O TTAC tem como objetivo a execução de programas a serem elaborados e implementados pela Fundação Renova para recuperação do meio ambiente e melhoria das condições socioeconômicas da área de abrangência impactada pelo desastre.

No âmbito do programa de recuperação de APPs e áreas de recarga da Bacia do Rio Doce[1] (P26) prevê-se, minimamente, a recuperação de 40.000 hectares (ha) de APPs em áreas degradadas e zonas de recarga hídrica do Rio Doce e tributários, preferencialmente, mas não se limitando, às sub-bacias dos rios definidos como fontes de abastecimento alternativas nos 17 municípios diretamente afetados pelo rompimento da barragem de rejeitos (Figura 1).

[1] Eixo temático de restauração florestal e produção de água – clausula 161, subseção II.2, seção II e clausula 171 do TTAC.

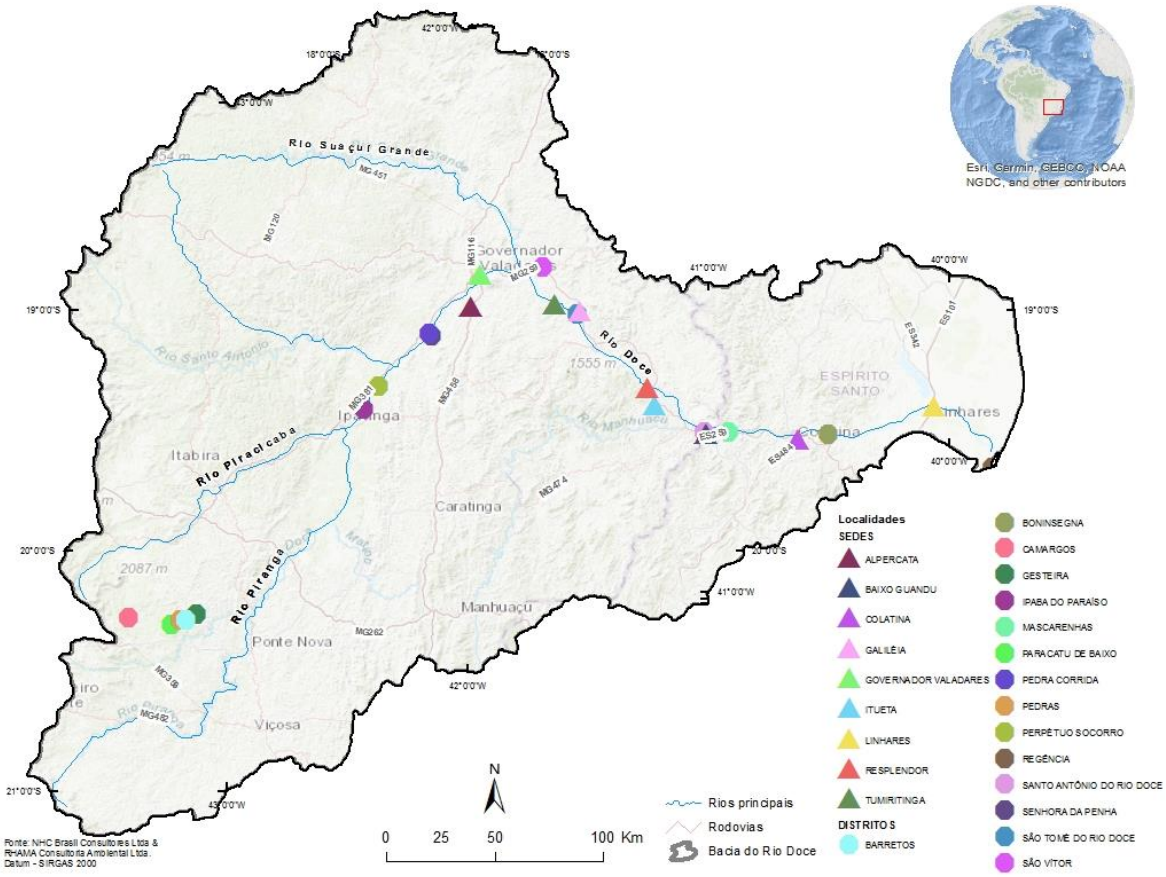


**Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Doce (BHRD) com enfoque nas sedes municipais e distritos atingidos pelos rejeitos de mineração de Fundão para os quais foram identificadas fontes alternativas de abastecimento.**
**Fonte: IBIO (2017)**

Nesse contexto, a fim de subsidiar a tomada de decisão quanto à identificação de áreas prioritárias para a recuperação ambiental na BHRD, foi firmado o convênio entre a Fundação Renova, a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) para elaboração do terceiro produto (P3) conforme estabelecido no TdR (Figura 2). O acordo também prevê o apoio da UFMG e UFV na elaboração do quarto produto (P4), que ficará a cargo da Fundação Renova e outras instituições parceiras, na definição do escalonamento das ações de restauração florestal ao longo dos próximos 10 anos.

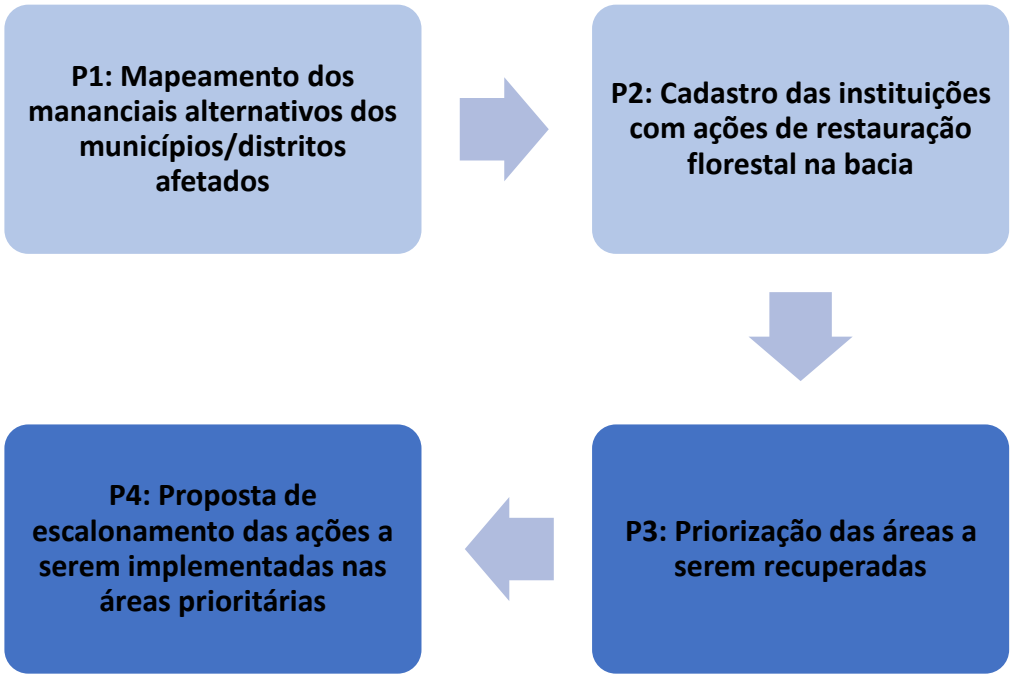


**Figura 2. Fluxograma e interdependências dos produtos estabelecidos no TdR. As caixas em azul claro representam as etapas concluídas e as caixas em azul escuro representam as etapas com a participação direta da UFMG e UFV.**

O mapeamento dos mananciais alternativos dos municípios/distritos afetados (P1) foi realizado pelo Instituto BioAtlântica (IBIO), por demanda da CT-FLOR. Adicionalmente, a Câmara Técnica de Segurança Hídrica e Qualidade da Água (CT-SHQA) demandou a realização de um estudo mais detalhado, com foco no abastecimento humano, o qual foi executado pela NHC Brasil Consultores Ltda. e RHAMA Consultoria Ambiental Ltda. Além de identificar as áreas de captação dos mananciais alternativos, o estudo da CT-SHQA também definiu as duas melhores alternativas para captação para cada uma das localidades atingidas baseados em critérios de custo e tamanho da população. Em alguns casos já foi definido, administrativamente, qual das duas alternativas de captação será considerada, porém, tendo em vista a recuperação ambiental no nível da paisagem, para a elaboração do P3 todas as áreas de mananciais identificadas pelos estudos da CT-FLOR e CT-SHQA foram consideradas como integrantes do recorte territorial adotado no presente estudo.

O P2 apresenta o cadastro das instituições com ações de restauração florestal na bacia visando mapear as principais partes interessadas que deverão atuar direta ou indiretamente no programa de recuperação ambiental. Esse cadastro foi considerado para a elaboração do mapa de vocação para a recuperação ambiental, conforme será descrito posteriormente.

A metodologia para construção do P3, objeto principal deste relatório, tem como ponto de partida a sistematização e padronização de informações acerca das variáveis do meio físico e biótico, assim como das características sociais e econômicas, para a definição de áreas prioritárias para recuperação ambiental. O banco de dados geoespaciais resultante, os mapas intermediários e finais e os respectivos metadados também integram o P3 e serão entregues em formato digital compatível para manipulação em softwares de geoprocessamento. No tocante à metodologia específica do P3, para a integração de todas as camadas de informações georreferenciadas levantadas e mapeamento das áreas prioritárias, foi elaborado um modelo computacional de priorização customizado para a BHRD. Esta metodologia pode ser entendida, portanto, como uma ferramenta de planejamento territorial para fomento da recuperação ambiental e restauração florestal com dados próprios da região, fortalecendo as decisões e facilitando maior participação dos diversos grupos de interesse.

Em que pese a orientação preferencial aos municípios diretamente afetados, citados no TTAC, este trabalho parte do pressuposto que essas localidades estão inseridas em uma bacia hidrográfica que possui uma vasta área de drenagem (cerca de 87 mil km$^2$), contemplando 228 municípios (CBH-DOCE, 2018), na qual há uma interdependência entre os recursos hídricos e o uso e cobertura da terra na escala da paisagem. Assim, o benefício dos investimentos em recuperação ambiental planejados tem, em teoria, potencial para alcançar uma área muito maior do que as das localidades diretamente afetadas. Para fins de ilustração desta premissa, somente o Rio Doce tem uma extensão de 879 km, com nascentes localizadas em Minas Gerais, nas Serras da Mantiqueira e do Espinhaço[2], e abastece diversos municípios mineiros e capixabas.

Desta forma, a área de estudo deste trabalho contempla inicialmente toda a bacia do Rio Doce para a identificação de áreas de vulnerabilidade e sensibilidade ambiental, permitindo desde a disponibilização de informações estratégicas para a totalidade de sua área até a aplicação de recortes territoriais específicos para a seleção de áreas prioritárias para a recuperação de 40.000 ha. Por esta razão, os resultados desse estudo poderão contribuir para lançar as bases de uma infraestrutura de dados espaciais da bacia e para o aprimoramento do Plano de

[2] A Agência Nacional de Águas (ANA) e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH-Doce) possuem definições diferentes sobre a área de drenagem da bacia. Para esse estudo adota-se a definição fornecida pelo CBH-Doce.

Recursos Hídricos, de forma a facilitar a aplicação dos recursos e servir como um subsídio adicional para a gestão hídrica na bacia.

Por fim, o P4 apresentará uma proposta de escalonamento das áreas a serem recuperadas, diferenciando as áreas de reflorestamento e de regeneração natural, a partir de um cronograma anual, conforme a priorização identificada (no P3) e os limites definidos na cláusula 161 do TTAC, mantendo a proporcionalidade prevista. No contexto do P4 será realizada uma proposta de distribuição dos 40 mil ha dentro da bacia, com base na prioridade definida no P3 e nos estudos de identificação dos mananciais alternativos. O P4 será elaborado pela Fundação Renova com o apoio da UFMG e UFV.

## 2.1. OBJETIVOS

Os objetivos gerais do P3 consistem em:

- Desenvolvimento de modelo que permita a integração de dados para análise multicritério a partir da definição de variáveis e critérios de priorização de áreas para recuperação ambiental na Bacia do Rio Doce;
- Mapeamento com a representação de áreas prioritárias para recuperação ambiental, a partir de definição de parâmetros específicos para a Bacia do Rio Doce;
- Fornecimento de elementos que auxiliem a Fundação Renova e outras instituições parceiras a realizarem o planejamento e escalonamento das ações de recuperação ambiental.

Entre os objetivos específicos, destacam-se:

- Estabelecer áreas prioritárias para a recuperação ambiental nas modalidades: (i) condução à regeneração natural (30 mil ha) e (ii) plantio total (10 mil ha), que podem ser tanto sem ou com finalidade econômica (i.e. sistemas agroflorestais, SAFs), dentro dos parâmetros estabelecidos pela legislação;

- Elaborar revisão bibliográfica sobre variáveis e critérios de priorização de áreas para recuperação ambiental com base em artigos científicos, teses, trabalhos acadêmicos, entre outros, encontrados em repositórios nacionais e internacionais;
- Levantar informações físicas, ambientais, hidrográficas e socioeconômicas e investigar as fontes de degradação para a área de influência da BHRD relevantes para o processo de priorização de áreas para o reflorestamento e regeneração, a partir de dados secundários, referentes a: extração mineral, degradação de pastagens, sistema de coleta, distribuição e tratamento de água e esgoto, sistema de disposição de resíduos sólidos, concentração industrial, frequência de queimadas e estradas rurais.
- Elaborar produtos geoespaciais representativos das características físicas, ambientais, hidrográficas e socioeconômicas da área de drenagem da bacia, visando a definição de variáveis e critérios de priorização de áreas para recuperação ambiental na Bacia, sendo que os principais produtos são: Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) com resolução de 30 metros; Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) no nível do setor censitário de cada município; e Índice de Vocação à recuperação ambiental no nível do município, separados por tipologia de intervenção (condução da regeneração natural e plantio total com e sem fins econômicos);
- Construir modelo de priorização customizável que dê transparência ao estudo e que permita a validação da metodologia pela CT-FLOR e discussão dos resultados com a comunidade científica e atores locais nas oficinas regionais;
- Elaborar o mapa final de áreas prioritárias para o plantio total e regeneração natural, agregadas por município a partir do cruzamento e sobreposição das camadas de informação geradas em cada etapa.

## 2.2. ABORDAGEM GERAL DO ESTUDO

O estudo emprega um modelo de priorização espacialmente explícito que integra critérios ambientais, sociais e de vocação territorial para identificação de áreas prioritárias para condução da regeneração natural e plantio total com e sem fins econômicos. O ponto de partida da metodologia é a definição de um recorte territorial para fins de identificação de áreas consideradas de alta vulnerabilidade e sensibilidade ambiental, conforme estabelecido

no TdR. Para este fim, foram mapeadas, principalmente, as APP e áreas de Reserva Legal (RL) degradadas, conforme a legislação, as zonas de recarga hídrica, a favorabilidade à regeneração natural e áreas de interesse para segurança hídrica na bacia (Figura 3).

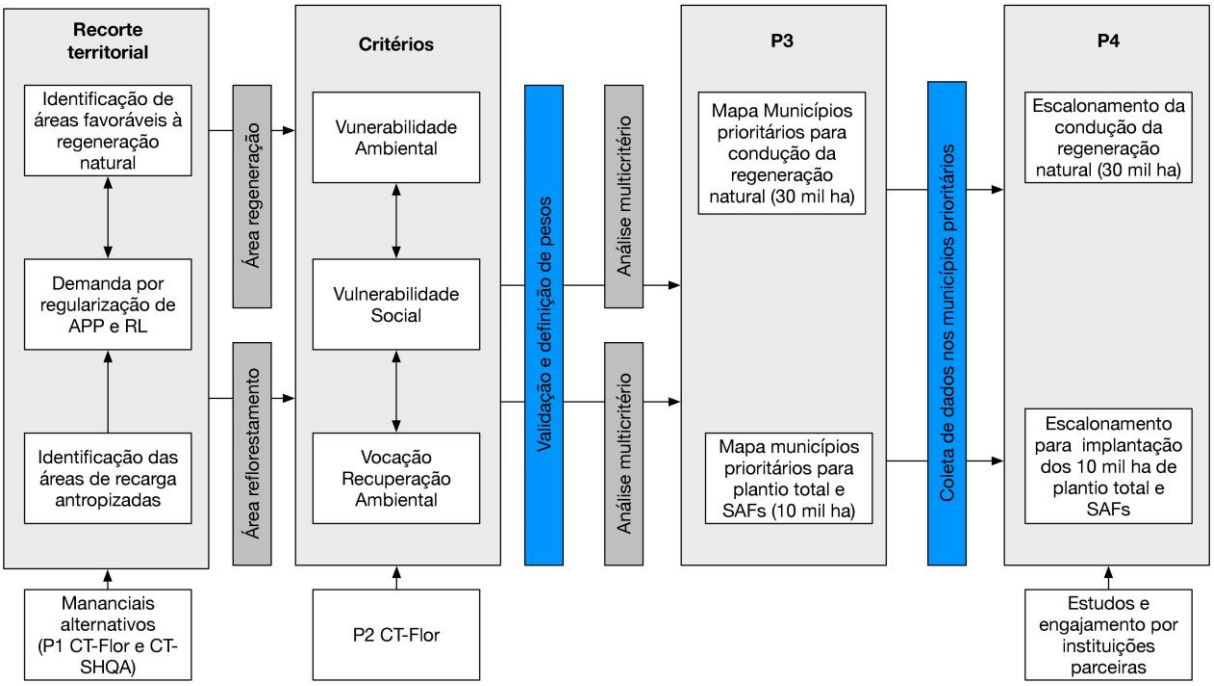


**Figura 3. Fluxograma das etapas para mapeamento de áreas prioritárias para a recuperação ambiental na bacia do Rio Doce.**

Foram considerados estudos anteriores e feitas análises complementares, como no caso do cômputo das áreas de APPs e RL (SOARES-FILHO et al. 2014; SOARES-FILHO et al. 2016) a partir da disponibilização de dados recentes de imóveis rurais cadastrados junto ao SiCAR (http://www.car.gov.br). Com relação aos estudos específicos de mananciais alternativos de captação, tanto o estudo que integra o P1 quanto o estudo elaborado pela NHC Brasil Consultores Ltda. e RHAMA Consultoria Ambiental Ltda. foram integrados à análise na etapa inicial de formatação do recorte territorial (Figura 3). Com relação a este último, é importante destacar que os arquivos em formato *shapefile* resultantes do estudo estavam individualizados para cada manancial alternativo identificado e foi necessário uni-los por meio de procedimentos de geoprocessamento para delimitação da área total. O arquivo final resultante foi encaminhado aos autores para a validação desta junção.

Na sequência, as áreas de APP e RL foram mapeadas com base em modelos espacialmente explícitos utilizados para análise do Código Florestal (SOARES-FILHO et al. 2014; SOARES-FILHO et al. 2016; OLIVEIRA, 2015; OLIVEIRA e FERNANDES FILHO, 2016). Já as zonas de recarga hídrica foram definidas pela equipe da UFV por meio de técnicas de geoprocessamento utilizando modelos digitais de elevação de terreno e algoritmos de análise espacial, configurando uma metodologia desenvolvida especificamente para este trabalho. Por fim foi calculada a favorabilidade de regeneração natural da vegetação nativa para toda a bacia, identificando áreas aptas à condução da regeneração natural e plantios de restauração a partir do aprimoramento de um modelo espacialmente explícito em alta resolução (NUNES et al., 2017).

Posteriormente, foram sistematizadas as principais fontes de degradação da bacia, para a definição de cada um dos critérios de priorização (erosividade do terreno, adequação ambiental, níveis de emprego e renda, etc.) (ver Produto 3.3 já entregue) e depois de modo integrado, por meio da análise multicritério, considerando as dimensões ambientais e socioeconômicas. Foram gerados o Índice de Vulnerabilidade Ambiental, o Índice de Vulnerabilidade Social e os Índices de Vocação para a Recuperação Ambiental (regeneração natural e plantios totais de espécies nativas com e sem fins econômicos). Uma vez que nas áreas de reflorestamento é possível utilizar plantios com fins econômicos, com a adoção das devidas técnicas conservacionistas e nas modalidades previstas pelo Código Florestal, foram considerados plantios de sistemas agroflorestais (SAFs) na vocação para recuperação ambiental. Para elaboração de cada um dos índices foi realizada uma análise multicritério hierárquica que integra parâmetros técnicos presentes na literatura e indicam a importância relativa das diferentes variáveis. Desse modo, fatores de maior relevância relativa (ex. suscetibilidade à erosão e renda *per capita*) podem ter um peso maior na definição de um critério do que outros fatores (ex. evapotranspiração e nível educacional).

No total, o modelo computacional integrou 161 variáveis biofísicas, socioeconômicas e ambientais, distribuídas entre os índices de vulnerabilidade ambiental, social e de vocação para recuperação ambiental que podem ser resumidos conforme abaixo:

I. **Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA):** áreas mais degradadas cuja provisão de serviços ecossistêmicos hídricos poderia ser ampliada pela recuperação ambiental. Na

determinação do índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) foram utilizados, ao todo, 21 variáveis, incluindo, entre outras, a adequação do uso do solo (pedologia, declividade, APPs de topo de morro e ripária), disponibilidade/demanda hídrica, queimadas/focos de calor e potencial de erosão (erosividade da chuva, erodibilidade do solo e comprimento e declividade da encosta). O IVA foi gerado para a bacia como um todo, com 30 metros de resolução. O escalonamento dos municípios prioritários para a recuperação ambiental foi realizado considerando o IVA dentro das zonas de recarga hídrica, APPs de topo de morro, APPs de declividade e APPs ripárias e foi ponderado pelas respectivas porcentagens de área dentro do município.

II. **Índice de Vulnerabilidade Social:** áreas com população rural em situação de vulnerabilidade que poderiam ser beneficiadas pelas oportunidades de emprego e renda geradas pela restauração ambiental. O índice foi calculado levando em consideração 22 variáveis divididas em três grupos: capital humano, infraestrutura e moradia e renda. Foi incluído um quarto grupo que engloba a produção agropecuária e silvicultura, utilizado como ponderador do índice.

III. **Índices de Vocação para Recuperação Ambiental:** áreas onde a implementação da condução à regeneração natural e plantio total são mais viáveis (aptidão) e desejáveis do ponto de vista da conservação da biodiversidade. Foram analisadas 115 variáveis para estabelecer três tipos de vocação: (i) Vocação para condução à regeneração natural da vegetação nativa, considerando uma modelagem espacialmente explícita da favorabilidade à regeneração natural (Nunes et al., 2017) e áreas protegidas e prioritárias para conservação da flora e fauna; (ii) Vocação para plantios totais de espécies nativas sem fins econômicos, levando em consideração a capacidade institucional instalada (projetos de restauração, viveiros e área restaurada), área média de manchas florestais, potencial de conectividade entre fragmentos e áreas protegidas e prioritárias para conservação da flora e fauna (MMA); e (iii) Vocação para plantios totais com fins econômicos, calculado com base na prevalência da população rural em pequenas propriedades, diversidade da produção agrícola, transições no uso

da terra até 2050 e capacidade institucional (presença e diversidade de organizações não-governamentais (ONGs), empresas de extensão rural e cooperativas).

A seleção de áreas com prioridade de reflorestamento e de regeneração natural depende fortemente dos objetivos da ação de recuperação ambiental (conservação da biodiversidade, controle da erosão, regularização hídrica, entre outros). Isto reforça a escolha metodológica deste estudo por análises multicritérios customizáveis. O modelo de priorização pode ser visto, portanto, como uma ferramenta de planejamento capaz de suportar múltiplos objetivos, em que critérios ambientais e socioeconômicos estão envolvidos e podem ser customizados.

Em particular, os mapas finais de áreas prioritárias para cada uma das três modalidades de realização da restauração florestal foram gerados a partir da atribuição de pesos que representam a importância de cada índice (critério). Isso foi realizado por meio de análise multicritério hierárquica que compara, par a par, a relevância relativa de cada critério considerando o objetivo da modalidade de recuperação ambiental. De modo a garantir a coerência interna, essa metodologia verifica também a consistência dos pesos relativos atribuídos para cada par. No final da análise, os pesos par a par foram calculados conjuntamente, de modo a derivar um peso final para cada critério. Para gerar os mapas de priorização, os índices foram multiplicados pelo peso atribuído a cada variável e somados para gerar o índice final para cada município (Figura 4).

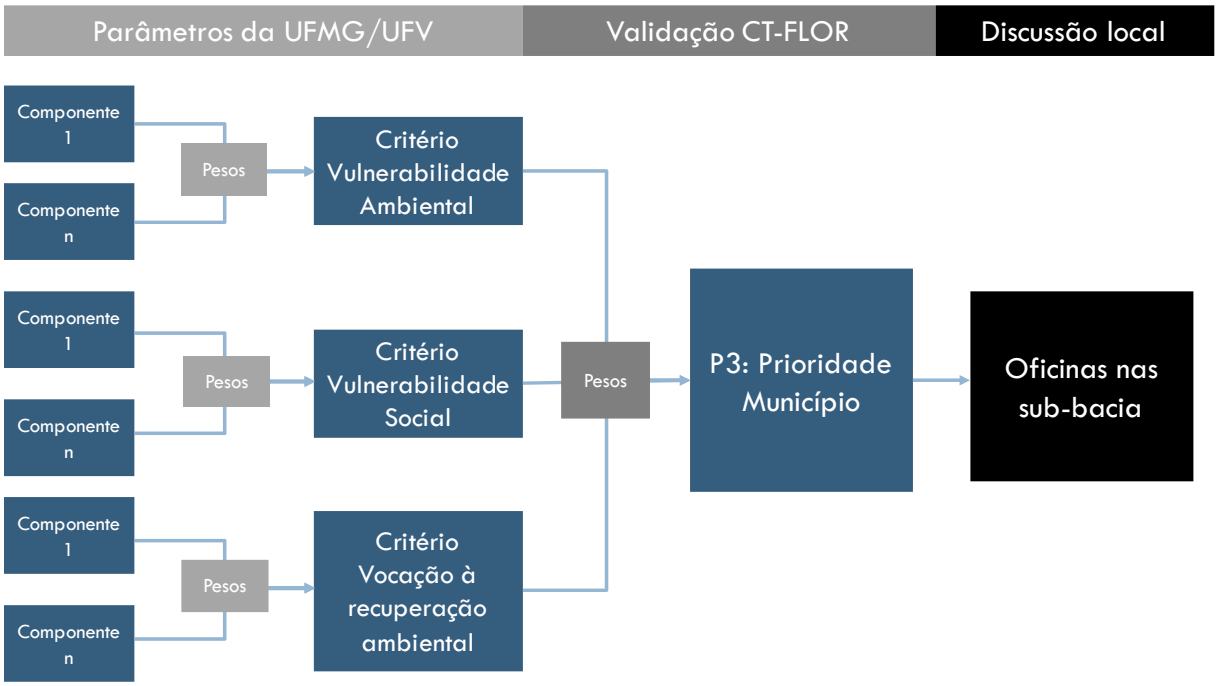


**Figura 4. Atribuição de pesos aos parâmetros e processo de validação e discussão da metodologia.**

A atribuição dos pesos dos parâmetros que compõem os diferentes critérios (índices) foi definida pelos especialistas da UFMG e UFV. Já a proposta inicial dos pesos dos critérios para a construção dos mapas finais de priorização foi construída em conjunto pela UFMG e UFV, em colaboração com os técnicos da Fundação Renova. Essa proposta foi discutida com os membros da CT-FLOR como parte do processo de validação da metodologia do presente trabalho nos dias 17 e 25/05/2018.

Finalmente, a metodologia foi discutida com os atores sociais nas oficinas realizadas nos municípios de Governador Valadares, Caratinga, Aimorés e Colatina, entre os dias 23 e 29 de julho e em Mariana no dia 13 de agosto de 2018. As oficinas foram formatadas em atendimento ao Termo de Referência, o qual explicita a necessidade de discussão da metodologia com as comunidades locais. Os eventos contaram com a presença de 360 representantes dos comitês das sub-bacias hidrográficas, cooperativas de produtores, secretarias municipais, sindicatos rurais, cidadãos locais, incluindo estudantes e professores universitários. Estiveram presentes 77 participantes em Mariana, 71 em Aimorés, 90 em Caratinga, 85 em Governador Valadares e 39 em Colatina. A oficina realizada em Mariana contou com a participação da presidente da CT-Flor que prestou esclarecimentos aos

participantes sobre o escopo geral do trabalho de priorização das áreas para recuperação ambiental na bacia do rio Doce.

As oficinas visaram fundamentalmente apresentar a metodologia adotada, bem como discutir os pontos de interesse da população e colher comentários que pudessem auxiliar no aperfeiçoamento do trabalho até então executado. Foram prestados esclarecimentos a respeito das premissas formais e metodológicas que foram assumidas ao longo do trabalho, listar e descrever as variáveis utilizadas e dar transparência aos procedimentos analíticos realizados utilizando uma linguagem acessível à população. Adicionalmente, os comentários, sugestões e apreciações feitas em relação à proposta metodológica foram coletados e sistematizados.

A partir destes objetivos, foi elaborada uma agenda de trabalho que serviu de orientação para todas as oficinas realizadas, o que inclui:

1. Abertura e contexto do trabalho,
2. Apresentação do estudo sobre identificação de mananciais alternativos,
3. Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA),
4. Índice de Vulnerabilidade Social (IVS),
5. Índice de Vocação para Recuperação (IVR)
6. Modelo de Priorização e,
7. Discussão com participantes.

Para uma descrição detalhada do roteiro proposto bem uma listagem completa dos nomes dos oradores nas oficinas ver COCRIAR (2018). As discussões mostraram preocupações de caráter geral em todas as oficinas. Foi unânime o sentimento de urgência na recuperação ambiental do Rio Doce e suas margens. Outros assuntos dominantes foram o manejo de rejeitos de minério e a recuperação de nascentes. Muitos dos anseios demonstrados através dos comentários registrados se tratam de pontos que já estavam previstos no escopo do trabalho (ex. disponibilização dos bancos de dados produzidos). Também foi mencionado o interesse de alguns atores locais em utilizar o estudo como base de atualização do plano integrado de recursos hídricos da bacia.

Questionamentos relacionados à definição da área de 40 mil hectares (0,5% da bacia) para recuperação ambiental e a divisão que estabelece 30 mil hectares para regeneração natural e

10 mil hectares para plantio total também foram recorrentes. Foi esclarecido a este respeito que o programa onde se insere esse estudo é compensatório e não pretende e tampouco terá condições de resolver todos os problemas históricos da bacia em termos de degradação. Foi ressaltado que esse estudo oferece o embasamento técnico para a priorização das ações de recuperação, independentemente de revisões futuras relativas ao tamanho de área a ser recuperada.

Em relação especificamente à definição prévia área ser restaurada (os 40 mil ha e a sua divisão em 30/10) foi esclarecido que a mesma foi definida no âmbito do primeiro TTAC que se seguiu ao rompimento da barragem, não estando no escopo do estudo discuti-los. Contudo, foi mencionado que outras ações de caráter reparatório estão sendo executadas no âmbito de outros programas executados pela Fundação Renova e que alguns dos anseios apresentados poderiam ser direcionados a esses programas.

Outros aspectos recorrentes durante a discussão foram a recuperação ambiental do Rio Doce, salientando-se também a importância da pesca e dos modos de vida dos pescadores. Foi ainda bem presente a preocupação com as ilhas e a remoção dos rejeitos nas margens do rio. Foi descrita com ênfase a questão das comunidades locais tradicionais e a recorrente ausência destas na tomada de decisão. Foram feitos questionamentos a respeito da opção pelos municípios como unidades de análise e sobre os pesos adotados para a composição dos diferentes índices utilizados na definição dos mapas de priorização. Os pesquisadores responsáveis pelo estudo esclareceram que o município é a unidade de análise, mas uma vez que os índices elaborados (IVA, IVS e IVR) são calculados pixel a pixel, é possível fazer agregação ao nível da bacia, sub-bacia, orto-bacia, setor censitário ou outra forma de agregação que seja de interesse. Esclareceu-se também que, numa fase posterior, será realizada a micro-priorização no âmbito do Produto 4 conforme previsto no Termo de Referência, o que vai identificar, no nível da propriedade, os locais mais favoráveis para receber as intervenções. Com relação aos pesos, foram prestados esclarecimentos que a definição dos mesmos não se deu de forma aleatória, mas segundo critérios técnicos embasados na literatura atualizada sobre o tema e na experiência empírica dos especialistas envolvidos com a elaboração do estudo.

A análise do conteúdo dos comentários registrados pelos participantes nos permitiu concluir que o estudo responde a grande parte das demandas mencionadas ao longo das oficinas. No

entanto, perguntas de esclarecimento que não foram respondidas durante as oficinas tratavam-se de temas abordados no estudo e que serão naturalmente respondidas a partir da aprovação e disponibilização do presente relatório para o público em geral. As oficinas, portanto, cumpriram o devido papel de fórum de discussão de acordo com o solicitado no Termo de Referência. Após as oficinas as equipes da UFV e da UFMG reuniram-se novamente com os membros da CT-Flor para discussão e eventuais ajustes na metodologia. Essas reuniões ocorreram em Brasília, no dia 15 de agosto e em Belo Horizonte no dia 03 de setembro de 2018. Assim, o relatório ora apresentado incorpora as contribuições colhidas no decorrer das oficinas, bem como as sugestões e recomendações feitas pela CF-Flor no sentido de tornar o documento mais consistente e exequível em termos do que demanda o Termo de Referência que lhe deu origem.

Nas próximas seções serão apresentadas as justificativas técnicas para os pesos atribuídos para cada parâmetro e critério nas três modalidades de recuperação ambiental definidas. Após validação do P3, os especialistas da UFMG e UFV irão coletar dados adicionais nos municípios identificados como prioritários de modo a auxiliar a realização do Produto 4 do TdR, referente ao escalonamento das atividades de recuperação ambiental nos municípios.

# 3. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

A sistematização e análise de variáveis do meio físico e biótico, assim como das características sociais e econômicas, são fundamentais para a definição de áreas prioritárias para a recuperação ambiental, sendo que as suas combinações podem produzir diferentes alternativas de ação. O planejamento para uma efetiva recuperação ambiental pressupõe, portanto, conhecer os recursos existentes, integrar diversas informações geoespacializadas e propor soluções baseadas em uma inteligência territorial. Durante a fase de diagnóstico foram integradas diversas informações ambientais, produzindo um expressivo volume de dados para a construção de uma metodologia de priorização, que necessariamente precisa empregar critérios para avaliação. Dessa maneira, ferramentas de análise e modelos computacionais que permitam reunir características tão diversas, atribuir pesos e valores a elas, dando prioridades às diferentes opções, facilitam a tomada de decisão (FRANCISCO et al., 2008). Santos (2004) afirma que quando a tomada de decisão envolve informações complexas, muitos agentes e atores envolvidos e diversos pontos de vista, a sistematização das respostas é fundamental. É nesse contexto, a fim de contornar essa situação, que se desenvolve a metodologia de análise multicritério, bastante adequada para a aplicação em planejamento ambiental (ZUFFO, 1998; ZUFFO et al., 2002).

O presente documento identifica as seguintes variáveis e fontes de degradação ambiental para a composição dos diferentes critérios a serem integrados:

- Atividade agropecuária:
    - Áreas de preservação permanente (APPs) ripárias antropizadas (uso da terra inadequado para a preservação dos serviços ecossistêmicos);
    - Áreas de preservação permanente (APPs) de topo de morro antropizadas (uso da terra inadequado para a preservação dos serviços ecossistêmicos);
    - Agroecossistemas degradados.
- Atividades Minerárias;
- Resíduos Sólidos Urbanos;
- Esgoto Urbano;

- Concentração Industrial;
- Estradas Rurais;
- Queimadas.

A maior parte das fontes de degradação identificadas tem ligação direta com a atividade agropecuária. Porém, considera-se importante a inclusão, também, das atividades minerárias, resíduos sólidos urbanos e esgoto, visto que esses fatores podem interferir na qualidade da água. É importante ressaltar que, apesar de apresentadas de forma isolada, tendo em vista a necessidade de identificar sua ocorrência nos diferentes municípios ao longo da bacia do Rio Doce, em várias situações, as fontes de degradação se sobrepõem e, desse modo, têm seus efeitos potencializados, comprometendo a quantidade e a qualidade da água em vários trechos da bacia.

Outro elemento a ser destacado se refere à perspectiva de que o enfrentamento e mitigação dos efeitos dessas fontes de degradação demandam ações integradas e convergentes, ou seja, demandam ações ao nível das propriedades rurais como, por exemplo, é caso da recuperação de APPs e de agroecossistemas degradados. Demandam também políticas públicas em diferentes níveis administrativos como em relação à disposição de resíduos sólidos, coleta e tratamento de esgotos, mas também demandam mudanças de comportamento da população, em geral, em relação ao lixo e à água, bem como ações integradas dos setores rurais e urbanos usuários dos recursos hídricos da bacia.

## 3.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO DOCE

Boa parte da BHRD, principalmente em seu terço médio, se caracterizou por ser uma região de relativo isolamento, em virtude dos enfrentamentos com os índios botocudos ao longo do século XIX. Esse isolamento só viria a ser rompido com a instalação de núcleos militares que posteriormente viriam a dar origem a importantes cidades da região, como foi o caso de Governador Valadares e outras mais. A dependência exclusiva do Rio Doce para escoamento da produção local impedia que a economia regional se desenvolvesse com a mesma intensidade de outras regiões de Minas Gerais e do Espírito Santo. Assim, a dinâmica econômica da bacia somente foi intensificada partir do início do século XX com a inauguração,

em 1907, da Estrada de Ferro Vitória-Minas e, a partir de 1950, com a construção da BR 101 e da BR 262.

Com a construção da ferrovia, a partir do início do século XX, a região passou a ser grande fornecedora de madeira e café, cultura ainda importante para a economia regional e que precedeu a expansão da pecuária na região. Como mostra a Figura 5, a exuberante vegetação florestal, que cobria a região deu lugar ao café e, posteriormente, à pecuária.

**Figura 5. Fazenda de café no município de Governador Valadares, MG, início dos anos 50, século XX.**
**Fonte: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/governador-valadares/historico**

Com o declínio de produção cafeeira em algumas regiões da bacia, em virtude da baixa produtividade obtida em comparação com outras regiões, tanto de Minas Gerais quanto do Espírito Santo, o café foi dando lugar à pecuária extensiva durante a segunda metade do século XX. Nesse mesmo período teve início um ciclo intenso de exploração madeireira na região que, juntamente com a expansão da pecuária, causou a rápida perda da Mata Atlântica que recobria a bacia. Segundo Britto et al. (1997):

> "... verificamos que o alto crescimento populacional resultante da economia cafeeira teve um impacto enorme sobre o desmatamento. Não há dúvida de que ela

> desmatou. Entretanto, com o seu declínio e diminuição do ritmo de crescimento demográfico, a partir de 1920, o desmatamento continuou. A substituição gradativa do café pela pecuária contribuiu para a recomposição do latifúndio, dividido pela parceria e pelo colonato, aumentando a concentração de terras e acentuando a liberação da mão-de-obra agrícola. A expansão da pecuária promoveu o avanço sobre as matas que sobreviviam ao café no alto das montanhas" (BRITTO et al., 1997 p. 62).

Com o fim do ciclo madeireiro e do café, a pecuária tornou-se a principal atividade econômica da região. Mas com o esgotamento dos solos, desmatamento e estagnação tecnológica, a atividade perdeu espaço nas últimas décadas em relação a outras regiões do País. Em 1977 o rebanho bovino dos municípios que atualmente compõem a BHRD representava 17% e 41% do total de bovinos em Minas Gerais e no Espírito Santo, respectivamente. Em 2003, essa contribuição caiu para 11% e 34% de participação dos municípios mineiros e capixabas da BHRD na composição do rebanho bovino nos dois estados, respectivamente. Atualmente, de acordo com dados de 2016, os municípios mineiros na BHRD abrigam apenas 13% do total de bovinos no estado e os capixabas apenas 31% dos bovinos do Espírito Santo. Assim, a bacia do rio Doce que chegou a abrigar cerca de 4.500.000 bovinos em 1977, tinha em 2001 um plantel de apenas cerca de 3.000.000 de animais, representando uma redução de 33% no rebanho.

A Figura 6 toma como referência o plantel existente em 1974 e apresenta a evolução do rebanho bovino nos municípios mineiros e capixabas que compõem a bacia do Rio Doce, bem como do total da bacia, entre os anos de 1974 e 2016. Como se pode observar, os anos entre 1993 e 2005 foram marcados por crescimento negativo no rebanho bovino na bacia do Rio Doce, sendo mais intenso nos municípios mineiros.

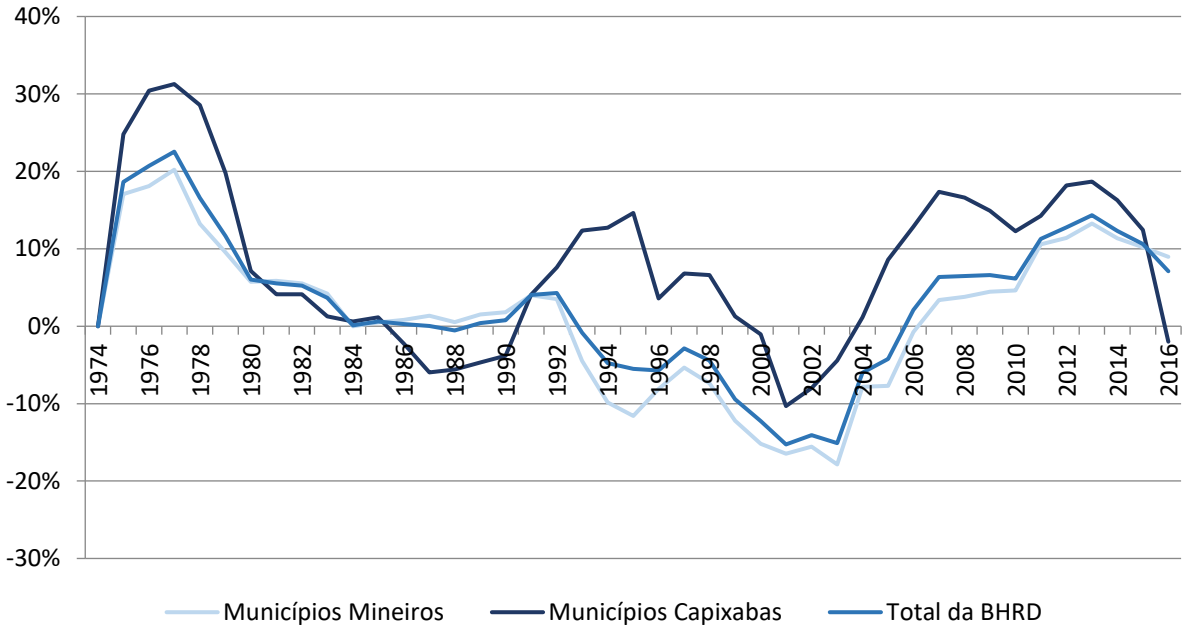


**Figura 6. Evolução do rebanho bovino nos municípios mineiros e capixabas da bacia do rio Doce e total da bacia no período de 1974 a 2016.**

**Fonte: IBGE, PPM 1994 – 2016.**

É importante observar que a diminuição do rebanho bovino na BHRD não está associada ao declino da atividade nos dois estados. Na verdade, trata-se de um fenômeno que afeta especificamente a bacia uma vez que, ao passo que a atividade pecuária vem declinando nessa região, o desempenho da produção de bovinos tanto em Minas Gerais quanto no Espírito Santo é melhor do que o observado na bacia, mesmo considerando-se o franco desempenho da atividade em território capixaba.

O histórico do uso do solo conforme relatado ocasionou um processo de degradação intensa da bacia. Atualmente as formações florestais nativas recobrem 29,94% da área da bacia, 52,55% são áreas antropizadas utilizadas pela agropecuária e 2,97% pela silvicultura (Figura 7). Essas atividades produtivas impactam fortemente os objetivos de recuperação ambiental e seleção de áreas prioritárias, mesmo nas áreas não atingidas diretamente pelo rejeito provindo da barragem de Fundão. Nas subseções abaixo serão detalhados o levantamento da degradação das APPs de topos de morros, de declividade, ripárias e das zonas de recarga.

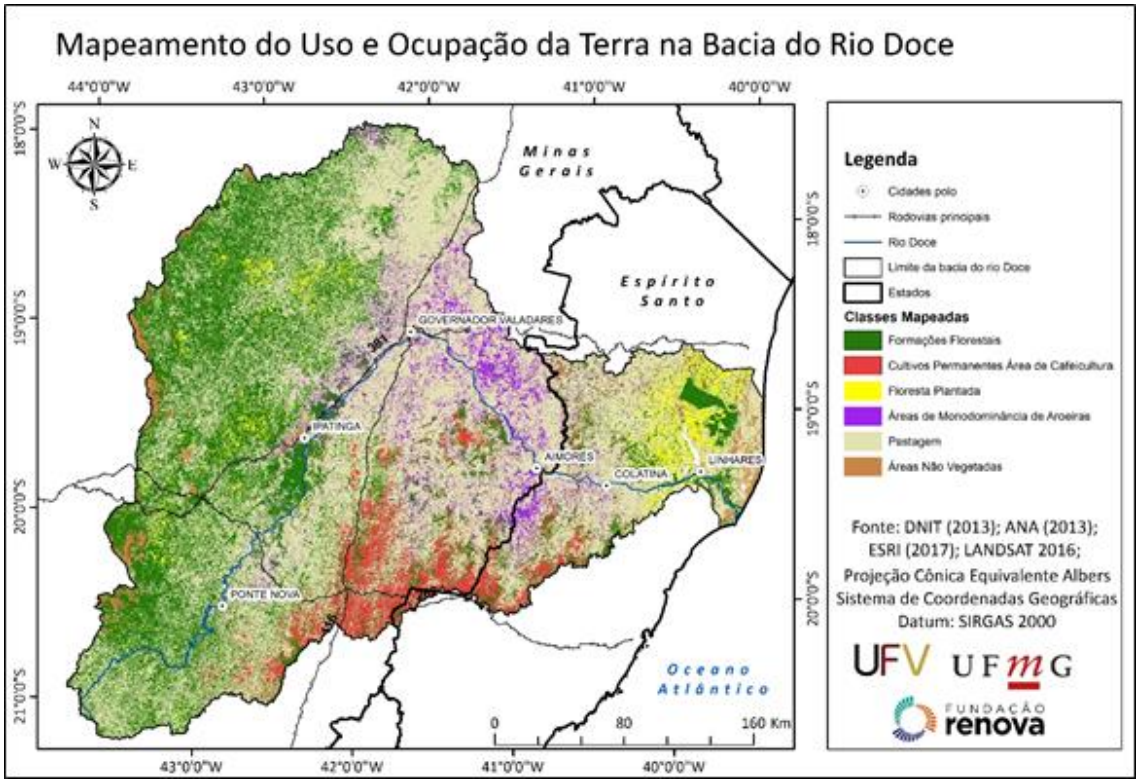


**Figura 7. Mapa de uso e cobertura da terra na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

## 3.2. IDENTIFICAÇÃO DE MANANCIAIS ALTERNATIVOS

A clausula 161 do TTAC estabelece que a recuperação ambiental deverá ocorrer "preferencialmente, mas não se limitando, nas sub-bacias dos rios definidos como fonte de abastecimento alternativa para os municípios e distritos" afetados pelo rompimento da barragem de Fundão. Portanto, a etapa inicial para a composição do recorte territorial (Figura 3) leva em consideração os resultados dos estudos de áreas prioritárias relacionados à captação de água para abastecimento nas localidades afetadas já realizados por demanda da CT-FLOR e CT-SHQA.

Em cumprimento ao TdR elaborado pela CT-FLOR, o IBIO realizou o mapeamento dos mananciais alternativos para abastecimento das localidades afetadas pelo rompimento da barragem. O trabalho identificou 22 mananciais alternativos (sub-bacias e microbacias) dos tributários do Rio Doce, totalizando uma área de 3,3 milhões de ha (38% da bacia) (Figura 8). Posteriormente, o estudo foi atualizado a pedido da Prefeitura de Governador Valadares que pediu que o manancial escolhido para a captação alternativa (Rio Suaçuí Grande) fosse alterado para o Rio Corrente.

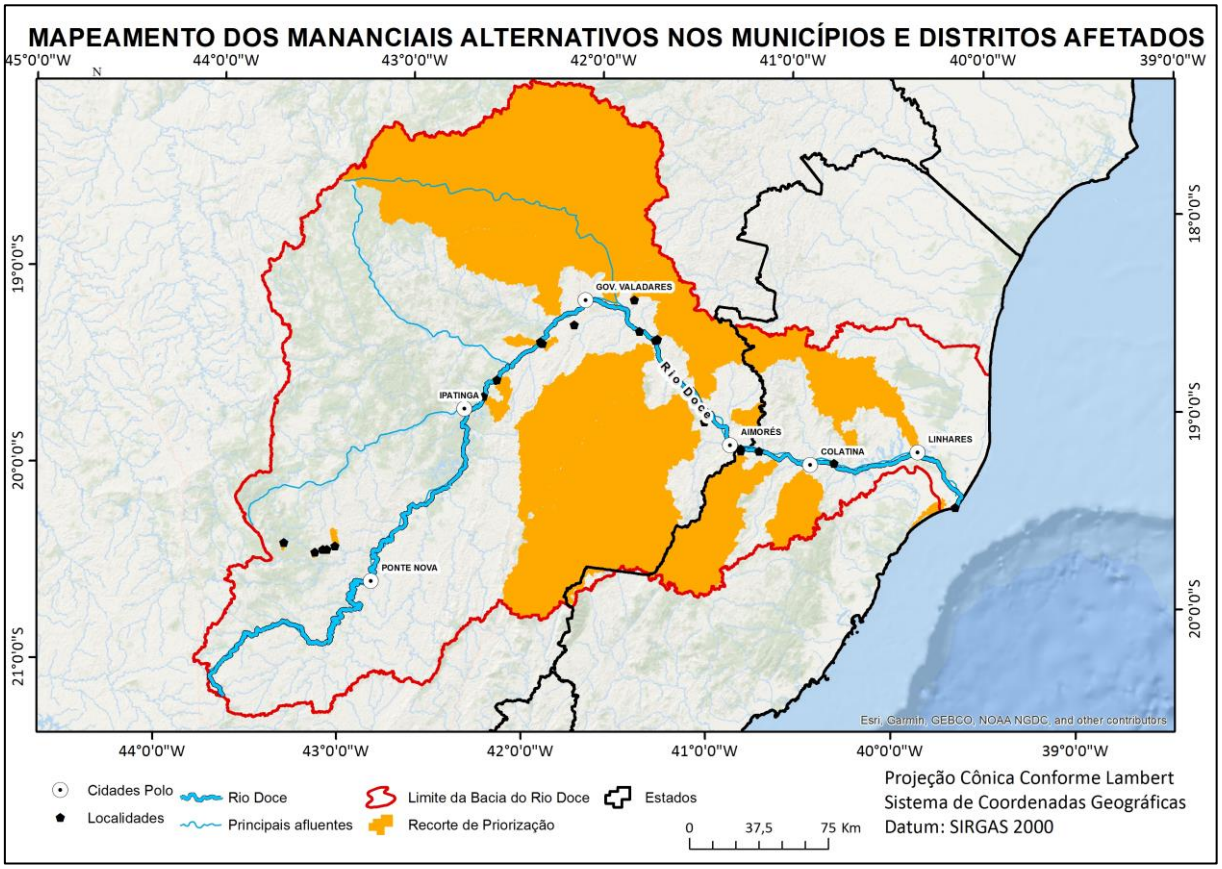


**Figura 8. Área de contribuição dos mananciais alternativos identificados para os municípios e distritos afetados, conforme estudo realizado pelo IBIO.**
**Fonte: IBIO (2017)**

Paralelamente, a CT-SHQA demandou a realização de um estudo, elaborado pela NHC Brasil Consultores Ltda. e RHAMA Consultoria Ambiental Ltda., para identificar os pontos de captação superficial e subterrâneo para abastecimento alternativo dos municípios mais afetados, juntamente com a identificação das bacias que contribuem para a área de drenagem da captação. Os autores identificaram duas fontes alternativas de abastecimento para cada uma das 24 localidades (sedes e distritos) no entorno da calha principal do Rio Doce. Este estudo abrange uma área total de 2,9 milhões de ha (31% da bacia) (Figura 9). Nesse estudo, além da captação de águas superficiais, foram consideradas também as águas subterrâneas e a construção de poços para abastecimento humano.

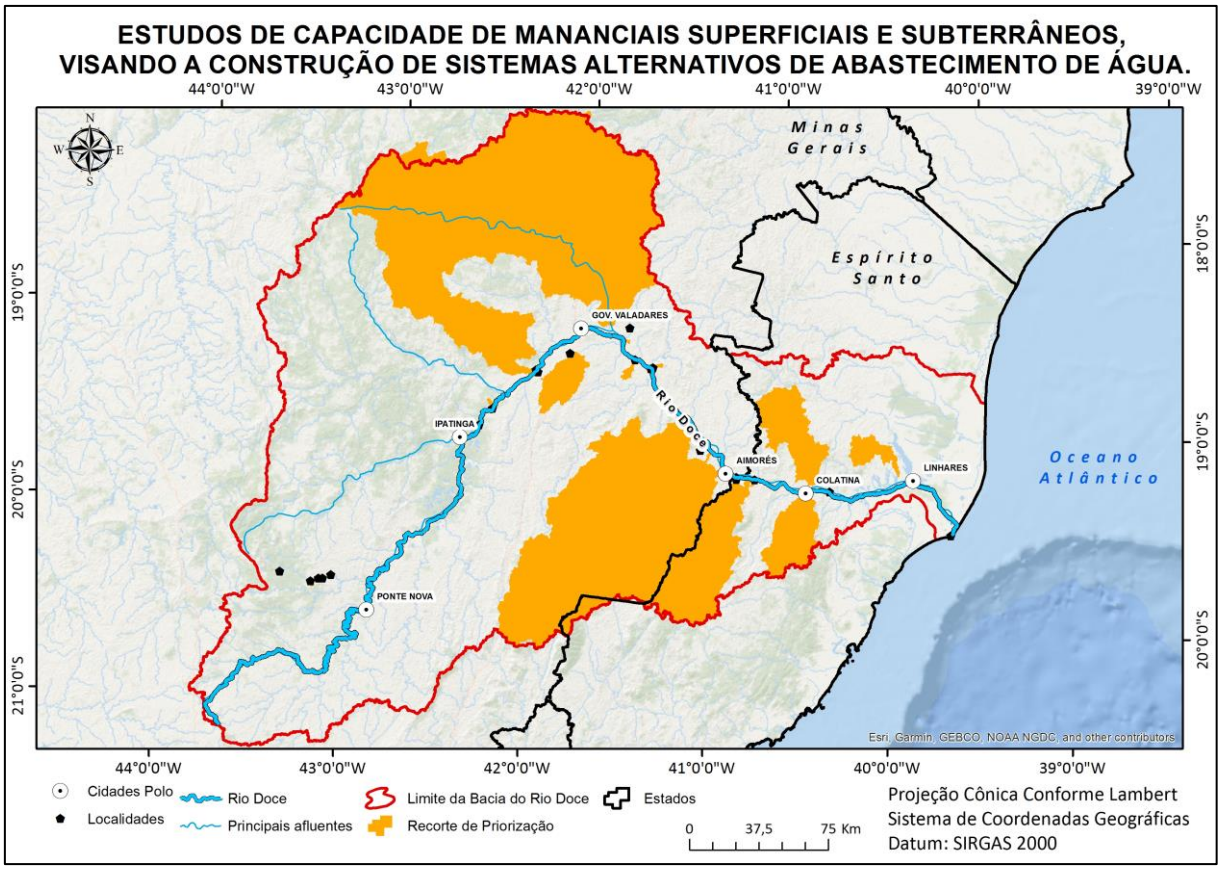


**Figura 9. Área de contribuição dos mananciais alternativos para abastecimento de água identificados no estudo realizado pela NHC Brasil Consultores Ltda. e RHAMA Consultoria Ambiental Ltda., sob demanda da CT-SHQA.**
**Fonte: Agregação dos arquivos shapefile disponibilizados no estudo realizado pela NHC Brasil Consultores Ltda. e RHAMA Consultoria Ambiental Ltda (2018).**

Tendo em vista as sinergias e complementaridades, optou-se pela junção (soma) das áreas indicadas pelos dois estudos, de modo a definir o recorte das áreas preferenciais para a recuperação ambiental na BHRD (Figura 10). A esta área total resultante foi incluída o manancial do Rio Corrente juntamente com Rio Suaçuí Grande. É importante destacar que, em termos de identificação de áreas prioritárias, os estudos se sobrepõem em cerca de 2,5 milhões ha (72% da área total) (Figura 9). Esse critério de recorte territorial resulta, portanto, em uma área de cerca de 4 milhões de hectares (cerca de 45% da área de drenagem da bacia do Rio Doce), englobando 127 dos 228 municípios integrantes da bacia (Figura 10).

Dentro do recorte proposto encontram-se 2,9 milhões de hectares de área antropizada (ausência de vegetação nativa) que, potencialmente, podem ser alvo de ações de recuperação. Visto que o TTAC estabelece que 40 mil ha a serem recuperados deverão ocorrer

preferencialmente nos mananciais alternativos, considera-se que a maior parte das áreas escolhidas esteja dentro do recorte definido acima e apresentado na Figura 10.

**Figura 10. Recorte de priorização para fins de recuperação ambiental na bacia do rio Doce com base nos estudos demandados pela CT-FLOR e CT-SHQA.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

É importante frisar, porém, que esse recorte territorial tem como objetivo identificar áreas prioritárias considerando o critério de segurança hídrica das localidades diretamente afetadas pelo rompimento da barragem. Os demais critérios de priorização desenvolvidos neste trabalho (vulnerabilidade ambiental, social e vocação para recuperação ambiental) foram construídos para toda a bacia hidrográfica e permitem, portanto, a identificação de áreas prioritárias para a recuperação ambiental em outras regiões importantes, além do critério de segurança hídrica das localidades afetadas.

## 3.3. USO E COBERTURA NA BACIA DO RIO DOCE

Mapear o uso e cobertura da terra faz-se ferramenta de grande importância para o planejamento de ações sobre o território, fornecendo subsídios ao monitoramento ambiental e à preservação da biodiversidade. A elaboração de um mapa de uso e cobertura tem como fundamento a interpretação, análise e registro de informações no que concerne a observação da paisagem em foco (IBGE, 2006).

A base de dados utilizada para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo na bacia do rio Doce foi composta de imagens OLI Landsat do período seco do ano de 2016. Para compor toda a área foram necessárias 10 cenas, distribuídas no intervalo dos meses de julho a agosto do ano de 2016 (Figura 11). As imagens Landsat são de livre acesso, podendo ser acessadas pelo site https://earthexplorer.usgs.gov/. O trabalho com imagens mais atuais não foi possível em razão da escassez de cenas livres de nuvens.

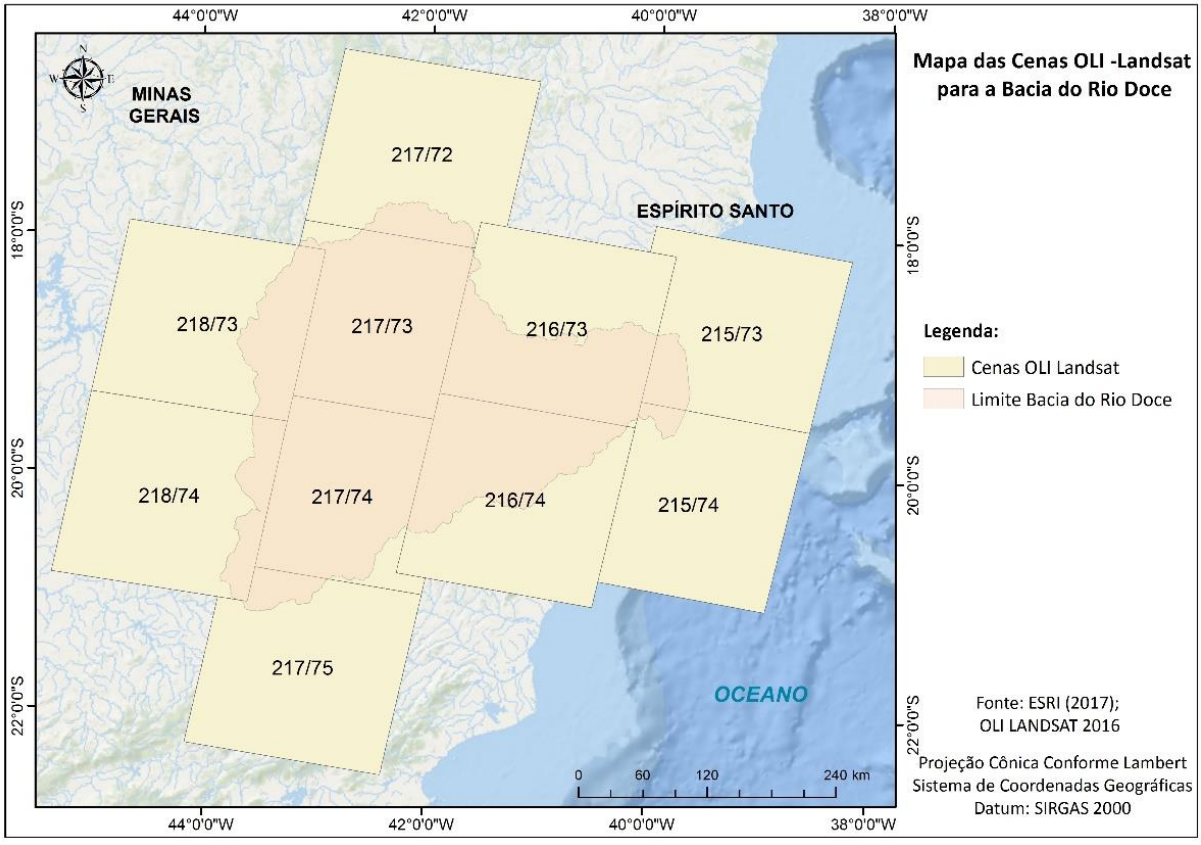


**Figura 11. Mapa com as cenas OLI Landsat necessárias para compor a área da Bacia do Rio Doce.**

Foi realizado o download das imagens ortorretificadas e com valores de reflectância corrigidos para superfície. As bandas utilizadas foram aquelas com resolução de 30 metros (1 a 7). A partir das bandas do vermelho e infravermelho, o índice de vegetação NDVI foi calculado pela seguinte Equação (Rouse et al., 1973):

$$NDVI=\frac{VNIR-RED}{VNIR+RED} \quad \text{(Equação 1)}$$

em que NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; VNIR = Banda do infravermelho próximo; e RED = banda do vermelho.

Sabendo-se da limitação dos dados espectrais para a separação das classes arbóreas, inseriu-se arquivos referentes ao meio físico para fins de classificação, dentre os quais: arquivos de temperatura e precipitação do Wordclim, o modelo digital de elevação (MDE) oriundo do SRTM de 30 metros e a drenagem numérica.

A drenagem numérica foi extraída do MDE SRTM e, para tal, foram eliminados os erros sistemáticos e espúrios da imagem SRTM no software ArcGis® 10.5.1 (ESRI, 2016), que são erros no momento de aquisição da mesma. Esse procedimento é muito importante na geração da hidrografia numérica, de forma a garantir que os cursos d'água sigam a direção correta de escoamento.

As classes de uso da terra mapeadas foram mata, café, eucalipto, pastagem, solo exposto, área urbana, áreas de agricultura e afloramentos. Todos estes usos tiveram amostras coletadas na imagem de trabalho e, quando necessário, foi realizada a consulta em uma imagem de alta resolução. O número de amostras foi definido pela diversidade dos padrões espectrais dos alvos dentro da área de estudo e a coleta se deu a partir da representatividade de cada uso dentro da bacia, sendo pastagem e mata as classes com maior número de amostras, com mais de 400 espalhadas por toda a área.

O método de classificação adotado foi o supervisionado, tendo sido utilizados os softwares ArcGis® 10.5.1 (ESRI, 2016) para coleta de amostras e R (R, Core Team, 2017) para a rotina de classificação. O algoritmo utilizado foi o Random Forest (BREIMAM, 2001), que é um dos algoritmos de classificação mais referenciados atualmente para classificação de imagens, apresentando resultados excelentes.

Na tentativa de encontrar os melhores resultados, foram inseridos atributos de textura dos alvos terrestres, correspondentes à distribuição da variação de valores digitais da imagem. Seguindo o que é proposto por Haralick et al. (1973), foram gerados 8 descritores texturais: contraste, correlação, dissimilaridade, entropia, homogeneidade, média, segundo momento, variância e contraste com janelas 3x3, 5x5,7x7 e 9x9. Ao final tivemos 240 covariáveis de classificação (Tabela 1).

Feita a divisão do banco de dados em treinamento e validação, procedeu-se a redução da dimensionalidade do modelo por meio da seleção de variáveis, sendo empregado dois métodos: correlação e importância. Primeiramente, selecionou-se as variáveis que apresentaram correlação inferior a 0.95, sendo então submetidas ao *Recursive Feature Elimination* (RFE-RF), que realiza a seleção das variáveis com base em sua importância para o modelo, computando a acurácia da classificação após cada remoção. Ao final deste processo obteve-se a lista das variáveis mais importantes para o treinamento e predição.

A acurácia da classificação foi aferida por meio do índice de exatidão Kappa, proposto por Landis e Kock (1997), dividido nas classes apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 1. Co-variáveis utilizadas na classificação supervisionada**

| Co-variável | Descrição | Tipo |
|---|---|---|
| Bandas espectrais | Bandas 1 a 7 | Espectral |
| NDVI | Índice de vegetação | |
| Aspect | Orientação das vertentes | Relevo |
| Digital Elevation Model | Modelo digital de elevação | |
| Slope | Declividade | |
| Entropy | Entropia | Textura |
| Correlation | Correlação | |
| Contrast | Contraste | |
| Mean | Média | |
| Variance | Variância | |
| Second moment | Segundo momento | |
| Dissimilary | Dissimilaridade | |
| Homogeneity | Homogeneidade | |
| Distância Euclidiana | Distância euclidiana da hidrografia | Distância Euclidiana |
| Distância Euclidiana café | Distância euclidiana das amostras de café | |
| Class_fgds | Mapa de classificação uso da terra | Uso da terra |
| Bio 01 | Precipitação total janeiro | Wordclim Bioclimáticas |
| Bio 12 | Temperatura média dezembro | |

**Tabela 2. Classificação do mapa temático com base no índice Kappa (Landis & Kock, 1977).**

| Coeficiente kappa (k) | Classificação do mapa temático |
|---|---|
| K < 0,2 | Ruim |
| 0,2 < K < 0,4 | Razoável |
| 0,4 < K < 0,6 | Bom |
| 0,6 < K < 0,8 | Muito bom |
| K > 0,8 | Excelente |

Buscando avaliar os resultados encontrados no mapeamento, uma área escolhida aleatoriamente teve todos seus usos delimitados por meio de imagem de alta resolução do Google Earth.

Após a eliminação por correlação e pelo RFE-RF, 13 variáveis foram indicadas como as mais importantes, sendo utilizadas para a predição da classificação. As variáveis mais importantes por ordem de contribuição foram: índice de vegetação NDVI, média da banda 7 janela 9X9, classe 3 – mata do arquivo do FBDS, média da banda 4 janela 9X9, média da banda 4 janela 7X7, distância as amostras de café, média da banda 6 janela 9X9, média da banda 5 janela 5X5, média da banda 5 janela 7X7, precipitação total janeiro, banda 5 e MDE.

A área coberta por mata (vegetação nativa arbórea em seus diferentes estágios sucessionais) foi determinada para a bacia do rio Doce a partir de técnicas de classificação supervisionada de imagens, sendo que a área correspondente à “classe mata” inicialmente obtida correspondia a 39,5%. Nessa classificação inicial, no conjunto da “classe mata” estavam também incluídas as áreas com vegetação monodominante de aroeira (*Myracrodruon urundeuva Fr. All*) ou aroeira-do-sertão, que ocorre em maior proporção no médio rio Doce, estendendo-se para o Vale do rio Jequitinhonha, Vale do São Francisco e Centro-Oeste Mineiro (Oliveira, 2011). O termo monodominante, segundo o mesmo autor, é utilizado para descrever florestas que apresentam mais de 50% do número de indivíduos da comunidade pertencentes a uma única espécie. As áreas de ocorrência de aroeirais apresentam-se altamente correlacionadas com processos erosivos do solo, visto que a aroeira apresenta uma fase caducifólia, perdendo grande parte de suas folhas, deixando o solo sem cobertura quando da ocorrência das primeiras chuvas após o final da época seca. Considerando a baixa proteção ao solo, julgamos mais adequado colocar a aroeira em uma classe separada da classe mata. Para maiores informações sobre as áreas de monodominância de aroeira no médio rio doce, os trabalhos de Oliveira (2011) e Oliveira (2015) podem ser consultados.

Provocados pela CT-Flor de que o percentual de áreas de classe “mata” apresentado era bastante expressivo e superior ao maior do que se esperava, em virtude do conhecimento empírico que os membros da câmara técnica têm da bacia e de outros trabalhos já publicados, a equipe da UFV, apesar de considerar os dados iniciais adequados e pertinentes dada a metodologia utilizada naquele momento, optou por reconstruir o mapa de uso e ocupação refinando a metodologia e ampliado as cenas de confirmação empírica. Para tanto, foram adicionadas mais amostras de treinamento, refinando assim a classificação e obtendo uma nova distribuição das classes.

Para este novo mapeamento, do mesmo modo que no delineamento da versão inicial, foram utilizadas técnicas de classificação de imagens nos softwares ArcGis® 10.2.1 (ESRI, 2012), e R (R, Core Team, 2017). Para cobrir toda a bacia do rio Doce foram necessárias 10 cenas do satélite OLI/Landsat (Figura 1). Em decorrência da grande extensão da bacia, da resolução temporal do satélite (16 dias) e da dependência de aquisição de imagens sem nuvens, se fez necessário a utilização de imagens de diferente épocas do ano (época seca: abril a outubro; época úmida: novembro a março), sendo que para a região central e leste da bacia usamos imagens da época seca e na parte oeste imagem da época úmida. Para minimizar este problema separamos a área da bacia em duas partes, que apresentavam maior homogeneidade em relação às cenas landsat.

Durante as novas etapas metodológicas da classificação de imagens, percebeu-se que na porção oeste da bacia próximo às bordas da serra do Espinhaço, as imagens originalmente analisadas induziam à interpretação de maior existência de áreas de mata, decorrente de uma imprecisão na definição das classes de uso mapeadas por conta da diferença temporal das imagens do mosaico utilizado. Com o novo mapeamento houve uma redução área total da classe “matas”, principalmente pela exclusão das áreas com monodominância de aroeira e pequenos ajustes na porção oeste da bacia, bem como a fusão das classes “solo exposto” e “afloramento” que são denominadas de “Áreas não vegetadas”.

A classificação dos usos da terra da Bacia do rio Doce (Figura 7) alcançou índice kappa de 0,91, definido como excelente por Landis e Kock (1973). A **Erro! Fonte de referência não e ncontrada.** traz a representatividade das classes mapeadas. Pela definição adotada no presente trabalho, Matas ou Formações Florestais se referem às áreas com “vegetação

arbórea nativa com dossel contínuo, em seus diversos estágios sucessionais" (FBDS, 2018). Do ponto de vista espectral é muito difícil identificar e isolar estágios sucessionais de formações florestais porque as respostas encontradas para os diferentes estágios são muito semelhantes (Pessôa, 2016; Liu et al., 2008) o que impossibilita a classificação exata nos níveis de escala utilizados no trabalho. Pela classificação realizada as áreas de pastagens ocupam 52,55% de toda a bacia, seguido pelas áreas de mata com 29,94% e das áreas de agricultura permanente, ocupadas por plantios de café e eucalipto, com 8,08%. Estes usos ocupam porções bem distintas na bacia, com maciços florestais a noroeste da bacia e as áreas cafeeiras a sudoeste. Por se distribuírem em porções tão distintas da paisagem, a distância euclidiana às amostras de café e à drenagem foram incisivas na separação destas classes, visto que os plantios de café ocorrem em áreas de boa drenagem e de relevo mais movimentado, diferentemente dos maciços florestais que ocupam grandes extensões contínuas e relevo menos movimentado.

**Tabela 3. Área e percentual de contribuição dos usos e cobertura da terra mapeados na bacia do rio Doce.**

| Uso | Área (km²) | Área (%) |
|---|---|---|
| Formações Florestais | 28.603,2 | 29,94 |
| Cultivos Permanentes Área de Cafeicultura | 4.892,0 | 5,11 |
| Floresta Plantada | 2.834,0 | 2,97 |
| Áreas com Monodominância de Aroeiras | 5.321,5 | 5,57 |
| Pastagem | 50.188,0 | 52,55 |
| Áreas Não Vegetadas | 3.679,7 | 3,85 |

A inserção das variáveis de textura foi muito importante no mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia, visto que antes da inserção das mesmas a confusão entre as classes arbóreas era muito grande. Entende-se que essa classificação é mais consistente e coerente com a realidade da bacia e que a separação da classe "áreas com monodominância de aroeiras" é inovadora e contribuirá sobremaneira na delimitação precisa das áreas prioritárias para a recuperação florestal na bacia do rio Doce.

## 3.4. IDENTIFICAÇÃO DE APPs DEGRADADAS

### 3.4.1. APPs RIPÁRIAS

O TdR define que as áreas a serem recuperadas, preferencialmente dentro dos mananciais alternativos, deverão ser exclusivamente áreas de preservação permanentes (APPs) e zonas de recarga. O Código Florestal (Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012) define a APP como a "área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas" (Art. 30, II). A definição de APP encontrada na lei atual tem sua origem na noção de florestas protetoras criada no Código Florestal de 1934 e ampliada no Código de 1965. Destaca-se, ainda, em especial no caso das APPs ripárias (também conhecidas como matas ciliares) que acompanham os leitos dos rios, que a maior parte das regiões do Canadá, Estados Unidos, México, Rússia e Austrália possuem exigências similares ou superiores às encontradas na legislação brasileira (MCDERMOTT et al., 2009). Essa convergência do ponto de vista legal se deve ao amplo reconhecimento do papel das APPs na manutenção dos recursos hídricos (OSBORNE et al., 1993; LIU et al., 2017).

O Código Florestal também estabelece restrições no uso do solo nas áreas denominadas como "reserva legal" (RL), que variam entre 20% e 80% da área do imóvel rural, dependo do bioma e da região do país. No caso da bacia do Rio Doce o percentual é de 20%. O Código Florestal relaciona as áreas que deverão realizar a recomposição florestal (passivo florestal), ressalvadas as áreas denominadas consolidadas, regra na qual 90% das propriedades rurais foram isentas da recomposição (SOARES-FILHO et al. 2014). Nas APPs dessas propriedades é autorizada, exclusivamente, a continuidade das atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em áreas rurais consolidadas até 22 de Julho de 2008 (Art. 61). A recomposição das APPs ripárias segue a regulamentação apresentada na Tabela 4, conhecida também como "regra da escadinha".

Para nascentes e olhos d'água perenes é admitida a manutenção de atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo ou de turismo rural, sendo obrigatória a recomposição de faixa marginal com largura mínima de 15 metros (art. 61-a, §5º). As outras áreas como lagos

e lagoas naturais, assim como as veredas são mais bem detalhadas no Art. 61 dispositivos 6 e 7. Além disso, segundo o Art. 61B, para estes proprietários é garantido que a exigência de recomposição, nos termos desta Lei, somadas todas as APPs do imóvel, não ultrapassará:

I - 10% (dez por cento) da área total do imóvel, para imóveis rurais com área de até 2 (dois) módulos fiscais (Art. 61-B, inciso I); e

II - 20% (vinte por cento) da área total do imóvel, para imóveis rurais com área superior a 2 (dois) e até 4 (quatro) módulos fiscais (Art. 61-B, inciso II).

**Tabela 4. Recomposição de APPs ripárias em áreas consolidadas conforme Lei Federal nº 12.651/2012**

| Tamanho da propriedade | Largura do rio | Largura da mata ciliar a ser recuperada |
|---|---|---|
| Até 1 módulo fiscal | Qualquer largura | 5 metros (Art. 61-A, §1º, Lei 12.651/12) |
| Superior a 1 até 2 módulos fiscais | Qualquer largura | 8 metros (Art. 61-A, §2º, Lei 12.651/12) |
| Superior a 2 até 4 módulos fiscais | Qualquer largura | 15 metros (Art. 61-A, §3º, Lei 12.651/12) |
| Superior a 4 até 10 módulos fiscais | Rios com até 10 m | 20 metros (Art. 61-A, §4º inciso II, Lei 12.651/12 e Dec. 7830/12, Art. 19, §4º inciso I) |
| Superior a 4 módulos fiscais | Rios com largura > que 10 m | Metade da largura do rio, sendo no mínimo 30 m e máximo 100 m (Art. 61-A, §4º inciso II, Lei 12.651/12 e Dec. 7830/12, Art. 19, §4º inciso II) |

Quanto aos métodos de recomposição da vegetação nativa, de acordo com o dispositivo 13 do artigo 61A, a recomposição nas faixas marginais poderá ser feita, isolada ou conjuntamente, por meio de:

I - condução de regeneração natural de espécies nativas;

II - plantio de espécies nativas;

III - plantio de espécies nativas conjugado com a condução da regeneração natural de espécies nativas;

IV - plantio intercalado de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas de ocorrência regional, em até 50% (cinquenta por cento) da área total a ser recomposta, no caso dos imóveis rurais com até 4 módulos fiscais, bem como as terras indígenas demarcadas e as demais áreas tituladas de povos e comunidades tradicionais que façam uso coletivo do seu território (Art. 3, inciso V e Parágrafo Único). Todavia, atualmente está em curso uma discussão entre os órgãos ambientais sobre como deverá se dar a compatibilização entre o Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012) e a Lei da Mata Atlântica (Lei Federal nº 11.428/2006) (Figura 12).

Com base nas regras estabelecidas pelo Código Florestal e pela Lei da Mata Atlântica foi realizada uma modelagem com o objetivo de estimar o passivo ambiental de APP em nível de propriedade rural (SOARES-FILHO et al. 2014; SOARES-FILHO et al. 2016). É importante destacar inicialmente que as limitações para cálculo das APPs são muitas como, por exemplo, a ausência de um registro cartográfico unificado da malha fundiária nacional (a qual conta com cerca de 5 milhões de propriedades), mapas em escala de detalhe da rede de drenagem, do registro das larguras dos rios e de uma base integrada dos remanescentes de vegetação nativa nos seus vários estágios de conservação e regeneração.

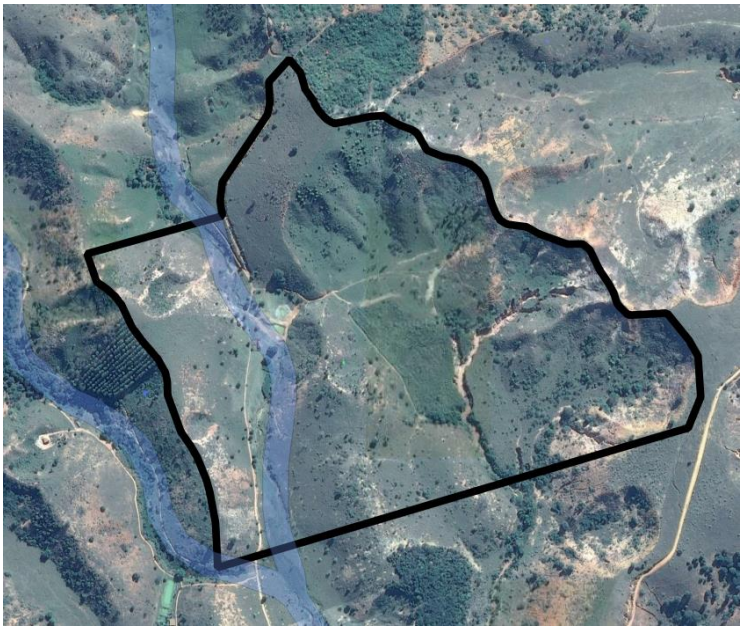

**Figura 12. Exemplo de imóvel rural com a indicação do perímetro (linha preta) e faixa de APP a ser recuperada seguindo a Lei da Mata Atlântica (área azul).**

**Tabela 5. Largura das Áreas de Preservação Permanente (APP) em função dos componentes da hidrografia segundo a Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006)**

| Componente Hidrográfica | Largura da APP (m) |
|---|---|
| Nascentes | 50 |
| Lago ou Lagoa natural, com até 20 ha, na zona rural | 50 |
| Lago ou Lagoa natural, com mais de 20 ha, na zona rural | 100 |
| Lago ou Lagoa natural na zona rural | 30 |
| Reservatório artificial, dentro de curso d'água, na zona rural | 30 |
| Reservatório artificial, dentro de curso d'água, na zona urbana | 15 |
| Reservatório artificial, fora de curso d'água | Isenta |
| Curso d'água com largura menor que 10 m | 30 |
| Curso d'água com largura entre 10 m 50 m | 50 |
| Curso d'água com largura entre 50 m 200 m | 100 |
| Curso d'água com largura entre 200 m 600 m | 200 |
| Curso d'água com largura maior que 600 m | 500 |

Fonte: Lei Federal 11.428/2006.

Contudo, o Brasil dispõe de levantamentos da vegetação nativa e de outras bases cartográficas em diversas escalas que possibilitam a estimativa do balanço do passivo/ativo florestal com um nível razoável de incerteza. Soma-se a isso, a crescente disponibilidade de métodos computacionais que possibilitam análises cada vez mais finas dessa gigantesca base de dados em escalas de 5 a 30 metros de resolução. Para isso, o mapeamento do uso e cobertura da terra em alta resolução espacial é um importante instrumento para a análise da conformidade legal na escala das propriedades rurais e da paisagem.

O presente estudo utiliza como insumo o mapeamento realizado pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), por meio de classificação supervisionada de imagens *RapidEye* para o ano de 2013, na escala de 1:10.000, produzindo mapas de uso e cobertura na escala de 1:20.000 (FBDS, 2018). O uso e a cobertura da terra são classificados pela FBDS em seis categorias, conforme a Tabela 6. Para as áreas edificadas, os limites estabelecidos estão de acordo com a base cartográfica contínua do IBGE (2013). Finalmente, o mapa vetorial produzido pela FBDS foi rasterizado com uma resolução de 5 metros possibilitando uma análise detalhada da cobertura do solo de acordo com a legislação vigente.

Como resultado, são geradas matrizes (raster), na projeção *Albers Cônica* equivalente, o que garante a mínima distorção em área. O modelo analítico foi implementado usando-se a plataforma de modelagem do software livre Dinamica EGO (https://csr.ufmg.br/dinamica/) e

todo processamento foi realizado utilizando a base computacional do Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (www.csr.ufmg.br).

**Tabela 6. Descrição das classes de uso e cobertura da terra adotados no estudo realizado pela FBDS**

| Classe de uso e cobertura da terra | Descrição |
|---|---|
| Formação florestal | Vegetação arbórea nativa com dossel contínuo |
| Formação não florestal | Vegetação arbustiva ou herbácea nativa |
| Água | Espelho d'água contínuo maior ou igual a 0,3 ha |
| Área edificada | Áreas edificadas (IBGE, 2013) |
| Área antropizada | Áreas desprovidas de cobertura nativa |
| Silvicultura | Cultivo de Eucaliptus sp. ou Pinus sp. |

Fonte: FBDS (2018).

O modelo desenvolvido para esse estudo buscou representar as diferentes interpretações jurídicas sobre a relação entre o novo Código Florestal e a Lei da Mata Atlântica. A Figura 12 apresenta um exemplo de imóvel rural analisado pelo modelo espacialmente explicito desenvolvido pela UFMG. Foi observado no imóvel de 90 ha (correspondente a quatro módulos fiscais no município de Governador Valadares) a ausência de vegetação nativa e, por isso, um passivo de APP ripária no entorno de um rio com menos de 10 metros de largura e RL inferior a 20% da área. Pelas regras da Lei da Mata Atlântica o proprietário ou possuidor do imóvel deve recuperar integralmente a sua APP, restaurando a faixa de 30 metros exigida por lei, portanto, hoje constituindo um déficit de APP calculado pelo modelo de 6 ha. Entretanto, pelo novo Código Florestal, o proprietário ou possuidor do imóvel pode aderir ao Programa de Recuperação Ambiental (PRA) e reduzir, desse modo, a exigência de recuperação de APP para uma faixa de somente 15 metros, reduzindo pela metade também o déficit de APP, além de estar isento de recuperar a RL.

O passivo de APP de acordo com as regras da Lei da Mata Atlântica foi estimado para toda a paisagem da bacia do Rio Doce. Porém, como o cálculo do passivo do novo Código Florestal depende do tamanho dos imóveis, o déficit de APP ripária foi calculado somente para as propriedades dentro do Cadastro Ambiental Rural (Figura 13).

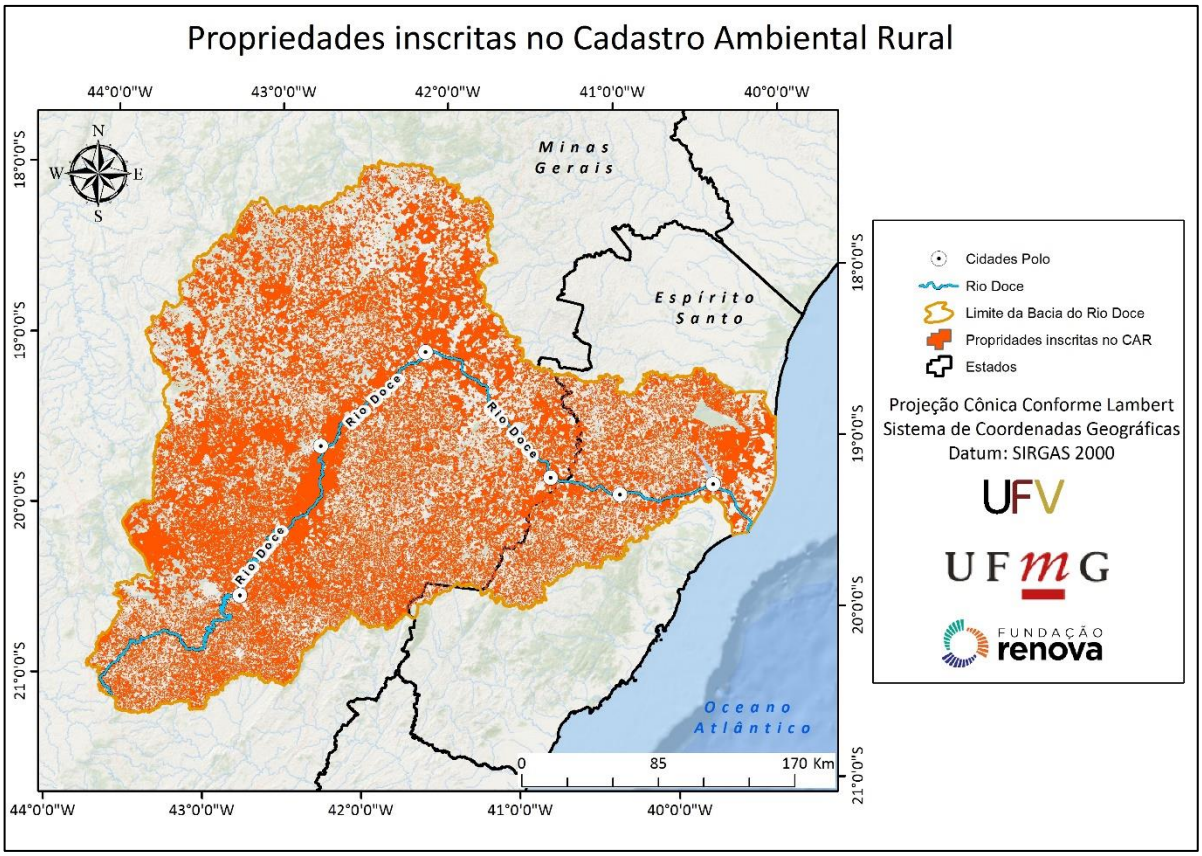


**Figura 13. Propriedades rurais inscritas no Cadastro Ambiental Rural na bacia do Rio Doce. Fonte: FBDS (2018).**

Os resultados indicaram que, em consequência da hidrografia densa, os municípios que compõem a bacia do rio Doce contam com, aproximadamente, 800 mil hectares de APPs ripárias. Com base no cruzamento de classes do mapa de uso e cobertura do solo com o mapa de hidrografia, reamostrados para 30 metros[3], foi calculado o nível de degradação ambiental das APPs ripárias na paisagem em razão do uso da terra incompatível com a preservação dos serviços ecossistêmicos. As áreas de APPs ripárias identificadas como antropizadas (ausência de cobertura vegetal nativa) somaram cerca de 550 mil ha, o que corresponde a cerca de 70% do total. Em escala municipal, o percentual de APPs ripárias antropizadas variou de 26% a 92% (Figura 14).

[3] Foi observada uma detecção de APPs ripárias de 1,4 a 2 vezes maior quando utilizadas as imagens originais da malha hidrográfica em 5 metros (FBDS). Contudo, aumenta-se a incerteza e propagação de erros em razão dos diferentes mosaicos de imagens utilizados para a bacia, o que pode levar a comparações não controladas entre os índices de degradação municipais.

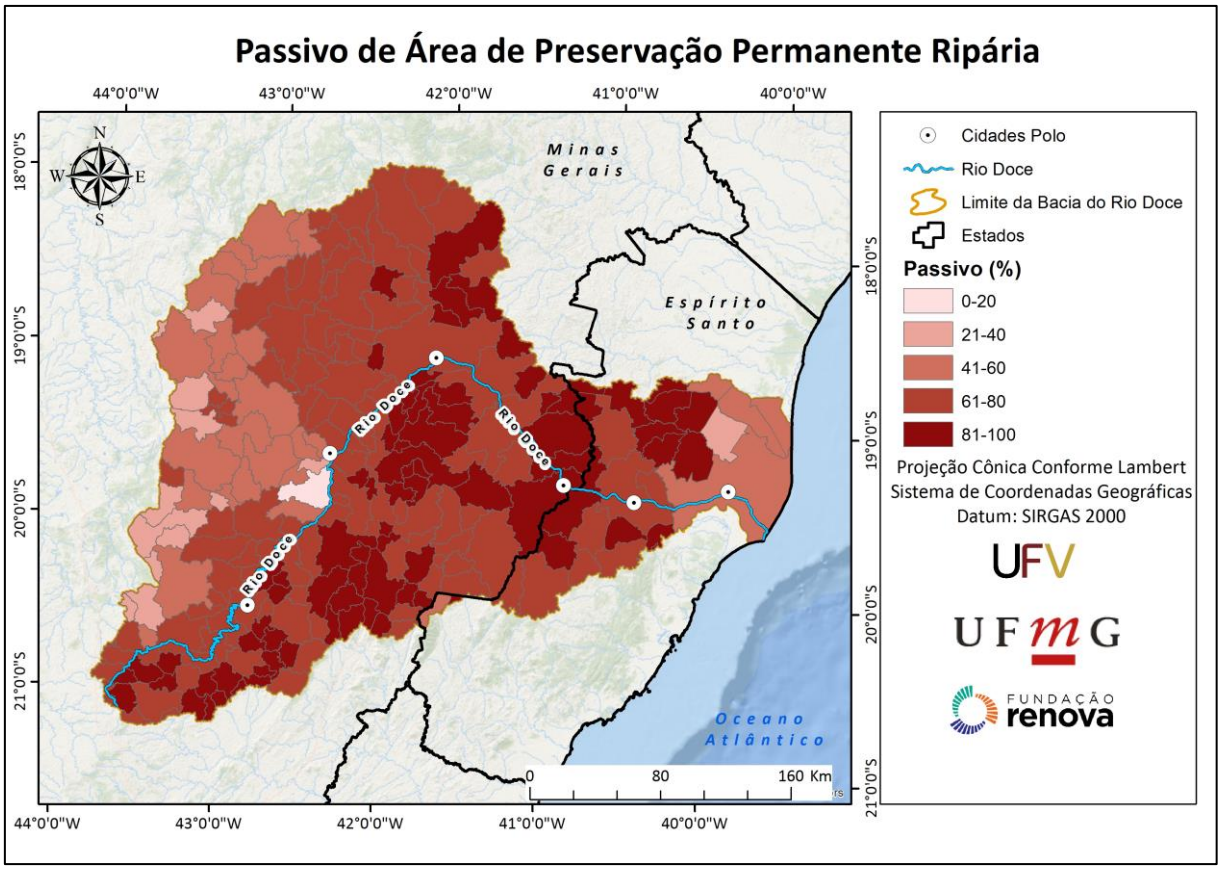


**Figura 14. Percentual de passivo de área de preservação permanente ripária por município na bacia do Rio Doce.**

**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

Além das matas ciliares às margens de lagos ou rios (perenes ou não), são consideradas APPs também as áreas de vegetação nativa situadas em: (i) topos de morros; (ii) encostas com declividade acentuada (maior que 45 graus); (iii) áreas em altitude superior a 1.800 metros, dentre outras delimitações fisiográficas que possuem função ambiental reconhecida no arcabouço legal (BRASIL, 2012).

### 3.4.2. APPs DE TOPO DE MORRO

Segundo o artigo 4º, inciso IX, do Código Florestal Brasileiro, são consideradas como APPs de topos de morro os topos de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base,

sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação.

A delimitação das APPs de topo de morro foi realizada utilizando a metodologia de desenvolvida por Oliveira (2015) e Oliveira e Fernandes Filho (2016), sendo o modelo disponibilizado no site do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (http://www.dps.ufv.br/downloads/). Como analisado em Oliveira (2015), a delimitação de APPs de topo de morro a partir de sensoriamento remoto é sensível à resolução do MDE, sendo que resoluções muito altas (abaixo de 30 m) não são adequadas por identificar microelevações do relevo e as resolução baixas (acima de 90m) por suavizar demasiadamente o relevo.

Como dado de entrada foi utilizado o modelo digital de elevação SRTM (MDE-SRTM) com resolução espacial de 30m disponibilizado por USGS (2018). A fim de reduzir os efeitos de suavização da declividade advindo do MDE utilizado, implementou-se o conceito de áreas equivalentes apresentado em Oliveira (2015), no qual estima-se que a utilização de uma declividade de 17,48º em um MDE com resolução de 30 m equivale a adoção de uma declividade de 25º em um MDE com resolução de 1m. As APPs de topo de morro delimitadas totalizaram 109.7 km², correspondendo a 0,16% da área da bacia do rio Doce. O passivo de APPs de topo de morro de acordo com as regras da Lei nº 12.651/2012 foi estimado para toda a paisagem da bacia do Rio Doce, sendo apresentado na Figura 15.

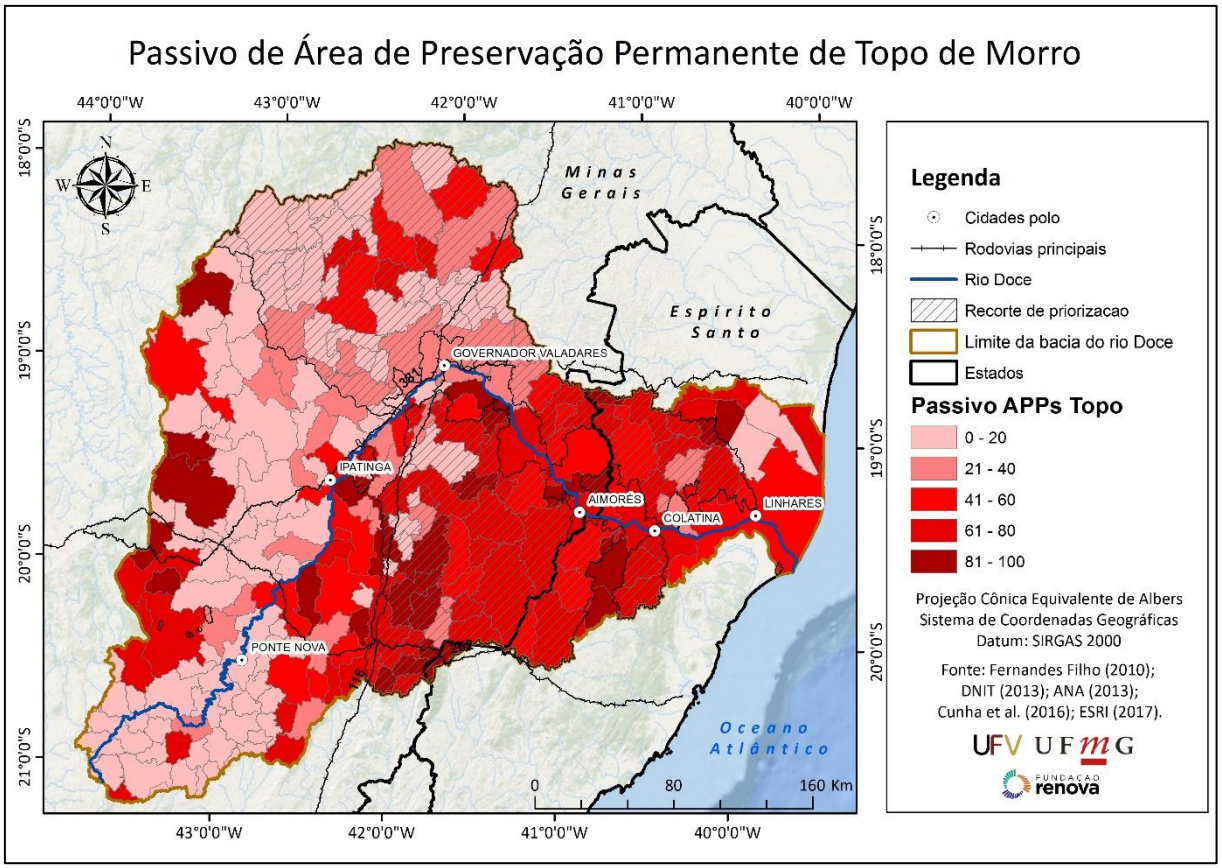


**Figura 15. Percentual de passivo de áreas de preservação permanente de topo de morro por município na bacia do Rio Doce.**

**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

## 3.4.3. APPs DE DECLIVIDADE

Conforme artigo 4º, inciso V, do Código Florestal Brasileiro, são consideradas como APPs de declividade as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive. A fim de reduzir os efeitos de suavização da declividade advindo da utilização do MDE-SRTM também utilizou-se o conceito de áreas equivalentes apresentado em Oliveira (2015), como feito para as APPs de topo de morro. O passivo de APPs de declividade de acordo com as regras da Lei nº 12.651/2012 foi estimado para toda a paisagem da bacia do Rio Doce, sendo o resultado apresentado na Figura 16.

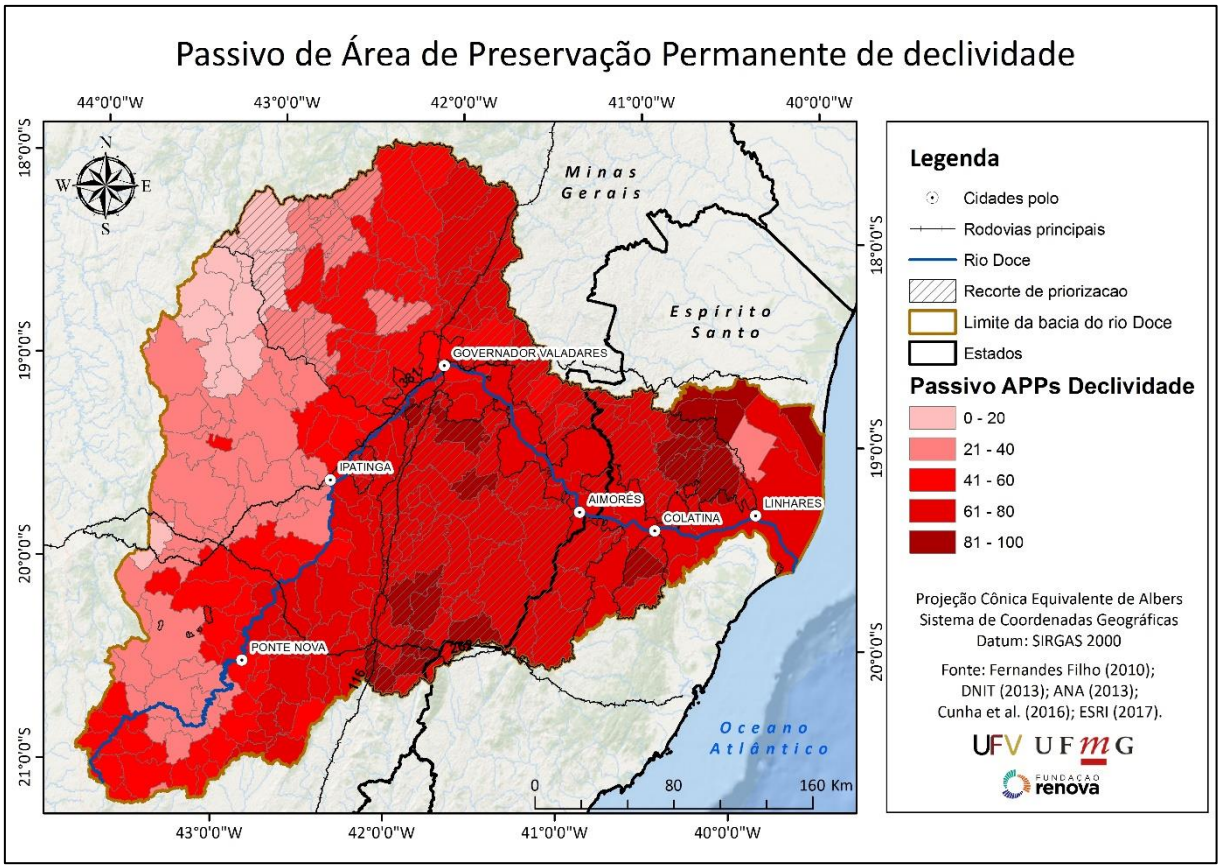


**Figura 16. Percentual de passivo de áreas de preservação permanente de declividade por município na bacia do Rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

## 3.5. IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS DE RECARGA

As zonas de recarga podem ser definidas como áreas do terreno sobre as quais a precipitação na forma de chuva infiltra no solo e reabastece o lençol freático (FREEZY e CHERRY, 1979). A manutenção da vegetação e o manejo do solo em áreas predominantes de recarga de aquíferos são cruciais para a preservação dos recursos hídricos. Essas práticas sustentáveis permitem a percolação de água no subsolo, garantindo um fluxo mais estável para os corpos de água, especialmente na época de seca (VASCONCELOS et al., 2013). A compreensão do processo de recarga do aquífero é um passo importante para integrar a gestão do uso da terra com a dos recursos hídricos.

A recarga é maior em áreas com clima úmido, solos ou rochas permeáveis e topografia plana. Em materiais permeáveis, a taxa de recarga pode chegar a metade da taxa de precipitação, com pouco escoamento superficial. Por outro lado, em materiais de baixa permeabilidade, apenas uma pequena fração da precipitação se torna recarga (FITTS, 2002).

Neste trabalho uma metodologia foi estabelecida para mapear e classificar locais adequados para recarga de aquíferos utilizando análise multicritério (AMC) e sistema de informações geográficas (SIG). Considerando a literatura e as condições locais da região e, com base em pesquisas anteriores, no presente estudo foram identificados cinco parâmetros como principais critérios para definição de áreas de recarga: os terços superiores do terreno, a curvatura horizontal do terreno, o balanço hídrico climatológico, a pedologia e a hidrogeologia.

Cada critério foi representado por uma camada temática espacial derivada de imagens de satélite ou dados espaciais oficiais, podendo ser um mapa classificado (por exemplo, tipo de solo) ou um mapa de valores contínuos (por exemplo, balanço hídrico climatológico). Para a análise de decisão, os valores e classes de todos os mapas foram convertidos em uma escala comum para reduzir a dimensionalidade. A escala de padronização utilizada foi de 0 a 255, de tal forma que as células em um mapa que são altamente adequadas para atingir o objetivo receberam valores padronizados elevados e as células menos adequadas receberam valores padronizados baixos.

Após a padronização, a importância relativa dos critérios (pesos finais) das camadas foi obtida por meio do Processo Analítico Hierárquico (AHP) e os mapas foram multiplicados em ambiente SIG, para a obtenção do mapa final. A descrição das fontes de dados e procedimentos de análise de cada um dos critérios, bem como a obtenção dos pesos da análise AHP, serão detalhados nos itens a seguir.

### 3.5.1. TERÇOS DO RELEVO

A água se move na paisagem definida pela gravidade, permeabilidade do solo e topografia, sendo que há duas direções básicas de fluxo (FALKENMARK, 2011). No topo das elevações do terreno, a parte de água infiltrada no solo é utilizada parcialmente pelas plantas e o restante da água continua infiltrando para formar o lençol freático, recarregando os aquíferos. Nas encostas inferiores, em fundos ocos e vales locais, a água se move novamente para a superfície. Esse padrão pode ser utilizado para dividir a paisagem em áreas de recarga e de descarga, sendo que essas áreas variam ao longo do ano, visto que o lençol freático varia na

estação seca e na chuvosa. Portanto, três elementos da paisagem podem ser distinguidos: zonas que estão constantemente em recarga ou descarga, respectivamente, e zonas que variam ao longo do ano devido à movimentação do lençol (FALKENMARK, 2011). Dessa maneira, o indicador mais simples das áreas de recarga é a topografia. As áreas de descarga são topograficamente baixas e as áreas de recarga são topograficamente altas (FALKENMARK 2011; FREEZE e CHERRY 1979).

A partir dessa consideração, utilizou-se metodologia desenvolvida por Calegario et al. (2017) que propõem a consideração do terço superior das elevações como zonas de recarga, sendo a restrição de uso e ocupação das mesmas parametrizada conforme a declividade associada ao terço médio. Ou seja, terços superiores associados a elevada declividade do terço médio possuem maior restrição de uso e vice-versa.

Como base das elevações considerou-se que o plano horizontal é definido por planície ou superfície do lençol d'água adjacente e/ou pela cota da depressão mais baixa ao seu redor, ou seja, a base hidrológica (Figura 17), a qual foi delimitada conforme demonstrado em Oliveira (2015). Tal definição é considerada na resolução CONAMA nº 303/2002 e foi utilizada por representar melhor a relação entre relevo e comportamento hidrológico. Posteriormente dividiu-se as elevações, delimitadas pelas bases hidrológicas, em terços inferior, médio e superior (Figura 18), sendo o último parametrizado conforme apresentado na Tabela 7. Com intuito de contemplar os terços inferior e médio na determinação das zonas de recarga no presente trabalho, atribuiu-se para os mesmos as classes I e II no sistema de capacidade de uso da terra, respectivamente, conforme apresentado na Figura 19. Com isso buscou-se priorizar as posições superiores do relevo e, prioritariamente, aquelas associadas às declividades elevadas. O mapa de capacidade de uso da terra nos terços do relevo da bacia do rio Doce é apresentado Figura 20.

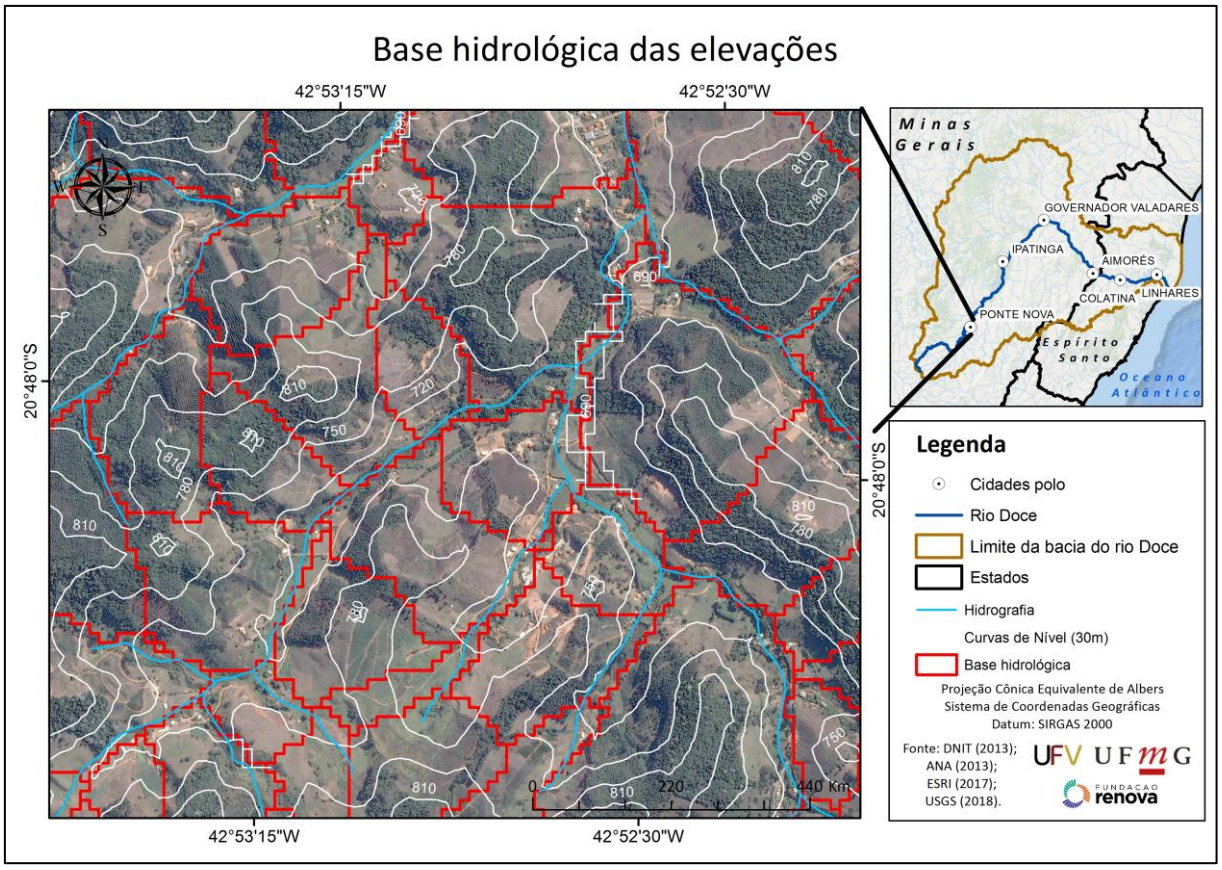


**Figura 17. Base hidrológica das elevações considerada na definição das zonas de recarga. Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

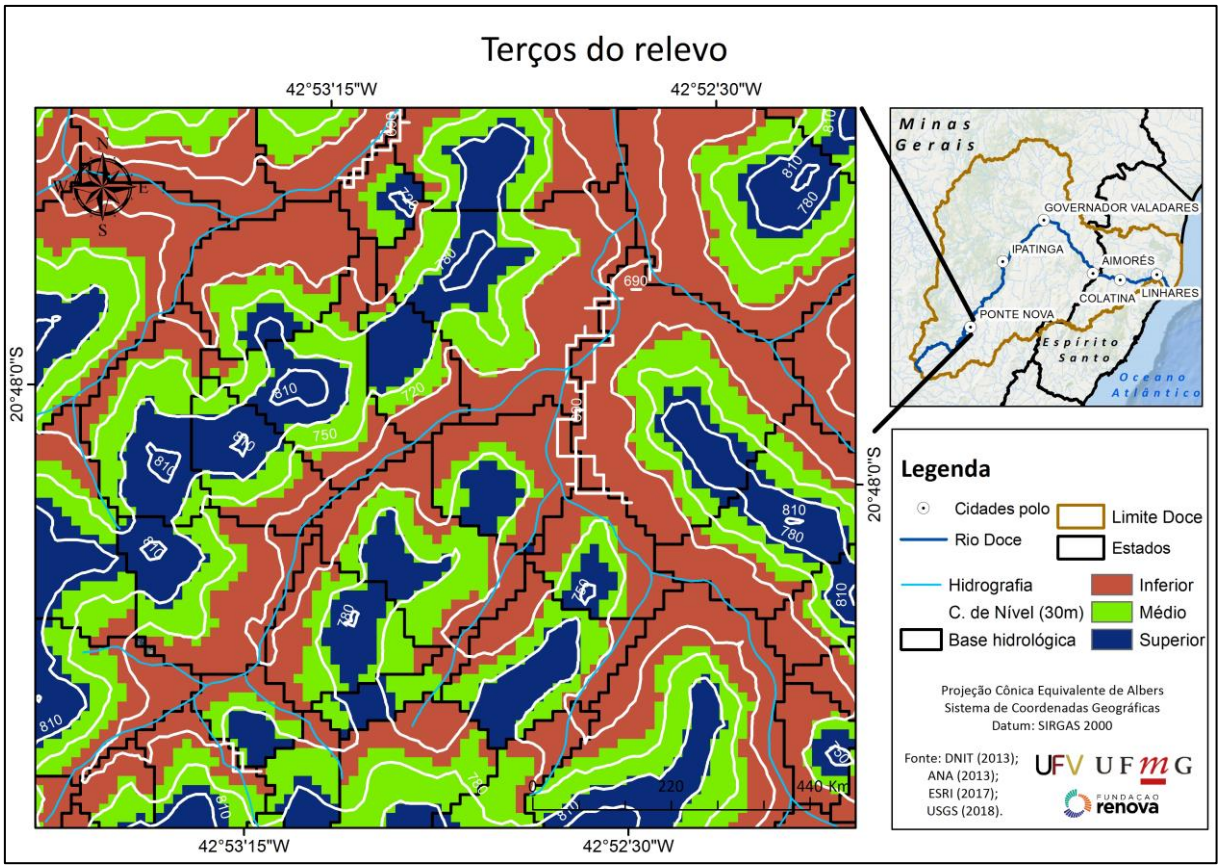


**Figura 18. Terços das elevações considerados na definição das zonas de recarga.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

**Tabela 7. Classes de Capacidade de Uso (CU) considerando o terço superior como fator restritivo**

| Classe de declividade média do terço médio | Classe de capacidade de uso da terra no terço superior |
|---|---|
| 0 a 2% | II |
| 2 a 5% | III |
| 5 a 10% | IV |
| 10 a 20% | V |
| 20 a 30% | VI |
| 30 a 45% | VII |
| 45% a 70% | VIII |
| > 70% | VIII |

*As classes de capacidade de uso da terra segundo Lepsch et al. (2015) são descritas como: (I) Terras próprias para todos os usos, inclusive para cultivos agrícolas intensivos sem necessitar de práticas intensivas de conservação; (II) Terras próprias para culturas com práticas simples de conservação; (III) Terras próprias para culturas com práticas intensivas ou complexas de conservação; (IV) Terras próprias para culturas anuais ocasionais, cultivos perenes limitados e culturas em rotação com pastagens, florestas e proteção de fauna e floras silvestre; (V) Terras com pouco ou nenhum risco de erosão, mas com limitações impraticáveis de serem removidas, o que limita muito a sua utilização, sendo, por isso, mais apropriadas para pastagens, reflorestamento ou vida silvestre; (VI) Terras com limitações severas, geralmente inadequadas para cultivos e uso limitado para pastagens, florestas cultivadas ou nativas para refúgio de flora e fauna silvestre; (VII) Terras com limitações muito severas, inadequadas para lavouras e de uso restrito para pastagens, florestas cultivadas e refúgio de flora e fauna silvestre; (VIII) Terras com limitações que impedem seu uso para qualquer atividade agrícola, restringindo-as à recreação e/ou proteção da flora e fauna silvestres ou ainda armazenamento de águas (represamentos).

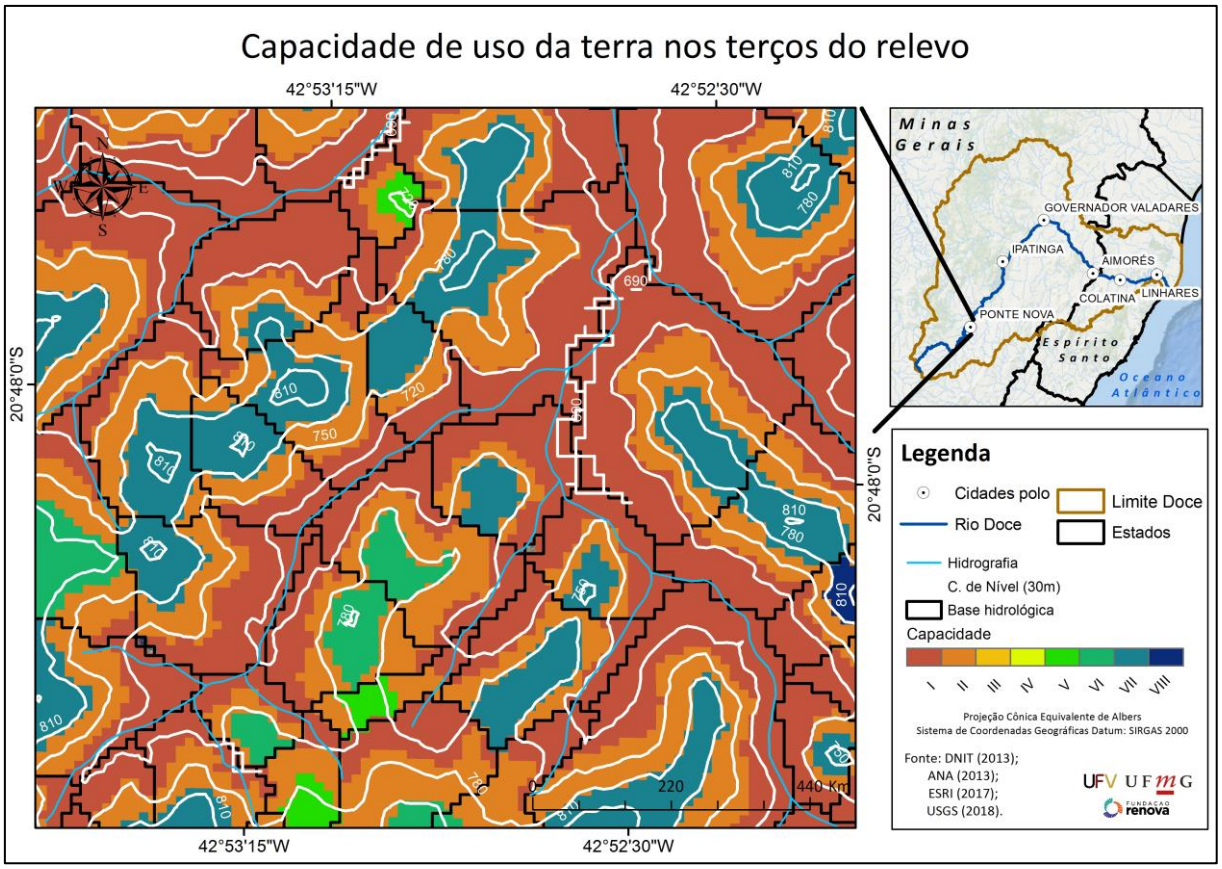


**Figura 19. Capacidade de uso da terra nos terços das elevações considerados na definição das zonas de recarga.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

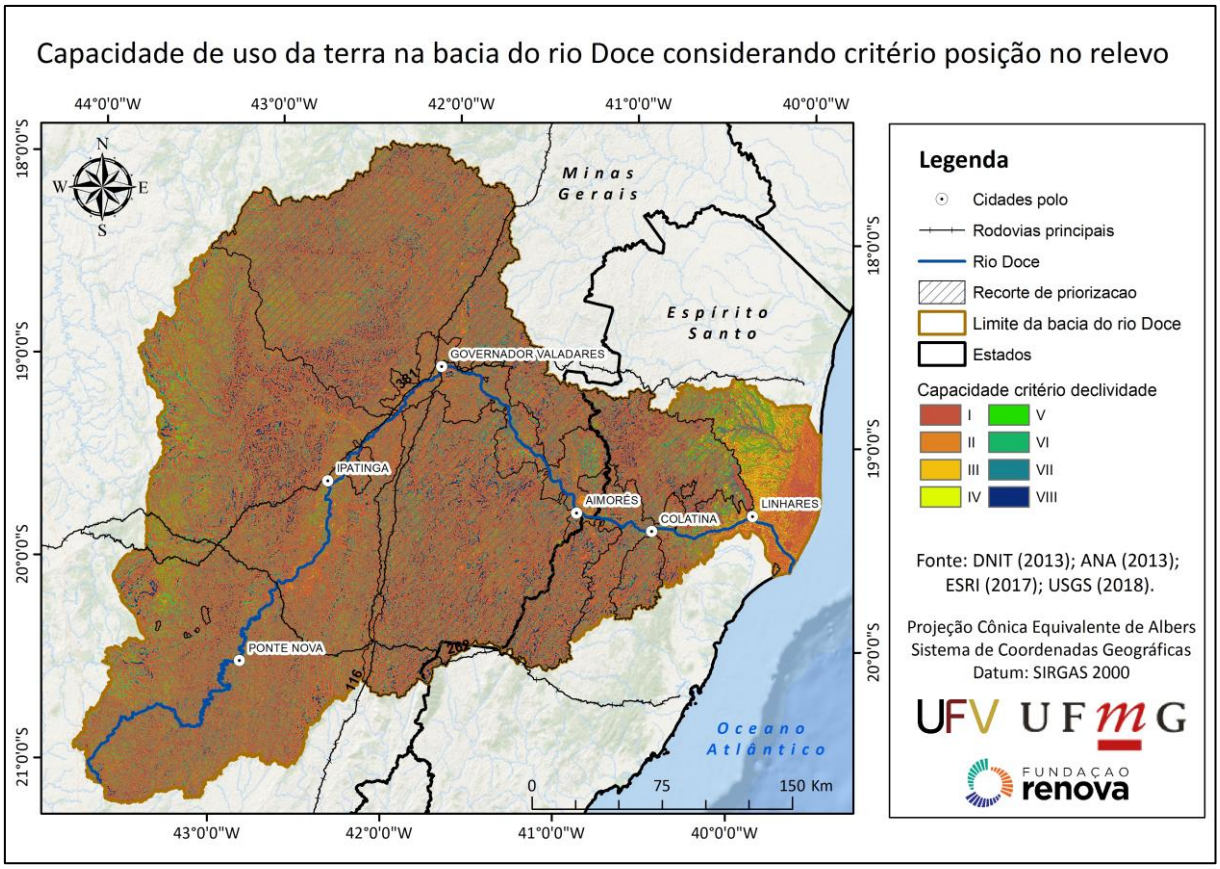


**Figura 20. Capacidade de uso da terra nos terços das elevações na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

## 3.5.2. CURVATURA HORIZONTAL DO TERRENO

A curvatura horizontal refere-se ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno, quando analisado em projeção horizontal. Essa variável está relacionada a intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, causados pela gravidade (VALERIANO, 2008a).

A curvatura horizontal é definida como a derivada de segunda ordem das curvas de nível e pode ser descrita como a variação da orientação de vertentes ao longo de uma determinada distância (VALERIANO, 2008b). A curvatura horizontal se traduz no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo e é expressa em diferença de ângulo dividida por distância horizontal, normalmente em graus por metro.

Em SIG, o cálculo da curvatura horizontal é baseado na comparação entre as orientações de vertente na vizinhança do ponto (pixel) medido, através de janelas móveis (VALERIANO, 2008a). Quando a orientação de vertentes da vizinhança for homogênea, haverá a tendência

dessa comparação resultar em valores baixos ou nulos, então a vertente é considerada planar (Figura 21c). Quando essa comparação resultar em valores negativos, a vertente é considerada convergente (Figura 21b), e quando resultar em valores positivos, a vertente é considerada divergente (Figura 21c) (ESRI, 2016).

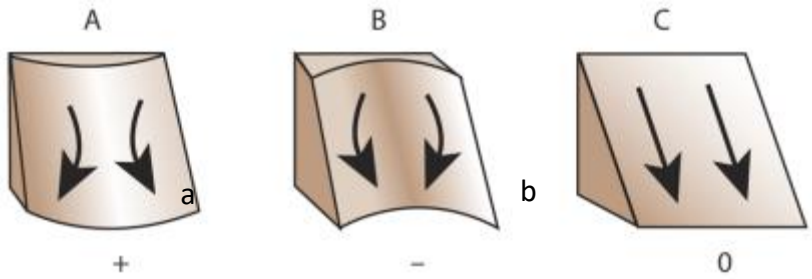


**Figura 21. Curvatura horizontal: (a) Divergente; (b) Convergente; (c) Planar.**
**Fonte: ESRI (2016).**

Na prática, nota-se que a ocorrência de valores nulos fica sendo uma coincidência rara (linhas de fluxo exatamente paralelas). Portanto, há a necessidade de se admitir uma margem de valores em torno do zero para que as vertentes planares possam ser evidenciadas (VALERIANO, 2008a). No presente estudo foi estabelecida uma faixa entre -0,05º /m e +0,05º /m como valores de curvatura típicos de vertentes tidas como planares. Além disso, as áreas com declividade abaixo de 8% foram também incluídas nessa categoria. A Figura 22 apresenta o mapa de curvatura horizontal para a bacia do rio Doce, com 37,2%, 44,8% e 18% de curvatura côncava, convexa e plana, respectivamente.

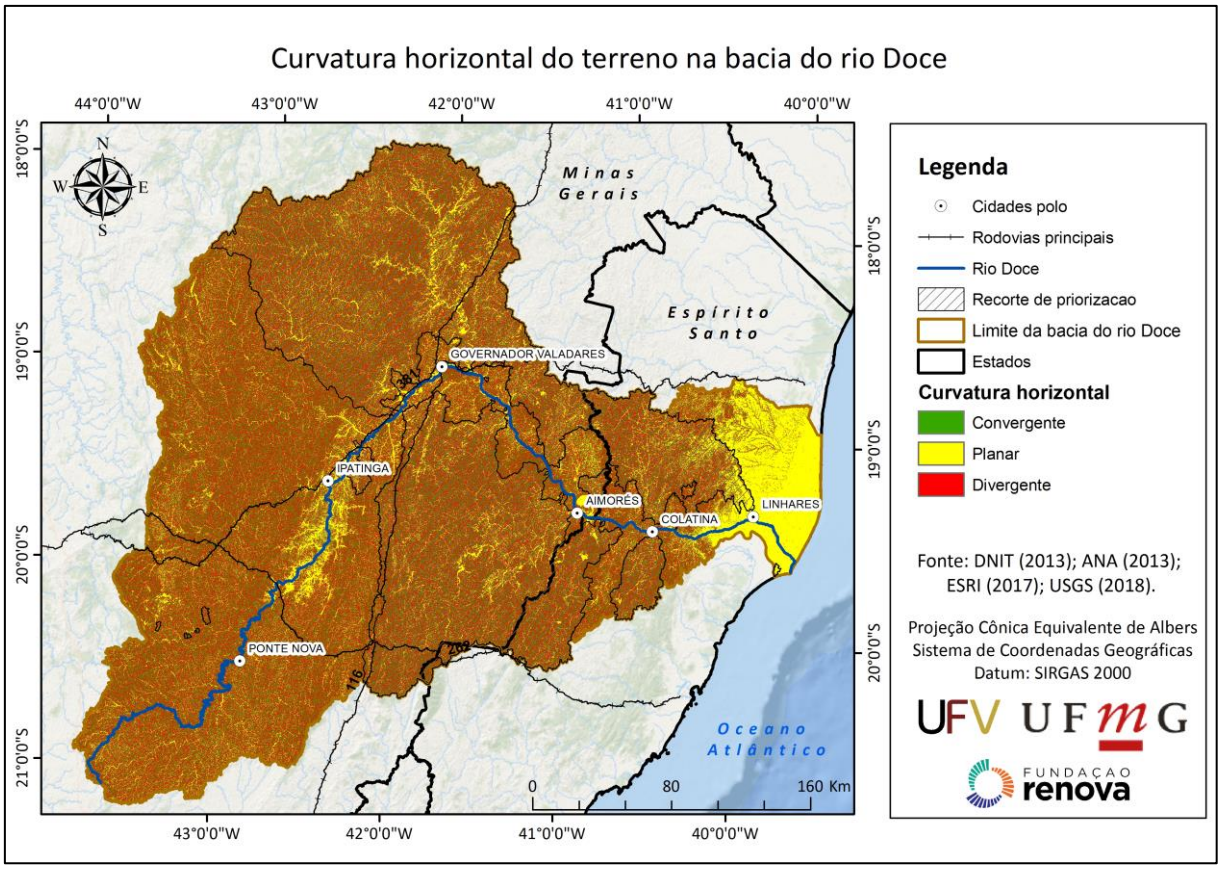


**Figura 22. Curvatura horizontal do terreno na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Nesse estudo consideraram-se prioritárias as regiões com concavidade horizontal divergente, visto que nessas as linhas de fluxo de água divergem (WESTERN et al., 1999; HALL, 2006), contribuindo com a distribuição do escoamento superficial e subsuperfical, reduzindo a energia associada ao escoamento e seu potencial erosivo. Como consequência, a umidade do solo nessas regiões é menor e a profundidade do solo maior, quando comparada áreas planares e côncavas, contribuindo para infiltração da água. Com base no apresentado, atribuiu-se peso 255, 127 e 0 para áreas convexas, planares e côncavas, respectivamente.

### 3.5.3. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO

Do ponto de vista hidrológico, o balanço hídrico climatológico fornece bases para o estudo da disponibilidade hídrica superficial, uma vez que regiões com elevada capacidade evaporativa e que, ao mesmo tempo, apresentam precipitação insuficiente, são caracterizadas como regiões de déficit hídrico. O balanço hídrico climatológico corresponde à diferença entre as

entradas e saídas de água em uma bacia hidrográfica, sendo considerado uma importante ferramenta para se determinar o déficit ou o excedente hídrico (CARVALHO et al., 2010).

A delimitação dos locais dentro de uma bacia que possuem maior propensão para serem utilizadas como áreas de recarga devem possuir maior disponibilidade hídrica, uma vez que nesses locais as chances de sucesso são maiores, tanto do ponto de vista da implementação da recomposição florestal, quanto do ponto de vista da transformação de chuva em vazão.

Para a composição do balanço hídrico climatológico utilizou-se como entrada de água da bacia hidrográfica do rio Doce a precipitação pluvial e como saída a evapotranspiração. Foram adotados dois produtos de sensoriamento remoto para as estimativas, sendo que para precipitação foram utilizados dados oriundos da Missão de Medição de Precipitação Tropical (Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM). Já para evapotranspiração usou-se dados do Espectro radiômetro de Imagem de Resolução Moderada (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer – MODIS).

A TRMM é uma missão espacial conjunta entre a Agência Espacial Americana (NASA) e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão. Lançada no ano de 1997, coletou cerca de 17 anos de dados diários de precipitação, encerrando suas atividades no dia 08 de abril de 2014 (NASA, 2018). A TRMM era composta por um radar de chuva, um imageador de micro-ondas passivo, além de um sistema de radiômetro de micro-ondas composto de nove canais utilizados para obter dados de precipitação (KUMMEROW et al., 1998).

Cleugh et al. (2007) propuseram um algoritmo para a estimativa de evaporação regional da torre de fluxo e dados de satélite MODIS. Posteriormente esse algoritmo foi utilizado para adaptar a equação de Penman-Monteith a dados de sensoriamento remoto, originando o produto denominado MOD16.

O MOD16 é um projeto da NASA que possui como objetivo estimar a evapotranspiração da superfície terrestre por meio de dados de sensoriamento remoto provenientes de plataformas orbitais. A utilização desse sensor durante uma série histórica possibilita verificar mudanças no clima, no uso e ocupação da terra, além de distúrbios nos ecossistemas (como incêndios florestais e surtos de insetos) e nos recursos hídricos superficiais (NASA, 2018).

Para a realização do estudo utilizou-se uma série histórica de 15 anos de dados (2000 – 2014), sendo os dados brutos MOD16 e TRMM acumulados inicialmente em base mensal e, posteriormente, em base anual. Após a obtenção da precipitação TRMM e evapotranspiração MOD16 para cada ano (2000 – 2014), foi realizada a média anual tanto de precipitação quanto de evapotranspiração. As imagens do MOD16 possuem resolução espacial de 1 km, enquanto as imagens do TRMM possuem resolução espacial de 25 km. Nas Figura 23 e Figura 24 são apresentados os dados de precipitação TRMM e evapotranspiração MOD16, respectivamente.

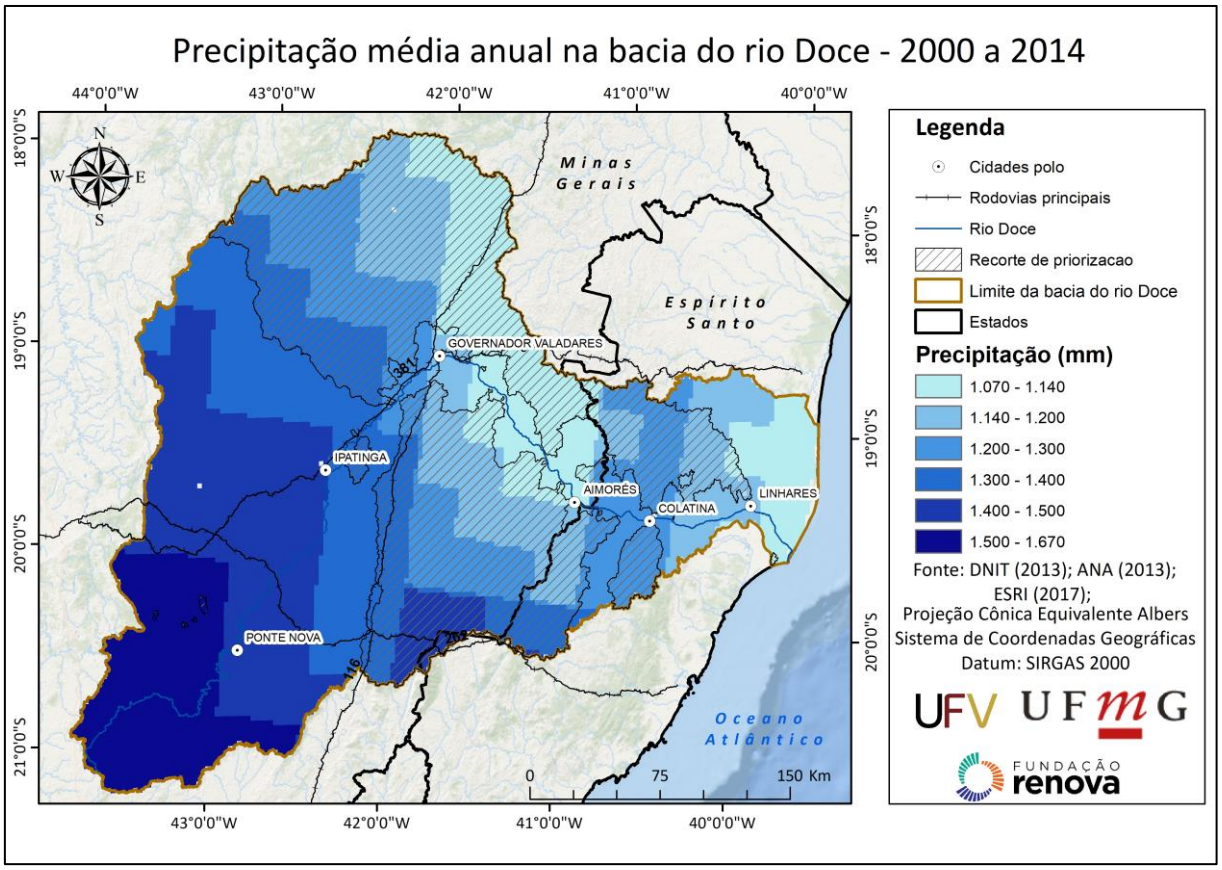


**Figura 23.Precipitação média anual (TRMM) para a bacia do rio Doce (2000 - 2014).**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

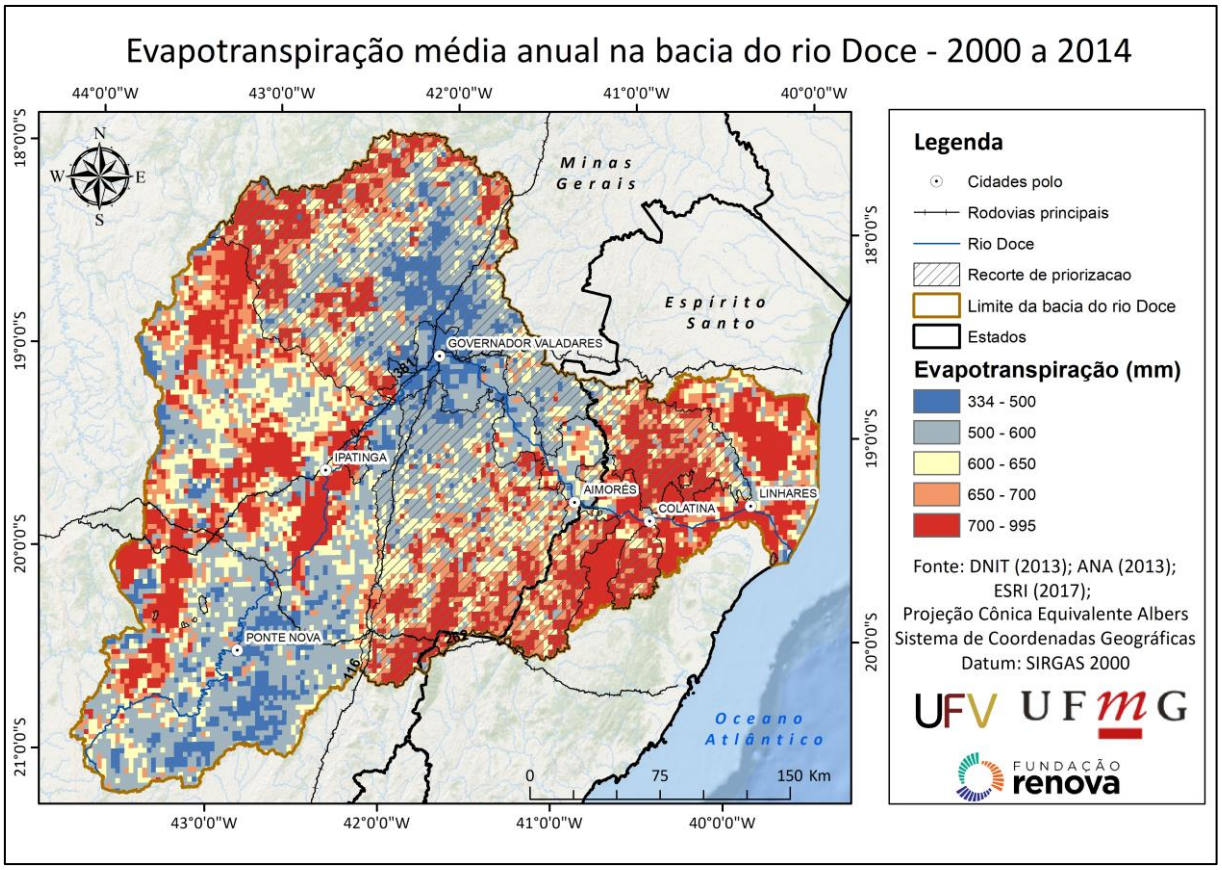


**Figura 24. Evapotranspiração média anual (MODIS) para a bacia do rio Doce (2000 - 2014). Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Na Figura 23 nota-se que a precipitação é maior nas cabeceiras da bacia, ou seja, na região sudoeste, condizente com a orografia da região. Na medida em que o rio Doce avança em direção ao oceano Atlântico observa-se uma redução na precipitação média anual, principalmente na região do central da bacia, entre as cidades de Governador Valadares e Aimorés.

Em relação à evapotranspiração, é possível se observar uma distribuição irregular na bacia do rio Doce. Nos municípios de Ipatinga e Colatina e nas proximidades do oceano Atlântico observam-se os maiores valores de evapotranspiração.

Como pode se observar nas figuras apresentadas anteriormente, nota-se a diferença em relação a resolução espacial dos dados TRMM e MOD16. Sendo assim, fez-se a compatibilização da base de dados para realização do balanço climatológico, ou seja, foi necessário a transformação dos pixels para uma mesma resolução espacial. Adotou-se como padrão o tamanho dos pixels de 2,5 km.

Após a realização do balanço climatológico para a bacia do rio Doce fez-se a conversão do tamanho dos pixels para a resolução espacial padrão deste trabalho, que é de 30 m. Na Figura 25 é apresentado o balanço climático na bacia do rio Doce.

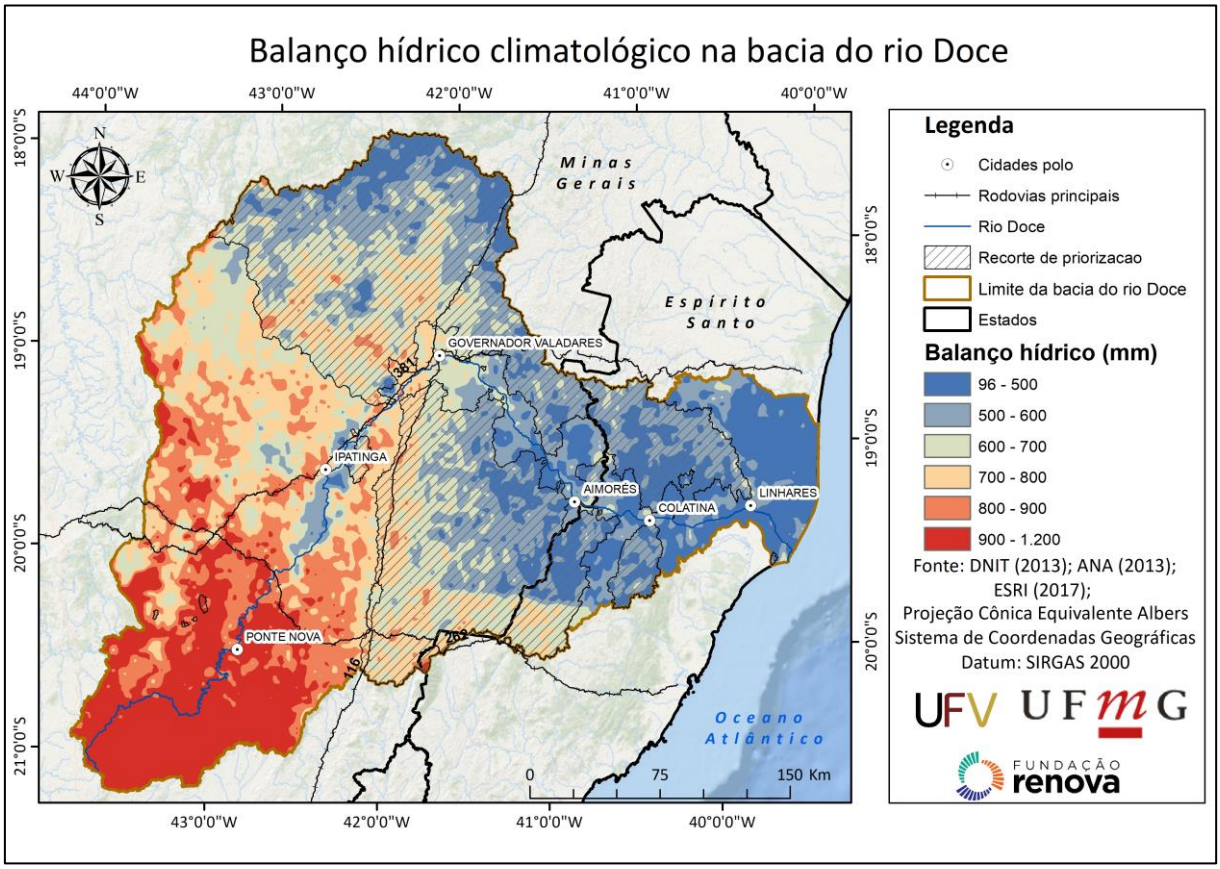


**Figura 25. Balanço climatológico médio anual (TRMM e MODIS) para a bacia do rio Doce (2000 - 2014).**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Para a realização do cálculo do IVA, via análise multicritério, foi necessário o reescalonamento do raster, adotando-se como o limite superior do balanço hídrico o valor de 255 e 0 como o limite inferior, ou seja, o maior valor de balanço hídrico foi reescalonado para o valor 255 enquanto o menor valor de balanço hídrico foi reescalonado para o valor 0.

Analisando a Figura 25 observa-se que na porção central da bacia, a partir da cidade de Governador Valadares, e em direção a foz da bacia, a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração é menor, logo, pode-se dizer que nessas áreas são maiores as chances de ocorrerem anos com déficit hídrico. Tal constatação tem relação direta com a definição das

áreas de recarga, uma vez que nessas regiões menores são as chances de sucesso, tanto da recomposição, quanto da produção de água.

### 3.5.4. PEDOLOGIA

A infiltração da água é um processo fundamental para a recarga natural de aquíferos e para regulação das vazões da rede de drenagem superficial, sendo influenciada por alguns fatores de ordem natural como mineralogia, textura, estrutura, umidade inicial, presença de pedregosidade, porosidade e relevo, que são atributos relacionados ao tipo do solo e sua localização (GASPAR, CAMPOS e CADAMURO, 2016).

O mapa de solos da parte mineira da bacia do rio Doce foi obtido do levantamento de solos da porção mineira da bacia do Rio Doce desenvolvido por Fernandes Filho et al. (2010) na escala de 1:500.000. Já o mapa de solos da parte capixaba da bacia foi obtido da atualização do mapa de reconhecimento de solos do estado do Espírito Santo desenvolvido por CUNHA et al. (2016) na escala de 1:250.000. Devido à diversidade de solos presentes em cada unidade de mapeamento, foi necessário generalizar a mesma considerando o solo mais predominante. Além disso, as unidades de mapeamento com a mesma classificação até o terceiro nível categórico (grandes grupos) foram unidas de modo a facilitar o trabalho de análise e caracterização de cada unidade final, sem demasiada perda de informações sobre as propriedades do solo em cada região. O mapa de solos na bacia do rio Doce é apresentado na Figura 26.

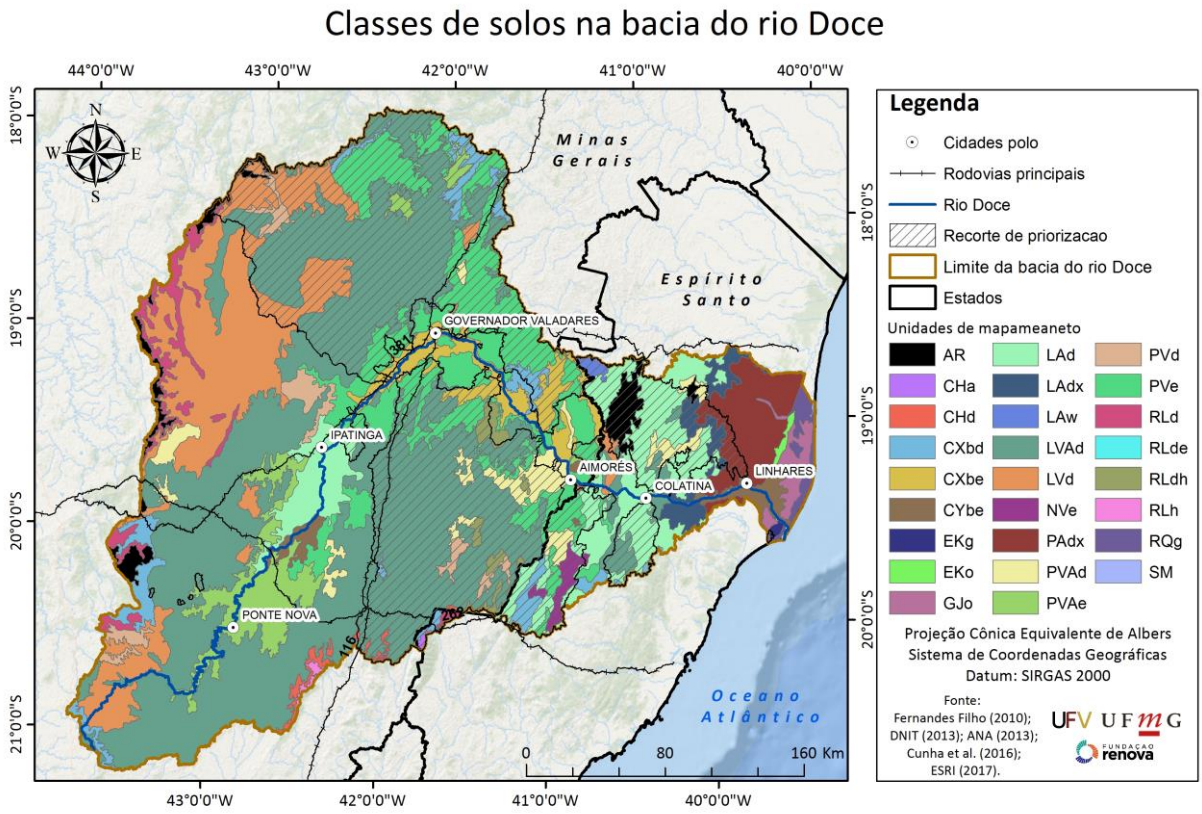


**Figura 26. Classes de solos na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Adaptado de Fernandes Filho et al. (2010) e Cunha et al. (2016)**
***Obs.** As unidades de mapeamento presentes na Figura 26 se referem à seguintes classes, conforme a classificação do sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2013): AR = Afloramentos rochosos; CHa = Cambissolo húmico alumínico; CHd = Cambissolo húmico distrófico; CXbd = Cambissolo háplico tb distrófico; CXbe = Cambissolo háplico tb eutrófico; CYbe = Cambissolo flúvico tb eutrófico; EKg = Espodossolo humilúvico hidromórfico espessoarênico; Eko = Espodossolo humilúvico órtico espessoarênico; Gjo = Gleissolo tiomórfico órtico; LAd = Latossolo amarelo distrófico; LAdx = Latossolo amarelo distrocoeso; Law = Latossolo amarelo ácrico; LVAd = Latossolo vermelho-amarelo distrófico; LVd = Latossolo vermelho distrófico; NVe = Nitossolo vermelho eutrófico; PVx = Argissolo vermelho distrocoeso; PVAd = Argissolo vermelho-amarelo distrófico; PVAe = Argissolo vermelho-amarelo eutrófico; PVd = Argissolo vermelho distrófico; PVe = Argissolo vermelho eutrófico; RLd = Neossolo litólico distrófico; RLde = Neossolo litólico distrófico e eutrófico; RLdh = Neossolo litólico distrófico húmico; RLh = Neossolo litólico húmico; RQg = Neossolo quartzarênico órtico; SM = Solos de mangue, manguezal e campo halófico.

Para hierarquização das unidades de mapeamento de solos mais propícias à recarga foram utilizados dois critérios: profundidade e drenagem interna (permeabilidade). Como base para atribuição de pesos a esses atributos utilizou-se o conceito de capacidade de uso da terra (RIO GRANDE DO SUL, 1979; LEPSCH et al., 2015), o qual segue ordem crescente de limitação, variando de I a VIII, sendo que classes inferiores apresentam maior potencial de infiltração e profundidade, características fundamentais para a recarga de aquíferos. A classificação das

unidades de mapeamento de solos no sistema de capacidade foi realizada por especialistas em pedologia do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (Tabela 8). Como peso final referente a cada unidade de mapeamento, atribuiu-se a classe de capacidade limitante entre os dois critérios, sendo os valores reescalados para o intervalo de 0 a 255, com intuito de proceder à análise multicritério.

**Tabela 8. Classes de capacidade de uso e manejo da terra do solo considerando fatores profundidade e drenagem interna e valores de adequabilidade na AMC para obtenção das zonas de recarga**

| Classe* | Profundidade | Drenagem Interna | Classe Limitante | Adequabilidade na AMC para obtenção das áreas de recarga |
|---|---|---|---|---|
| AR | VIII | VIII | VIII | 109** |
| CHa | III | II | III | 182 |
| CHd | III | II | III | 182 |
| CXbd | III | II | II | 218 |
| CXbe | III | II | II | 218 |
| CYbe | II | III | III | 182 |
| EKg | II | II | II | 218 |
| EKo | I | I | I | 255 |
| GJo | IV | V | V | 109 |
| LAd | I | II | II | 218 |
| LAdx | I | III | III | 182 |
| LAw | I | II | II | 218 |
| LVAd | I | I | I | 255 |
| LVd | I | I | I | 255 |
| NVe | II | III | III | 182 |
| PAdx | II | III | III | 182 |
| PVAd | II | III | III | 182 |
| PVAe | II | III | III | 182 |
| PVd | II | III | III | 182 |
| PVe | II | III | III | 182 |
| RLd | V | II | V | 109 |
| RLde | V | II | V | 109 |
| RLdh | V | III | V | 109 |
| RLh | V | III | V | 109 |
| RQg | II | II | II | 218 |
| SM | VIII | VIII | VIII | 0 |

* Classificação conforme sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2013): AR = Afloramentos rochosos; CHa = Cambissolo húmico alumínico; CHd = Cambissolo húmico distrófico; CXbd = Cambissolo háplico tb distrófico; CXbe = Cambissolo háplico tb eutrófico; CYbe = Cambissolo flúvico tb eutrófico; EKg = Espodossolo humilúvico hidromórfico espessoarênico; Eko = Espodossolo humilúvico órtico espessoarênico; Gjo = Gleissolo tiomórfico órtico; LAd = Latossolo amarelo distrófico; LAdx = Latossolo amarelo distrocoeso; Law = Latossolo amarelo ácrico; LVAd = Latossolo vermelho-amarelo distrófico; LVd = Latossolo vermelho distrófico; NVe = Nitossolo vermelho eutrófico; PVx = Argissolo vermelho distrocoeso; PVAd = Argissolo vermelho-amarelo

distrófico; PVAe = Argissolo vermelho-amarelo eutrófico; PVd = Argissolo vermelho distrófico; PVe = Argissolo vermelho eutrófico; RLd = Neossolo litólico distrófico; RLde = Neossolo litólico distrófico e eutrófico; RLdh = Neossolo litólico distrófico húmico; RLh = Neossolo litólico húmico; RQg = Neossolo quartzarênico órtico; SM = Solos de mangue, manguezal e campo halófico.
** A fim de reduzir efeitos da escala de mapeamento de Minas Gerais (1:500.000) na classe de afloramento rochoso (AR), atribuiu-se valores de adequabilidade iguais à classe de neossolo litólico distrófico (RLd), sendo as áreas de AR retiradas da análise do mapa de uso e ocupação elaborado pela UFV.

### 3.5.5. HIDROGEOLOGIA

A heterogeneidade geológica pode ter um grande efeito no fluxo de água subterrânea regional, podendo afetar a inter-relação entre os sistemas locais e regionais, o padrão superficial das áreas de recarga e descarga e as quantidades de fluxo que são descarregadas através dos sistemas (FREEZE e CHERRY, 1979).

O sistema hidrológico subterrâneo da bacia hidrográfica do rio Doce está condicionado, fundamentalmente, às características geomorfológicas, litoestratigráficas e estruturais que compõem o arcabouço geológico regional (CONSÓRCIO ECOPLAN - LUME, 2010). Assim, nos diferentes litotipos que ocorrem na região é possível definir, basicamente, três unidades aquíferas: granular, fissural e mista (granular-fissural).

Nos aquíferos granulares a circulação e o armazenamento das águas subterrâneas se fazem através da porosidade primária da rocha, enquanto nos aquíferos fissurados a acumulação e circulação das águas subterrâneas são feitas através da porosidade secundária desenvolvida por falhas, fraturas e diaclases (CONSÓRCIO ECOPLAN - LUME, 2010). Os aquíferos mistos possuem comportamento tanto granular, com porosidade primária, quanto fissural, com porosidade secundária de fendas e fraturas.

De acordo com o mapa de unidades lito-hidrogeológicas da bacia do rio Doce disponibilizado pela CPRM (2010) (Figura 27), a unidade aquífera granular ocupa cerca de 13% da área total da bacia do rio Doce, o aquífero fissural ocupa 83% da bacia e o aquífero misto ocupa 4% da bacia. Observa-se, portanto, que a hidrogeologia na bacia é homogênea, o que torna essa variável pouco expressiva na análise de zonas de recarga. Por esse motivo, essa variável foi considerada constante ao longo de todo território da bacia e não foi incluída na análise multicritério.

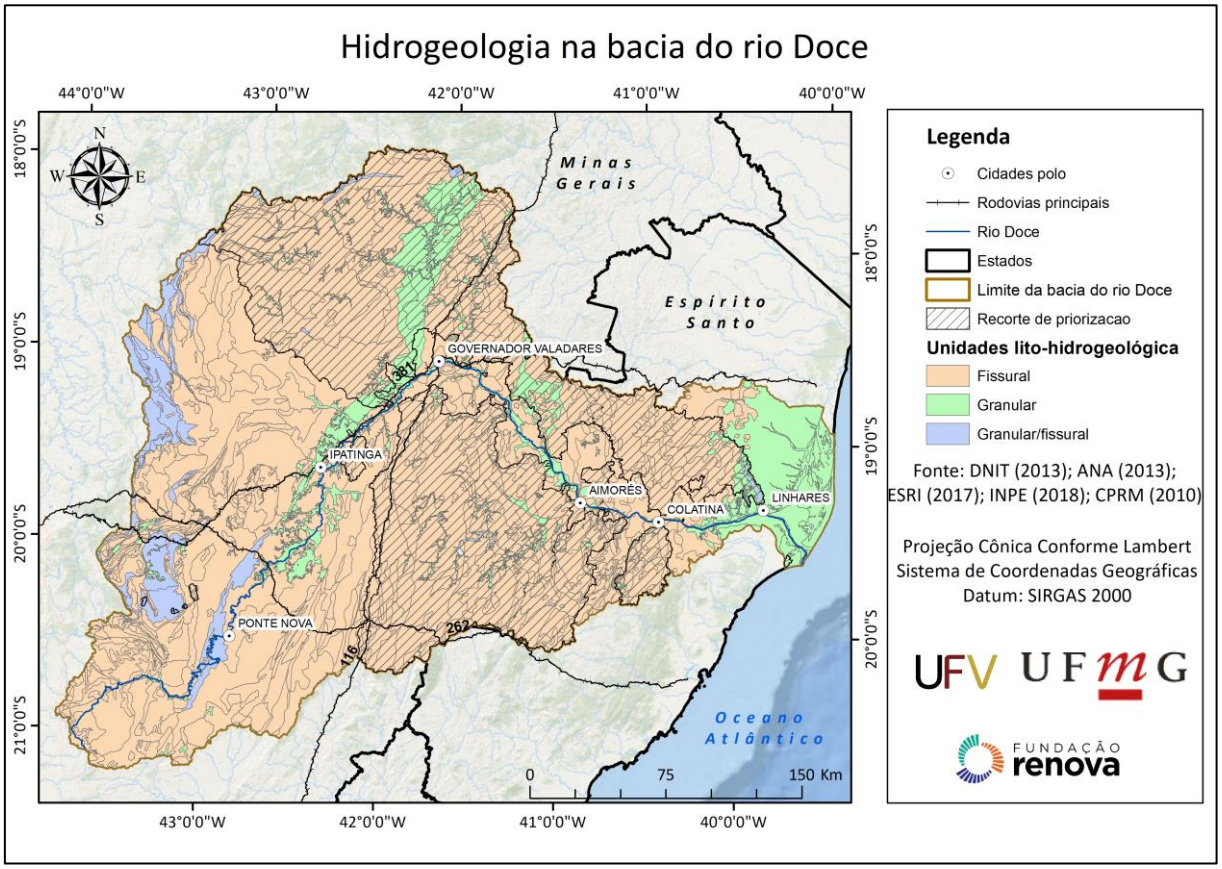


**Figura 27. Unidades lito-hidrogeológicas da bacia do rio Doce.**

**Fonte: CPRM (2010).**

## 3.5.6. ANÁLISE AHP

A metodologia de análise multicritério AHP ("Analytical hierarchy process") foi criada por Thomas Saaty, na década de 70, visando auxiliar na tomada de decisão de problemas complexos. A ideia central desse método consiste na redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparação aos pares, a fim de realizar o processo de tomada de decisão, minimizando suas falhas (AGÁPITO, 2016).

No método AHP o problema é analisado em uma estrutura hierárquica, geralmente composta de vários níveis, ou seja, objetivo, critérios, subcritérios e variantes. Os passos básicos neste método incluem (VAIDYA e KUMAR, 2006):

(1) Indicação do problema/objetivo;

(2) Identificação dos critérios que influenciam a decisão;

(3) Estruturação do problema em uma hierarquia de diferentes níveis constituindo objetivos, critérios, subcritérios e variantes;

(4) Comparação de cada elemento no nível correspondente e calibração na escala numérica. Isso requer n(n-1)/2 comparações, onde n é o número de elementos, considerando-se que os elementos diagonais são iguais e os outros elementos serão simplesmente os recíprocos das comparações anteriores;

(5) Realização de cálculos para encontrar o valor máximo de autovalor, do Coeficiente de Consistência (CR) e valores normalizados para cada critério/variante; e

(6) Se o valor de CR for satisfatório, a decisão é tomada com base nos valores normalizados; se não, o procedimento é repetido até que esses valores estejam em um intervalo desejado.

Para a presente análise, o objetivo (etapa 1) foi definido como sendo a obtenção das áreas de recarga da bacia do rio Doce e os critérios que influenciam a decisão (etapas 2 e 3) foram identificados como sendo os terços superiores do relevo, o balanço hídrico climatológico, a pedologia e o plano de curvatura do terreno.

As comparações (etapa 4) foram derivadas de uma escala de classificação que reflete as preferências dos tomadores de decisão. As preferências foram determinadas com notas relativas expressas como valores numéricos, 1 a 9, em que 1 indica que os critérios comparados são equivalentes e 9 indica que o primeiro dos elementos comparados tem preferência forte em relação ao outro elemento (Tabela 9). A Tabela 10 apresenta a matriz de comparação dos critérios utilizada na obtenção das áreas de recarga da bacia do rio Doce.

Com base nos dados da Tabela 10, um vetor de prioridade foi computado, dividindo-se cada uma das colunas pela sua soma correspondente (etapa 5). A estimativa da importância relativa dos critérios (pesos finais) foi, portanto, obtida através da média dos valores de cada linha do vetor de prioridade e é apresentada na Tabela 11.

**Tabela 9. Escala para comparação par a par dos critérios adotados para obtenção das áreas de recarga da bacia do rio Doce**

| Intensidade da comparação par a par | Importância |
|---|---|
| 1 | Igual importância, duas atividades contribuem igualmente para o objeto |
| 3 | Moderada importância, favorece um pouco um sobre o outro |
| 5 | Importância essencial ou forte, favorece fortemente um sobre o outro |
| 7 | Importância demonstrada, domínio da importância demonstrada na prática |
| 9 | Extrema importância, evidência favorecendo uma sobre outra de maior ordem possível de afirmação |
| 2,4,6,8 | Valores intermediários, quando necessário |

Fonte: (Saaty, 1987)

**Tabela 10. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção das áreas de recarga na bacia do rio Doce**

| Pesos relativos - AHP | Terços | Balanço climatológico | Pedologia | Plano de curvatura |
|---|---|---|---|---|
| **Terços** | 1 | 6 | 2 | 4 |
| **Balanço climatológico** | 0,16 | 1 | 0,4 | 0,3 |
| **Pedologia** | 0,5 | 2,5 | 1 | 4 |
| **Plano de curvatura** | 0,25 | 3,33 | 0,25 | 1 |

**Tabela 11. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção das áreas de recarga na bacia do rio Doce**

| Critério | Pesos finais (%) |
|---|---|
| **Terços** | 48,9 |
| **Balanço climatológico** | 7,4 |
| **Pedologia** | 30,0 |
| **Plano de curvatura** | 13,7 |

Um teste para o grau de consistência dos pesos derivados foi, então, realizado, para verificar a consistência dos julgamentos dos especialistas. O Coeficiente de Consistência (CR) indica a probabilidade de que os valores da matriz tenham sido gerados aleatoriamente, sendo que a matriz que possui um CR maior que 0,10 deve ser reavaliada (SAATY, 1980). Na presente

análise o valor encontrado de CR foi de 0,10, indicando que houve consistência nos pesos atribuídos.

Os mapas dos critérios foram, então, multiplicados em ambiente SIG para a obtenção do mapa final, utilizando os pesos da Tabela 11. Considerou-se como sendo as áreas mais favoráveis à recarga os 25% da bacia com as maiores pontuações de adequabilidade, que variaram entre 162 e 254. A Figura 28 apresenta o mapa final de áreas de recarga na bacia do rio Doce.

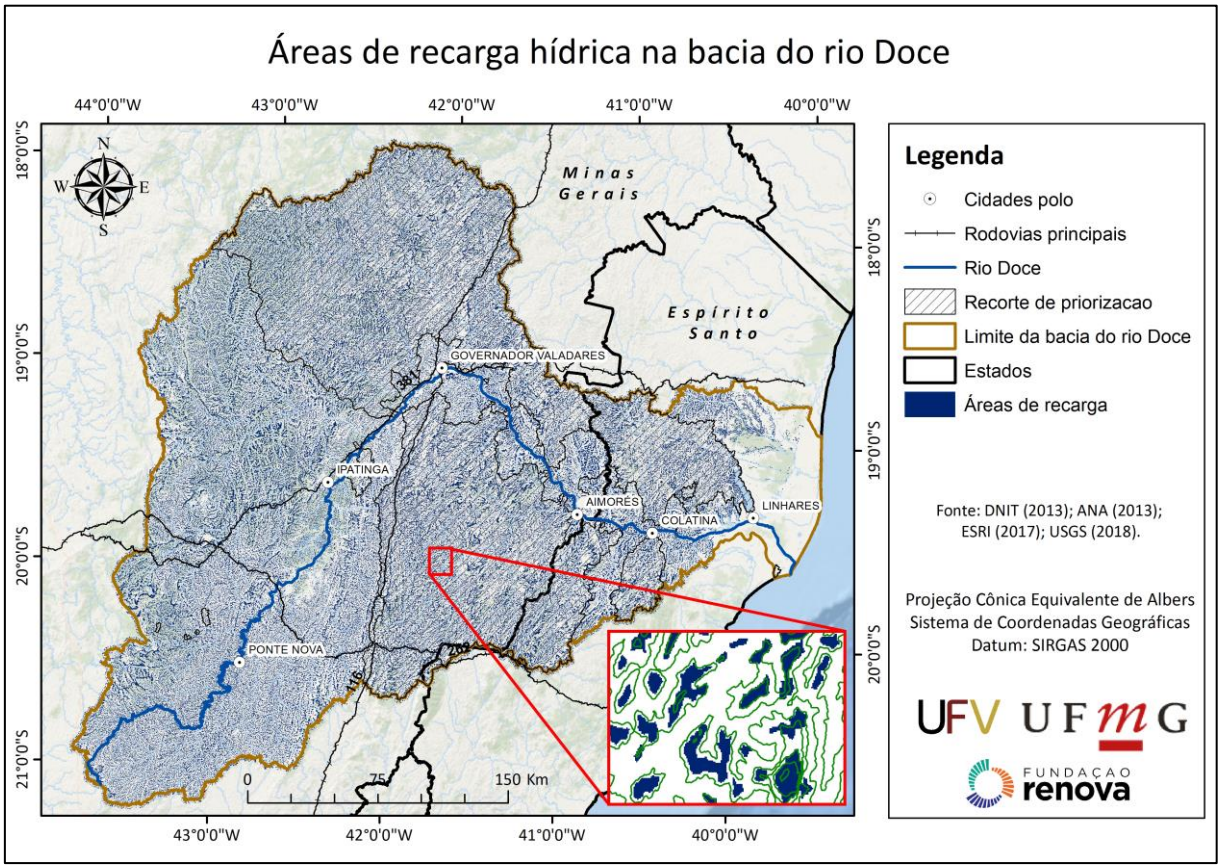


**Figura 28. Áreas de recarga hídrica na bacia do rio Doce.**

**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

## 3.6. FAVORABILIDADE À REGENERAÇÃO NATURAL

Após identificar as áreas que poderão ser alvo das ações de recuperação ambiental, foi necessário determinar as tipologias de intervenção apropriadas. Em termos conceituais, a restauração ecológica é o ato de auxiliar a recuperação de um ecossistema degradado, danificado ou destruído (SER, 2004). A partir desta definição internacionalmente reconhecida,

a restauração de florestas pode ser realizada de diversas maneiras, incluindo sistemas agroflorestais ou silvopastoris, plantações de espécies nativas, plantações comerciais de florestas ou mesmo a regeneração natural (CHAZDON, 2008). Contudo, os altos custos envolvidos nos plantios usuais de reflorestamento podem ser proibitivos em projetos de grande escala (Rodrigues et al. 2011; Nunes et al. 2017), como no caso da restauração de 40.000 hectares na bacia do Rio Doce exigidos pelo TTAC. Neste contexto, a regeneração natural é apontada como uma opção mais barata (CHAZDON e URIARTE, 2016) e, sob certas condições, também mais efetiva (CROUZEILLES et al. 2017) na escala da paisagem.

A restauração pode ser classificada em três grupos: passiva, intermediária e ativa (NUNES et al., 2017). A restauração passiva é baseada em um processo de sucessão natural, implicando mínima intervenção humana (HOLL e AIDE, 2011). Esta abordagem geralmente envolve apenas o isolamento de uma área para permitir a regeneração da vegetação nativa. A regeneração natural nestas áreas é afetada por fatores ecológicos e fisiográficos como a disponibilidade de recursos locais (resiliência local), dispersão de propágulos da matriz florestal circundante (sementes, brotos, etc.) (Rodrigues et al. 2011, Pereira et al. 2013) e a intensidade agrícola prévia do uso do solo (CHAZDON, 2014, CHAZDON e GUARIGUATA, 2016). Desse modo, pastagens abandonadas não muito degradadas e localizadas próximas a remanescentes florestais podem ser restauradas passivamente, em teoria, a um custo relativamente baixo (BECHARA et al., 2016; CHAZDON, 2017; NUNES et al., 2017). O processo de recuperação passiva, no entanto, pode ocorrer muito lentamente ou ser inibido em agroecossistemas muito degradados (BRANCALION et al., 2016).

Como uma abordagem intermediária, existem técnicas que aceleram, ao invés de substituir, os processos naturais de sucessão, removendo ou reduzindo barreiras à regeneração natural. Podem incluir, por exemplo, a prevenção de incêndios e o controle de espécies exóticas (e.g., gramíneas) (CORBIN e HOLL, 2012). Embora estas técnicas, também denominadas de regeneração natural assistida, possam ser menos eficientes para aumentar a diversidade florística nos estágios iniciais, elas oferecem significativas vantagens econômicas quando comparadas com os plantios de reflorestamento (SHONO et al., 2007; Bechara et al., 2016). Todavia, raramente funcionam se aplicadas em locais altamente degradados ou áreas anteriormente submetidas ao uso agrícola intenso, que podem já ter superado um limiar

ecológico de recuperação natural (LAMB et al., 2005; CHAZDON, 2008; Chazdon, 2013).

Para lidar com essas áreas é necessária uma restauração ativa. Esta modalidade geralmente é realizada por meio de práticas silviculturais, como semeadura direta e plantio de mudas (RODRIGUES et al., 2011). Em alguns casos são recomendadas plantações de espécies nativas de alta diversidade que cobrem toda a área (plantios totais), bem como técnicas de nucleação (plantações parciais) para atuar como áreas focais de recuperação (RODRIGUES et al., 2011; CORBIN e HOLL, 2012; BECHARA et al., 2016; BRANCALION et al., 2016). Este aumento do investimento em silvicultura, embora adequado para recuperar ambientes degradados, pode afetar significativamente os custos da restauração em larga escala.

Embora a restauração ativa tenha sido amplamente empregada em detrimento das outras abordagens, Crouzeilles et al. (2017) demonstraram que, após o controle de fatores bióticos e abióticos, a regeneração natural pode ser mais bem-sucedida ecologicamente em termos de biodiversidade e estruturas de vegetação quando certas condições são atendidas. Isto é particularmente importante porque, quando efetivamente implementada em áreas favoráveis, a regeneração natural pode liberar recursos financeiros a serem aplicados em áreas onde são necessárias intervenções para restauração ativa (CHAZDON e GUARIGUATA, 2016; CHAZDON e URIARTE, 2016).

A decisão por qual método de restauração utilizar deve, portanto, levar em consideração o potencial (ou favorabilidade) da regeneração natural das áreas alvos de investimentos e o contexto da paisagem. Cabe ressaltar que os fatores ecológicos e fisiográficos favoráveis à regeneração estão associados a contextos geográficos, sociais e regulatórios específicos do uso da terra, o que aponta para a necessidade de calibração dos modelos de otimização a partir de dados locais e regionais para delimitação de áreas prioritárias.

Para além das vantagens ecológicas apontadas, a regeneração natural também tem sido negligenciada em projetos de larga escala, apesar de ser considerada mais acessível economicamente (CROUZEILLES et al., 2017; CHAZDON, 2017). Parte desta lacuna pode ser explicada pela ausência de diagnósticos regionais e ferramentas de planejamento territorial para subsidiar a implementação da regeneração natural de forma bem-sucedida (NUNES et al., 2017).

A espacialização da favorabilidade à regeneração natural para a bacia do Rio Doce apoia-se no aprimoramento da metodologia desenvolvida por Nunes et al. (2017) e aplicada para o estado de Minas Gerais (resolução espacial de 60 metros). A calibração do modelo utilizando dados locais, juntamente com o refinamento da resolução espacial (30 metros), permitiram um grande aumento da sensibilidade do modelo para a identificação de áreas prioritárias na escala da paisagem.

O primeiro passo para calibração do modelo foi a geração de um mapa de uso e cobertura da terra com resolução espacial compatível com as etapas posteriores de álgebra de mapas e integração dos principais fatores fisiográficos que influenciam a regeneração natural. Optou-se pela utilização do mapeamento realizado pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, tendo 2013 como ano base (Figura 7). Os mapas originais disponíveis em formato *shapefile* para cada um dos municípios da bacia foram integrados, reamostrados e rasterizados a 30 metros para produção do mapa inicial de uso e cobertura da terra (Figura 7) e análises espaciais de conformidade legal. Para este procedimento utilizou-se o software ArcMap 10.5.1.

O modelo identifica áreas para restauração florestal nos mosaicos de uso/cobertura da terra e aloca faixas de favorabilidade à regeneração natural em regiões previamente desmatadas, levando-se em consideração a distribuição espacial dos atributos fisiográficos e o uso da terra na região. A metodologia permite a espacialização do Índice de Favorabilidade à regeneração natural (0 a 100) para cada célula do mapa, que pode ser interpretado como o nível local de esforço necessário para fomentar a restauração da vegetação nativa através de processos de condução da regeneração natural.

A composição do índice foi definida a partir do refinamento das classes de favorabilidade à restauração florestal para o Estado de Minas Gerais (Nunes et al. 2017), alocando áreas com alta e baixa favorabilidade, que indicam, a priori, a necessidade de projetos de condução da regeneração natural e plantios totais de espécies nativas, respectivamente. As análises espaciais foram realizadas utilizando a plataforma de modelagem espacial Dinamica EGO (SOARES-FILHO et al., 2013) (http://csr.ufmg.br/dinamica/). A Figura 29 apresenta, resumidamente, as etapas de modelagem realizadas.

**Figura 29. Resumo das etapas de modelagem para espacialização do potencial de regeneração natural e identificação de classes de favorabilidade à regeneração natural (passiva e ativa) na escala da paisagem para a bacia do Rio Doce.**

O modelo foi calibrado para quantificar o potencial de regeneração natural somente em áreas classificadas como antrópicas, de modo a priorizar a recuperação das áreas mais degradadas do ponto de vista ecológico. Dessa forma, florestas secundárias ou em estágio avançado de regeneração não são identificadas como áreas propícias a receberem investimentos para restauração. Adicionalmente, são removidas as áreas classificadas como rede hidrográfica conforme mapeamento do FBDS. Estas áreas, originalmente categorizadas utilizando-se uma resolução de 5 metros, conforme descrito na metodologia, foram reamostradas para 30 metros e rasterizadas para padronização dos dados de entrada do modelo.

Ao mapa de uso da terra foram integrados os mapas referentes à conformidade legal (áreas de ativo e passivo ambiental conforme o código florestal), de acordo com as análises espaciais realizadas em etapas anteriores. Este cruzamento de informações visou apontar áreas propícias tanto do ponto de vista ecológico quanto legal para condução de projetos de restauração florestal na bacia.

A partir da classificação do uso da terra, a modelagem se inicia pelo levantamento do conjunto de dados fisiográficos, climáticos e de uso histórico da terra determinantes para a regeneração natural, regionalmente, conforme apontado pela literatura. O cálculo da favorabilidade da

regeneração natural foi realizado após integração dos diferentes fatores da paisagem previamente mapeados que podem facilitar a restauração passiva. São eles:

a) Contexto da paisagem, como a matriz de uso e cobertura da terra circundante que pode servir como fonte de propágulos (ex. presença de fragmentos florestais);

b) Favorabilidade intrínseca do local para a regeneração natural, como: elevação (diferenças de cota altimétrica), formas de terreno e padrão climático;

c) Histórico ou intensidade do uso da terra.

Com relação ao contexto da paisagem, parte-se do princípio de que a regeneração natural é favorecida quando são encontradas fontes de propágulos em fragmentos florestais ou de vegetação nativa próximos, especialmente em matrizes com cobertura florestal preservada. Para estimar a influência local da matriz circundante, o modelo calcula a distância euclidiana (distância a fragmentos de vegetação nativa) e então normaliza esses valores em faixas de favorabilidade. Além disso, o modelo estima a região de influência para cada fragmento de vegetação com base em seu tamanho, assinalando todas as células do mapa ao fragmento mais próximo.

Posteriormente, multiplica-se cada valor pelo tamanho do fragmento mais próximo, de modo a contabilizar a maior chance de sucesso de colonização de propágulos oriundos de fragmentos maiores (MARTINS et al., 2014). Portanto, áreas equidistantes de fragmentos de vegetação nativa podem ter favorabilidade diferente, devido à influência da estrutura espacial do fragmento mais próximo.

Em relação à resiliência local ou capacidade intrínseca, as diferenças de elevação contribuem para a dispersão de propágulos, pois favorece a disponibilidade local de sementes/propágulos em áreas mais baixas (MARTINS et al., 2014). Assim, para calcular a influência da altitude cruzou-se o mapa de topos de morros, gerado nesse trabalho com base na metodologia proposta por Oliveira (2015) e Oliveira e Fernandes Filho (2016), com o mapa de uso da terra, a fim de identificar áreas cobertas de vegetação nativa e, então, calcular a distância a essas áreas. O mapa de altimetria (elevação) foi produzido a partir de imagens ASTER (NASA, 2016) disponíveis em uma resolução de 30 metros.

Em seguida, o modelo identifica formas de relevo que favorecem a regeneração natural. Em geral, formas côncavas e áreas topográficas mais baixas (áreas de acumulação) contêm maior umidade e nutrientes disponíveis que podem contribuir para o estabelecimento de propágulos (MARTINS et al., 2014). Desta forma, o modelo calcula a declividade e o fluxo acumulado no terreno (usando o mapa de elevação gerado na etapa anterior) e o mapa de direção de fluxo. O mapa resultante indica o fluxo acumulado recebido em cada célula do mapa (raster de 30 metros) usada para identificar as áreas de acumulação. Estas operações foram realizadas por meio dos algoritmos "calc_slope_map", "calc_flow_direction_map" e "calc_cumulative_flow_map" (disponíveis em www.csr.ufmg.br/dinamica/).

Foram consideradas ainda áreas de acumulação as regiões com formas de terreno classificadas como convergentes, de acordo com o banco de dados geomorfométricos do Brasil (http://www.dsr.inpe.br/topodata/), com declividade média menor que 25 graus. As formas convergentes foram então reclassificadas em formas côncavas, retilíneas e convexas, de modo a potencializar as áreas de acumulação nas áreas côncavas. A partir da identificação destas áreas, o modelo utiliza uma janela de 5 X 5 pixels (150 metros por 150 metros) que percorre todo o mapa assinalando as áreas máximas de acumulação (mapa de fluxo acumulado) e alocando suas áreas de influência normalizando os valores de favorabilidade com base na distância euclidiana ao máximo de acumulação.

Da mesma maneira, áreas com padrões de precipitação mais volumosa influenciam positivamente a taxa de regeneração natural (HOLL e AIDE, 2011; MARTINS et al., 2014). Assim, o modelo utiliza um mapa de precipitação média anual para determinar a influência do clima local na regeneração.

Por fim, a favorabilidade da regeneração natural é afetada negativamente pelo nível de degradação local, condicionada pela intensidade do uso da terra anterior, por exemplo, a qualidade do solo ou a viabilidade do banco de sementes após anos de práticas agrícolas (HOLL e AIDE, 2011). Para quantificar a influência do histórico de uso da terra (intensidade), foram utilizados os mapas de reconstrução do uso histórico da terra entre 1940 e 2012 obtidos por Dias et al. (2016). Mais especificamente foram utilizados os mapas de intensidade de cultivos agrícolas (Figura 30) e pastagens plantadas (Figura 31), que uma vez normalizados,

foram multiplicados pelo inverso do valor do índice de favorabilidade calculado para cada célula do mapa nas etapas anteriores (contexto da paisagem e resiliência local).

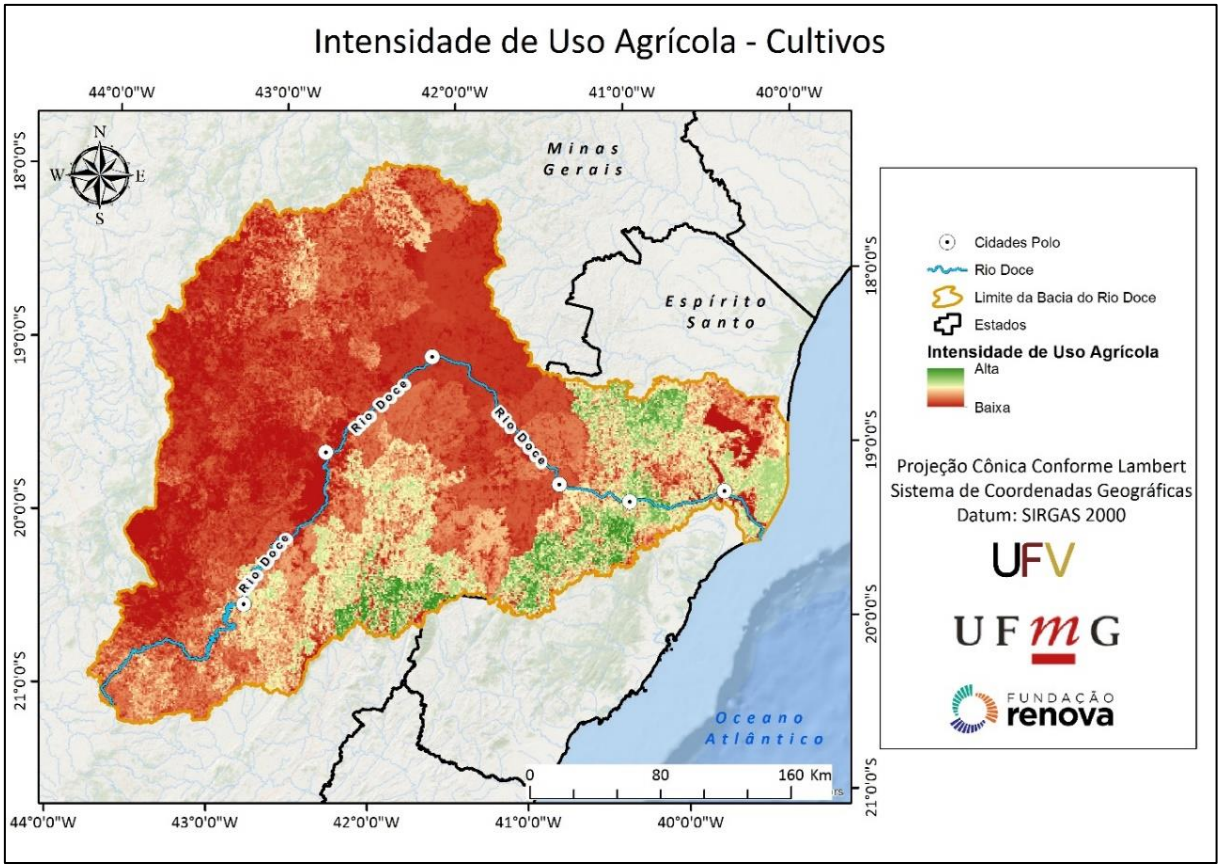


**Figura 30. Intensidade histórica de uso agrícola (cultivos) para a bacia do Rio Doce considerando o ano de 1995.**

**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG com base em Dias et al. (2016).**

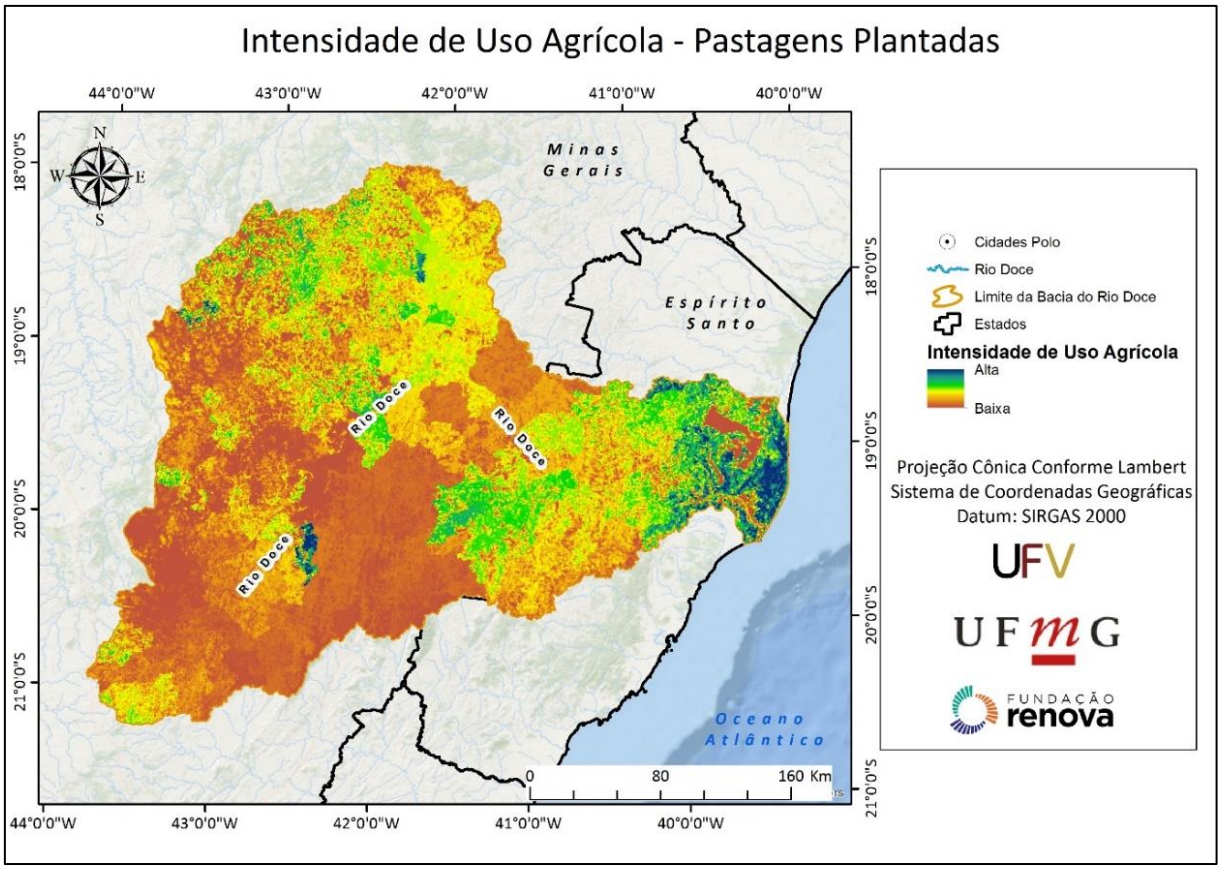


**Figura 31. Intensidade histórica de uso agrícola (pastagens plantadas) para a bacia do Rio Doce considerando o ano de 1995.**

**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG com base em Dias et al. (2016).**

Após a integração de todos os fatores descritos acima, o modelo gera mapas de favorabilidade do potencial de regeneração natural para cada fator usando uma abordagem de equalização de histogramas (Gonzalez e Woods 2008). Este procedimento é calculado pelo modelo usando as seguintes equações para cada variável de entrada do modelo.

$$px(i)=p(x=i)=\frac{ni}{n},\ 0 \le i < L \qquad \text{(Equação 2)}$$

Onde: *px(i)* = histograma da imagem para o valor de pixel i, normalizado para [0,1].

*ni* = número de ocorrências de nível i, *n* = número total de pixels na imagem e *L* = número total de níveis na imagem.

Posteriormente, uma função de distribuição acumulada correspondente a *px* é definida da seguinte maneira:

$$Cdf_x(i) = \sum_{j=0}^{i} px(j) \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde: *Cdfx* = a função de distribuição acumulada ou o histograma normalizado acumulado da imagem. Em seguida, uma transformação da forma *y = T (x)* é realizada para produzir uma nova imagem {y} com uma função de distribuição acumulada linear (CDF) em toda a faixa de valores, i.e.:

$$cdf_y(i) = iK \quad \text{(Equação 4)}$$

onde *k* é uma constante. Em seguida, uma função de distribuição inversa é definida como:

$$cdf_y(y`) = cdf_y(T(K)) = cdf_x(K) \quad \text{(Equação 5)}$$

onde *k* está no intervalo [0, *L*]). *T* mapeia os níveis no intervalo [0,1], já que o modelo utilizou um histograma normalizado de {x}. A fim de mapear os valores para seu intervalo original, a seguinte transformação precisa ser aplicada:

$$y` = y \,.\, (\max\{x\} - \min\{x\}) + \min\{x\} \quad \text{(Equação 6)}$$

Devido ao (re)mapeamento, o limite inferior do histograma resultante pode ser menor do que o valor mínimo no mapa de entrada. O limite superior do histograma pode ser maior do que o valor máximo do mapa de entrada ou vice-versa. Todos os mapas de saída foram então reclassificados usando uma abordagem equalizada variando de 0 a 100 a fim de padronizar novamente todos os fatores relacionados à favorabilidade de regeneração natural e permitir operações de álgebra de mapas.

Como resultado, a resolução espacial fina utilizada (30m × 30 m) permite a avaliação da influência dos principais fatores da paisagem no potencial de regeneração natural local, conforme indicado por estudos de restauração ecológica e manuais técnicos disponíveis (IMAFLORA 2008, RODRIGUEs et al. 2011, MARTINS et al. 2014, BIOFLORA 2015).

A aplicação do modelo para todo o território da bacia do Rio Doce aponta para uma área de 3,2 milhões de hectares com média-alta favorabilidade à regeneração natural, o que representa 44% das áreas antrópicas disponíveis para investimentos em restauração (sem cobertura vegetal nativa) (Figura 32). Para estas áreas, a princípio, são indicados métodos de

restauração passiva e intermediária (condução da regeneração natural) a serem refinados a partir de trabalhos de campo para confirmação da favorabilidade calculada e definição das técnicas de regeneração natural assistida. As demais áreas com baixa favorabilidade (4,3 milhões de hectares) indicam a necessidade de projetos de restauração ecológica baseados em plantios totais de espécies nativas para reversão do padrão de degradação local e na paisagem.

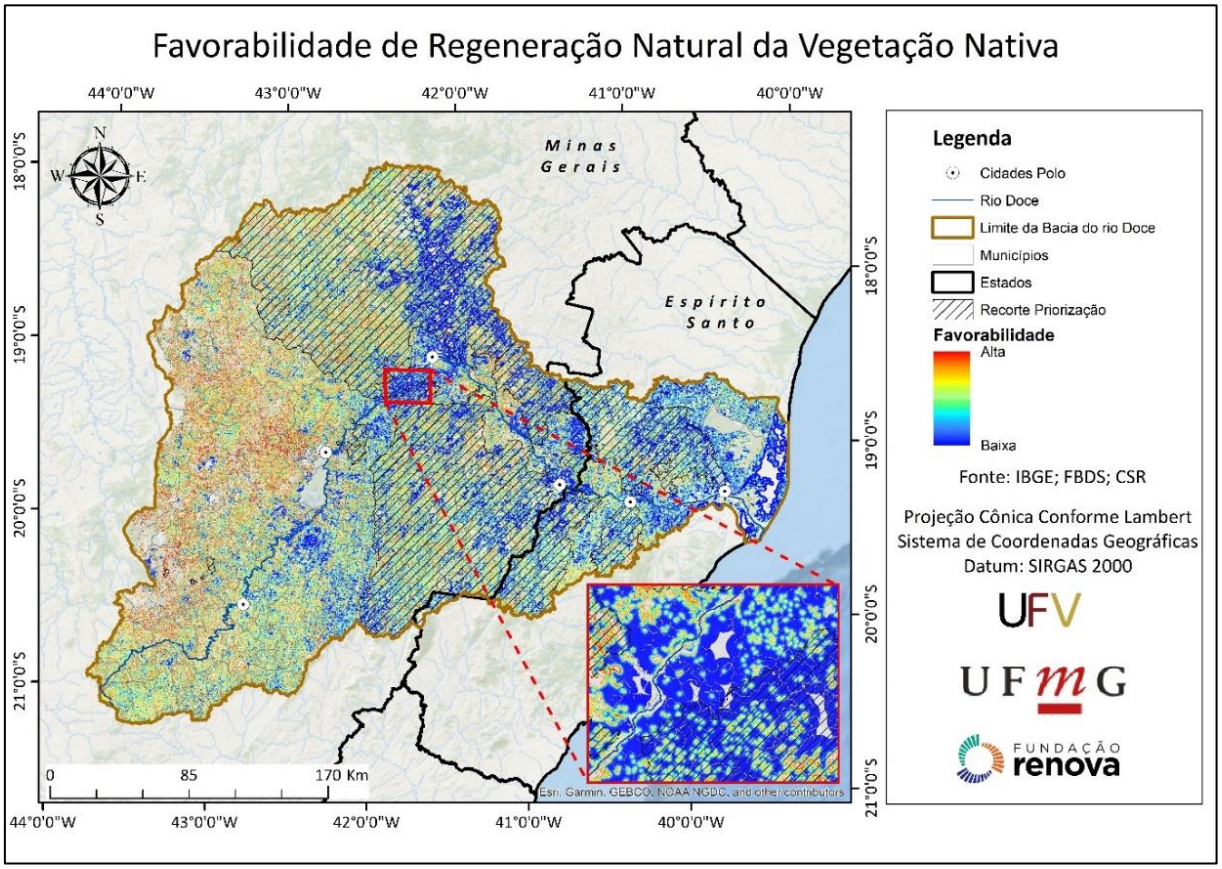


**Figura 32. Favorabilidade à regeneração natural da vegetação nativa distribuída ao longo da bacia do Rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

Considerando apenas as APPs ripárias em desconformidade com o código florestal, são estimados cerca de 550 mil hectares. Deste total, 258 mil hectares são apontados como de alta favorabilidade à regeneração natural. É importante destacar que, em razão da fina resolução espacial utilizada, as áreas de baixa e alta favorabilidade podem ser contabilizadas no nível de município considerando áreas de interesse específicos como, por exemplo, áreas de passivo ambiental. Pode-se utilizar também a contabilização por área dos imóveis rurais

registrados no Cadastro Ambiental Rural (Figura 13), que cobrem atualmente cerca de 50% da área da bacia. Todos estes cruzamentos de informações poderão ser realizados por meio da manipulação dos mapas e metadados produzidos pelo projeto e que serão entregues à Fundação Renova.

# 4. CRITÉRIOS DE PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

A recuperação ambiental em uma bacia hidrográfica é um complexo problema de gestão ambiental, com condições que podem encorajar conflitos entre grupos com diferentes interesses, com base na diversidade dos objetivos de uso e ocupação da terra. As ações de restauração florestal representam, no entanto, uma das soluções mais viáveis para a melhoria da qualidade e quantidade de água (ARONSON e ALEXANDER, 2013; JYRI et al., 2000). Uma das questões fundamentais e um ponto chave para a condução da regeneração natural e reflorestamento é a identificação de áreas que devem ser prioritárias para intervenção (VALLAURI et al. 2005). A priorização é um tema bastante comum na ciência da conservação e está relacionado principalmente às preocupações de natureza econômica: os recursos financeiros são limitados e, portanto, os esforços de conservação devem se concentrar em áreas onde as intervenções produzirão os maiores benefícios.

A seleção de áreas com prioridade de reflorestamento depende fortemente dos objetivos da ação de recomposição, como, a conservação da biodiversidade, o controle da erosão, a regularização hídrica, entre outros. A identificação das áreas prioritárias para este fim pode ser vista, então, como um problema de planejamento territorial, em que critérios ambientais e questões socioeconômicas estão envolvidas (KANGAS et al, 2005). Segundo Francisco et al. (2008) alguns aspectos importantes devem ser considerados na geração de mapas de priorização: (i) evitar critérios com sobreposição, ou seja, critérios que no todo ou em parte possam representar o mesmo indicador; (ii) realizar adequado julgamento de valor para os critérios; (iii) selecionar critérios de natureza diversa, como por exemplo, sociais ou econômicos, além dos ambientais; (iv) usar a experiência do tomador de decisão como complementar aos resultados obtidos com os especialistas.

Os critérios podem ser classificados em fatores e restrições e podem estar relacionados tanto com os atributos de um indivíduo como com um conjunto de decisões compartilhadas. Os fatores representam as características críticas da paisagem, especialmente aquelas que influenciam o objetivo do processo de restauração, enquanto as restrições impõem limitações

ao conjunto de alternativas de decisão e servem para excluir áreas e determinar os limites espaciais para a distribuição das possibilidades de escolha (EASTMAN, 2009).

Nas seções anteriores foi descrito como foram definidos os mananciais alternativos que preferencialmente irão receber as ações de restauração florestal. Também foi descrito a metodologia utilizada para identificar as áreas de preservação permanente ripárias (APPR) e zonas de recarga que serão alvo das ações de recuperação em toda a bacia. Na sequência será apresentada a metodologia utilizada para definir a priorização para a recuperação ambiental em toda bacia que, juntamente com o recorte territorial apresentado anteriormente, irá determinar a localização das intervenções. A priorização para a recuperação ambiental foi definida a partir da combinação de três critérios representados pelo Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA), Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) e Índice de Vocação para Recuperação Ambiental (IVR), descritos em detalhe a seguir.

# 5. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

O termo "vulnerabilidade ambiental" está relacionado ao risco de danos ao ambiente natural ou a um tipo particular de ecossistema. De acordo com Turner *et al.* (2003), vulnerabilidade é "o grau em que um sistema, subsistema ou componente do sistema é susceptível de sofrer danos devido a exposição a um risco, seja uma perturbação ou um estresse".

A avaliação da vulnerabilidade é fundamental para a gestão ambiental em uma bacia hidrográfica, pois permite a identificação de áreas ou recursos em risco e as ameaças impostas pela diminuição ou perda de tais recursos (WANG, LIU e YANG, 2008). Embora essa seja uma área de pesquisa relativamente nova, a avaliação da tendência de vulnerabilidade ambiental foi desenvolvida rapidamente nos últimos anos e pode fornecer informações cruciais para que os tomadores de decisão aloquem recursos limitados na implementação de medidas alternativas de redução dessa vulnerabilidade (IPCC, 2001).

Os mecanismos de avaliação da vulnerabilidade ambiental variam de região para região, devido às diferenças ambientais regionais. Portanto, é necessário desenvolver um conjunto de indicadores locais que sejam adequados para a situação de cada estudo de caso, uma vez que, atualmente, não existem indicadores universalmente aplicáveis (BEROYA-EITNER, 2016). Adicionalmente, saber como converter corretamente dados de múltiplas fontes, como dados relacionados às condições climáticas, cobertura do solo e condição econômica em um índice de avaliação integrado, também é importante para a avaliação da vulnerabilidade (MUNDA, NIJKAMP e RIETVELD, 1994).

Neste trabalho foi estabelecida uma metodologia para mapear a vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Doce utilizando análise multicritério e sistema de informações geográficas (SIG). Considerando a literatura e as condições locais da região e com base em pesquisas anteriores, no presente estudo foram identificados cinco parâmetros como principais critérios para definição da vulnerabilidade ambiental: adequação do uso do solo, potencial de erosão, balanço hídrico quantitativo e queimadas/focos de calor.

Cada critério foi representado por uma camada temática espacial derivada de imagens de satélite ou de dados espaciais oficiais, podendo ser um mapa classificado (por exemplo,

adequação do uso do solo) ou um mapa de valores contínuos (por exemplo, potencial de erosão). Para a análise de decisão, os valores e classes de todos os mapas foram convertidos em uma escala comum para reduzir a dimensionalidade. A escala de padronização utilizada foi de 0 a 255, de tal forma que as células em um mapa que são altamente vulneráveis ambientalmente receberam valores padronizados elevados e as células menos vulneráveis receberam valores padronizados baixos.

Após a padronização, a importância relativa dos critérios (pesos finais) das camadas foi obtida por meio do Processo Analítico Hierárquico (AHP), e os mapas foram multiplicados em ambiente SIG, para a obtenção do mapa final. A descrição das fontes de dados e procedimentos de análise de cada um dos critérios, bem como a obtenção dos pesos da análise AHP serão detalhados nos itens a seguir.

## 5.1. ADEQUAÇÃO DO USO DO SOLO

A adequação do uso do solo consiste na comparação entre o uso indicado de uma porção da terra com o uso atual. Com base nessa análise identificou-se locais cujos usos estão em acordo ou descordo com o indicado, sendo que locais cujas intensidades de uso estão acima do indicado contribuem mais intensamente com as externalidades negativas da mudança de uso e cobertura.

A adequação do uso do solo foi realizada com base na metodologia de capacidade de uso da terra proposta por Lepsch et al. (2015) e Rio Grande do Sul (1979), a qual é utilizada para fins de planejamento conservacionista em uma série de sistemas de classificação das terras e consiste na determinação da intensidade que a terra pode ser utilizada sem que ocorra a redução da sua capacidade produtiva em decorrência da erosão do solo (LEPSCH et al., 2015; PRUSKI, 2009). As classes de capacidade de uso da terra seguem a ordem crescente de limitação, variando de I a VIII. Portanto, a Classe I refere-se a porções de terra as quais podem ser utilizadas mais intensamente e a Classe VIII as que se reservam a floresta nativa. A capacidade de uso foi determinada a partir da sobreposição de critérios relacionados ao solo, relevo (LEPSCH et al., 2015; Rio Grande do Sul, 1979) e aspectos legais.

Com relação ao solo, os fatores utilizados na determinação da capacidade foram a profundidade efetiva, a drenagem interna, o risco de inundação e a fertilidade aparente (Tabela 12), sendo que o grau de erosão laminar, a presença de sulcos superficiais, sulcos rasos, sulcos profundos e voçorocas foram desconsiderados devido à ausência de bases de dados. A partir da Tabela 12 e do mapa de solos da bacia do rio Doce, especialistas em pedologia do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa enquadraram as unidades de mapeamento de solos nas classes de capacidade de uso. Na Tabela 13 são apresentadas as classes de capacidade atribuídas a cada unidade de mapeamento presente na bacia do rio Doce para os fatores considerados e a classe limitante. Na Figura 33 é apresentado o mapa de capacidade de uso na bacia considerando a classe limitante para cada unidade de mapeamento.

**Tabela 12. Classes de capacidade de uso em função de característica dos solos proposto por Rio Grande do Sul (1979)**

| Limitação | | Classes de capacidade de uso | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| Profundidade Efetiva | muito profundo | | | | x | x | x | x | x |
| | profundo | | x | x | x | x | x | x | x |
| | moderado | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | raso | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | - muito raso | | | | | | x | x | x |
| Drenagem Interna | excessiva | | | | x | x | x | x | x |
| | boa | | x | x | x | x | x | x | x |
| | moderada | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | pobre | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | muito pobre | | | x | | x | x | x | x |
| Fertilidade Aparente | muito alta | | | | x | x | x | x | x |
| | alta | | x | x | x | x | x | x | x |
| | média | x | x | x | x | x | x | x | x |
| | baixa | x | x | x | x | | x | x | x |
| | muito baixa | | | x | | | x | x | x |
| Risco de Inundação | ocasional | | | | | | | | x |
| | frequente | | | X | | x | | | x |
| | muito frequente | | | | | x | | | x |

**Tabela 13. Classes de capacidade de uso e manejo da terra considerando o solo como fator restritivo**

| Classe | Profundidade | Drenagem Interna | Risco de Inundação | Fertilidade Aparente | Limitante |
|---|---|---|---|---|---|
| AR | VIII | - | - | - | VIII |
| CHa | III | II | - | IV | IV |
| CHd | III | II | - | IV | IV |
| CXbd | III | II | - | IV | IV |
| CXbe | III | II | - | II | III |
| CYbe | II | III | III | II | III |
| EKg | II | II | VI | VI | VI |
| EKo | I | I | VI | VI | VI |
| GJo | IV | V | VIII | III | VIII |
| LAd | I | II | - | VI | VI |
| LAdx | I | III | - | VI | VI |
| LAw | I | II | - | VI | VI |
| LVAd | I | I | - | VI | VI |
| LVd | I | I | - | VI | VI |
| NVe | II | III | III | II | III |
| PAdx | II | III | III | III | III |
| PVAd | II | III | III | III | III |
| PVAe | II | III | III | II | III |
| PVd | II | III | III | III | III |
| PVe | II | III | III | II | III |
| RLd | V | II | III | V | V |
| RLde | V | II | III | IV | V |
| RLdh | V | III | II | V | V |
| RLh | V | III | II | V | V |
| RQg | II | II | VI | VI | II |
| SM | - | VIII | VIII | - | VIII |

* Classificação conforme sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2013): Prof = Profundidade efetiva; Dren = Drenagem interna; Inund = Risco de inundação; Lim = Classe limitante do solo; AR = Afloramentos rochosos; CHa = Cambissolo húmico alumínico; CHd = Cambissolo húmico distrófico; CXbd = Cambissolo háplico tb distrófico; CXbe = Cambissolo háplico tb eutrófico; CYbe = Cambissolo flúvico tb eutrófico; EKg = Espodossolo humilúvico hidromórfico espessoarênico; Eko = Espodossolo humilúvico órtico espessoarênico; Gjo = Gleissolo tiomórfico órtico; LAd = Latossolo amarelo distrófico; LAdx = Latossolo amarelo distrocoeso; Law = Latossolo amarelo ácrico; LVAd = Latossolo vermelho-amarelo distrófico; LVd = Latossolo vermelho distrófico; NVe = Nitossolo vermelho eutrófico; PVx = Argissolo vermelho distrocoeso; PVAd = Argissolo vermelho-amarelo distrófico; PVAe = Argissolo vermelho-amarelo eutrófico; PVd = Argissolo vermelho distrófico; PVe = Argissolo vermelho eutrófico; RLd = Neossolo litólico distrófico; RLde = Neossolo litólico distrófico e eutrófico; RLdh = Neossolo litólico distrófico húmico; RLh = Neossolo litólico húmico; RQg = Neossolo quartzarênico órtico; SM = Solos de mangue, manguezal e campo halófico.

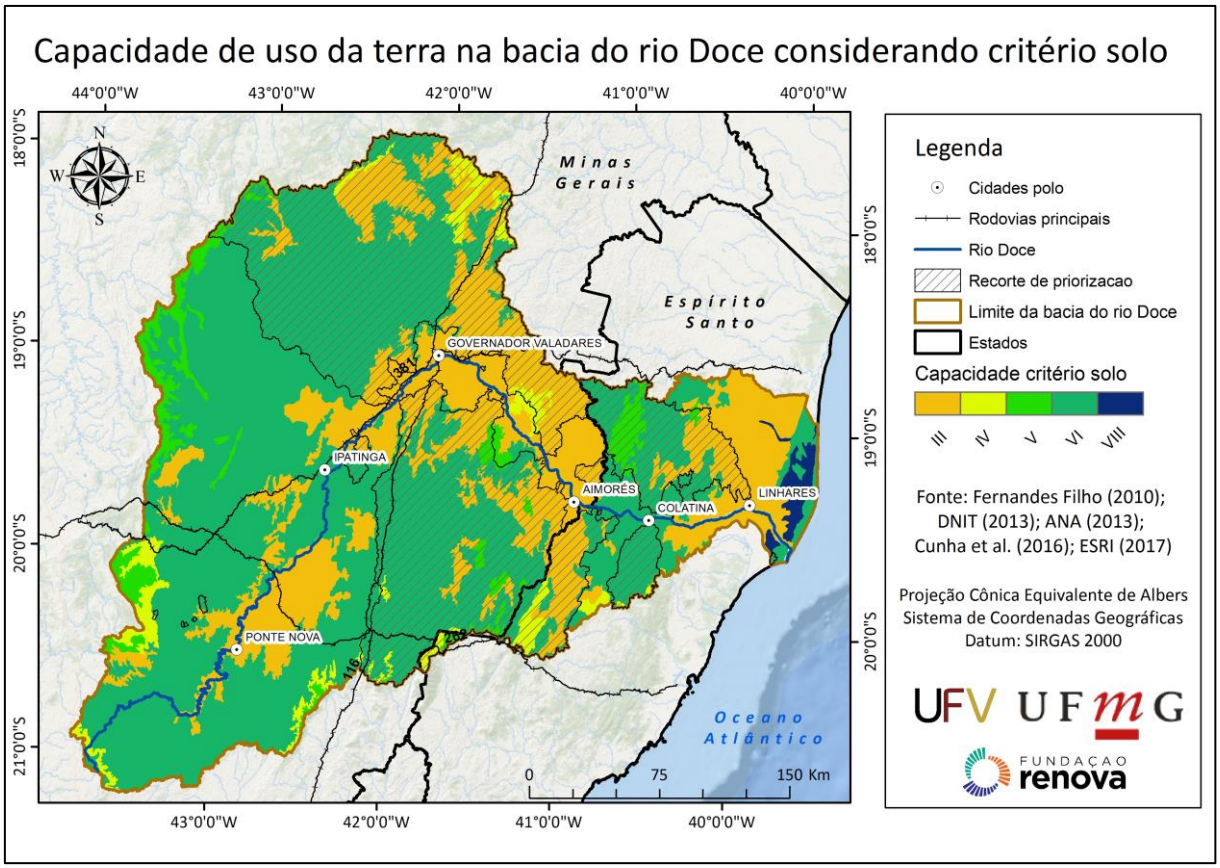


**Figura 33. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando o solo como fator restritivo.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Em relação ao relevo, foram considerados dois critérios, a declividade e posição no relevo. A capacidade de uso com base na declividade foi determinada a partir de adaptação dos intervalos apresentados por Lepsch et al. (2015) (Tabela 14, Figura 34), enquanto que em relação à posição do relevo foi determinada conforme metodologia apresentada por Calegario et al. (2017), a qual consiste na divisão das elevações do relevo em terços e, a partir da declividade do terço médio, estima-se a capacidade de uso nos terços superiores (Tabela 15, Figura 35). A consideração da posição do relevo é muito importante em termos de recuperação ambiental, pois as zonas superiores do relevo são vitais para a conservação de solo e água, já que asseguram à água o maior nível energético possível e retardam sua chegada aos cursos de água (PRUSKI, 2009), podendo até serem consideradas como zonas de recarga hídrica (FALKENMARK, 2011; FREEZE e CHERRY, 1979).

**Tabela 14. Classes de Capacidade de Uso (CU) considerando a declividade como fator restritivo**

| Declividade | CU |
|---|---|
| 0 a 2% | I |
| 2 a 5% | II |
| 5 a 10% | III |
| 10 a 20% | IV |
| 20 a 30% | V |
| 30 a 45% | VI |
| 45% a 70% | VII |
| > 70% | VIII |

Fonte: adaptado de Lepsch et al. (2015).

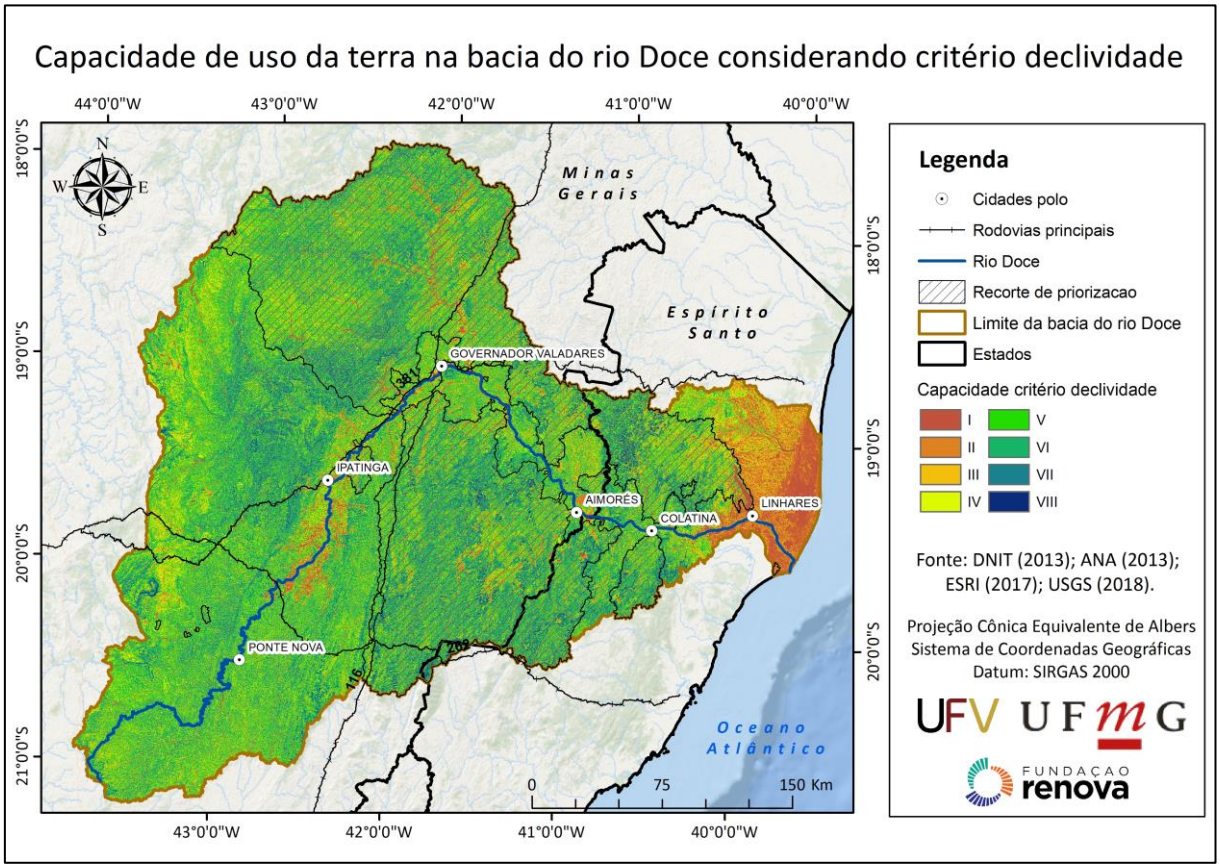


**Figura 34. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando a declividade como fator restritivo.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

**Tabela 15. Classes de Capacidade de Uso (CU) considerando o terço superior como fator restritivo**

| Classe de declividade média do terço médio | Classe de capacidade de uso da terra no terço superior |
|---|---|
| 0 a 2% | II |
| 2 a 5% | III |
| 5 a 10% | IV |
| 10 a 20% | V |
| 20 a 30% | VI |
| 30 a 45% | VII |
| 45% a 70% | VIII |
| > 70% | VIII |

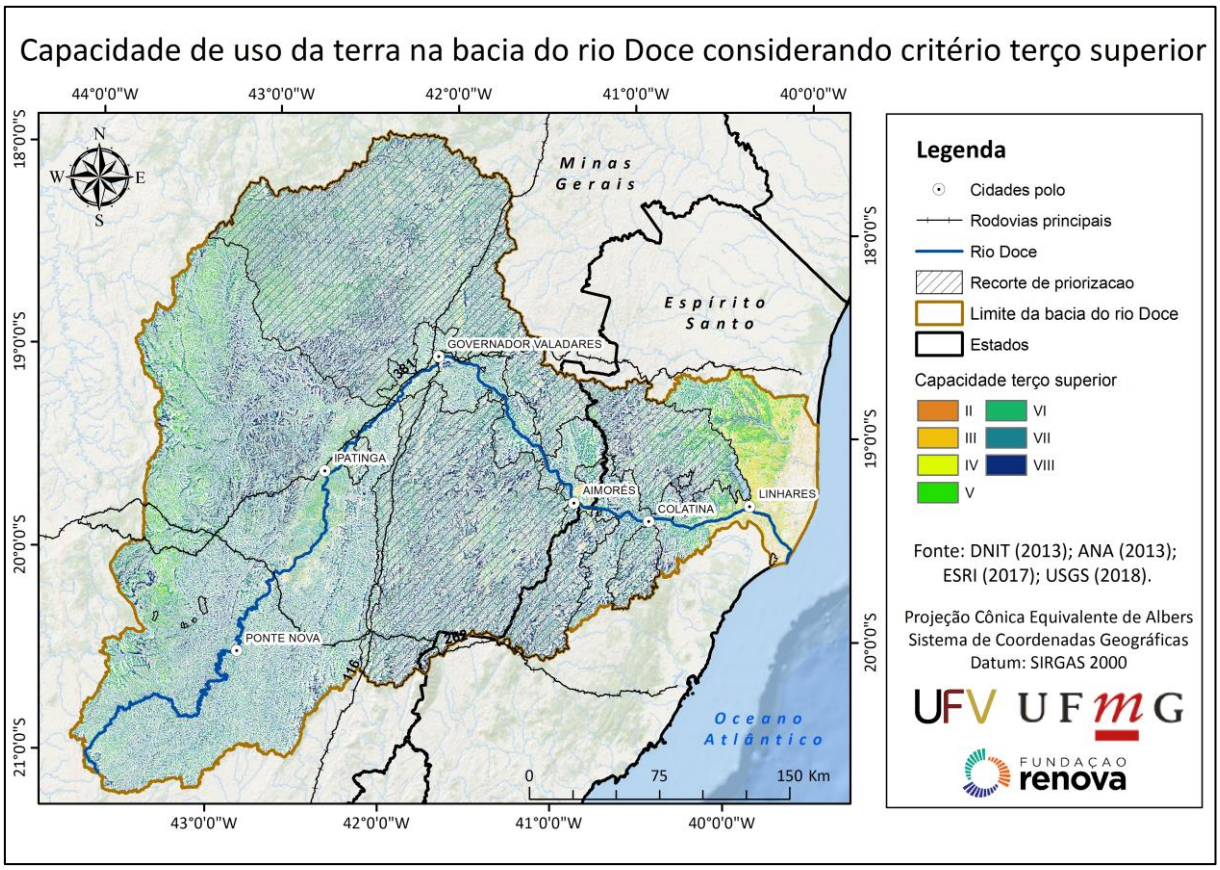


**Figura 35. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando o terço superior como fator restritivo.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Em relação aos aspectos legais, considerou-se as limitações de uso em Áreas de Preservação Permanente (APPs) impostas pela Lei de proteção da vegetação nativa (Lei 12651/2012). Portanto, às APPs de topo de morro, de declividade e ripárias foram atribuídas classes de capacidade VIII, visto que são áreas destinadas à cobertura florestal.

**Figura 36. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando aspectos legais como fator restritivo.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

A partir da sobreposição de todos os critérios apresentados, pixel a pixel, obteve-se o mapa de capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce, ou seja, o uso indicado em cada pixel da bacia (Figura 37).

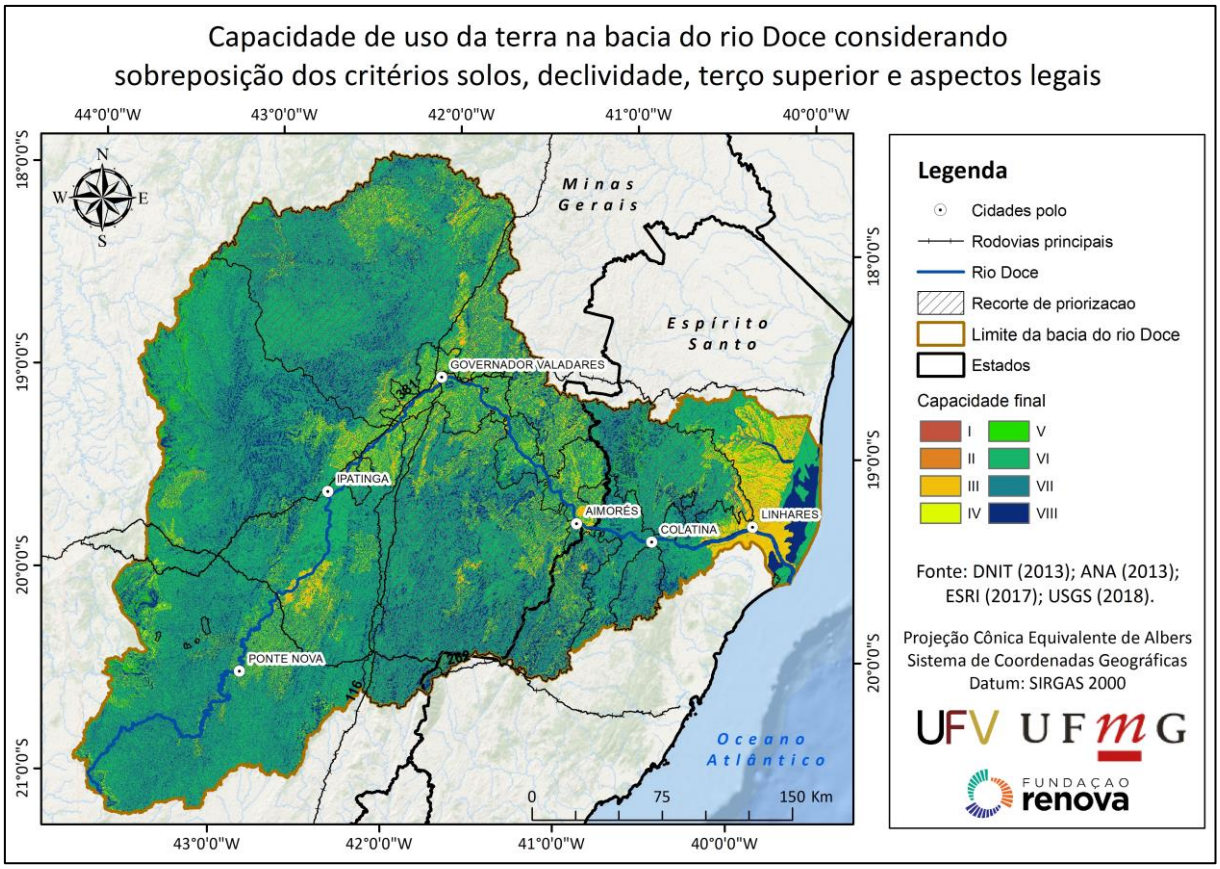


**Figura 37. Capacidade de uso da terra na bacia do rio Doce considerando solos, declividade, terço superior e aspectos legais como fatores restritivos.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Para realizar a análise de adequação do uso do solo fez-se necessário associar uma classe de intensidade de uso dos solos aos usos e coberturas identificados na bacia. Para tal foi utilizado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), conforme Equação 1, o qual tem sido amplamente aplicado em estudos de diferenciação da vegetação via sensoriamento remoto por permitir expressiva correlação com parâmetros de avaliação comumente utilizados na caracterização do estrato vegetal, como fitomassa, área foliar, atividade fotossintética, produtividade e porcentagem de cobertura vegetal (ROUSE et al., 1973; INAES, 2015; BERNARDI et al., 2017). Dessa maneira, estimou-se indiretamente a biomassa vegetal que cobre o solo, sendo este um indicativo de proteção do solo contra a energia da precipitação.

As imagens utilizadas foram do satélite Landsat 8 da época seca (julho a outubro) dos anos de 2015 e 2016, em virtude de terem sido os únicos anos em que foi possível adquirir imagens para toda a bacia livre de nuvens. Ressalta-se que as imagens orbitais do satélite eram da mesma data e que as datas das diferentes órbitas foram escolhidas de maneira que as

respostas espectrais fossem semelhantes. As datas das imagens utilizadas são apresentadas na Tabela 16.

**Tabela 16. Data de aquisição das imagens do satélite Landsat 8 segundo ponto e órbita**

| Ponto / Órbita | 218 | 217 | 216 | 215 |
|---|---|---|---|---|
| 72 | - | 10/08/2016 | - | - |
| 73 | 16/07/2016 | 10/08/2016 | 04/10/2015 | 27/07/2016 |
| 74 | 16/07/2016 | 10/08/2016 | 04/10/2015 | 27/07/2016 |
| 75 | - | 10/08/2016 | - | - |

Fonte: USGS (2018).

A metodologia para determinação da intensidade de uso do solo constou de quatro etapas: (i) obtenção dos valores de NDVI; (ii) confronto das imagens do NDVI e Google Earth para determinação do limite inferior de NDVI referente às áreas de solo exposto; (iii) exclusão de valores de NDVI isolados na cauda superior dos histogramas; e (iv) divisão do intervalo entre o NDVI referente ao limite superior do solo exposto (etapa ii) e o maior NDVI (etapa iii) em quatro intervalos equidistantes. Dessa maneira, obteve-se cinco intervalos, sendo a estes atribuídos classe de capacidade I, II, IV, VI e VIII. O mapa de classes de intensidade de uso é apresentado na Figura 38, enquanto que as percentagens e descrição associadas aos cinco níveis são apresentadas na Tabela 17.

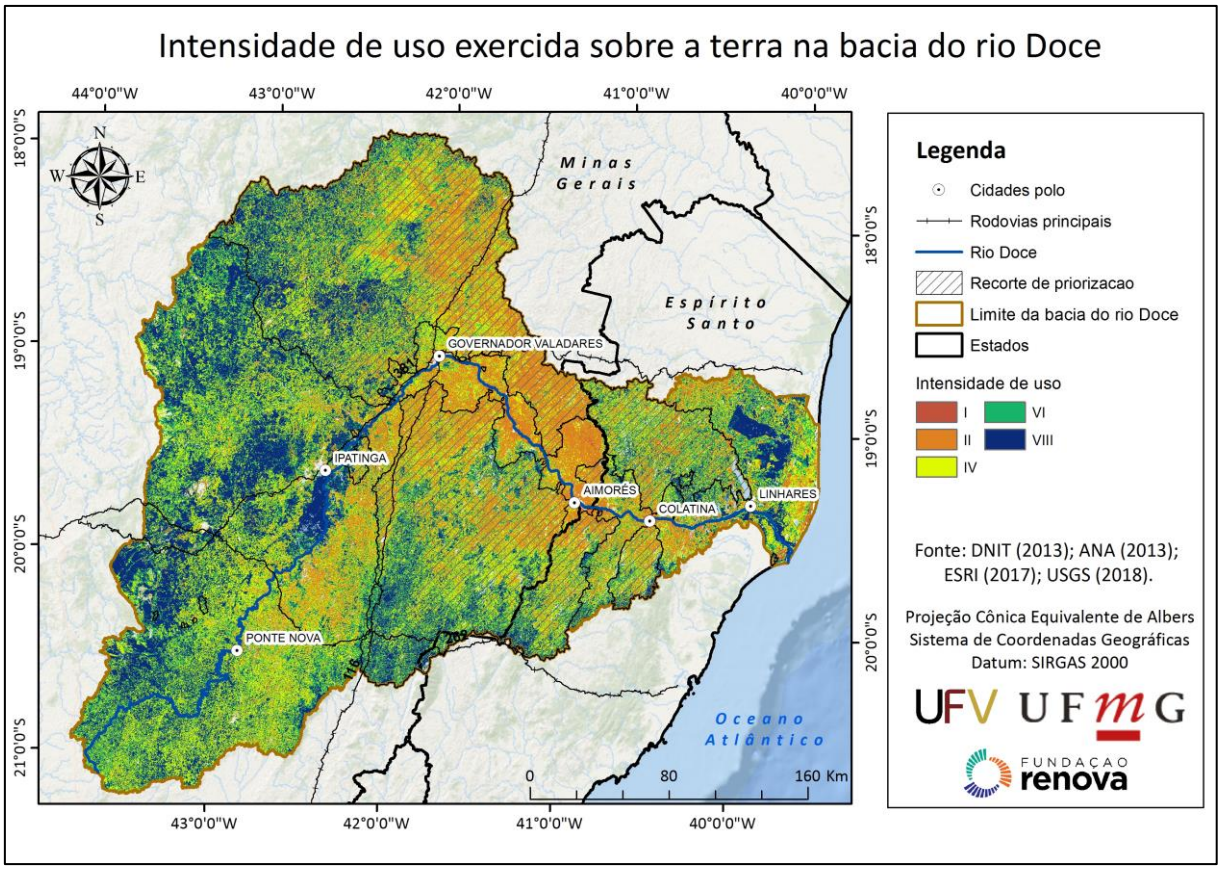


**Figura 38. Intensidade de uso da terra na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

**Tabela 17.Classes de intensidade de uso do uso e cobertura do solo**

| Classe de intensidade de uso | Descrição | Percentagem (%) |
|---|---|---|
| I | Regiões com extensas áreas de solo completamente exposto. | 0,8 |
| II | Uso predominante de pastagens degradadas e áreas com monodominância de aroeiras | 20,6 |
| IV | Uso predominante de pastagens, cultivos permanentes e áreas com monodominância de aroeiras | 29,1 |
| VI | Florestas plantadas, cultivos permanentes, bordas de formações florestais e capoeiras | 23,1 |
| VIII | Formações florestais e florestas plantadas | 23,7 |
| Usos desconsiderados | Afloramentos Rochosos, áreas urbanas e corpos d'água | 2,7 |

A partir dos mapas de capacidade e intensidade de uso da bacia foi determinado o número de classes excedentes (NCE), que representa o quanto o solo está sendo utilizado em relação à sua capacidade, definida pela Equação 7.

$$NCE=CCU-CUA \quad \text{(Equação 7)}$$

Em que CCU= classe de capacidade de uso do solo, adimensional; e CUA= classe de intensidade de uso, adimensional.

Como existem oito classes de capacidade de uso da terra no sistema de classificação utilizada, a equação permite obter resultados que variam de 7 a -7, sendo que resultados positivos, negativos e nulos indicam, respectivamente, que o solo está sendo utilizado além da sua capacidade de uso, abaixo da sua capacidade de uso e de acordo com sua capacidade de uso e manejo. Considerando que o objetivo do trabalho foi a identificação de áreas sobreutilizadas, atribuiu-se às áreas subutilizadas (NCE negativo) o valor 0 e, portanto, o intervalo de variação final do NCE foi de 0 a 7, sendo que os valores foram reclassificados para o intervalo de 0 a 255. O mapa de NCE da bacia é apresentado na Figura 39.

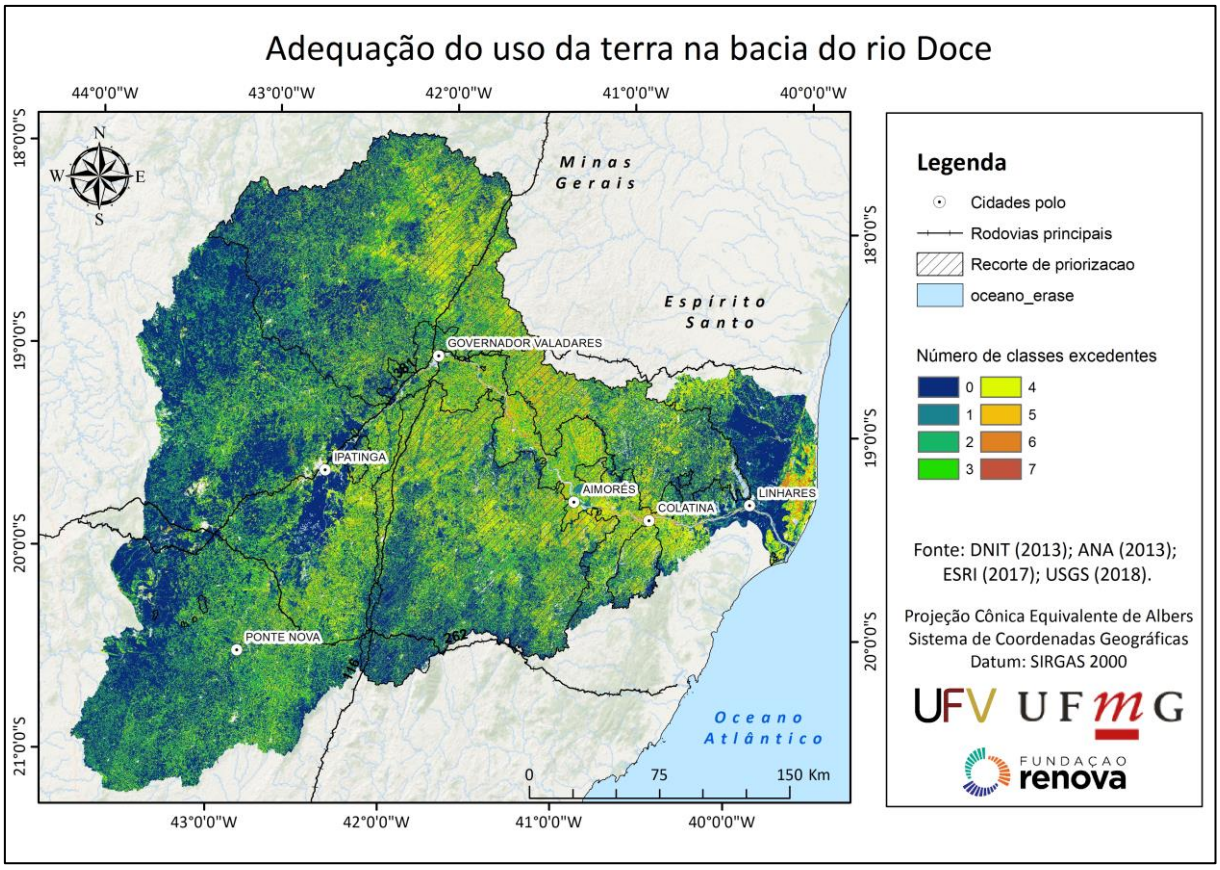


**Figura 39. Adequação de uso da terra na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

## 5.2. POTENCIAL DE EROSÃO

A erosão dos solos em bacias hidrográficas é um dos principais problemas ambientais da atualidade, uma vez que reduz a capacidade produtiva, acelera o processo de desertificação e compromete as práticas agropecuárias e florestais.

Especialmente em áreas agrícolas, as perdas de solos representam um grande prejuízo do posto de vista econômico e ambiental, sendo suas principais causas a remoção e o transporte das partículas do solo, quer seja pela ação do vento, quer seja pela ação da água (LEPSCH, 2010).

De maneira geral, o processo erosivo implica uma redução da porosidade total do solo, consequentemente na sua capacidade de retenção e infiltração, aumentando o escoamento superficial, o que resulta num aumento do transporte de sedimentos e assoreamento de corpos hídricos (DURÃES, MELLO; 2016).

Dentre os tipos de erosão, a erosão hídrica destaca-se pela capacidade de remoção e transporte de sedimentos, que ocorrem de duas maneiras distintas, laminar e em sulcos. A erosão laminar é resultado da remoção de uma fina camada na superfície do solo; já a erosão em sulcos é caracterizada pela formação de pequenos sulcos, que podem se aprofundar no perfil do solo e formar voçorocas, expondo outros horizontes do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Em regiões de clima tropical a erosão hídrica tende a ser mais severa do que em outros tipos de clima, uma vez que, via de regra, nessas áreas ocorrem maiores índices pluviométricos.

Por se encontrar dentro de uma região de clima tropical, a bacia do rio Doce é caracterizada por concentrar as precipitações nos meses de outubro a março, com chuvas de grande intensidade em períodos curtos de tempo, tornando o processo erosivo ainda mais severo, em decorrência do grande impacto das gotas de chuva na superfície do solo (MARTINS et al. 2010).

Sendo assim, para mitigar os processos erosivos é necessário o conhecimento dos tipos de solos, topografia, drenagem natural ou artificial e as condições de estabilidade dos taludes, visando adequar a cobertura do solo. Nesse contexto, uma das maneiras de fornecer subsídios para a seleção de áreas prioritárias para conservação e recuperação florestal é a utilização de mapas espacializados da erosão do solo.

Uma metodologia que tem sido amplamente utilizada para tal aplicação é a Equação Universal de Perda de solos (USLE). Formulada por Wischmeier e Smith (1978) a USLE é amplamente utilizada devido a sua simplicidade (BESKOW et al., 2009).

A USLE (Equação 8) é composta por diversos fatores que, em conjunto, influenciam no processo erosivo, sendo esses: a erosividade da chuva (R), a erodibilidade do solo (K),o uso e manejo do solo (C), as práticas conservacionistas (P) e a topografia (LS), sendo este último resultado da ação conjunta do comprimento de rampa (L) e da declividade do solo (S).

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \qquad \text{(Equação 8)}$$

Em que: A = perda de solo por unidade de área, em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$; R = fator erosividade da chuva, em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}ano^{-1}$; K = fator erodibilidade do solo, em $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$, L = fator

comprimento da encosta (adimensional); S = fator de declividade; C = fator uso e manejo; P = fator de prática conservacionista.

Devido à grande utilização de sistemas de informação geográfica, os estudos dos processos erosivos em bacias hidrográficas estão sendo favorecidos do ponto de vista da análise das complexidades que envolvem o assunto (DURÃES e MELLO, 2016). Cabe também mencionar que, conforme Salomão (2005), quando se aplica a USLE para fins de estudos regionais ou para grandes bacias hidrográficas, os valores de perda de solo devem ser usados apenas para caracterizar, qualitativamente, as áreas de maior ou menor erosão laminar.

Por considerar fatores de ordem não natural, como a intervenção antrópica no manejo do uso do solo e a adoção de práticas conservacionistas, alguns pesquisadores têm preferido utilizar o Potencial Natural de Erosão (PNE), utilizando, para tanto, a adoção apenas de parâmetros físicos da USLE (MORAIS e SALES, 2017).

O PNE demonstra a expectativa de perda de solo, não levando em consideração o uso e cobertura da terra, ou seja, corresponde às perdas de solo em áreas sem qualquer cobertura vegetal e sem qualquer intervenção antrópica (MARTINS et al. 2010; OLIVEIRA et al., 2015).

A metodologia utilizada nesse trabalho, Equação 9, tem como pressuposto que o PNE pode auxiliar na gestão ambiental, mais especificamente no diagnóstico das áreas que possuem maior susceptibilidade a erosão, sendo essas áreas prioritárias para restauração e recomposição florestal.

$$PNE = R \cdot K \cdot L \cdot S \qquad \text{(Equação 9)}$$

Em que: PNE = potencial natural a erosão, em $t.ha^{-1}.ano^{-1}$; R = fator erosividade da chuva, em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}ano^{-1}$; K = fator erodibilidade do solo, em $t.h.MJ^{-1}.mm^{-1}$, L = fator comprimento da encosta (adimensional); S = fator de declividade.

### 5.2.1. EROSIVIDADE DA CHUVA

A erosividade da chuva, denominada de fator R, expressa capacidade da chuva, em uma determinada localidade, causar erosão em um solo descoberto (BERTONI; LOMBARDI NETO,

2014). Está relacionada ao impacto das gotas que, devido à sua energia cinética, quebram os agregados do solo, tornando-os mais leves e susceptíveis ao arraste pela água.

O fator R, para ser aplicado ao PNE, deverá ser representado pela média anual da chuva e não para eventos individuais de precipitação. Devido ao fato de no Brasil a rede de monitoramento pluviográfico ser escassa, a erosividade da chuva tem sido calculada com base em dados pluviométricos, quando o ideal seria utilizar dados pluviofráficos.

O resultado do fator R nada mais é que a soma dos valores mensais dos índices de erosão, denominados de $EI_{30}$. O cálculo do $EI_{30}$ é estimado conforme a Equação 10 a seguir:

$$EI_{30} = 85{,}672 * \left(\frac{p^2}{P}\right)^{0{,}6557} \qquad \text{(Equação 10)}$$

Em que: $EI_{30}$ = média mensal do índice de erosão, em $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}$; p = precipitação média mensal, em mm; P = precipitação média anual.

A equação anteriormente explicitada, foi obtida por Aquino et al. (2014), a partir de dados pluviográficos correspondendo ao período de 1931 a 2004, obtidos na estação climatológica de Lavras.

Para o presente trabalho adotou-se, como dados médios mensais, as precipitações do WorldClim, espacializadas em um grid de 1 km², referentes ao período de 1970 a 2000. Optou-se pela utilização dessa base de dados por dois motivos distintos: primeiro, os rasters referentes às precipitações mensais foram obtidos de dados normais, obtidos de 30 anos de dados (1970 a 2000); e, segundo, que a base de dados apresenta resolução espacial de 1 km², que foi a mais próxima da resolução adotada no presente trabalho, que foi de 30 m.

Na Figura 40 é apresentado o mapa resultado do fator R para a bacia o rio Doce. Nota-se que nas regiões de cabeceira da bacia ocorrem maiores totais precipitados anuais e, consequentemente, maiores valores de energia cinética proveniente do impacto das gotas de chuva, causando maior erosividade da chuva e maior a propensão a erosão. Nesse trabalho os valores de erosividade da chuva (R) variaram entre 4.200 e 5.850 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$; valores semelhantes aos encontrados por Farinasso et al. (2006) que obtiveram para a região do Alto Parnaíba valores entre 3.500 e 5.000 $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$.

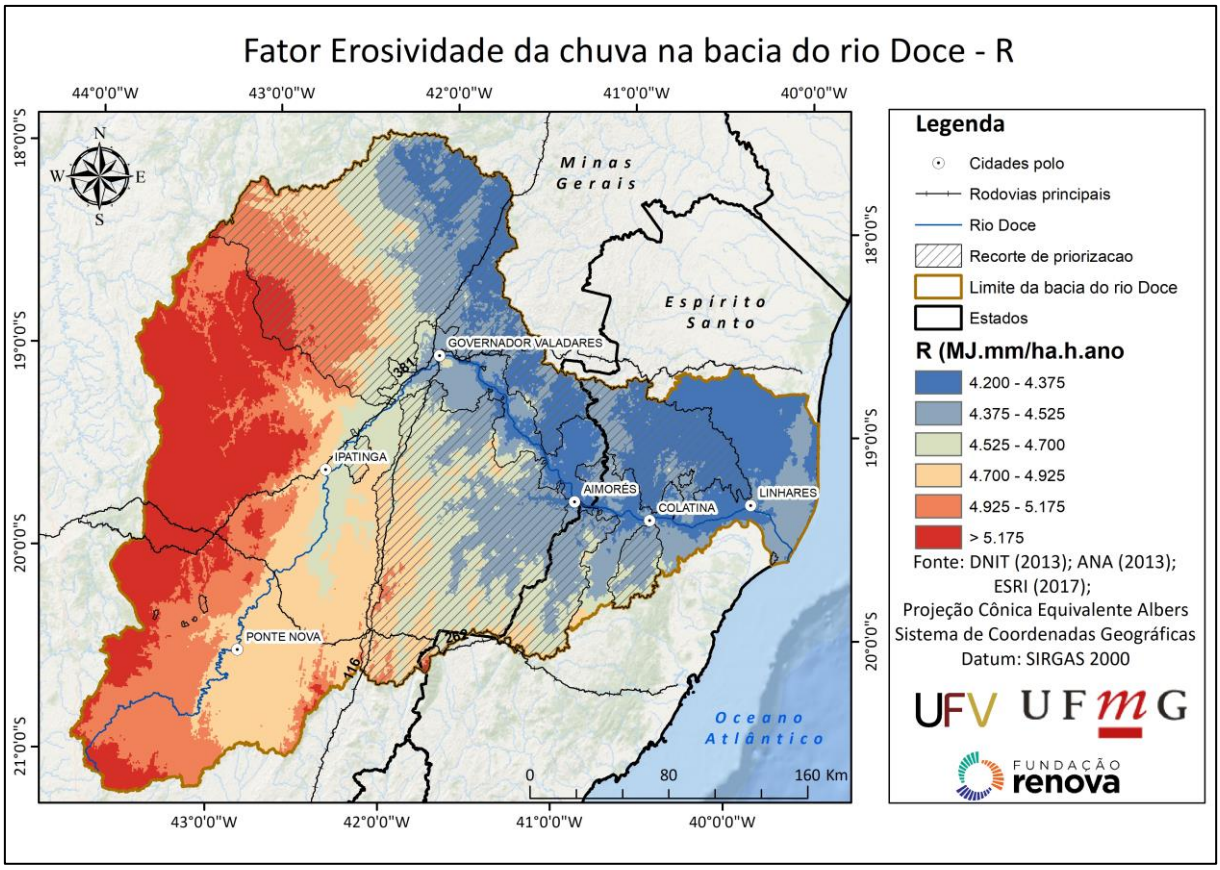


**Figura 40. Erosividade da chuva na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

## 5.2.2. ERODIBILIDADE DO SOLO

A erodibilidade do solo, também denominada de fator K, demonstra a capacidade que um determinado tipo de solo possui em resistir aos processos erosivos, ou seja, a facilidade com que as partículas do solo são arrastadas pelo impacto das gotas de chuva (DURÃES e MELLO, 2016; MORAIS e SALES, 2017).

Essa característica está relacionada com as propriedades físicas do solo, como, por exemplo, textura, estrutura, densidade e permeabilidade; assim como com as propriedades químicas, biológicas (matéria orgânica, por exemplo) e mineralógicas dos solos (SALOMÃO, 2005).

Para este estudo utilizou-se o mapa de solos da bacia do rio Doce (Figura 26), contudo, sabendo-se da heterogeneidade do solo na região, agrupou-se os tipos de solo em classes, cujos critérios foram as características gerais dos tipos de solos em relação à sua capacidade de resistir aos processos erosivos. Após o agrupamento dos tipos de solos pela equipe de especialistas da UFV, foi realizada consulta na literatura especializada para a obtenção dos

valores de erodibilidade dos solos. Na Tabela 18, a seguir são apresentados os valores de erodibilidade dos solos para os grupos definidos.

**Tabela 18. Erodibilidade (K) do solo para os principais tipos de solos na bacia do rio Doce.**

| Grupos | K (t.h.MJ$^{-1}$.mm$^{-1}$) | Fonte |
|---|---|---|
| Cambissolo e Espodossolo | 0,060 | Chave (1994) |
| Neossolo | 0,031 | Bloise et al. (2001) |
| Argissolo e Nitossolo | 0,029 | Marques et al. (1997) |
| Latossolo e Gleissolo | 0,018 | Silva et al. (1997) |

Para os grupos acima definidos foram atribuídos os valores de K no arquivo shape derivado do arquivo de solos da bacia. Após essa etapa, no software ArcGis® 10.5.1, foi gerado o mapa de Erodibilidade do solo (K) na bacia do rio Doce, com resolução espacial de 30 m (Figura 41).

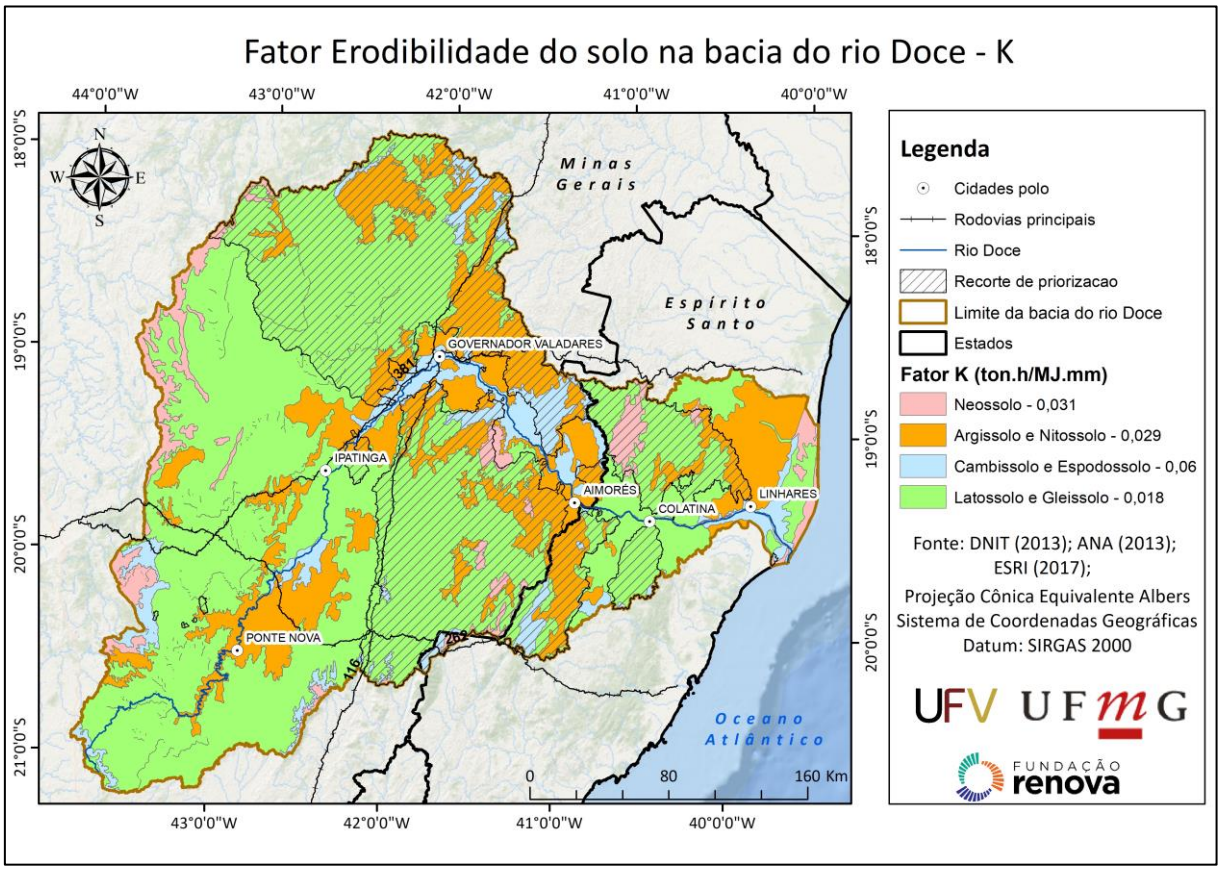


**Figura 41. Erodibilidade nos quatro grupos de solos identificados na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

### 5.2.3. FATOR COMPRIMENTO E DECLIVIDADE DA ENCOSTA (LS)

A influência do relevo no Potencial Natural de Erosão é representada pelo fator LS, em que L é o comprimento da rampa, em metros, e S é a declividade do terreno, em porcentagem. De maneira resumida, o fator LS é uma comparação, em termos de perdas esperadas, entre uma parcela qualquer e uma parcela padrão de 25 m de comprimento com 9% de declividade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2014).

Devido à complexidade do relevo em uma bacia hidrográfica, o fator LS era um dos parâmetros mais difíceis de serem obtidos em ambiente computacional, contudo, com a popularização das imagens de radar Shuttle Radar Topography Mission – SRTM – houve uma nova abordagem na estimativa do comprimento das encostas (FARINASSO et al., 2006).

Para a estimativa do Fator LS foram utilizadas imagens do SRTM, obtidas junto ao United States Geological Survey – USGS. Esse conjunto de dados de elevação fornece imagens da superfície terrestre com resolução espacial de 30 metros, compatível com a base de dados utilizada nesse trabalho.

Na Figura 42 é apresentado MDE ou mapa hipsométrico da bacia do rio Doce, onde é possível observar que o relevo na bacia do rio Doce alcança 2622 m de altitude no seu ponto mais alto, chegando ao valor de 0 ao nível do mar.

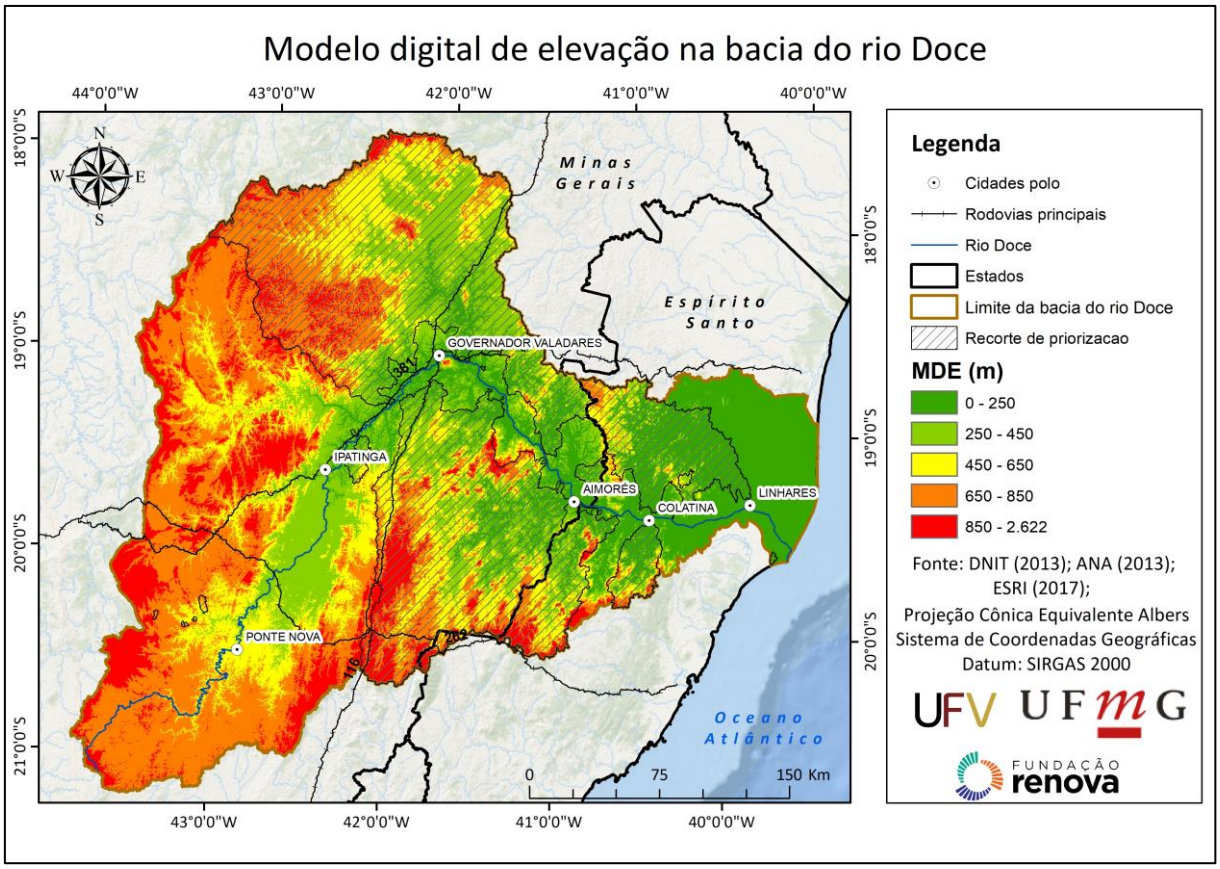


**Figura 42. Modelo digital de elevação da bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Com base no MDE da bacia do rio do Doce, foi obtido o mapa do Fator LS ( Figura 43) utilizando o software de livre acesso SAGAGis 6.3, por meio da metodologia de Wischmeier e Smith (1978).

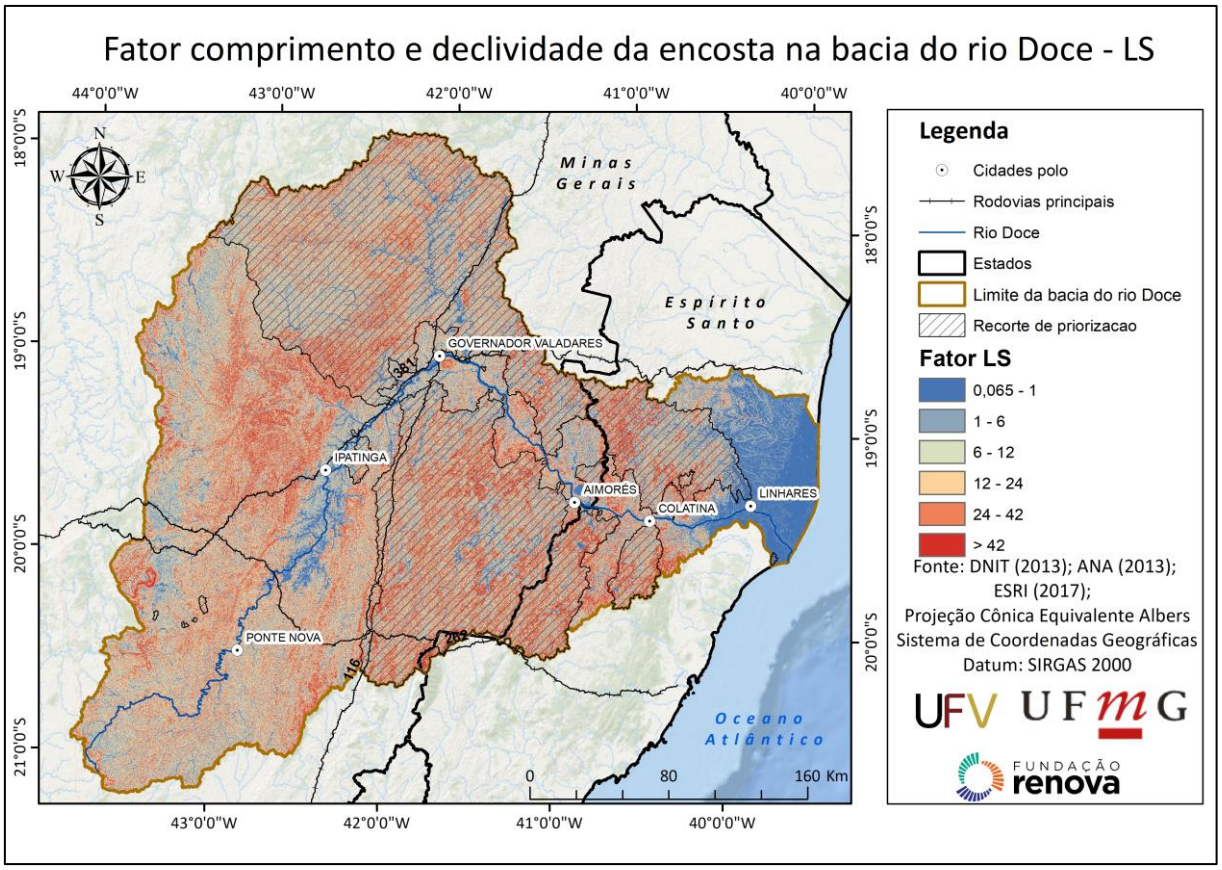


**Figura 43. Mapa do fator comprimento e declividade da encosta (LS)para bacia do rio Doce. Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Ao se comparar o mapa do Fator LS com a declividade da bacia, nota-se que quanto maior a declividade do terreno maior será o fator LS, corroborando com o fato de que nos locais com elevada declividade existe tendência de maiores perdas de solo e, consequentemente, maior será o potencial natural de erosão.

## 5.2.4. POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO

De posse de todos os dados, foram calculados os valores de PNE para a bacia do rio Doce (Figura 44). Nota-se que, como o esperado, as áreas de fundos de vale nas planícies dos cursos d'água apresentaram valores baixos de PNE, enquanto que nas regiões de maiores declives, ou seja, onde o Fator LS apresenta valores mais elevados, ocorreram maiores valores de PNE.

Nesse sentido, as regiões de cabeceira são as que merecem maior atenção do ponto de vista do PNE, uma vez que maiores são as precipitações totais anuais, com maior erosividade das chuvas, aliado a maiores valores do Fator LS.

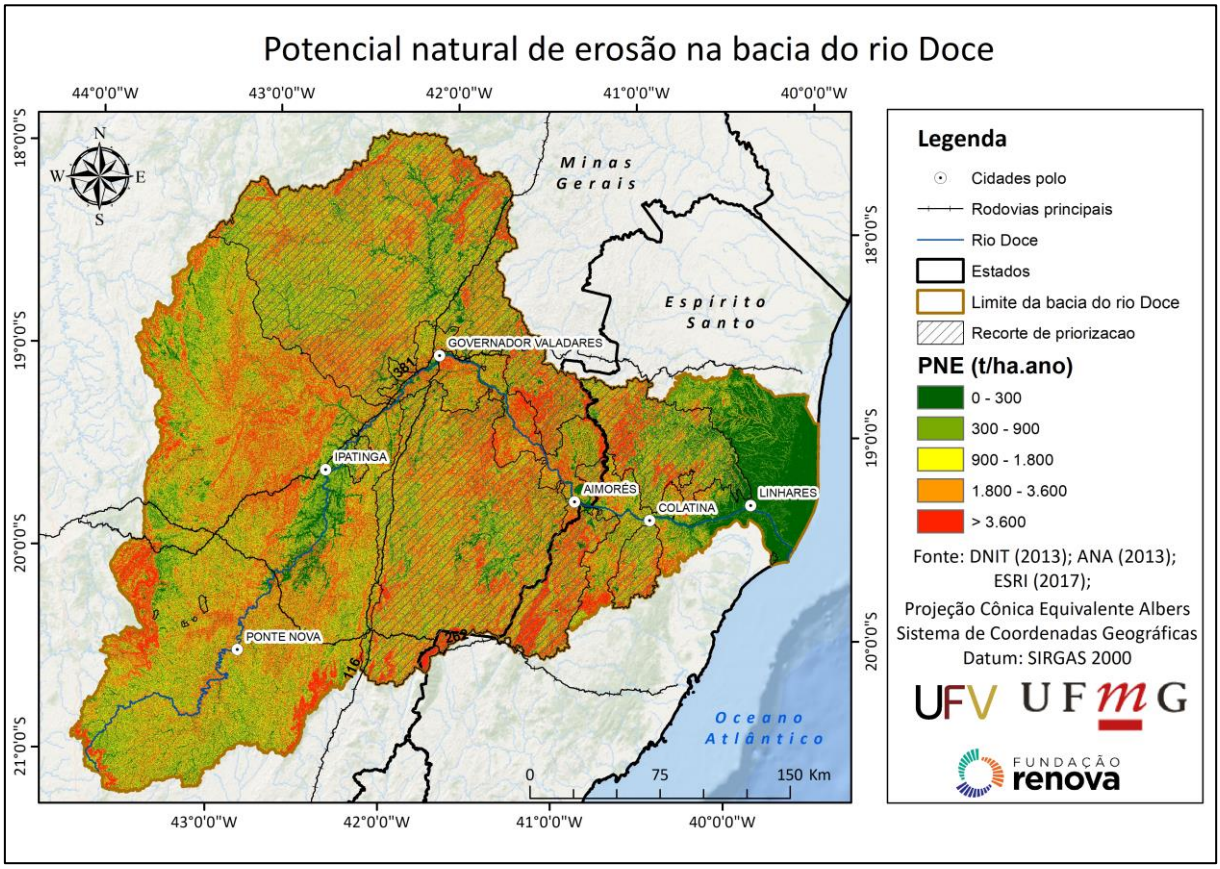


**Figura 44. Potencial Natural de Erosão (PNE) na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

## 5.3. BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO

O balanço hídrico é de fundamental importância para o diagnóstico das bacias hidrográficas, e sendo realizado no Brasil por trecho de rio e por microbacia pela Agência Nacional de Águas (ANA). O balanço hídrico quantitativo é a razão entre a vazão de retirada para os usos consuntivos e a disponibilidade hídrica (em rios sem regularização, representada pela vazão de estiagem, ou seja, aquela com permanência de 95%; em rios com regularização, a vazão regularizada somada ao incremento de vazão com permanência de 95%).

As demandas consuntivas de água consideradas no balanço hídrico quantitativo são as industriais e de irrigação (atualizadas até 2014) e a de abastecimento urbano e dessedentação animal (atualizadas até 2013). A disponibilidade hídrica foi atualizada em 2015 para algumas bacias hidrográficas do País e nos reservatórios de regularização (ANA, 2016).

Segundo a ANA (2016), as faixas de classificação adotadas para este índice são as mesmas utilizadas pela European Environment Agency e Nações Unidas, que utilizam o índice de retirada de água (“Water Exploitation Index”). As classificações adotadas (adequadas para o caso brasileiro) são as seguintes: < 5% - excelente (pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento é necessária); 5 a 10% - confortável (pode ocorrer necessidade de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimento); 10 a 20% - preocupante (a atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos); 20 a 40% - crítica (exige-se intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos); > 40% - muito crítica.

A Figura 45 apresenta o balanço hídrico quantitativo na bacia do rio Doce disponibilizado pela ANA (2016). Observa-se que as subbacias muito críticas e críticas em relação à disponibilidade hídrica são aquelas localizadas na região leste da bacia e, também, aquelas próximas aos centros urbanos, onde as demandas para abastecimento humano e usos industriais são maiores.

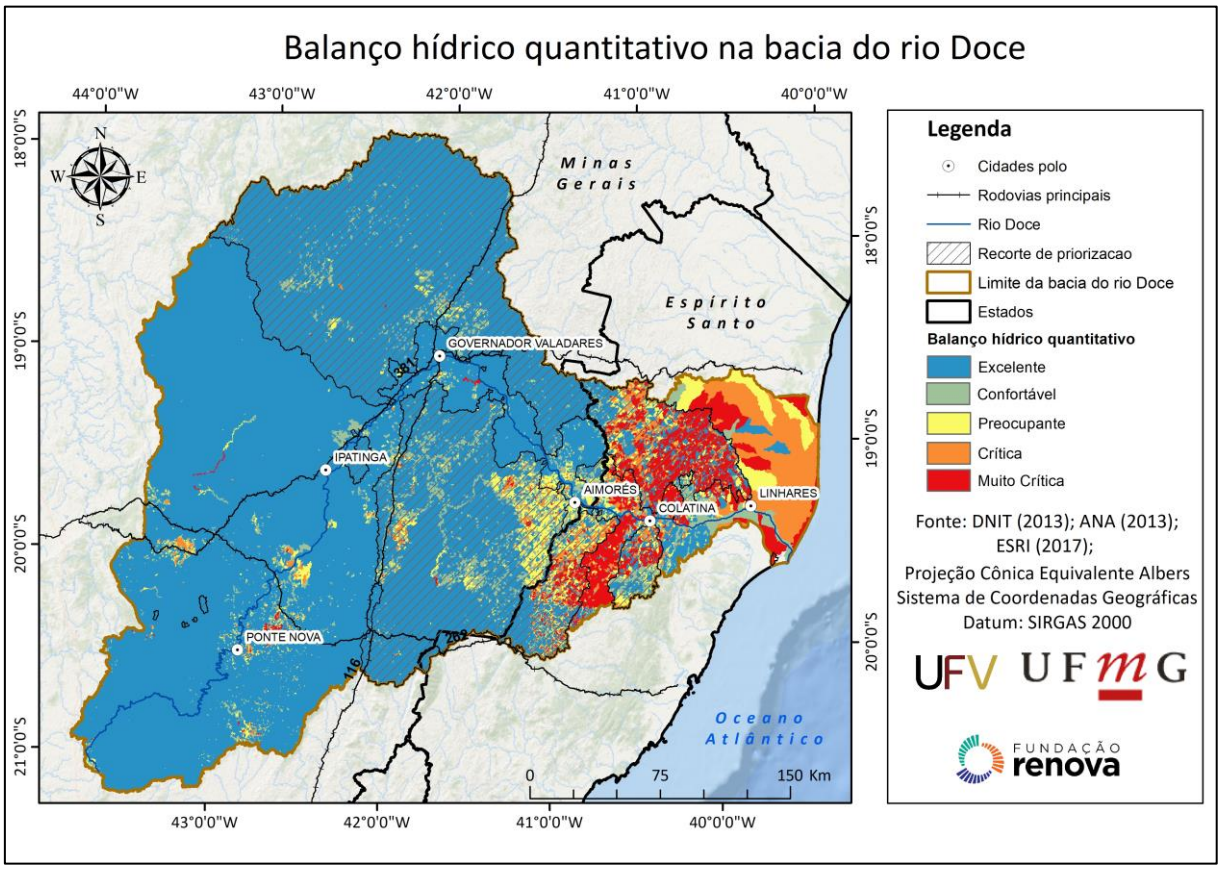


**Figura 45. Balanço hídrico quantitativo na bacia do rio Doce.**

**Fonte: ANA (2016).**

Na reclassificação do mapa de balanço hídrico quantitativo para fins de utilização na análise multicritério, foi atribuído o valor 255 (valor máximo de vulnerabilidade) para a classe Muito Crítica, valor 191 para a classe Crítica, valor 127 para a classe Preocupante, valor 64 para a classe Confortável e valor 0 (valor mínimo de vulnerabilidade) para a classe Excelente.

## 5.4. QUEIMADAS

O estudo e avaliação das consequências das queimadas no ambiente são fundamentais para mitigar os impactos sobre a fauna, a flora e, principalmente, sobre os solos e suas propriedades, caracterizando-se como uma fonte de degradação relevante. As queimadas afetam diretamente a qualidade do ar, pela emissão de gases, e a qualidade dos solos, volatizando nutrientes e mineralizando a matéria orgânica, fazendo com que ao longo do tempo o solo perca sua fertilidade natural, comprometendo diretamente o crescimento da vegetação (SANTOS, 2015).

Os estudos relacionados às queimadas foram, durante muitas décadas, realizados a partir de experimentos e medições "*in situ*", porém a cobertura espacial e temporal desse tipo de abordagem é limitada, devido ao dinamismo desse fenômeno (ANDREAE e MERLET, 2001). Nos últimos anos, com o avanço do sensoriamento remoto orbital, as dificuldades impostas por essas limitações diminuíram, possibilitando a aquisição de informações em nível global de forma sistemática (ICHOKU et al., 2012; ICHOKU et al., 2008; HANTSON et al., 2013).

O estudo e a disponibilização de dados sobre os focos de calor no Brasil são fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde a década de 1980. Esses dados são provenientes de imagens de sensores a bordo de satélites em órbita polar ou geoestacionária. São considerados como focos de calor os pontos geográficos com temperatura acima de 47ºC e área mínima de 30 x 30 m na superfície do solo (GONTIJO et al., 2011). Com o avanço da tecnologia desenvolvida acerca de melhorias nos sensores e na manipulação de dados, as informações podem ser disponibilizadas operacionalmente aos usuários com cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites. Na Tabela 19 tem-se a relação dos satélites utilizados neste estudo e suas respetivas características.

**Tabela 19. Características dos sensores de monitoramento para fins de avaliação dos focos de calor oriundos de queimadas**

| Satélite | Sensor | Lançamento | Situação Atual | Órbita | Altitude | Resolução Espacial | Resolução Temporal |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aqua | Modis | 04/05/2002 | Ativo | Polar | 705 Km | 1 Km | 1 A 2 Dias |
| Terra | Modis | 18/12/1999 | Ativo | Polar | 705 Km | 1 Km | 1 A 2 Dias |

Fonte: INPE (2018)

No estudo foram utilizados todos os dados de focos de calor para a bacia do rio Doce, obtidos por meio dos satélites AQUA e TERRA, disponibilizados no banco de queimadas do INPE (https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/), considerando o período de 2013 a 2017, totalizando 11.359 focos. Ao analisar os focos de calor observou-se que a mesma queimada pode ser representada por mais de um foco, que pode ser devido à passagem de satélites diferentes ou duplicidade do mesmo satélite, quando se trata de cicatrizes maiores ou com presença de fumaça por longas áreas com temperatura compatível com a de captação dos sensores.

Para amenizar a multiplicidade dos focos foram realizados alguns processamentos de identificação, agrupamento e retirada de informações repetidas. Os focos de calor que foram reportados na mesma data e estavam a menos de 1 km (resolução espacial dos satélites) de distância entre si, foram agrupados como sendo um único foco de calor. Por meio desse procedimento, foi possível realizar a exclusão de focos múltiplos, resultando na redução de 4.233 focos de calor (11.359 para 7.156 focos), ou seja, uma diminuição de 37% dos focos. Na Figura 46 apresenta-se o mapa com os focos de calor na bacia do rio Doce, considerando o período analisado de 2013 a 2017.

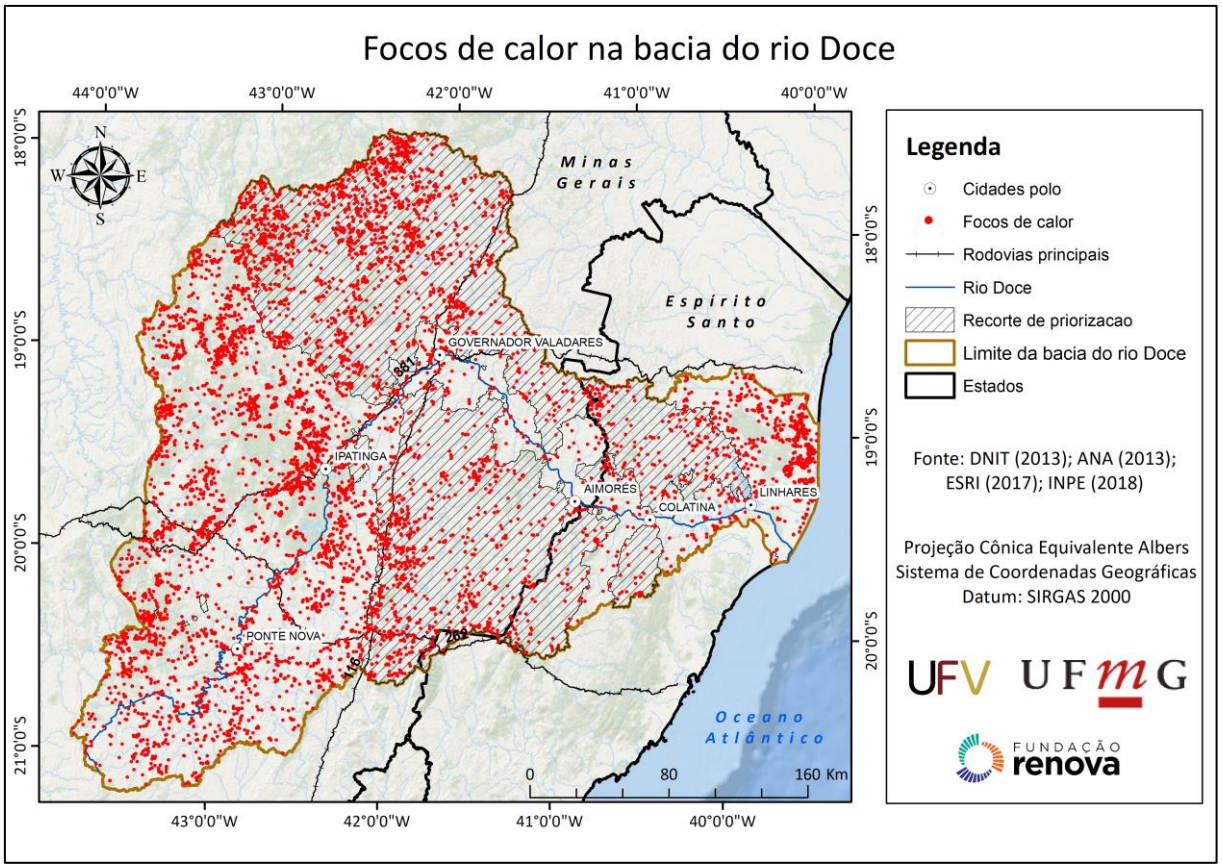


**Figura 46. Distribuição dos focos de calor na bacia do rio Doce relativo ao período de 2013 a 2017. Fonte: INPE (2018)**

A distribuição das queimadas foi avaliada por meio do Índice de Densidade de Kernel (IDK), método originalmente desenvolvido para obter estimativas suaves de densidades uni ou multivariadas de observações (BAILEY e GATRELL, 1995), mas que também tem sido amplamente utilizado para derivar mapas de calor. Silva et al. (2013) ressaltam a importância do estimador Kernel em identificar áreas críticas onde há concentração de focos de calor visando a elaboração de planos de ação estratégicos contra as queimadas.

O mapa do Índice de Densidade Kernel, com um raio de busca de 5 km, para a série de 5 anos de dados de focos de calor (2013 a 2017), é apresentado na Figura 47 .

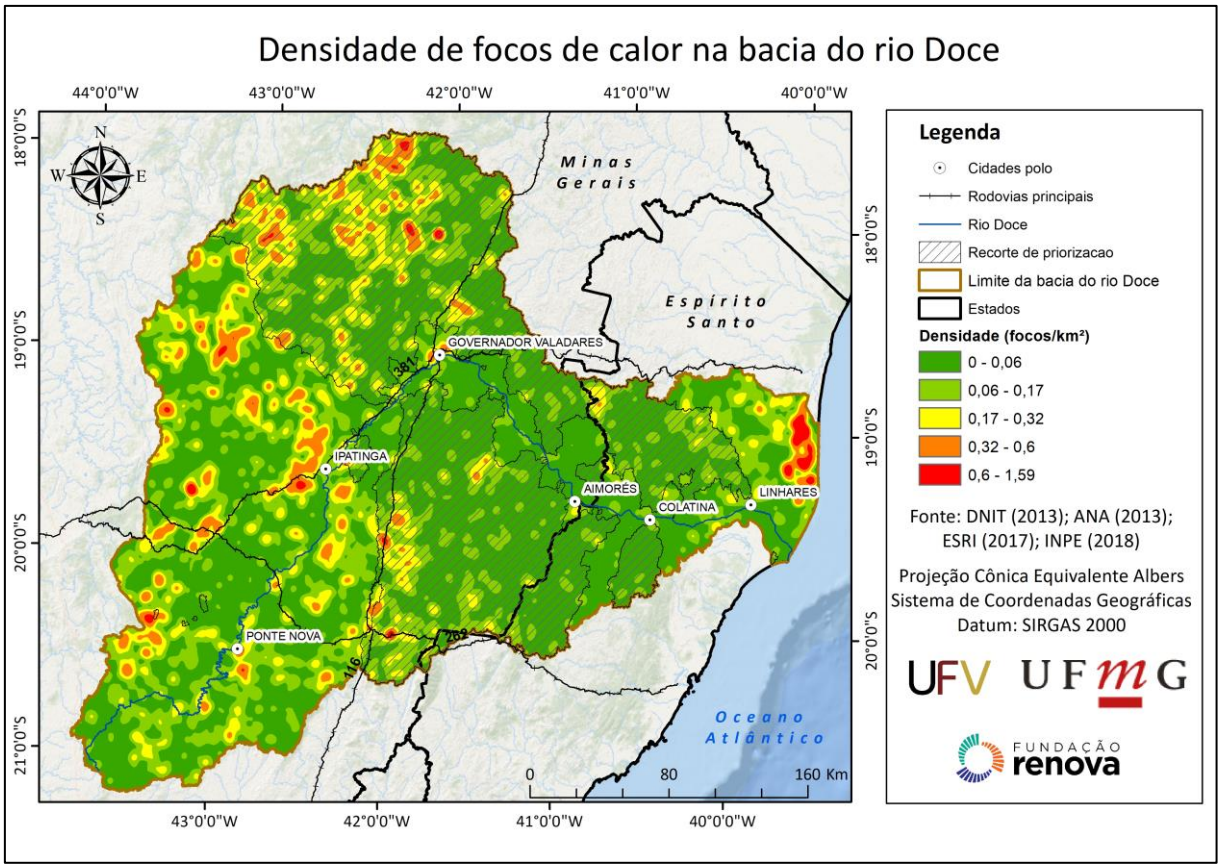


**Figura 47. Densidade de Kernel para a bacia do rio Doce com raio de 5 km (2013 a 2017). Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Observa-se na Figura 47 que 0,5% da área da bacia do rio Doce possui um índice de 0,6 a 1,59 focos de calor por km$^2$, que é a classe de maior densidade de focos. É possível analisar, também, que há maior concentração de focos de calor nas porções norte e centro-oeste da bacia, possivelmente devido à proximidade com as Unidades de Conservação (UCs) da bacia, que são grande fonte de biomassa para as queimadas. Importante ressaltar que mais de 20% dos focos ocorreram em áreas de UCs. Observa-se, também, a existência de uma alta densidade de focos de calor na região leste da bacia no período de estudo que, possivelmente, pode estar diretamente relacionada com a queima de pastagens ou mesmo à limpeza de terrenos.

Na reclassificação do mapa de densidade de focos de calor para a análise multicritério, os valores contínuos foram reescalonados para o intervalo de 0 a 255, onde foi atribuído o valor de 255 (valor máximo de vulnerabilidade) para a densidade de 1,59 focos/ km², o valor 0 (valor mínimo de vulnerabilidade) para a densidade de 0 focos/km² e valores intermediários para as demais densidades de focos.

## 5.5. ANÁLISE AHP

Para a presente análise, foram seguidos os mesmos passos descritos na seção 3.5.6. O objetivo (etapa 1) foi definido como sendo a obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Doce e os critérios que influenciam a decisão (etapas 2 e 3) foram identificados como sendo adequação do uso do solo, potencial de erosão, balanço hídrico quantitativo e densidade de queimadas.

As comparações (etapa 4) foram derivadas de uma escala de classificação que reflete as preferências dos tomadores de decisão. As preferências foram determinadas com notas relativas expressas como valores numéricos, 1 a 9, em que 1 indica que os critérios comparados são equivalentes e 9 indica que o primeiro dos elementos comparados tem preferência forte em relação ao outro elemento (Tabela 9). A Tabela 20 apresenta a matriz de comparação dos critérios utilizada na obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Doce.

**Tabela 20. Pesos relativos da análise AHP para a obtenção do índice de vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Doce**

| Pesos relativos - AHP | Adequação do uso do solo | Disponibilidade hídrica | Focos de calor | Potencial de erosão |
|---|---|---|---|---|
| Adequação do uso do solo | 1 | 5 | 2 | 4 |
| Disponibilidade hídrica | 0,2 | 1 | 0,2 | 0,2 |
| Focos de calor | 0,5 | 5 | 1 | 2 |
| Potencial de erosão | 0,25 | 5 | 0,5 | 1 |

Com base na Tabela 20 um vetor de prioridade foi computado, dividindo-se cada uma das colunas pela sua soma correspondente (etapa 5). A estimativa da importância relativa dos critérios (pesos finais) foi, portanto, obtida através da média dos valores de cada linha do vetor de prioridade e é apresentada na Tabela 21.

**Tabela 21. Pesos finais atribuídos a cada critério da análise AHP para a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Ambiental na bacia do rio Doce**

| Critério | Pesos finais (%) |
|---|---|
| Adequação do uso do solo | 48,7 |
| Balanço hídrico | 5,9 |
| Focos de calor | 27,9 |
| Potencial de erosão | 17,5 |

Um teste para o grau de consistência dos pesos derivados foi, então, realizado, para verificar a consistência dos julgamentos dos especialistas. O Coeficiente de Consistência (CR) indica a probabilidade de que os valores da matriz tenham sido gerados aleatoriamente, sendo que a matriz que possui um CR maior que 0,10 deve ser reavaliada (SAATY, 1980). Na presente análise o valor encontrado de CR foi de 0,0, mostrando a consistência na definição dos pesos. A Figura 48 apresenta o mapa final de vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Doce.

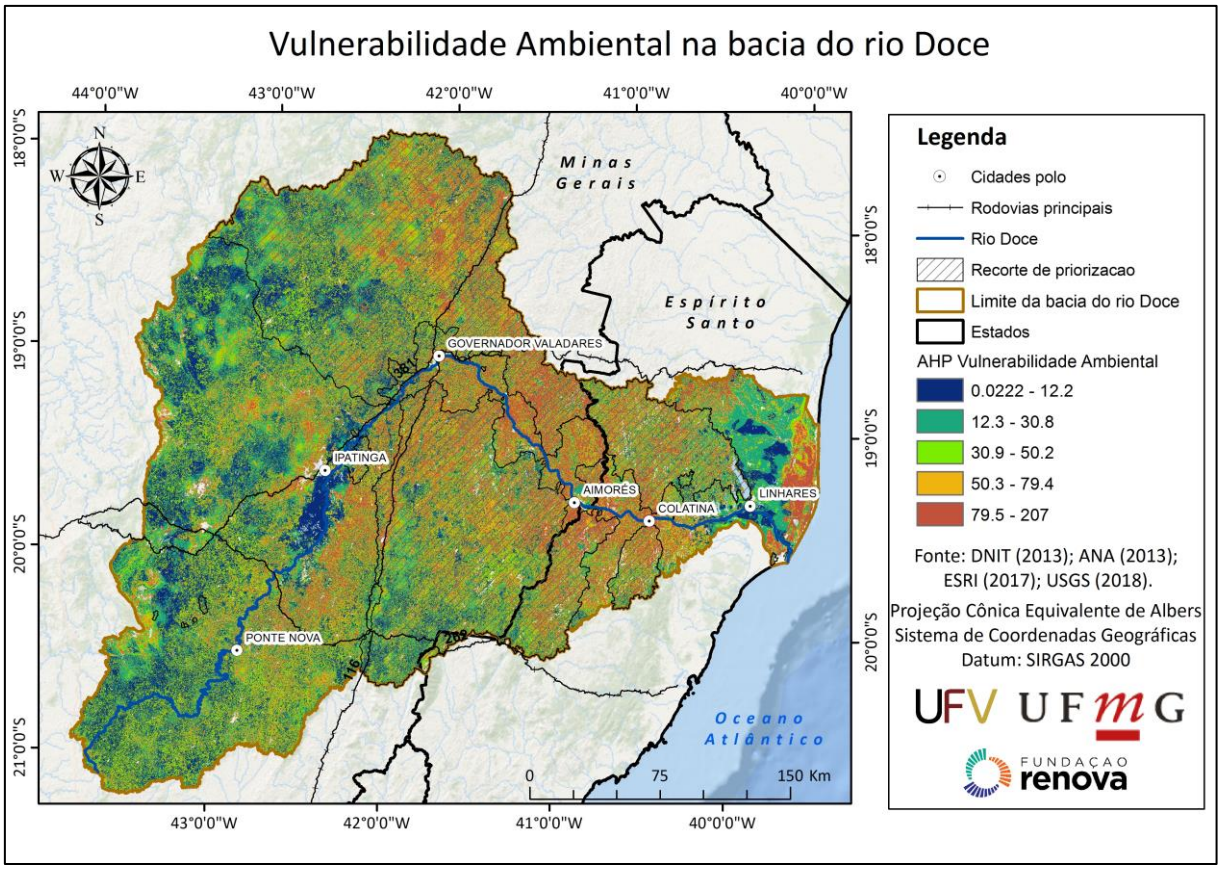


**Figura 48. Mapa final da vulnerabilidade ambiental na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

De acordo com a Cláusula 161 do TTAC, a Fundação Renova deverá recuperar 40.000 ha de área degradadas em APPs e zonas de recarga nos próximos 10 anos, tornando-se necessário o mapeamento de áreas prioritárias a fim de direcionar tal recuperação. A partir disso, realizou-se uma análise de maneira a priorizar os municípios que apresentam maior porcentagem de APPs e áreas de recarga assim como aqueles que apresentam tais áreas em pior estado de preservação.

A análise consistiu em cinco etapas: (1) obtenção do IVA médio ponderado nas APPs e áreas de recarga por município; (2) multiplicação do IVA médio nas APPs e áreas de recarga dos municípios pelas respectivas porcentagens de área em relação à área do município; (3) média aritmética dos resultados obtidos na etapa 2; (4) normalização do resultado obtido na etapa 4; e (5) padronização do resultado obtido na etapa 4 para o intervalo de 0 a 1. O resultado do índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) dos municípios da bacia do rio Doce é apresentado na Figura 49, sendo que cada classe representa 20% dos municípios. Na Tabela 22 são

apresentados os municípios com maior vulnerabilidade ambiental (classe vermelha da Figura 49).

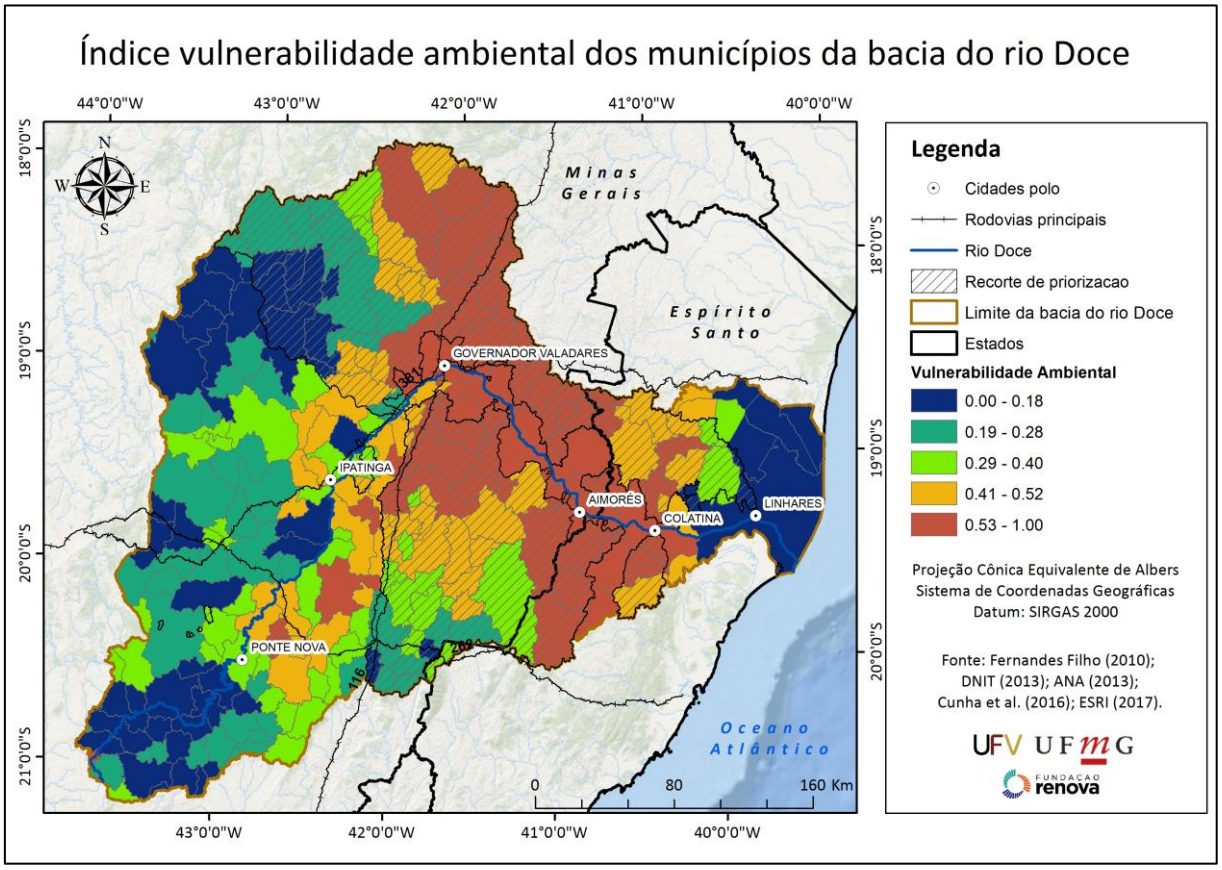


**Figura 49. Mapa do índice de vulnerabilidade ambiental (IVA) dos municípios da bacia do rio Doce. Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

**Tabela 22. Municípios com os piores IVA na bacia do rio Doce**

| Municípios | IVA |
|---|---|
| São Geraldo do Baixio | 1 |
| Divino das Laranjeiras | 0.9458 |
| Resplendor | 0.8721 |
| Dom Cavati | 0.8583 |
| Tumiritinga | 0.8321 |
| Galiléia | 0.8198 |
| Conselheiro Pena | 0.8107 |
| Goiabeira | 0.7965 |
| Itueta | 0.7812 |
| Itanhomi | 0.7402 |
| Jampruca | 0.7386 |
| Baixo Guandu | 0.7360 |
| Cuparaque | 0.7146 |
| Entre Folhas | 0.6961 |

| Municípios | IVA |
|---|---|
| Campanário | 0.6919 |
| Capitão Andrade | 0.6917 |
| Colatina | 0.6874 |
| Vargem Alegre | 0.6595 |
| Itambacuri | 0.6571 |
| Laranja da Terra | 0.6564 |
| Itarana | 0.6544 |
| Tarumirim | 0.6541 |
| Engenheiro Caldas | 0.6369 |
| São Roque do Canaã | 0.6279 |
| Aimorés | 0.6245 |
| Carandaí | 0.6194 |
| Alto Rio Novo | 0.6144 |
| São Domingos do Norte | 0.6056 |
| Frei Inocêncio | 0.6050 |
| Inhapim | 0.6029 |
| Franciscópolis | 0.5998 |
| São João do Oriente | 0.5992 |
| Itaguaçu | 0.5877 |
| Alvarenga | 0.5741 |
| São José da Safira | 0.5735 |
| Ibiraçu | 0.5671 |
| Mathias Lobato | 0.5615 |
| Raul Soares | 0.5538 |
| Mantenópolis | 0.5489 |
| Ibatiba | 0.5343 |
| Água Boa | 0.5261 |
| Urucânia | 0.5226 |
| Piedade de Ponte Nova | 0.5213 |
| Governador Valadares | 0.5212 |
| Afonso Cláudio | 0.5198 |
| Santa Rita do Itueto | 0.5185 |

A partir da análise da Figura 49 e da

Tabela 22 é possível apontar, no conjunto dos 228 municípios da bacia do Rio Doce, que os municípios com maior IVA concentram-se principalmente no médio rio Doce (região leste de Minas Gerais e oeste do Espírito Santo), em torno das cidades de Governador Valadares, Aimorés e Colatina. Destaca-se, portanto, as sub bacias dos rios Suaçuí, Manhuaçu e Santa Maria do Doce como aquelas que abrigam os piores indicadores de vulnerabilidade ambiental por município.

Com base na metodologia implementada foi possível identificar no *layer* ambiental as áreas mais vulneráveis ao longo da bacia do rio Doce, possibilitando o cruzamento e sobreposição com os demais *layers* gerados para os diversos grupos de informação até a definição do *layer* final com as áreas prioritárias para a restauração florestal na bacia do Rio Doce.

# 6. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE SOCIAL

Evidenciada a importância da dimensão social no delineamento de projetos que envolvam a recomposição ou restauração florestal, conforme revisão de literatura apresentada no Plano de Trabalho, para que os resultados das ações nesse sentido sejam sustentáveis e duradouros, o presente documento descreve os resultados obtidos por meio da elaboração e cálculo do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) para a Bacia Hidrográfica do rio Doce (BHRD), ora referenciada apenas como bacia do rio Doce.

A opção de utilização do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) como indicador socioeconômico na priorização de recuperação de áreas degradas, está balizada em sua expressividade no contexto de análise da capacidade de resiliência de comunidades em grande escala, inclusive daquelas afetadas por eventos extremos como inundações, furacões e tempestades, encontrada tanto na literatura nacional, quanto internacional. O mesmo indicador é entendido, também, como metodologicamente mais consistente ao contexto de análise proposto, por poder ser aplicado em níveis micro, inclusive a partir de subdivisões dentro dos municípios.

Nesse sentido, sua possibilidade de abarcar, tanto questões sociais e econômicas, quanto àquelas relacionadas à infraestruturas e acesso a serviços básicos, justifica sua escolha como indicador social na identificação das áreas prioritárias para recuperação na BHRD. Ademais, diante da impossibilidade de acesso a dados que permitam uma análise mais profunda e extensa da situação das populações residentes nos municípios de interesse, o mesmo contempla, também, a possibilidade de explorar, de forma consistente, as informações socioeconômicas disponíveis.

Nessa perspectiva, o delineamento de ações voltadas à melhoria das condições de trabalho, moradia, produção, etc., representa a possibilidade de mitigar a vulnerabilidade social regional, tratando os desiguais desigualmente, de forma diminuir essa condição. Uma vez que, conforme apresenta Cardona (2004), as origens da vulnerabilidade não estão no desastre em si, mas sim nas formas prévias de organização social e econômica das comunidades. Além disso, as populações respondem de formas distintas aos resultados dos desastres naturais e outros eventos extremos. Aquelas, no geral, mais vulneráveis, representadas pela população

pobre, as minorias, as mulheres, as crianças e os idosos, são frequentemente as mais afetadas em desastres naturais em todo o planeta, no sentido que, as condições de resiliência são menores que em locais onde as condições de renda, por exemplo, são piores, apresentando, portanto, menor capacidade de recuperação diante de eventos dessa natureza (BRAGA, OLIVEIRA, GIVISIEZ, 2006). Diante disso, focalizar as ações nas regiões onde se conjugam fatores que indicam tanto vulnerabilidade social, quanto ambiental, conforme pretende o trabalho que vem sendo realizado, pode interferir positivamente na melhoria das condições de vida de determinada população. Assim, diante do exposto nas etapas anteriores, a opção pela utilização do IVS para o delineamento do *layer* socioeconômico voltado à identificação de áreas prioritárias para restauração florestal, se apresenta como condizente com os objetivos do presente trabalho. Como opção para maior detalhamento da estrutura de vulnerabilidade social na bacia optou-se por utilizar *Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário*, do IBGE (2011), o que contribuiu significativamente nas análises para identificação das áreas prioritárias para recuperação na bacia do rio Doce. Assim, no cálculo do IVS aqui apresentado, ao trabalharmos com setores censitários, conforme será descrito posteriormente, foram realizadas algumas adaptações em relação ao trabalho utilizado como referência (COSTA e MAGUIT, 2015a; 2015b), o qual foi publicado pelo Ipea no ano de 2015.

A utilização do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) se justifica para o presente trabalho, uma vez que esse é um indicador que permite demonstrar e detalhar, de forma quantitativa, as condições de vida da população de uma determinada região, identificando àquelas que se encontram em vulnerabilidade e risco social. Salienta-se que vulnerabilidade social não é unívoco de pobreza, entendida como insuficiência de recursos monetários, mas sim uma condição que remete à fragilidade da situação socioeconômica de determinado grupo ou indivíduo.

A construção de um índice constitui-se na junção de um conjunto de indicadores que têm como propósito mensurar, caracterizar e identificar determinada situação de um grupo social específico, seja por meio do recorte territorial ou outro. No caso do IVS, a atenção se volta para a vulnerabilidade de indivíduos, grupos ou comunidades, relacionada à sua condição social, no que tange questões relacionadas às condições de habitação, formação de capital

humano e renda e trabalho. Assim, tal preceito deve ser capaz de sumarizar dados relevantes para pensar estratégias de mitigação ou superação de situações de desarticulação econômica, social ou ambiental, diante de um fenômeno particular. De acordo com Birkmann (2006), o indicador de vulnerabilidade deve ser apropriado para mensurar dimensões importantes de seus conceitos, relevante para a pesquisa, de fácil interpretação e compreensão, acurado, reproduzível, comparável, de escopo adequado, rentável e sensível ao fenômeno de estudo.

Nesse sentido, o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), construído a partir de indicadores socioeconômicos, evidencia as diferentes situações indicativas de exclusão e vulnerabilidade social existentes em municípios, estados ou países. Logo, o IVS tem o objetivo de apontar o acesso, a ausência ou a insuficiência de alguns recursos nos territórios aos quais se refere e que deveriam, a princípio, estar à disposição das pessoas. Em linhas gerais, foram escolhidas variáveis (ou relação entre variáveis) que retratem a precariedade, ausência, inadequação ou condição que limite a capacidade de resposta dos cidadãos diante de dificuldades. Dessa forma, a construção do IVS dos municípios pertencentes à bacia do rio Doce, com destaque para os setores censitários demarcados pelo IBGE, levou em consideração três dimensões que correspondem ao conjunto de ativos, recursos ou estruturas, cujo acesso, ausência ou insuficiência indicam situação de vulnerabilidade em relação a outros grupos ou regiões, sugerindo, no limite, o não acesso e a não observância dos direitos sociais. Essas dimensões estão em sintonia com as análises realizadas por Costa e Maguit (2015a; 2015b), quais sejam: capital humano; infraestrutura e moradia; renda; as quais encontram-se descritos na Tabela 23 a seguir. Ao final a média aritmética entre as dimensões propostas foram ponderadas com um conjunto de indicadores produtivos, levando em consideração a produção agrícola e extrativista e a silvicultura relacionados ao PIB (Produto Interno Bruto) dos municípios e a pecuária relacionada à produção total dos estados onde se localizam os municípios de interesse (Tabela 24).

**Tabela 23. Indicadores e variáveis utilizados na composição dos subíndices, para o cálculo do IVS dos municípios na Bacia do Rio Doce.**

| Grupos | Variáveis | Efeito no índice |
|---|---|---|
| **Grupo A** Capital Humano | 1. % de pessoas de 5 a 14 anos não alfabetizadas. | Aumenta |
| | 2. % de pessoas com até 15 anos. | Aumenta |

| | | |
|---|---|---|
| | 3. % de pessoas com mais de 65 anos. | Aumenta |
| | 4. % de mães chefes de família não alfabetizadas. | Aumenta |
| | 5. Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais. | Aumenta |
| | 6. % negros ou pardos. | Aumenta |
| **Grupo B** Infraestrutura e moradia | 1. Localização da moradia (rural ou urbana). | Aumenta se rural |
| | 2. % de moradias com água e esgoto inadequados. | Aumenta |
| | 3. % de moradias sem coleta de lixo. | Aumenta |
| | 4. % de famílias com renda inferior a 1 salário mínimo (de 2010) e condição de moradia inadequada. | Aumenta |
| | 5. % de domicílios sem acesso a rede geral de energia elétrica. | Aumenta |
| | 6. Condição do imóvel (% de imóveis não próprios). | Aumenta |
| **Grupo C** Renda | 1. % de pessoas com rendimento de até 1 salário mínimo (de 2010). | Aumenta |
| | 2. % pessoas responsáveis sem rendimentos. | Aumenta |
| | 3. % pessoas sem rendimento. | Aumenta |

**Fonte: Elaboração dos autores.**

**Tabela 24. Conjunto de indicadores produtivos utilizados como ponderadores no resultado final do IVS.**

| Indicadores produtivos | | Efeito sobre o IVS |
|---|---|---|
| **Valor Bruto da PAM, PPM, PEVS** (IPAE) | 1. Lavouras Permanentes | Diminui |
| | 2. Lavouras Temporárias | Diminui |
| | 3. Pecuária | Diminui |
| | 4. Extrativismo Vegetal e Silvicultura | Diminui |

Obs. PAM = Produção Agrícola Municipal, PPM = Produção Pecuária Municipal, PEVS = Produção Extrativista Vegetal e Silvicultura, também municipal.
Fonte: Elaboração dos autores com base nos dados do SIDRA (2016).

Para a construção do IVS, optou-se por utilizar a Base de informações por setor censitário do IBGE, publicada no ano de 2011, em relação ao censo de 2010, a qual será apresentada a seguir. Já as informações produtivas foram retiradas da base de dados do Sidra - IBGE, para o ano de 2016.

### 6.1.1. APRESENTAÇÃO DA BASE DE DADOS DO IVS

O Censo Demográfico, segundo IBGE (2011), é caracterizado como a mais complexa operação estatística realizada por um país, a fim de investigar, de forma profunda, as características da população e dos domicílios no Território Nacional. Por se tratar de uma pesquisa em todos os domicílios, constitui a única fonte de informações para conhecimento das condições reais da

população em todos os municípios e em seus recortes territoriais internos (distritos, subdistritos, bairros, além da classificação de acordo com a localização, em áreas urbanas ou rurais).

Nesse sentido, a fim de obter informações a nível micro social, optou-se, na elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) para os municípios da bacia do rio Doce, com a utilização da base de informações do Censo Demográfico de 2010 por setor censitário, disponibilizado pelo IBGE no ano de 2011. A mesma compreende as características dos domicílios particulares e de seus moradores na totalidade da população, e são denominados, por convenção, resultados de universo, como apresentado pelo IBGE (2011). Os dados constantes nessa base foram obtidos pela reunião de informações captadas por meio da investigação das características dos domicílios e dos moradores, levantadas pelo Censo Demográfico de 2010, para cada setor censitário.

Por setor censitário compreende-se

> *"a menor unidade territorial, formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural, com dimensão adequada à operação de pesquisas e cujo conjunto esgota a totalidade do Território Nacional, o que permite assegurar a plena cobertura do País"* (IBGE, 2011, p.4).

Sendo essa unidade territorial concebida como cadastros básicos de área para a seleção de amostras para pesquisas domiciliares.

Os dados por setor censitário contam, na compilação para o ano de 2010, com cerca de 3.000 variáveis, que abrangem as seguintes características da população residente: sexo, idade, cor ou raça, condição no domicílio; pessoas responsáveis pelo domicílio; alfabetização; registro de nascimento das crianças de até 10 anos de idade; e características dos domicílios particulares tais como: condição de acesso, infraestruturas, localização etc. (IBGE, 2011).

A base de dados consultada para elaboração do IVS comtempla as populações dos 5.565 municípios brasileiros criados e instalados até 1º de agosto de 2010 e o total de domicílios particulares recenseados (IBGE, 2011). Foram selecionadas dentro desse universo as Unidades da Federação abrangidas pela Bacia Hidrográfica do rio Doce (Minas Gerais e Espírito Santo), sendo que, dentro desses, foi feito o recorte para os 228 municípios que compõem a base

territorial da mesma, definidos a partir da Deliberação *Ad Referendum* nº 48 de 01 de dezembro de 2015, do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

Para o estado de Minas Gerais existiam 853 municípios na data do Censo, estando divididos, no total, em 32.807 setores censitários, sendo que são 32.564 constantes na base de informações. Desses foram selecionados, a partir dos 200 municípios inseridos na BHRD no estado, 5.474 setores censitários constantes na base de informações. Para o estado do Espírito Santo existiam 77 municípios na data do Censo, estando estes divididos num total de 6.454 setores censitários, dos quais 6.380 constam na base de informações[4] (IBGE, 2011). Destes foram selecionados, a partir dos 28 municípios abrangidos pela BHRD no estado, 1.537 setores censitários constantes na base de informações.

Na análise dos 228 municípios que conforma a bacia, foi utilizada uma base de dados formada por 7.063 setores censitários, sendo que destes 7.011 constavam na base de dados oficial do IBGE e 6.920 possuíam informações atribuídas. Por sua vez, para os 143 setores sem informações, foram atribuídos valores médios do IVS com base em sua localização (rural ou urbana) no município. Portanto, para os setores censitários sem informação urbanos foram atribuídos os valores médios dos demais setores em mesma situação dentro do município no qual se localiza. Procedimento idêntico foi feito para os setores localizados em área rurais. Esse procedimento de atribuição de valores médios foi realizado a fim de homogeneizar as informações para o processo de cruzamentos dos mapas que iriam compor a priorização das áreas para recuperação. As presentes análises, entretanto, contam com os dados de 6.179 setores censitários, uma vez que, utilizou-se como referência na produção de todos os *layers* que serão utilizados na composição do resultado final, o recorte territorial da BHRD, a qual não abarca a totalidade do território dos municípios.

Assim, para os Grupos A, B e C foram utilizados como base para a elaboração dos subíndices os dados do Censo Demográfico de 2010 e adotada a metodologia de espacialização territorial por setor censitário, que consta nos limites da bacia do rio Doce, de cada município, o que impediu as “armadilhas” do uso de dados socioeconômicos a partir das médias municipais. A opção por trabalhar com os setores censitários evita a homogeneidade das médias municipais

[4] Na base de informações existem somente setores com domicílios particulares ocupados ou coletivos com morador.

e mostra a realidade heterogênea dos municípios, conforme será discutido na análise dos resultados. A Figura 50 exemplifica subdivisão dos setores censitários dentro dos municípios, tomando como exemplo Governador Valadares (MG).

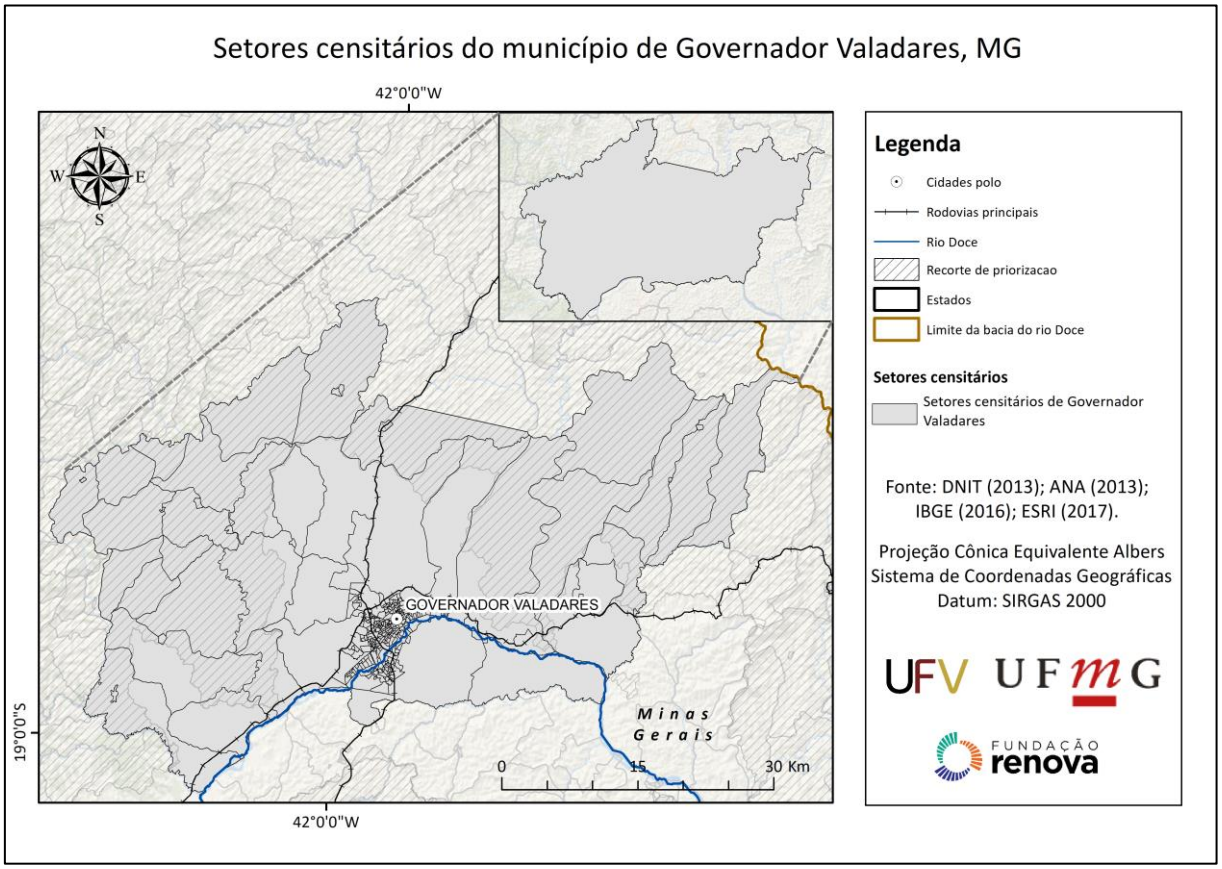


**Figura 50. Representação da divisão em setores censitários do município de Governador Valadares, MG.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Evidentemente que a opção mais detalhada implica na restrição de acesso a outros dados no mesmo nível de detalhamento realizado no Censo. A publicação com a base de informações por setor censitário tem um limite na apresentação das informações em relação aos dados disponíveis para os municípios.

No que trata das informações produtivas, por exemplo, o maior detalhamento encontrado é em nível de município, o que foi uma limitação enfrentada durante a construção do índice e das análises. Além disso, as informações mais detalhadas e com maior nível de precisão para o setor produtivo rural, o Censo Agropecuário, são muito antigas, do ano de 2006, assim,

optou-se por utilizar informações mais recentes (SIDRA, 2016) na composição do IPAE, mesmo que essas sejam apresentadas em valores absolutos para os municípios.

Nesse sentido, se por um lado temos maior detalhamento e precisão ao utilizarmos o Censo e a distribuição espacial por setor censitário, por outro perdemos em termos de atualidade já que o Censo é relativo ao ano de 2010. Como forma de ponderar essa situação delineamos um novo conjunto de variáveis, em relação às utilizadas originalmente pelo IPEA (2015), de modo a moderar uma suposta defasagem temporal na composição do nosso Índice de Vulnerabilidade Social.

Esse novo conjunto de variáveis, o IPAE (PAM, PPM, PEVS), será composto pelo Valor Bruto da Produção da produção agrícola, do extrativismo vegetal, da silvicultura e da produção pecuária[5] em relação ao PIB dos municípios da bacia do rio Doce, cujos dados são de 2016. Além da superação de um possível hiato temporal, o IPAE também significará a incorporação de informações sobre o setor produtivo rural, palco das ações de recuperação florestal, contribuindo, portanto, para o cumprimento do objetivo final deste trabalho.

**Grupo A – Subíndice Capital Humano**

O capital humano dos indivíduos é retratado por dois aspectos básicos, educação e distribuição etária, que definem as perspectivas, atuais e futuras, em relação à inclusão social dos indivíduos. Os indicadores a serem utilizados para o cálculo do subíndice do Grupo A estão detalhados na Tabela 25.

Nesta dimensão, os seis indicadores não possuem o mesmo peso, o que significa dizer que três quintos do peso total do subíndice Capital Humano é representado pela taxa de analfabetismo da população “economicamente ativa” em conjunto com o percentual de negros e pardos na população de cada setor censitário. Já o percentual de pessoas com até 15 anos de idade, o percentual de pessoas com 65 anos ou mais e a taxa de mulheres responsáveis pelo domicilio (não alfabetizadas), representam no total do subíndice dois quintos. A adoção dos pesos, tal como apresentada, visou equilibrar os indicadores no

[5] O valor da produção pecuária foi calculado com base no rebanho de cada município, e a respectiva taxa de desfrute da região, pelo valor médio da arroba nas microrregiões estudadas.

computo do índice. Visto que, o analfabetismo em pessoas com 15 anos ou mais de idade tem um impacto maior, no que diz respeito ao desenvolvimento socioeconômico do que o percentual de pessoas com 65 anos ou mais, como exemplo. Por outro lado, no que trata do percentual de negros e pardos, vários estudos demonstram uma maior vulnerabilidade social dessa população se comparado aos locais com concentração da população branca e asiática, justificando, dessa forma, necessidade de maior atenção a esse grupo, no que trata de ações relacionadas à minimização de desigualdades sociais e econômicas, ou seja, mostra a relevância da atribuição dos pesos mais elevados nesses indicadores.

**Tabela 25. Descrição e peso dos indicadores que compõem o Subíndice Capital Humano (Grupo A)**

| Indicador | Descrição | Peso |
|---|---|---|
| 1) Percentual de pessoas de 5 a 14 anos não alfabetizadas. | Razão entre o número de pessoas com idade entre 5 e 14 anos, não alfabetizadas, e a população total do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,10 |
| 2) Percentual de pessoas com até 15 anos de idade. | Razão entre o número de pessoas com até 15 anos de idade, e a população total do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,10 |
| 3) Percentual de pessoas com mais de 65 anos de idade. | Razão entre o número de pessoas com 65 anos de idade ou mais, e a população total do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,10 |
| 4) Percentual de mulheres chefes de família não alfabetizadas. | Razão entre o número de mulheres que são responsáveis pelo domicílio, não alfabetizadas, e o número total de chefes de família, multiplicado por 100. | 0,10 |
| 5) Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais. | Razão entre o número de pessoas com até 15 anos de idade ou mais, não alfabetizadas, e o número total de pessoas com 15 anos ou mais de idade, do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,30 |
| 6) Percentual de negros ou pardos. | Razão entre o número de pessoas negras ou pardas, e a população total do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,30 |

**Fonte: Elaboração dos autores.**

### Grupo B – Subíndice Infraestrutura e moradia

Este subíndice busca evidenciar condições de acesso aos serviços básicos de saneamento e infraestrutura de moradia, como fornecimento de água tratada, energia elétrica, coleta de lixo e esgotamento sanitário adequado, uma vez que tais serviços, impactam significativamente no bem-estar dos indivíduos, sendo considerados de primeira necessidade. Os indicadores a serem utilizados para o cálculo do subíndice que fazem parte do Grupo B estão descritos na Tabela 26.

**Tabela 26. Descrição e peso dos indicadores que compõem o Subíndice Moradia e Infraestrutura (Grupo B)**

| Indicador | Descrição | Peso |
|---|---|---|
| a) Localização da moradia (rural ou urbana) | Adotou-se valores absolutos para moradias rurais e urbanas. Onde, moradia rural recebeu valor igual a 1 (aumentando o índice em 40%) e moradia urbana valor igual a 0. | 0,40 |
| b) Percentual de moradias com água e esgoto inadequados | Razão entre o número pessoas moradoras de domicílios com água e esgoto inadequados e o total da população residente do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,12 |
| c) Percentual de pessoas em moradias sem coleta de lixo | Razão entre o número pessoas moradoras de domicílios sem coleta de lixo e o total da população residente do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,12 |
| d) Percentual de famílias com renda inferior a 1 salário mínimo (de 2010) e condição de moradia inadequada | Razão entre o número de famílias com renda inferior a um salário mínimo em condição de moradia inadequada, e o total de famílias residentes do setor censitário, multiplicado por 100. | 0,12 |
| e) Percentual de domicílios sem acesso a rede geral de energia elétrica | Razão entre o número de famílias em domicílios com acesso a rede geral de energia elétrica, e o total de famílias residentes do setor censitário, multiplicado por 100. | 0,12 |
| f) Condição do imóvel (% de imóveis não próprios) | Razão entre o número de imóveis não próprios e o total de domicílios particulares permanentes, do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,12 |

Fonte: Elaborado pela equipe UFV.

Nesta dimensão, um dos seis indicadores não possui o mesmo peso, o significa dizer que quarenta por cento do peso total do subíndice é representado pela localização da moradia (rural ou urbana). Essa maior relevância é justificada pelo fato de que as áreas a serem priorizadas para recuperação serão, predominantemente, as rurais. Além disso, vale ressaltar os argumentos de Nigg (1995), que ressalta que as áreas rurais recebem menos assistência externa, como fornecimento de serviços públicos (escolas, atendimento médico, saneamento, coleta de lixo, entre outros), e são mais dependentes das relações de parentesco e vizinhança, o que torna essas localidades mais vulneráveis em relação às áreas urbanas. Logo, o peso maior atribuído ao meio rural equaciona as situações possíveis dos indivíduos, morar no campo ou na cidade, em relação ao cálculo do subíndice relacionado à infraestrutura e moradia. Ressalta-se que tal opção metodológica, de distribuição dos pesos, levou em conta a diversidade de realidades e contextos socioespaciais presente na bacia do rio Doce.

As principais categorias associadas ao grupo Moradia e Infraestrutura tomou como base a tipologia do IBGE (2010), que as define como:

- **Abastecimento de água inadequado**: considerou-se como domicílios com abastecimento de água inadequado aqueles onde os resíduos do banheiro não tenham como destino a coleta via rede geral de esgoto ou pluvial ou fossa séptica.
- **Condição do imóvel**: considerou-se como imóveis não próprios aqueles cedidos (por empregador, parente não residente no domicílio, ou qualquer outra relação semelhante), alugados, ocupados, ou outra forma onde os moradores não sejam os proprietários da moradia.
- **Esgoto inadequado**: considerou-se como domicílios com esgotamento sanitário inadequado aqueles onde não há acesso à rede geral de distribuição de água, ou seja, acesso a água tratada.
- **Moradia inadequada**: consideram-se inadequadas as moradias que não possuem rede geral de abastecimento de água, rede geral de esgoto ou pluvial ou fossa séptica e coleta de lixo direta ou indireta;
- **Situação da moradia (rural ou urbana):** segundo a sua localização, os domicílios podem ser classificados em situação urbana ou rural. Por situação urbana, entende-se as áreas, urbanizadas ou não, internas ao perímetro urbano das cidades (sedes municipais) ou vilas (sedes distritais) ou as áreas urbanas isoladas, conforme definido por Lei Municipal vigente em 31 de julho de 2010. Por sua vez, a situação rural abrange todas as áreas situadas fora dos limites do que é tratado por urbano.

**Grupo C – Subíndice Renda**

O subíndice renda busca medir a vulnerabilidade em relação a insuficiência de renda, principalmente, em relação aos chefes de famílias, fator que impacta no grau de vulnerabilidade social, na medida pode determinar as condições de vida das famílias no que se refere à moradia, alimentação, educação, entre outros. Os indicadores a serem utilizados para o cálculo do subíndice denominado Grupo C, estão descritos na Tabela 27.

**Tabela 27. Descrição e peso dos indicadores que compõem o Subíndice Renda (Grupo C)**

| Indicador | Descrição | Peso |
|---|---|---|
| a) Percentual de pessoas com rendimento de até 1 salário mínimo (de 2010). | Razão entre o número pessoas com renda de até um salário mínimo e o total pessoas residentes do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,50 |
| b) Percentual de pessoas responsáveis sem rendimentos | Razão entre o número pessoas responsáveis sem rendimento e o total pessoas responsáveis, do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,45 |
| c) Percentual de pessoas sem rendimento | Razão entre o número pessoas sem rendimentos e o total da população residente do setor censitário, multiplicada por 100. | 0,05 |

Fonte: Elaborado pela equipe UFV.

A dimensão renda possui apenas um dos indicadores com peso que destoa dos demais (percentual de pessoas sem rendimento), importando apenas cinco por cento de toda composição do subíndice. Tal importância diminuta deste indicador se deve ao fato, do percentual de pessoas com rendimento de até um salário mínimo já contemplar grande parte dos vulneráveis economicamente. Além do fato de que o maior grupo de pessoas sem rendimento são representados por crianças e idosos. Não perfazendo parte da população economicamente ativa dos municípios.

**IPAE - Indicadores de produção agropecuária e extrativista e silvicultura**

Os indicadores de produção agropecuária e extrativista e silvicultura foram utilizados como fatores de ponderação ao final do cálculo do IVS (IVS final). Como mostra a literatura sobre a temática, nos municípios o espaço rural é mais vulnerável e onde os indicadores sociais se apresentam piores se comparados aos do urbano, a existência de produção agropecuária e extrativista é um fator preponderante na diminuição da situação de vulnerabilidade nessas áreas. Logo, a importância da produção agrícola, da extrativista, da silvicultura e da pecuária, de cada município, foi calculada em relação ao PIB municipal e dividida pelo número de setores censitários, gerando um subíndice, que foi utilizado como ponderador na construção do IVS final. Essa medida teve como objetivo mitigar os impactos negativos de renda inferior e infraestrutura insuficiente do meio rural, uma vez que, em grande parte dos municípios da

região em questão, são essas atividades as maiores responsáveis pela geração de renda e trabalho, principalmente no meio rural. Tais indicadores estão descritos na Tabela 28.

**Tabela 28. Descrição e peso dos indicadores que compõem o indicador de produção.**

| Indicador | Descrição | Peso |
|---|---|---|
| a) Lavouras Permanentes. | Razão entre o valor bruto da produção das lavouras permanentes de cada município e o PIB municipal, multiplicado por 100. | 0,25 |
| b) Lavouras Temporárias. | Razão entre o valor bruto da produção de lavouras temporárias de cada município e o PIB municipal, multiplicado por 100. | 0,25 |
| c) Pecuária. | Razão entre o valor da pecuária (taxa de desfruto médio) de cada município e o PIB municipal, multiplicado por 100. | 0,25 |
| d) Extrativismo Vegetal e Silvicultura. | Razão entre o valor bruto da produção do extrativismo vegetal e silvicultura de cada município e o PIB municipal, multiplicado por 100. | 0,25 |

Fonte: Elaborado pela equipe UFV.

A produção agropecuária e extrativista vegetal, são indicadores importantes, uma vez que, a presença de tais atividades permite uma melhora nas condições econômicas e sociais dos locais estudados. Nota-se que, como os indicadores produtivos entram de forma indireta no cálculo do IVS, sendo apenas um calibrador dos resultados obtidos, seus pesos são idênticos não havendo a necessidade de diferenciá-los, uma vez que, entende-se que as atividades produtivas citadas têm o impacto econômico semelhante nos municípios.

### 6.1.2. CÁLCULO DO IVS

O Índice de Vulnerabilidade Social será calculado pela média aritmética dos subíndices dos grupos A, B e C (IVS Capital Humano, IVS Infraestrutura e Moradia e IVS Renda, respectivamente) e posterior ponderação do IPAE (Índice Produtivo das atividades agropecuária, extrativista e silvicultura), no qual cada um contribui para o cálculo final IVS com o mesmo peso. Internamente os indicadores que compõem os subíndices dos quatro grupos terão pesos distintos, conforme apresentado anteriormente. Ressalta-se que os pesos utilizados foram atribuídos com base na metodologia utilizada pelo Atlas Brasil (2013) para construção do IDH e por Costa e Marguti (2015a; 2015b) para elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social dos municípios e das regiões metropolitanas no Brasil. Nesse contexto, na construção de cada dimensão ou subíndice, serão utilizados pesos proporcionais e

equivalentes para cada indicador, assim como parâmetros de máximo e mínimo, de forma que tenhamos indicadores padronizados com valores entre 0,000 e 1,000. Como o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) será calculado com base nos três grupos de indicadores apresentados (Grupo A, Grupo B e Grupo C), e posteriormente ponderado (IPAE), temos a seguinte estrutura analítica:

**Grupo A: *IVS* – Capital Humano**

$$\text{Grupo A} = \sum_{i=1}^{n} x_i \times Pa_i \qquad \text{(Equação 11)}$$

onde $x_i$ é o indicador *i*; e $Pa_i$ é o peso atribuído ao indicador *i*.

**Grupo B: IVS – Infraestrutura e moradia**

$$\text{Grupo B} = \sum_{i=1}^{n} y_i * Pb_i \qquad \text{(Equação 12)}$$

onde $y_i$ é o indicador *i*; $Pb_i$ é o peso atribuído ao indicador *i*.

**Grupo C: *IVS* – Renda**

$$\text{Grupo B} = \sum_{i=1}^{n} y_i * Pb_i \qquad \text{(Equação 13)}$$

Onde $z_i$ é o indicador i; e Pci é peso atribuído ao indicador i.

Como o cálculo do IVS será a média aritmética simples entre os resultados obtidos no cálculo dos grupos de indicadores, temos:

$$\text{IVS} = \frac{1}{3}\left[\sum_{i=1}^{n} \text{Grupo}_i\right] \qquad \text{(Equação 14)}$$

**IPAE - Indicador de produção agropecuária e extrativista e silvicultura**

IPAE – Valor Bruto da PAM, PPM, PEVS

$$IPAE = \sum_{i=1}^{n} z_i * P_{M_i} \quad \text{(Equação 15)}$$

Onde $z_i$ é o indicador i; e $P_{M_i}$ é o peso atribuído ao indicador i.

O IPAE será utilizado como calibrador do IVS calculado na Equação 16. Desta forma o mesmo é incorporado ao IVS de acordo com a expressão abaixo:

$$IVS = \left\{\frac{1}{3}\left[\sum_{i=1}^{n} Grupo_i\right]\right\} - IPAE \quad \text{(Equação 16)}$$

Como o IVS é um índice que varia entre 0 e 1, teremos que a condição de absoluta ausência de vulnerabilidade com valor equivalente a 0 ou 0% (situação ideal ou desejável), e 1 ou 100% o valor corresponde a pior situação possível. Para espacialização das informações os valores obtidos no cálculo do IVS serão agregados em cinco categorias (Tabela 29), conforme metodologia definida por Costa e Maguiti (2015a).

**Tabela 29. Valores atribuídos e categorias do IVS**

| Índice de Vulnerabilidade Social | | |
|---|---|---|
| Muito baixo | < 0,200 | |
| Baixo | ≥ 0,200 < 0,300 | |
| Médio | ≥ 0,300 < 0,400 | |
| Alto | ≥ 0,400 < 0,500 | |
| Muito alto | ≥ 0,500 | |

Como resultados médios dos indicadores utilizados no cálculo do IVS, para os setores censitários dos municípios da Bacia Hidrográfica do rio Doce, por grupo (A, B e C), temos:

**Tabela 30. Resultados médios dos setores censitários da bacia do Rio Doce.**

| Grupos | Variáveis | Mínimo | Média | Máximo |
|---|---|---|---|---|
| Grupo A Capital Humano | 1. % de pessoas de 5 a 14 anos não alfabetizadas | 0 | 0,043 | 0,198 |
| | 2. % de pessoas com até 15 anos | 0 | 0,232 | 0,464 |
| | 3. % de pessoas com mais de 65 anos | 0 | 0,088 | 0,921 |
| | 4. % de mães chefes de família, não alfabetizadas | 0 | 0,018 | 0,113 |
| | 5. Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais | 0 | 0,123 | 0,978 |
| | 6. % negros ou pardos | 0 | 0,606 | 1 |

| Grupos | Variáveis | Mínimo | Média | Máximo |
|---|---|---|---|---|
| Grupo B Infraestrutura e Moradia | 1. Localização da moradia (rural ou urbana) | Urbano 0 | - | Rural 1 |
| | 2. % de moradias com água e esgoto inadequados | 0 | 0,400 | 1 |
| | 3. % de moradias sem coleta de lixo | 0 | 0,200 | 1 |
| | 4. % de famílias com renda inferior a 1 salário mínimo (de 2010) e condição de moradia inadequada | 0 | 0,010 | 1 |
| | 5. % de domicílios sem acesso a rede geral de energia elétrica | 0 | 0,020 | 1 |
| | 6. Condição do imóvel (% de imóveis não próprios) | 0 | 0,200 | 1 |
| Grupo C Renda | % de pessoas com rendimento de até 1 salário mínimo (de 2010) | 0 | 0,450 | 1 |
| | % pessoas responsáveis sem rendimentos | 0 | 0,110 | 1 |
| | % pessoas sem rendimento | 0 | 0,020 | 0,796 |

Fonte: Elaborado pela equipe UFV.

Os resultados do IVS para cada grupo (A, B e C) e do IVS Final serão discutidos a seguir, tomando como base sua representação espacial nos mapas produzidos.

***Grupo A***

O subíndice Capital Humano (Grupo A), busca representar as condições relacionadas à formação escolar (alfabetização), composição etária e composição racial da população, para os setores censitários e municípios que formam a bacia do rio Doce. Para tanto, os resultados apresentados a seguir foram calculados a partir das variáveis descritas na Tabela 30, conforme a metodologia apresentada.

Assim, como demonstra a Figura 51, percebemos que os resultados do subíndice do Grupo A tendem a valores indicados como baixos ou à média. Entretanto, percebe-se a presença de valores mais elevados na região Norte da bacia, que abrange o estado de Minas Gerais. Essa tendência, de valores elevados na parte norte da bacia do rio Doce, se repete nos demais subíndices, como será demonstrado a seguir, interferindo diretamente na composição do IVS final.

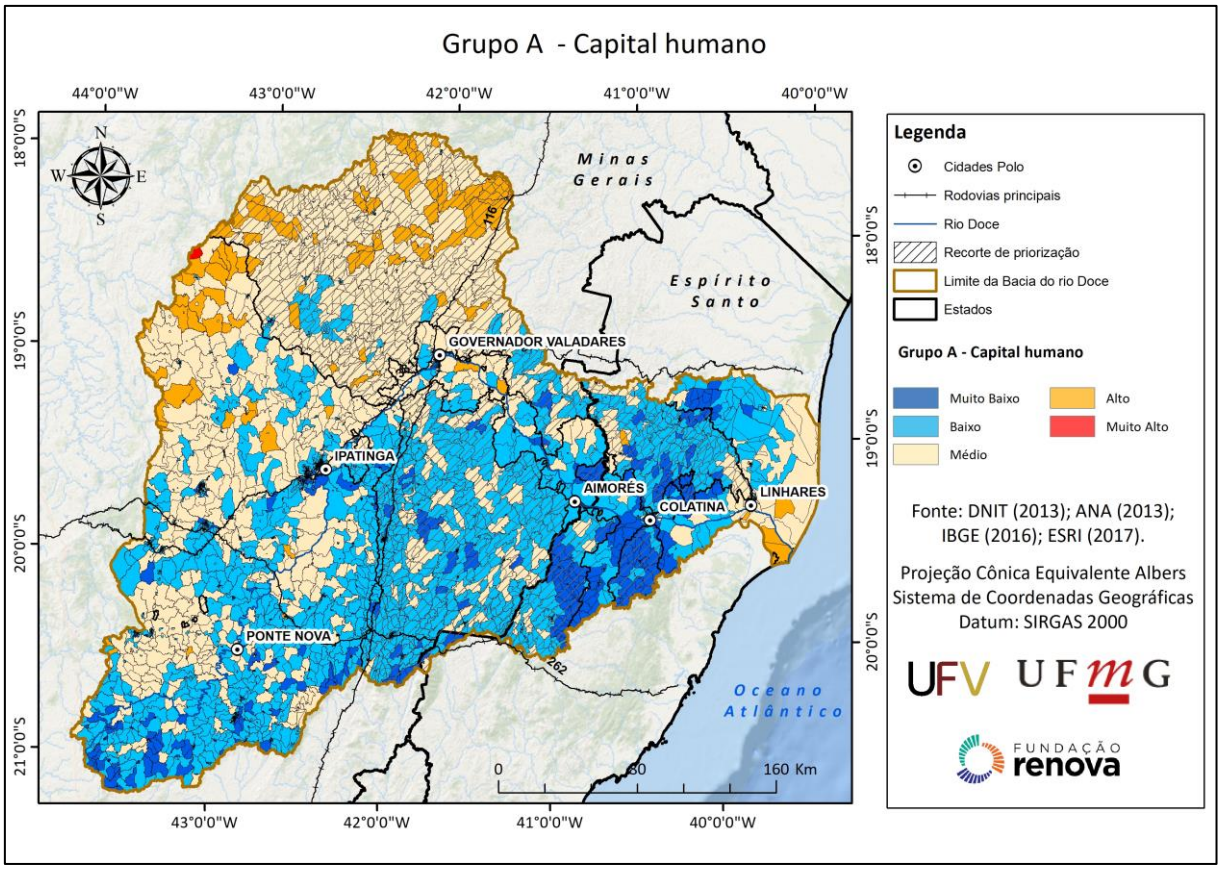


**Figura 51. Representação dos resultados do subíndice IVS - Capital Humano, para os setores censitários dos municípios da BHRD.**

**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

No que trata dos indicadores utilizados para compor o subíndice do Grupo A, conforme a Tabela 30 fica evidente que existem setores onde a situação encontrada é a considerada como ideal, ou seja, onde o indicador é igual a zero. Porém, encontramos, também, situações onde esses apresentam-se extremamente elevados, como por exemplo, a taxa de pessoas com 65 anos ou mais, que em alguns setores chega a 92%, o que indica o grande envelhecimento da população do setor, o que relacionado à razão de dependência, por exemplo, pode indicar uma situação desfavorável. Outro exemplo é a taxa de analfabetismo em pessoas de 15 anos ou mais, que chega a quase 98% em determinado setor, como demonstrado. Além disso, existem setores onde 100% da população é negra ou parda, o que contribui, de forma significativa, para a elevação do valor do subíndice nos mesmos, uma vez que, além do peso atribuído, foi o indicador que apresentou a média mais elevada dentro do grupo.

***Grupo B***

O subídice do Grupo B (Infraestrutura e moradia), foi o que apresentou piores resultados, predominando as situações de muito alta vulnerabilidade em relação à essa dimensão, conforme evidencia a Figura 52.

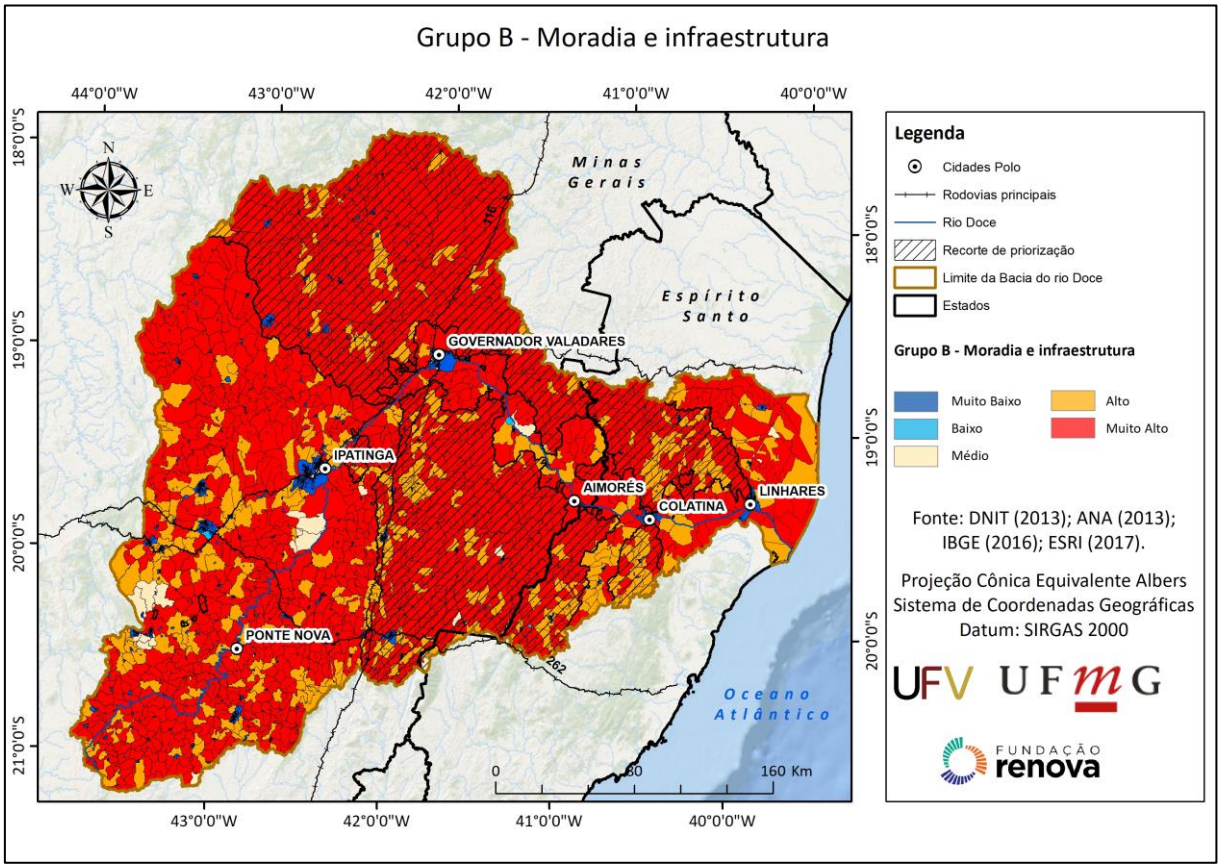


**Figura 52. Representação dos resultados do subíndice IVS - Infraestrutura e moradia, para os setores censitários dos municípios da BHRD.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

A composição do subíndice relacionado à infraestrutura e moradia, conforme apresentado na metodologia, atribuiu importante relevância à localização das moradias (rural ou urbana), como já destacado, pelo fato de que nas áreas rurais o acesso à serviços de infraestrutura, saúde, entre outros, são no geral, mais precários em relação às cidades. Esse procedimento está balizado, também, no foco de autuação das ações de recuperação de áreas degradadas naquelas com maior potencial de regeneração da vegetação e recepção de ações de reflorestamento, entre outros, as quais seriam, predominantemente, as áreas rurais. Nesse contexto, relacionando ainda, os outros indicadores utilizados, onde as piores situações dizem respeito ao acesso aos serviços de água e esgoto (média 0,40), coleta de lixo (média 0,20) e

condição dos imóveis (não próprios – média 0,20), para os quais encontra-se cenários de setores onde 100% dos domicílios não tem acesso a esses serviços, por exemplo, encontramos, em quase toda a bacia do rio Doce, predominância de alta situação de vulnerabilidade em relação a essa dimensão.

***Grupo C***

Os resultados encontrados para o grupo C (renda), na composição do IVS final, estão apresentados na Figura 53 a seguir. Esse subíndice, assim como o grupo A, tendeu para valores médios, apresentando, porém, forte presença de setores com alta vulnerabilidade nessa dimensão nas regiões norte (no domínio da sub bacia do rio Suaçuí) e sul (no domínio da sub bacia do rio Piranga) da bacia do rio Doce.

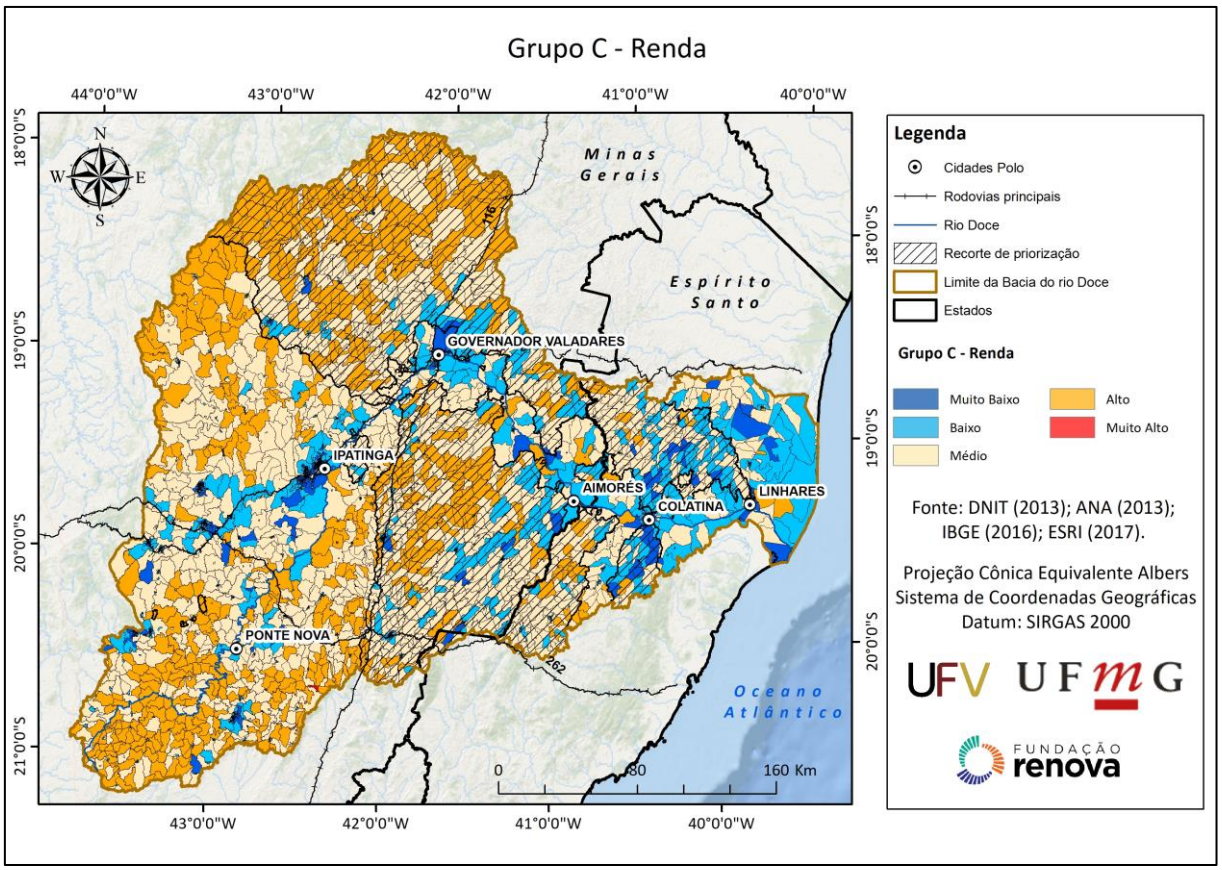


**Figura 53. Representação dos resultados do subíndice IVS - Renda, para os setores censitários dos municípios da BHRD.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Conforme informações da Tabela 30, associado aos pesos atribuídos, o indicador que interferiu de forma mais significativa na composição do subíndice desse grupo foi o número de pessoas com rendimento de até um salário mínimo, cuja média foi 0,45, existindo, porém, situação onde 100% dos moradores possuem essa faixa de rendimento. O cenário ideal, ou seja, aquele no qual todos os moradores possuem rendimento acima dessa faixa também foi identificado, porém, não é possível afirmar que a renda obtida seja suficiente para suprir as necessidades das pessoas e famílias, entretanto, para a presente análise, não foi possível uma apreciação mais aprofundada nessa direção.

A partir dos resultados dos subíndices, foi calculada a média aritmética desses, operação que resultou no IVS de cada setor. Esses resultados estão ilustrados na Figura 54. Essa imagem permite identificar, com auxílio da escala de cores, aqueles setores censitários que apresentam situação de maior vulnerabilidade social, informação que, ao ser cruzada com os demais indicadores elaborados no decorrer do projeto, auxiliará na localização daquelas áreas com maior potencial de recuperação, e também com maio necessidade de ação no sentido de minimizar essa situação de vulnerabilidade, tanto do ponto de vista ambiental, quanto social.

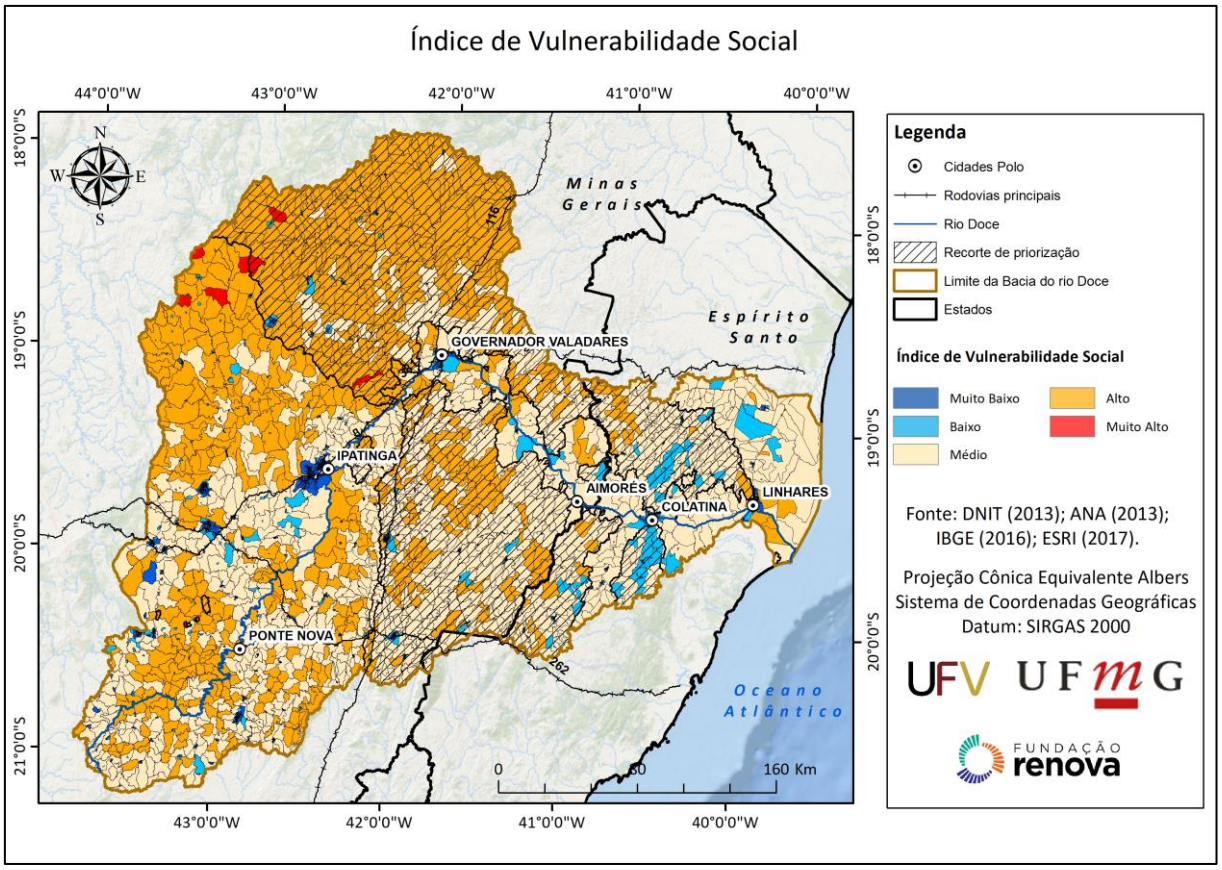


**Figura 54. Resultados do IVS a partir da média aritmética dos subíndices dos grupos A, B e C. Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Percebe-se, a partir da Figura 54, que a região onde encontra-se maior número de setores censitários com alta vulnerabilidade social, a partir dos resultados do IVS, está localizada ao norte da bacia do rio Doce, no domínio, principalmente, da sub bacia do rio Suaçuí, localizada no estado de Minas Gerais, que contempla municípios como Rio Vermelho, Água Boa, São José do Jacuri, Coluna, Paulistas, São Pedro do Suaçuí, entre outros.

Os resultados mostram, também, alguns setores que apresentam muito alta vulnerabilidade, a partir dos indicadores selecionados. São oito, no universo total, estando quatro desses localizados no município de Serro, e os demais nos municípios de Materlândia, Açucena (os três pertencentes à sub bacia do rio Santo Antônio), Rio Vermelho e Frei Inocêncio (na sub bacia do rio Suaçuí). É importante destacar esse cenário, mesmo que seja um universo pequeno dentro do total de setores censitários analisados, pois, numa análise por município essa realidade seria "mascarada", ao se trabalhar com uma realidade que se pensa como homogênea, numa abordagem por unidades territoriais maiores. Assim, é possível perceber a heterogeneidade de realidades dentro, não só das regiões ou territórios, mas também nas

unidades menores, como os municípios em si. A Figura 55 a seguir ilustra esse detalhamento, uma vez que pode-se visualizar de forma mais clara as diferenças de escala encontrada para os setores censitários do município de Governador Valadares, localizado no estado de Minas Gerais.

A Figura 55 demonstra, também, outro resultado importante do cálculo do IVS, ao evidenciar que as áreas urbanas apresentam, de forma geral, melhores indicadores que as áreas rurais.

A partir dessas considerações, podemos verificar, por exemplo os resultados apresentados na Tabela 31. Esses valores apresentam a média para todos os setores censitários analisados, assim, indicam a situação geral para a bacia, que demonstra ser de baixa vulnerabilidade, segundo a escala apresentada. Nesse sentido, fica claro, mais uma vez, a importância de tratar os dados e os resultados de forma desagregada, a fim de identificar as heterogeneidades e especificidades locais, dando maior consistência às análises, o que pode proporcionar resultados mais eficientes, uma vez que as ações podem ser localizadas a partir de seus objetivos específicos.

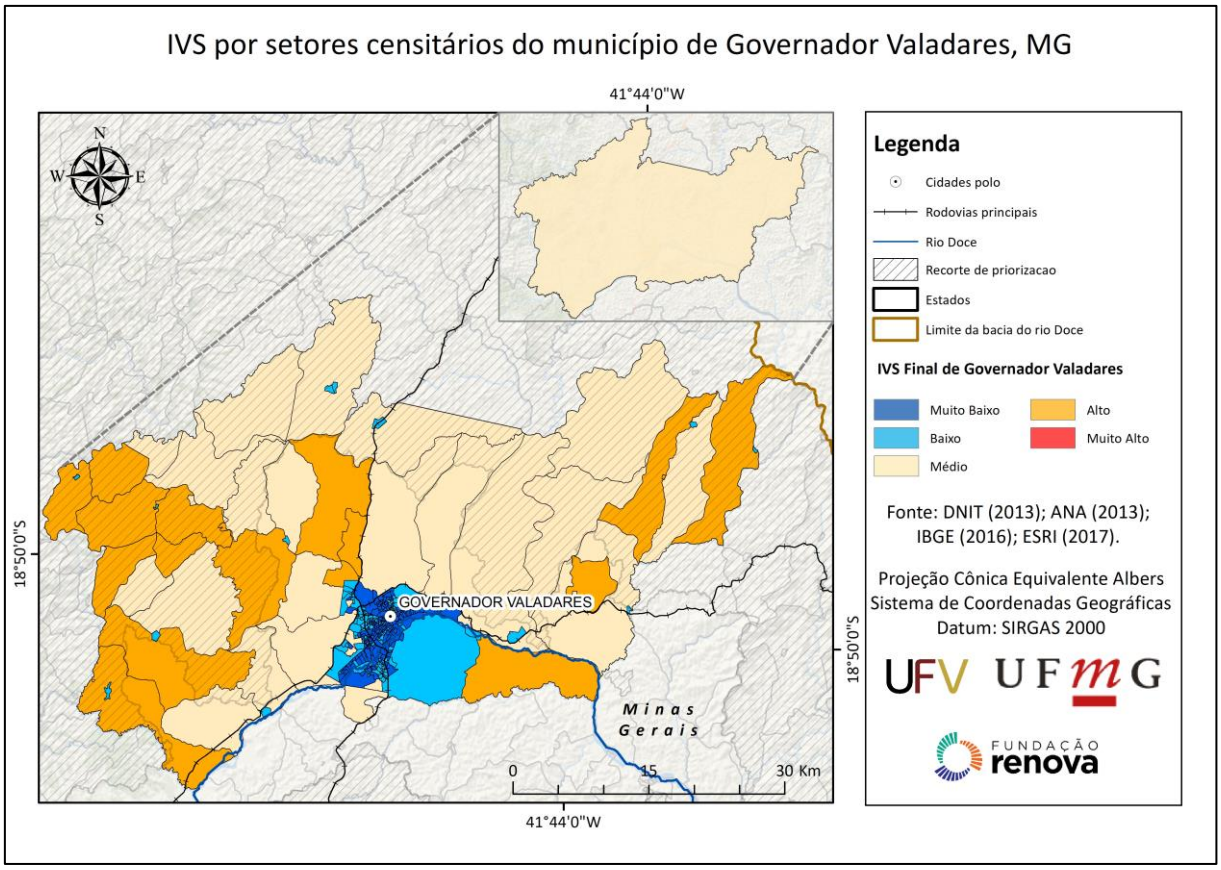


**Figura 55. Representação dos resultados do IVS final para os setores censitários do município de Governador Valadares - MG.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Como descrito na metodologia, além do cálculo do IVS a partir dos indicadores relacionados às características das populações e dos domicílios, identificou-se como elemento importante, para os objetivos do trabalho, identificar a importância das atividades produtivas relacionadas ao campo (agricultura, extrativismo, pecuária e silvicultura) dentro dos municípios, como

citado na metodologia (os resultados obtidos estão ilustrados na

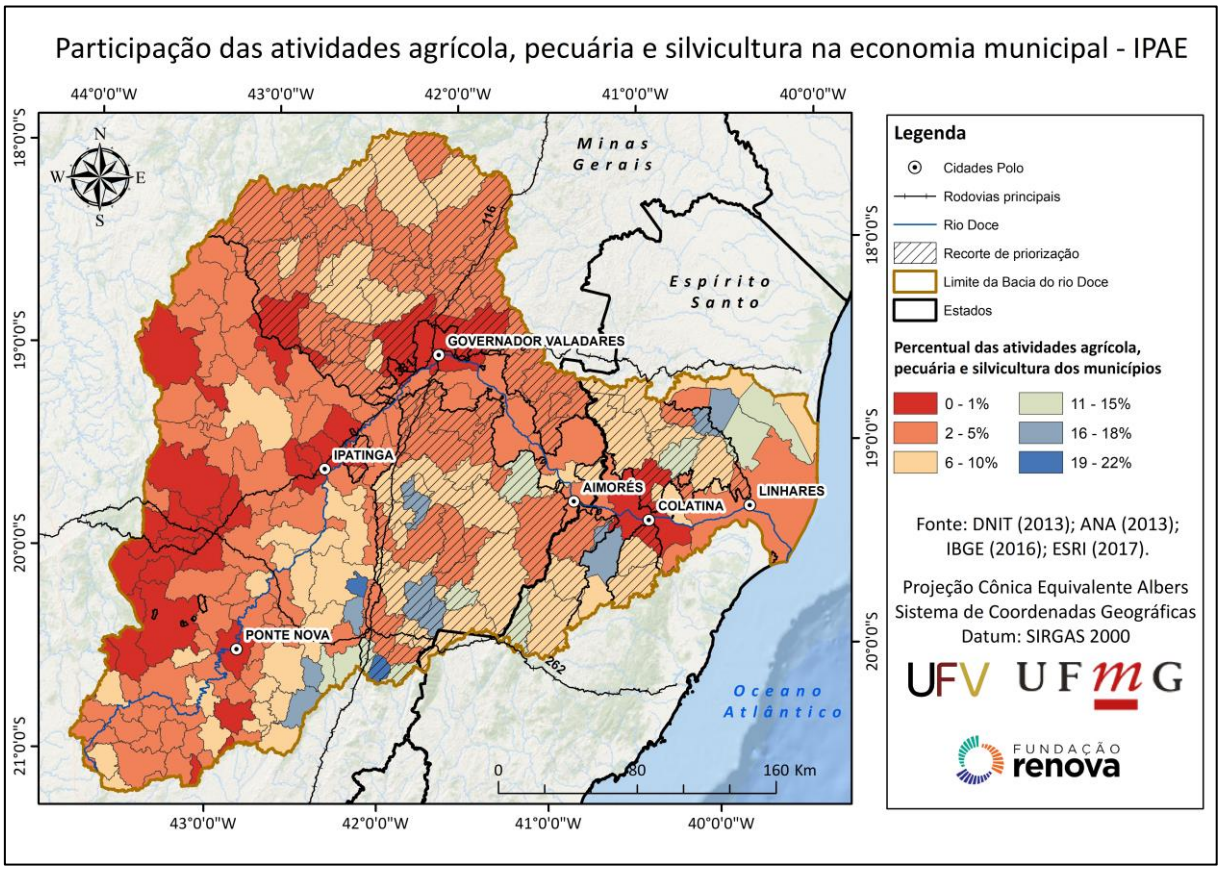


Figura 56).

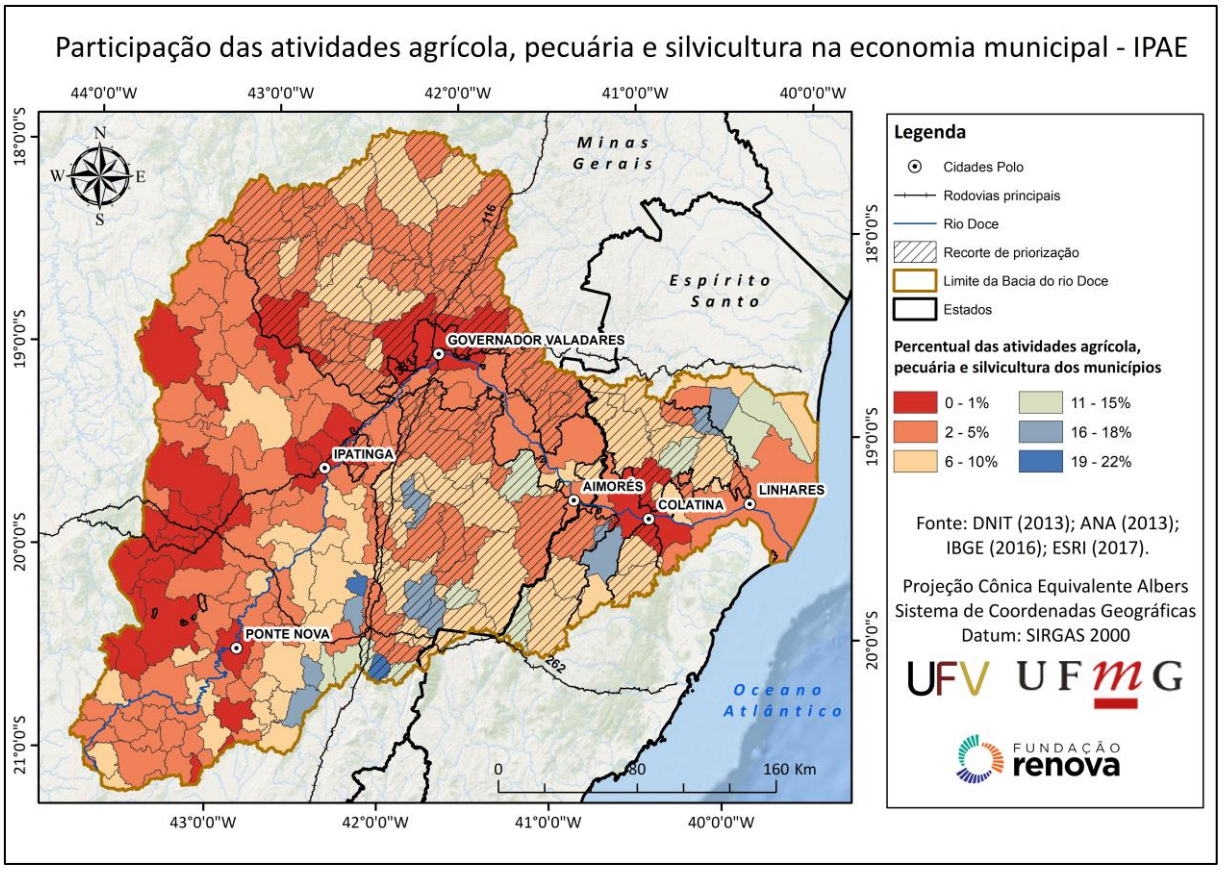


**Figura 56. Resultados obtidos para a produção agrícola, pecuária e silvicultura para os municípios da BHRD, referentes ao ano de 2016.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Essa informação foi incorporada, na composição do índice final, como fator ponderador, o qual tem efeito de diminuição nos valores do mesmo, ao partir da perspectiva de que estas atividades geram emprego e renda para as localidades onde são desenvolvidas. Assim, após o cálculo do IVS, conforme a Equação 16, foi diminuído o valor encontrado para o IPAE.

Na composição do indicador desse grupo, foi realizada, após mensurar a importância dessas atividades na economia municipal, um ajuste de valores a fim de possibilitar a compatibilização com os resultados do IVS. Para tal, o resultado relacionado à significância dessas atividades foi dividido pelo número de setores censitários de cada município, operação que deu origem aos valores finais utilizados na ponderação dos resultados do IVS formado pela média dos grupos A, B e C, resultando no IVS final para os setores censitários, conforme a Figura 57.

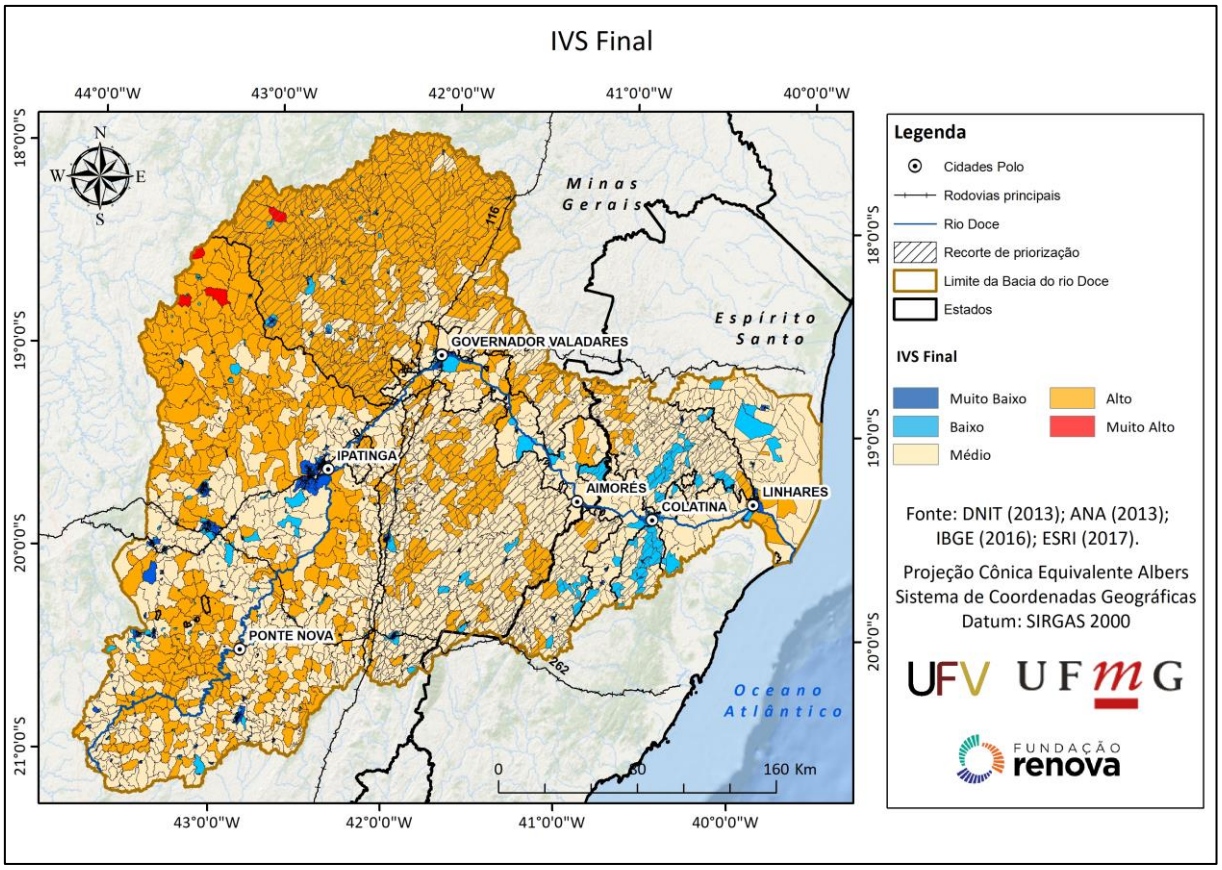


**Figura 57. Resultado do IVS final - IVS resultante da média aritmética dos grupos A, B e C, ponderados pelo IPAE.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

Apesar da importância de considerar as atividades produtivas no campo na análise da situação de vulnerabilidade dos municípios e seus respectivos setores censitários, percebe-se que a ponderação com esse indicador não altera significativamente os resultados obtidos inicialmente com os indicadores sociais, econômicos e de infraestrutura. Cabe ressaltar, assim, que apesar dessas atividades apresentarem importância significativa para a economia municipal e geração de emprego e renda, o PIB dos municípios da região analisada é composto principalmente pelo setor de serviços, conforme IBGE (2018), fato que justifica os resultados encontrados.

Nesse contexto, a Tabela 31 e a Tabela 32 demonstram o número de setores censitários, que estão localizados no recorte da bacia do rio Doce, classificados em cada categoria do IVS, dando uma ideia geral dos resultados encontrados. Ajudam, também, a perceber o impacto da ponderação com o IPAE, o qual diminuiu o número de municípios que se encontravam nas classes alto, muito alto e baixo; e aumentou os classificados em médio e muito baixo.

**Tabela 31. Número de setores censitários por categoria do IVS não ponderado**

| Categorias do IVS | Número de setores |
|---|---|
| Muito baixo | 2295 |
| Baixo | 1659 |
| Médio | 1331 |
| Alto | 886 |
| Muito alto | 8 |
| **Total** | 6179 |

**Tabela 32. Número de setores censitários por categoria do IVS final (ponderado).**

| Categorias do IVS | Número de setores |
|---|---|
| Muito baixo | 2323 |
| Baixo | 1647 |
| Médio | 1368 |
| Alto | 835 |
| Muito alto | 6 |
| **Total** | 6179 |

Como procedimento final dessa etapa de tratamento e análise dos dados, foi feita a conversão do IVS por setor censitário para IVS por município. Tal procedimento consistiu no cálculo da média do IVS dos setores censitários de cada município, ponderada pela área (em hectares) dos setores. Posteriormente, os valores obtidos para cada município foram normalizados pelo desvio padrão e padronizado dentro do intervalo de 0 a 1. Assim, chegou-se ao valor atribuído para os municípios, conforme representado na Figura 58 e na Tabela 33.

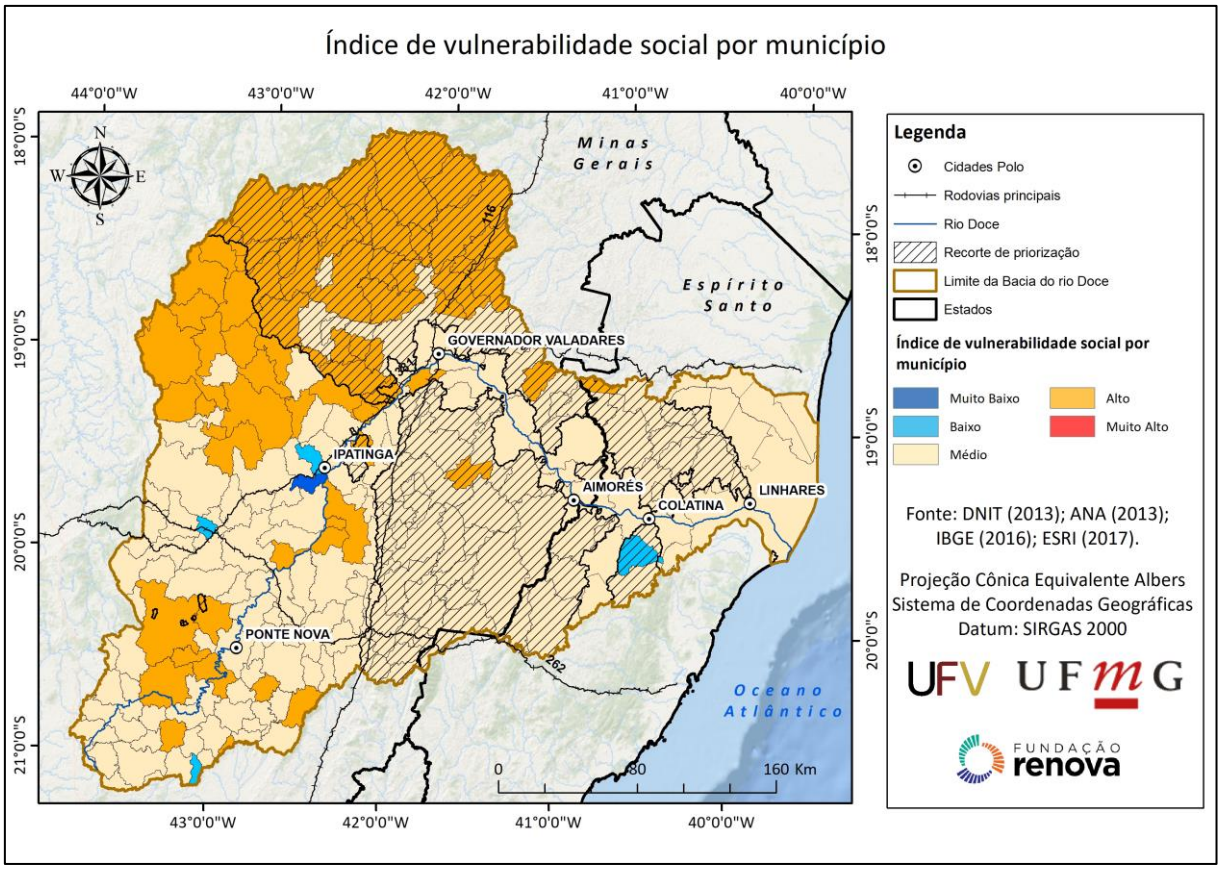


**Figura 58. Representação do IVS final por município da Bacia Hidrográfica do rio Doce. Fonte: Elaborado pela equipe UFV.**

**Tabela 33. Número de municípios por categoria do IVS.**

| Categorias do IVS | Número de municípios |
|---|---|
| Muito baixo | 1 |
| Baixo | 4 |
| Médio | 158 |
| Alto | 65 |
| Muito alto | 0 |
| **Total** | 228 |

Ainda, como resultado do IVS por município, foram escalonados aqueles cuja situação de vulnerabilidade é maior em relação aos demais (Tabela 34).

**Tabela 34. Municípios com os piores IVS na bacia do rio Doce.**

| Municípios | IVS | Classes |
|---|---|---|
| Congonhas do Norte | 0,47890 | Alto |
| Alvorada de Minas | 0,47097 | Alto |
| Serro | 0,46695 | Alto |
| Materlândia | 0,46084 | Alto |
| Serra Azul de Minas | 0,46065 | Alto |
| Rio Vermelho | 0,46001 | Alto |
| Franciscópolis | 0,45206 | Alto |
| Dom Joaquim | 0,44874 | Alto |
| Pingo-D'Água | 0,44843 | Alto |
| Santo Antônio do Itambé | 0,44561 | Alto |
| Itambacuri | 0,44410 | Alto |
| Santa Maria do Suaçuí | 0,44307 | Alto |
| Água Boa | 0,44192 | Alto |
| São Sebastião do Maranhão | 0,44066 | Alto |
| Peçanha | 0,43942 | Alto |
| São Geraldo | 0,43663 | Alto |
| Coluna | 0,43663 | Alto |
| Malacacheta | 0,43454 | Alto |
| Açucena | 0,43297 | Alto |
| Sabinópolis | 0,43193 | Alto |
| São José da Safira | 0,43134 | Alto |
| Morro do Pilar | 0,42956 | Alto |
| Santa Efigênia de Minas | 0,42845 | Alto |
| Frei Inocêncio | 0,42834 | Alto |
| Campanário | 0,42734 | Alto |
| Nacip Raydan | 0,42645 | Alto |
| São Pedro do Suaçuí | 0,42568 | Alto |
| José Raydan | 0,42458 | Alto |
| Ferros | 0,42342 | Alto |
| Paulistas | 0,42276 | Alto |

A partir da análise da Figura 58 e das Tabela 33 Tabela 34, é possível apontar no conjunto dos 228 municípios da bacia do Rio Doce, a porção localizada na região norte da mesma como a mais vulnerável dentro da bacia. Destaca-se, portanto, as sub bacias dos rios Suaçuí e Santo Antônio como aquelas que abrigam os piores indicadores de vulnerabilidade social, tanto na análise por setor censitário, quanto por município.

Assim como apresentado, por meio dessa escala de cores foi possível identificar no *layer* socioeconômico as áreas mais vulneráveis ao longo da bacia, possibilitando o cruzamento e sobreposição com os demais *layers* gerados para os diversos grupos de informação gerados, até a definição do *layer* final com as áreas prioritárias para a restauração florestal na bacia do

Rio Doce. A espacialização do Índice de Vulnerabilidade Social foi feita com a utilização do programa ArcGis®10.5.1 de geoprocessamento e em escala compatível com as demais equipes do projeto.

# 7. ÍNDICE DE VOCAÇÃO RECUPERAÇÃO (IVR)

Existe uma demanda crescente de estratégias de planejamento e ordenamento do território que sejam capazes de conciliar a conservação da natureza com o desenvolvimento rural sustentável (CARVALHO-RIBEIRO et al., 2010; WUNDER et al., 2014; WÜNSCHER e ENGEL, 2012; WÜNSCHER et al., 2008; WWF, 2014). O conceito de paisagem tem sido apontado como chave para integrar as dimensões de conservação e desenvolvimento e, por esse motivo, as abordagens ao nível da paisagem são cada vez mais populares para resolver problemas ambientais, entre os quais a restauração florestal. No entanto, enquanto a ciência da restauração florestal (BRADSHAW, 1993) tem sido muito ativa em estudar: 1) a eficiência ecológica, os custos e benefícios das atividades de restauração e 2) as inter-relações entre o sucesso da restauração florestal e o engajamento da sociedade, menos atenção tem sido dedicada à priorização de locais para recuperação ambiental, dado o seu contexto na paisagem (WICKHAM et al., 2017).

O índice de vocação para a recuperação ambiental aqui desenvolvido pretende contribuir para preencher essa lacuna e tem como objetivo definir critérios para identificar a Vocação para Recuperação Ambiental (IVR) dos municípios da BHRD. Em particular, definimos *vocação* como a capacidade de um dado território para receber e assegurar no médio e longo prazo, as ações de restauração florestal de acordo com três modalidades distintas, a saber: 1) condução da regeneração natural, 2) plantio total sem fins econômicos e 3) plantio total com fins econômicos (SAFs). Além de considerar a viabilidade das ações, o IVR também considera a importância dessas áreas para a conservação da biodiversidade (fauna e flora). Este critério complementa assim o Índice Vulnerabilidade Ambiental – IVA (seção 5) e o Índice de Vulnerabilidade Social (seção 6) e leva em conta as dinâmicas da paisagem dos municípios da bacia. Para isto, foi adotada uma abordagem multi-escalar, desde o nível da propriedade rural com uma resolução de 30 metros até a escala municipal. Assim, nas 3 modalidades do índice de vocação (condução da regeneração natural e plantio-com e sem -fins econômicos) são consideradas variáveis que variam desde a escala local (calculadas pixel a pixel como por exemplo a favorabilidade à regeneração natural ) até variáveis representativas na escala municipal (por exemplo população rural)

O conceito *vocação* (em inglês *land vocation*) é bem conhecido na literatura internacional e tem sido amplamente popularizado no trabalho desenvolvido por John Holmes que o usa para classificar as áreas rurais da Austrália de acordo com a sua vocação de produção (agrícola e florestal), conservação (áreas de proteção da natureza e serviços ecossistêmicos) ou mesmo para consumo e recreação (áreas para turismo e amenidades) (Holmes, 2006, 2008). Deste modo, a vocação para produção, conservação ou consumo se determina pelas características da paisagem e das dinâmicas sociais em curso (Holmes, 2006, 2008). Acima de tudo, este marco conceitual se define por associar a um determinado território a sua capacidade para produzir múltiplos bens e serviços incluindo a conservação da biodiversidade.

Esta capacidade das áreas rurais em fornecerem múltiplos bens e serviços é associada a diferentes tipos de multifuncionalidade da paisagem rural (CARVALHO-RIBEIRO et al., 2016; CARVALHO-RIBEIRO et al., 2010; CARVALHO-RIBEIRO et al., 2013; PINTO-CORREIA et al., 2016). As diferentes vocações multifuncionais estão associadas a um complexo número de dimensões entre os quais se destacam: 1) dinâmicas socioeconômicas e institucionais dos atores locais nas paisagens rurais e 2) estrutura e composição da paisagem que, por sua vez, estão intimamente associadas ao uso e cobertura da terra.

Ademais de associar os territórios às suas capacidades produtivas e/ou conservacionistas, o conceito de vocação parte da premissa de que os territórios rurais estão num processo complexo de mudanças ou "transições" entre funções de produção (agricultura, silvicultura, etc.) e conservação (áreas protegidas e serviços ecossistêmicos). Neste trabalho, utiliza-se, de forma inovadora, o marco conceitual da vocação territorial no âmbito da priorização à recuperação florestal. Este estudo tem como objetivo selecionar variáveis e estabelecer critérios de priorização que auxiliem na identificação e mapeamento de áreas com vocação para:

I. **Vocação para condução da regeneração natural:** São consideradas áreas com vocação à condução da regeneração natural as áreas onde exista capital natural viável em termos ecológicos e cujo estado de conservação seja considerado bom (médio a alto). A condução da regeneração natural é um processo de sucessão natural, implicando mínima intervenção humana (restauração passiva). Nos termos do TTAC foi

estabelecido que 30 mil ha na bacia do rio Doce devem ser recuperados por meio da condução da regeneração natural.

II. **Vocação para plantio total sem fins econômicos:** São consideradas áreas com vocação para o plantio total sem fins econômicos áreas com um alto nível de degradação e onde se reconhece que o meio ambiente, por si só, não é capaz de se autorregenerar. Em razão do meio ambiente estar muito degradado, as ações de restauração têm de ser realizadas de uma forma mais "intensa", por exemplo, mobilizando o terreno e fazendo plantações de árvores nativas a fim de assegurar o processo de reflorestamento. A vocação para o Plantio Total sem fins econômicos ainda inclui áreas com potencial para reestabelecer conectividade florestal para a formação de corredores para biodiversidade. O TTAC estabelece a implementação de 10 mil ha de reflorestamento, o que, de acordo com o Código Florestal, pode ser realizado por meio de plantios com espécies nativas e exóticas (com ou sem fins econômicos) de acordo com a legislação específica, sendo excluídas atividades de plantio total com espécies exóticas para exploração madeireiras.

III. **Vocação para plantio total com fins econômicos - Sistemas Agroflorestais (SAFs).** São consideradas áreas com vocação para SAFs as áreas onde existe capital natural e social. Nessas áreas existe "*know how*" por parte dos atores locais para produzir (sistemas agroecológicos) e existem também instituições capazes de assegurar a comercialização de produtos agroflorestais. Esta vocação tem como objetivo incluir nas prioridades de restauração florestal as demandas de pequenos agricultores da bacia e ser uma potencial fonte de diversificação econômica da região por meio da integração da recuperação ambiental de APP e RL com a geração de renda e a gestão multifuncional da paisagem. Para tanto, adota-se o princípio de que as agroflorestas sejam utilizadas como meio para inverter transições desfavoráveis de uso solo e, portanto, implementar (parte) dos 10 mil ha de recuperação ambiental por plantio total, dentro das modalidades estabelecidas pela legislação. A vocação para SAFs pretende, assim, ser atrativa para os pequenos proprietários rurais da bacia e contribuir para estimular a regularização ambiental em pequenas propriedades rurais. Os SAFs considerados neste índice de vocação seguem a legislação específica, assim, são excluídas atividades de plantio total com espécies exóticas para exploração madeireiras. Por isso, no cálculo

da diversidade da produtivas foram somente consideradas produções agrícolas tendo sido excluída a silvicultura.

Depois de definido o marco conceitual, a metodologia desenvolvida consiste basicamente em três etapas:

1) Compilação da base de dados capaz de representar as premissas assumidas para cada uma das vocações. Essa compilação inclui coleta de dados secundários, mas também cálculo e análise de dados primários (ex. métricas da paisagem para quantificar estrutura e composição da paisagem);
2) Análise exploratória de dados e análise estatística multivariada. Essa análise incluiu Análise de Componentes Principais (ACP) que permitiu reduzir um conjunto amplo de variáveis em um número reduzido de componentes;
3) Modelagem multicritério integrando as diferentes dimensões analisadas em um mapa final capaz de identificar áreas com diferentes vocações à recuperação ambiental.

A criação da base de dados, com respectiva identificação e definição das variáveis que podem ser incluídas para representar cada um dos três tipos de vocação acima descritos, foi realizada numa primeira fase para os 273 municípios que incluem a CBH-Doce e todos os seus limítrofes e posteriormente a análise focou nos 228 municípios incluídos na bacia de acordo com a definição do CBH-Doce. Na primeira etapa para além da coleta de dados secundários foram quantificados os padrões espaciais usando métricas da paisagem, tendo como base cartográfica o mapa de uso do solo do FBDS (Figura 7). A análise e quantificação do padrão espacial da paisagem através de suas métricas permitiu estimar tamanho, forma, diversidade e conectividade das manchas florestais (classe “formação florestal”) na paisagem por meio do software FRAGSTATS[6]. Os dados primários e secundários foram organizados em uma base de dados armazenados no formato de planilhas e bases cartográficas vetoriais.

A segunda fase consistiu na escolha de método para tratamento das variáveis escolhidas. O primeiro passo consistiu numa análise das estatísticas descritivas das variáveis de entrada que foram geradas na primeira fase descrita acima. A literatura internacional aponta três

[6] https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats_documents.html

abordagens metodológicas distintas para classificar dinâmicas na paisagem e as suas vocações: 1) abordagens que têm enfoque na percepção visual onde os aspetos mais subjetivos e socioculturais têm destaque, 2) caracterização com base na seleção *a priori* de características geomorfológicas e de cobertura e uso do solo como definidores das vocações da paisagem e 3) metodologias que focam em análises estatísticas para identificar gradientes de variação na presença e ou abundância de elementos ou propriedades na paisagem (Simensen et al., 2018). O resultado dessa revisão da literatura (Produto 3.1) mostra uma tendência que privilegia os critérios mais objetivos (abordagens 2 e 3, descritas acima, em detrimento da abordagem 1, mais subjetiva). As abordagens mais usadas na literatura adotam métodos estatísticos de classificação e caracterização da paisagem através de "tipologias de paisagem" e para identificar suas diferentes vocações, sendo que os métodos mais utilizados são a análise de cluster, segmentação e Análise de Componentes Principais (ACP) (CARVALHO-RIBEIRO et al., 2013; PINTO-CORREIA et al., 2016; SIMENSEN et al., 2018). Um dos pontos comuns desses métodos é a transformação das variáveis de entrada em eixos ortogonais não correlacionados, evitando os problemas de correlação tão frequentes entre as variáveis socioeconômicas e ambientais.

O presente trabalho adotou para a construção do índice de vocação à recuperação ambiental (IVR) a Análise de Componentes Principais (ACP), uma tipologia de análise estatística fatorial voltada para a redução de dimensões. Utilizando a ACP se determinam "novas variáveis" (componentes) que expliquem a maior variabilidade possível existente em uma matriz de dados multidimensionais . Com a ACP se realiza uma transformação linear de "p" variáveis originais que podem estar correlacionadas em "q" novas variáveis não correlacionadas entre si.

Os componentes principais são o resultado do carregamento das variáveis originais em cada um deles. Tais carregamentos podem ser considerados como uma medida da relativa importância de cada variável em relação aos componentes principais e os respectivos sinais, se positivos ou negativos, indicam relações direta ou inversamente proporcionais. A Matriz de carregamentos de cada variável nas componentes principais, ao ser multiplicada pela matriz original de dados, fornece a matriz de contagens (scores) de cada caso (municípios) em relação aos componentes principais. Esses valores mostram o relacionamento entre os casos

condicionados pelas variáveis medidas. No IVR foram selecionadas os componentes principais que melhor se ajustavam às premissas definidas para cada uma das vocações (descritas nos pontos I a III definidos acima). A ACP usou o método da correlação (já que as variáveis possuem ordem de grandezas diferentes) e o método VARIMAX para rotacionar os eixos dos componentes principais de modo a formar grupos coerentes e distintos em um espaço n-dimensional. Os principais componentes foram extraídos por "*eigen values*" superiores a 1 com um número máximo de iterações igual a 25. As *scores* para cada componente foram salvas usando o método de regressão e foram utilizadas para estimar a vocação dos municípios para cada uma das modalidades descritas acima (condução da regeneração natural, e plantio total (com e sem fins econômicos). As scores das componentes geradas foram utilizadas como novas componentes e foram rasterizadas para formar novas camadas que sintetizam numa só componente um conjunto de variáveis de entrada. Os componentes extraídos explicam de 30 a 80 % da variância dos dados de entrada. Para todas as ACP foram realizados os testes estatísticos (testes KMO e Bartlett's) com o propósito avaliar a consistência da análise estatística realizada. Todas as análises foram conduzidas no software IBM SPSS® Em seguida, os dados estatísticos resultantes da ACP foram transformados de planilha para o formato vetorial, em seguida, matricial (*raster*) que foram então incluídos no banco de dados descrito acima. Para fins de padronização das bases matriciais, todos os mapas foram reprojetados utilizando a projeção Albers Cônica Equivalente com datum em SIRGAS 2000, mantendo o tamanho das células em 900 $m^2$ (pixel 30 x 30 metros).

Na terceira etapa, como anteriormente referido, utilizou-se a Análise Multicritério (AMC) para atribuir notas às classes das variáveis de entrada (incluindo as scores das novas variáveis resultantes das ACPs). A AMC é amplamente empregada na avaliação de impactos ambientais e planejamento urbano e regional, pela identificação de locais propícios e/ou suscetíveis à ocorrência de diversos fenômenos. Como premissa deste método foram atribuídas notas aos intervalos das classes das variáveis (1 - Muito baixa, 2 - Baixa, 3 - Média, 4 - Alta e 5 - Muito Alta) de acordo com a sua contribuição para a vocação em análise. Para todas as dimensões foram atribuídos pesos iguais. Cada modelo contou com um conjunto de dados de entrada no formato matricial para a álgebra de mapas feita no software DINAMICA EGO 4 (SOARES FILHO et al., 2013). O índice da vocação à recuperação ambiental (IVR) se desdobra em três índices, um para cada tipologia de intervenção. Na sequência serão apresentados os

resultados da vocação para condução da regeneração natural, e plantio sem e com fins econômicos (SAFs).

### 7.1.1. VOCAÇÃO PARA CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL

A vocação para condução da regeneração natural possui duas dimensões. Uma denominada "Prioridade para Conservação" que inclui variáveis tais como porcentagem do município abrangida por áreas protegidas (proteção integral e uso sustentável) e áreas prioritárias para conservação (fauna e flora) (MMA, 2007).

Foram consideradas todas as categorias de proteção incluídas no SNUC (desde Estação Ecológica até Áreas de Proteção Ambiental (APAs). Foi avaliada a possibilidade de excluir as áreas APAs das Unidades de Uso Sustentável (US) dada a sua extensão territorial e multifuncionalidade das primeiras. Foi assim realizada a análise ACP separando APAs das USs e incluindo as duas categorias simultaneamente. Por existir correlação positiva e estatisticamente significativa ($p< 0.001$) entre as componentes principais selecionadas (separando as APAs das USs ou integrando ambas) optou-se por manter as APAs na análise por coerência com o SNUC e assim obter um resultado que seja representativo para área da bacia dado que consideramos que o fato de existir APA legalmente constituída pode ser considerada uma oportunidade para o manejo futuro destas áreas. Uma segunda dimensão tem como variável de entrada a porcentagem do município com alta favorabilidade à regeneração natural (Tabela 35). Esta camada foi gerada pela agregação ao nível do município do mapa de favorabilidade à regeneração natural produzida por um modelo espacialmente explicito (vide Figura 32).

Deve-se enfatizar que o modelo de favorabilidade á regenerancao natural parte de uma resolução de 30 metros para avaliar o nível local que corresponde a aproximadamente 1 hectare. Essa abordagem foi usada para identificar o contexto do local e seus atributos biofísicos associados à favorabilidade da regeneração natural, incluindo o calculo da distância euclidiana dos fragmentos, o que indica o potencial de conectividade da restauração (vide Figura 29). Adicionalmente, como proxy para a mensuração do pool de biodiversidade capaz

de promover a regeneração natural, o modelo considera as áreas de influência dos fragmentos de vegetação nativa em função de sua área e contiguidade. Isto significa que quanto maior o fragmento (e por conseguinte a sua área de influência) maior a chance de conectividade e permeabilidade para fluxos migratórios de fauna e flora em direção às áreas a serem restauradas. Para fins de compatibilizar a avaliação nas diferentes escalas (local vs município) o percentual de áreas favoráveis por município foi inserida como uma variável no modelo. É importante destacar que apesar da agregação no nível municipal esta modelagem permite a contabilização e espacialização dos locais favoráveis à regeneração natural pixel a pixel com uma resolução de 900 metros quadrados.

Em paralelo, se considerou a camada prioridade para conservação dado que se pretende que essas áreas possam servir como fonte de propágulos para as áreas mapeadas com alta favorabilidade. Deste modo, áreas a serem restauradas em municípios abrangidos por áreas com prioridade para conservação e, cumulativamente, com áreas de grande favorabilidade à regeneração têm associadas alta vocação para a condução da regeneração natural.

**Tabela 35. Vocação para Condução da Regeneração Natural**

| Dimensão | Variáveis |
|---|---|
| Prioridade para conservação | Porcentagem do município abrangida por áreas de proteção integral [#] |
| | Porcentagem do município abrangida por áreas de uso sustentável[#] |
| | Porcentagem do município abrangida por área prioritária da fauna[#] |
| | Porcentagem do município abrangida por área prioritária da flora |
| | Porcentagem de vegetação nativa dentro dos imóveis do CAR |
| Favorabilidade à regeneração Natural | Porcentagem do município com alta favorabilidade para regeneração natural dos municípios dentro do CAR |

[#] *Tendo como input as variáveis acima foi extraída uma componente (ACP) associada à prioridade para conservação.*

Antes de transformar as cinco variáveis iniciais em um número reduzido de componentes principais foram analisadas as estatísticas descritivas das variáveis de entrada. Depois de realizadas as ACPs foram realizados os testes KMO e Bartlett's. Estes testes têm como propósito avaliar a consistência da análise dos componentes principais (ACP). O arranjo no teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) varia entre 0 e 1, sendo que 0,5 é considerado adequado para

a realização da análise de fatorial. Do mesmo modo, o teste *Bartlett's* é significante quando p<0,005, sendo favorável realizar o ACP.

Das cinco variáveis de entrada na dimensão de "Prioridade para Conservação" foi extraída 1 componente principal (ACP). O componente principal foi reclassificado em 5 classes (método das quebras naturais) e cada uma das cinco classes recebeu nota entre 1 a 10, sendo 1 baixa a sua vocação para regeneração natural e 10 boa/alta vocação para prioridade para conservação. A porcentagem do município com alta favorabilidade à regeneração natural foi também dividida em 5 classes, sendo reclassificados os valores de 1 (menos de 20% do município com alta favorabilidade à regeneração natural) a 10 (mais de 90% do município com alta de favorabilidade à regeneração natural - usaram-se intervalos de 20 em 20%). As bases cartográficas correspondentes são o índice de prioridade para conservação (Figura 59) e a favorabilidade à regeneração natural (Figura 70).

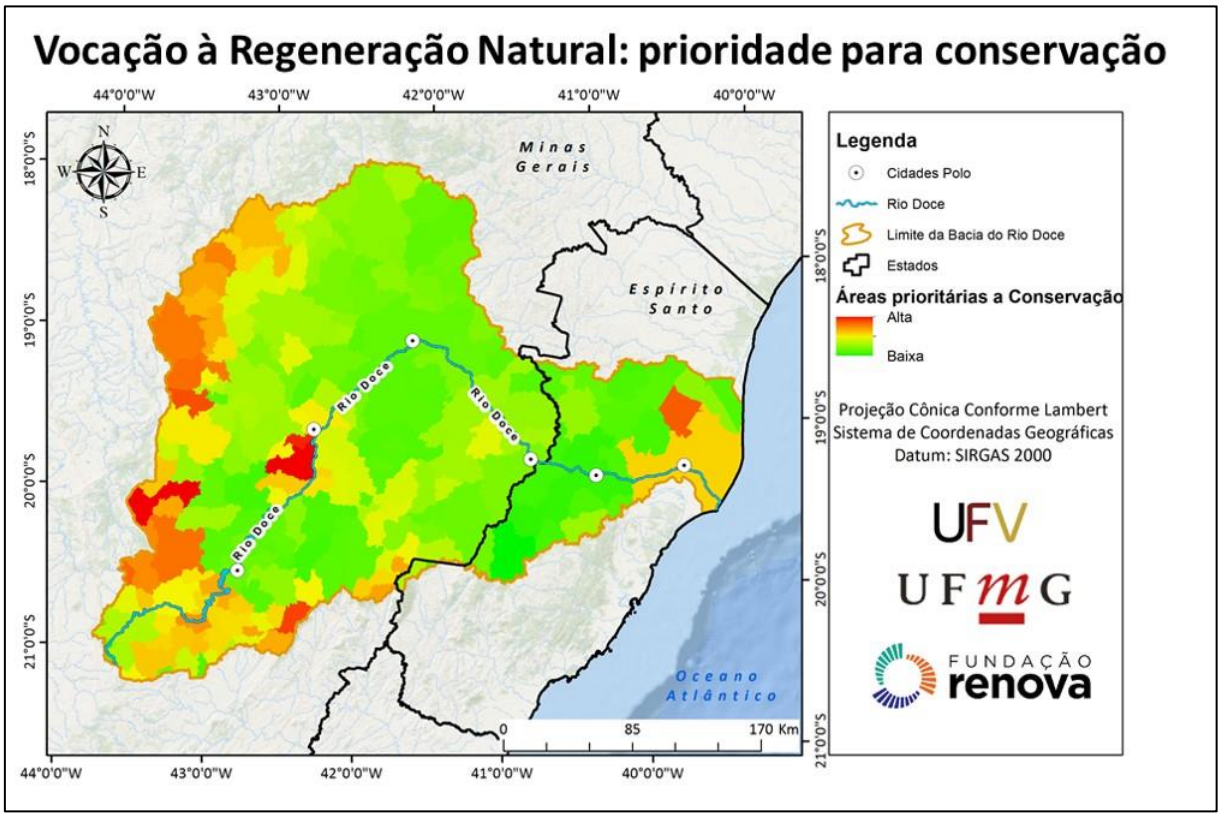


**Figura 59.Variável de entrada da dimensão Prioridade para Conservação.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

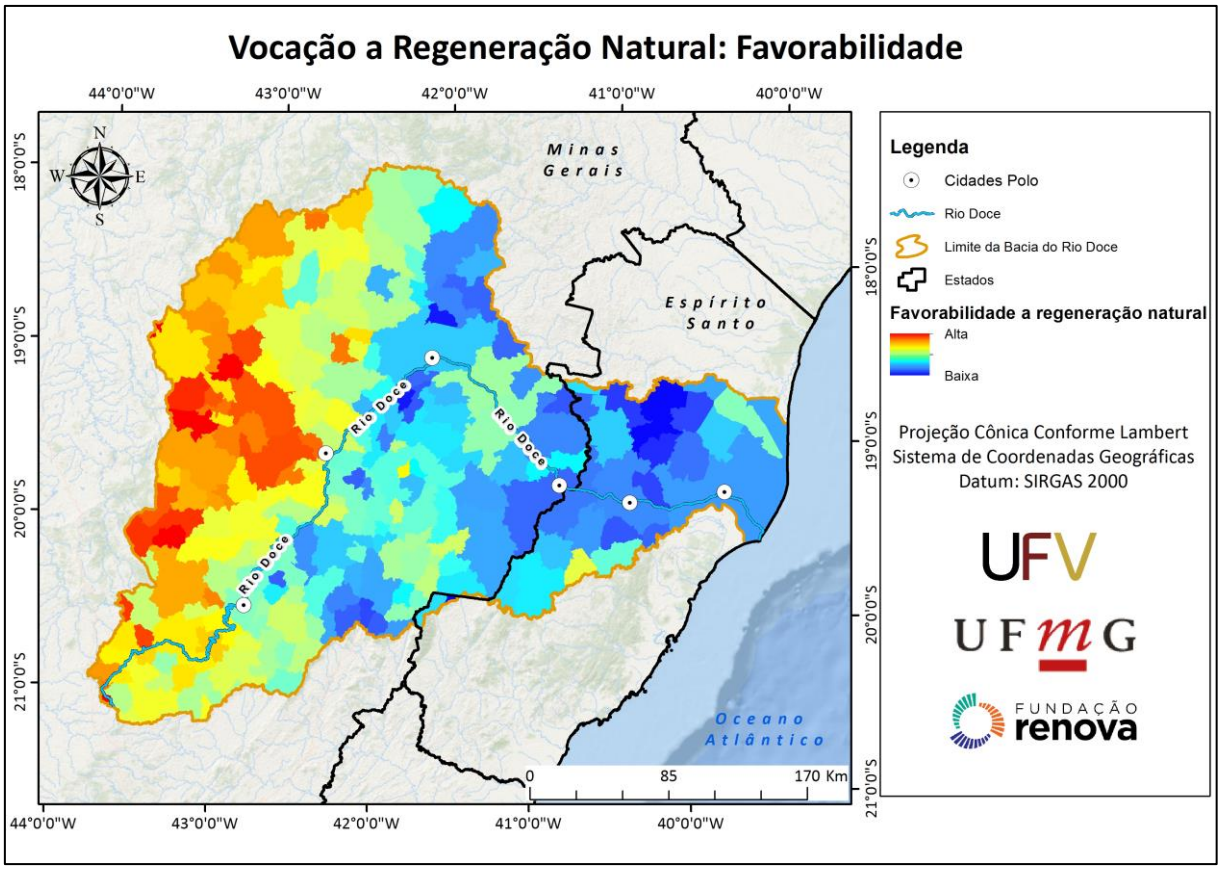


**Figura 60. Variável de entrada da dimensão de favorabilidade à regeneração natural.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

Estes dois mapas foram usados como variáveis de entrada para a análise multicritério. Foram então somados atribuindo pesos iguais às duas dimensões. O mapa final foi normalizado (dividindo todos os valores pelo maior valor), resultando no mapa final de vocação para a condução da regeneração natural com valores entre 0 e 1. A Figura 61 apresenta o resultado final do índice de vocação à regeneração natural.

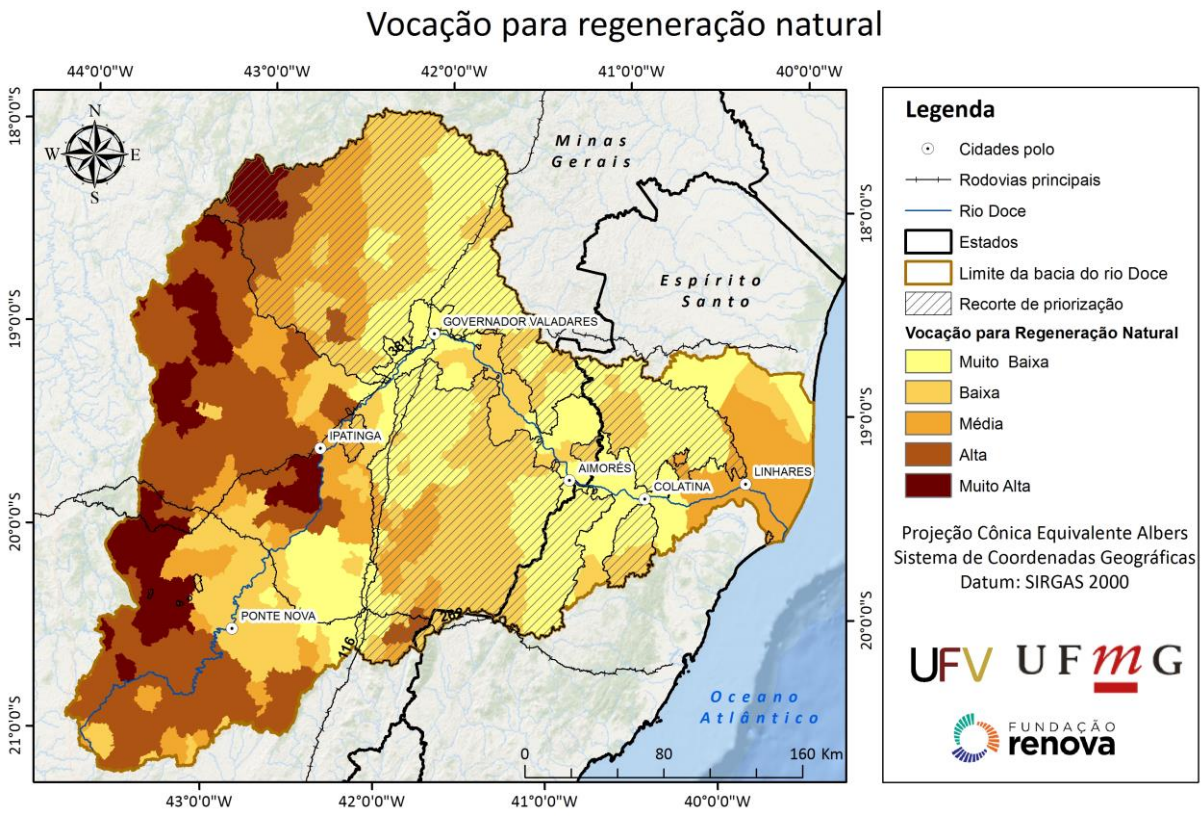


**Figura 61. Vocação para regeneração natural da vegetação nativa na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

O mapa mostra que os municípios com alta prioridade para condução da regeneração natural se localizam no limite oeste da BHRD e também no entorno do Parque Estadual do Rio Doce (PERD).

## 7.1.2. VOCAÇÃO PARA PLANTIO SEM FINS ECONÔMICOS

O mapa da vocação para o plantio total sem fins econômicos foi elaborado com base nos indicadores de APP e zona de recarga conservada, área média das manchas florestais, capacidade institucional para plantio total (dimensão de conservação e serviços ecossistêmicos) e, por fim, uma métrica de conectividade estrutural da paisagem que representa a distância ao vizinho mais próximo (média da distância), ou seja, uma proxy para representar a conectividade entre as manchas de formação florestal (Tabela 36). Foram calculadas várias métricas da paisagem com intuito de estimar a conectividade (Anexo1). Podem ser distinguidos dois tipos de conectividade, estrutural e funcional. A primeira

descreve relações físicas entre as manchas, como distâncias entre elas e corredores. É baseada na estrutura da paisagem, ignorando as respostas dos organismos a esse mesmo padrão espacial. Por outro lado, a conectividade funcional, considera as respostas comportamentais de diferentes organismos aos elementos da paisagem junto com a estrutura espacial. Dado que o âmbito deste trabalho tem enfoque na recuperação ambiental com o objetivo de diversificar as fontes alternativas para provisão de água às comunidades afetadas, consideramos que a conectividade estrutural é apropriada daí o uso da métrica distância euclidiana média entre fragmentos florestais como *proxy* de conectividade.

Estas dimensões foram escolhidas para representarem os pressupostos que associam as áreas com vocação para plantio total a áreas que sejam capazes de servir como corredores ecológicos entre áreas protegidas e prioritárias para conservação e entre outras áreas com formação florestal já existente nas APPs (Figura 62).

**Tabela 36. Indicadores Vocação para Plantio Total sem fins econômicos***

| Indicadores | Variáveis |
|---|---|
| Naturalização da APP e Zona de Recarga | APP Riparia com formação florestal # |
| | Zona de recarga com vegetação nativa# |
| Área média das manchas | Área média das manchas (30*30) AREA_MN |
| Capacidade institucional de plantio | Área restaurada* |
| | Número de projetos de restauração* |
| | Número de viveiros* |
| Prioridade para conservação | Mapa apresentado na Figura 59 |
| Conectividade | Distância do vizinho mais próximo (ENN) |

*# Tendo como input as variáveis acima foi extraída uma componente (ACP) associada à naturalização de APPriparia e zona de recarga.*

** Tendo como input as variáveis acima foi extraída uma componente (ACP) associada à capacidade institucional para plantio.*

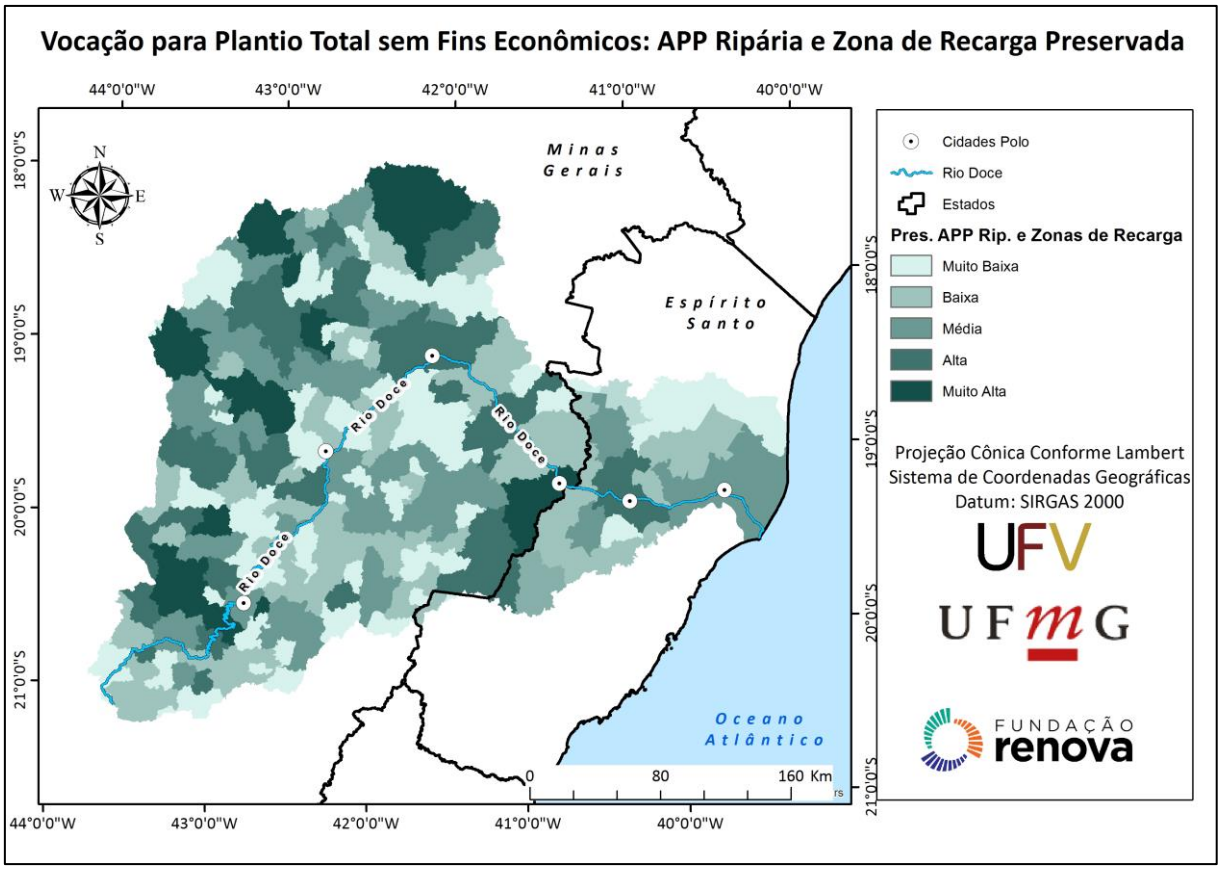


**Figura 62. APPs ripárias e Zona de Recarga preservadas na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

As variáveis de entrada são APP ripária com formação florestal e zona de recarga com vegetação nativa (ambas em ha). Realizada a ACP, o componente principal foi extraído e suas classes reclassificadas pelo método das quebras naturais, entre 1 a 10. A área média das manchas foi elaborada com base no cálculo da métrica da paisagem AREA_MN (Figura 63), tendo como entrada o mapa de uso do solo do FBDS (Figura 7). Este índice calcula a área média (em ha) de todos os fragmentos do município. Já a capacidade institucional de plantio é composta pela variável de área restaurada, número de projetos de restauração e o número de viveiros existentes (tal como definido no P2).

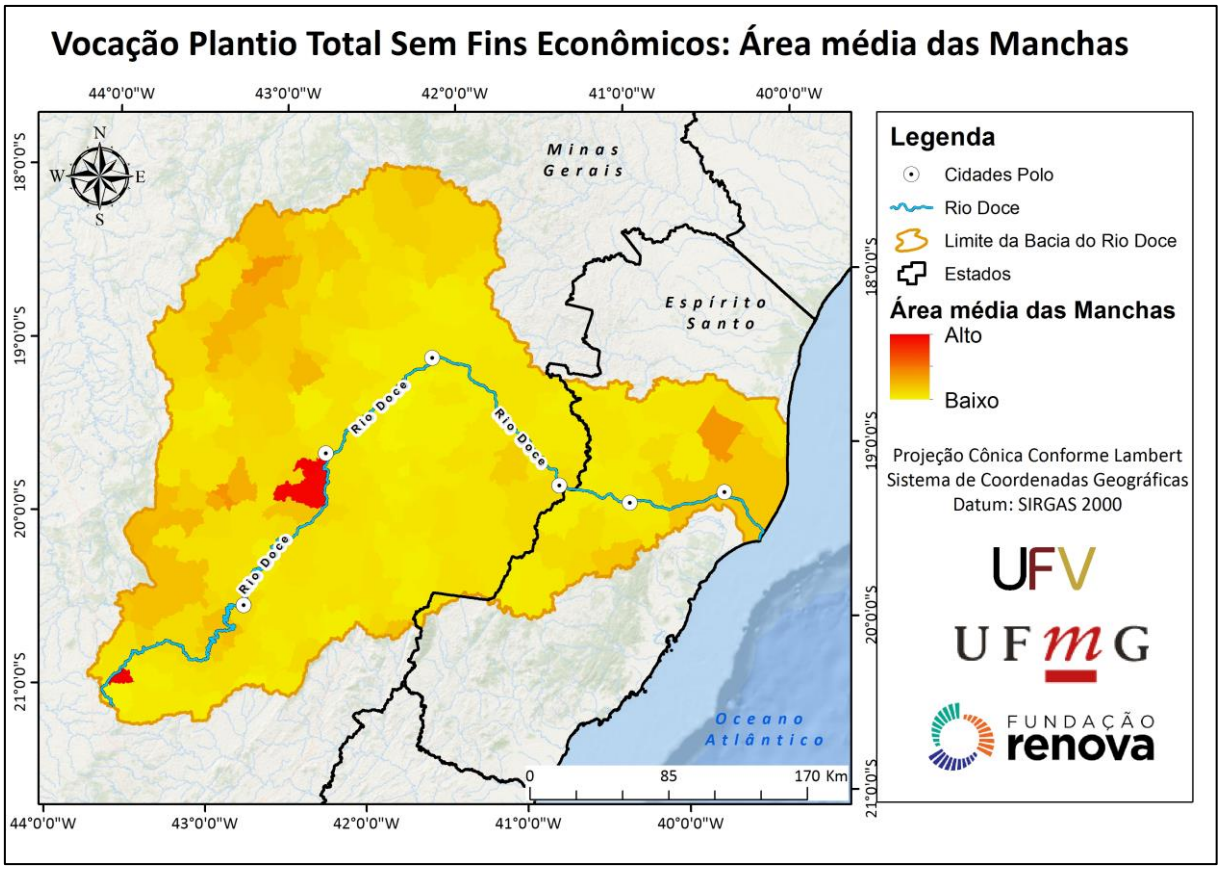


**Figura 63. Área média das manchas para plantio total sem fins econômicos na bacia do rio Doce. Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

A partir destas variáveis foi feita a ACP e os componentes principais extraídos. Os intervalos das classes dos scores dos componentes extraídos receberam nota entre 1 a 10, sendo 1 como baixa capacidade institucional de plantio e 10 como alta capacidade institucional de plantio (Figura 64). Foi utilizado o estudo do IBIO (Produto 2 do TdR) como base para o cálculo desse componente. Como última etapa, foi utilizada a dimensão Prioridade para Conservação (já usada na vocação condução da regeneração natural) (Figura 65). A conectividade foi analisada a partir da métrica da paisagem denominada distância do vizinho mais próximo (*Euclidean Nearest Neigbhour* - ENN). A distância média é medida a partir da menor distância de borda a borda partir do centro da célula[7].

[7]http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/Metrics/Isolation%20%20Proximity%20Metrics/Metrics/P20%20-%20ENN.htm

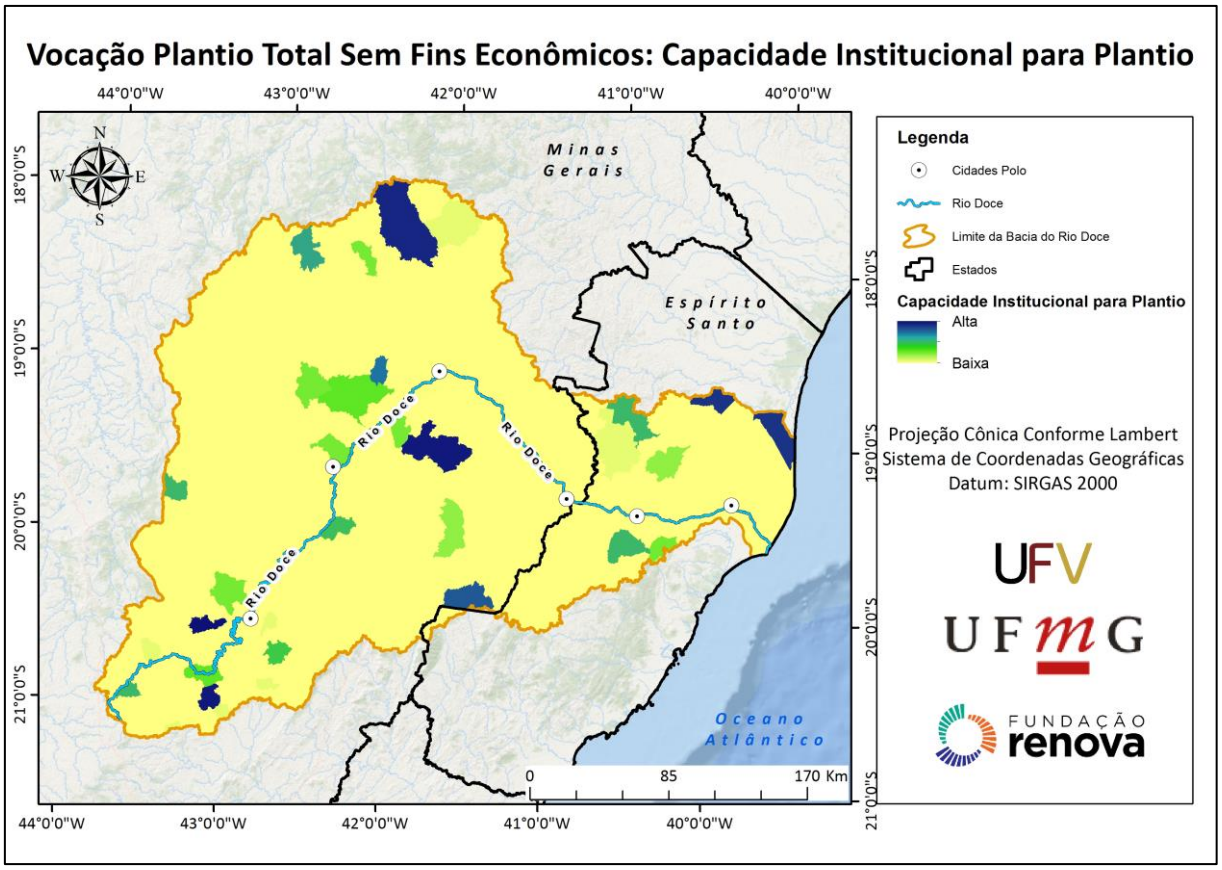


**Figura 64. Variável Capacidade Institucional para condução de plantios de restauração florestal na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

A Figura 65 apresenta o resultado final do índice de vocação para o plantio total sem fins econômicos. É possível notar que, graças à maior prioridade para conservação da biodiversidade, naturalização de APPs e zonas de recarga e conectividade, as áreas do alto Rio Doce e da foz obtiveram maior prioridade nesse quesito. Ao mesmo tempo, algumas áreas no norte da bacia se destacaram por terem uma alta capacidade institucional para o plantio. Fica em evidência também os municípios no entorno do parque do Rio Doce, em decorrência da presença de um maciço de floresta nativa na região.

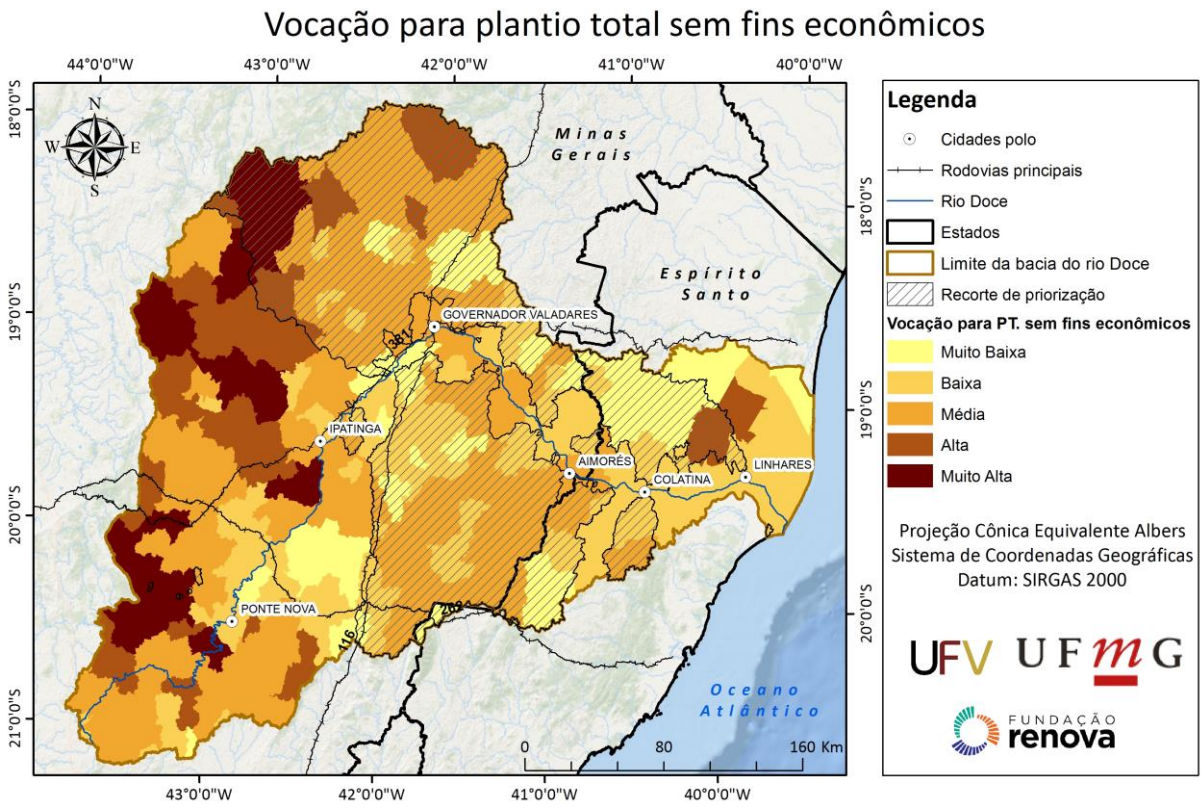


**Figura 65. Vocação para plantio total sem fins econômicos na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

## 7.1.3. VOCAÇÃO PARA PLANTIO COM FINS ECONÔMICOS

Por fim, o mapa da vocação para plantio total com fins econômicos (SAFs) assumiu como premissas a importância de se incluir os pequenos proprietários rurais no modelo de priorização e criar oportunidades para os SAFs se tornarem uma fonte de diversificação de renda na bacia. O mapeamento dessa vocação foi elaborado com base em dimensões como mão de obra rural em propriedades com menos de 4 módulos fiscais, transição no uso da terra (i.e. estimativas sobre as mudanças de uso até 2030) e capacidade institucional para produção (incluindo as instituições que apoiam a produção agroflorestal, por exemplo, cooperativas e associações de produtores).

Foram ainda usados os dados estatísticos das produções agrícolas do banco de dados da Produção Agrícola Municipal - PAM (IBGE 2016), aos quais usando uma ACP se extraíram duas dimensões: uma delas representando os munícipios cujos sistemas produtivos se caracterizam majoritariamente pela produção de milho e feijão (a maioria dos municípios localizados no

Estado de Minas Gerais); e outra representando os municípios cujo sistema produtivo se baseia majoritariamente em café e frutas (a maioria dos municípios localizados no Estado de Espírito Santo) (Tabela 37).

**Tabela 37. Indicadores de vocação para plantios de SAFs**

| Dimensão | Variáveis |
|---|---|
| População rural em pequena propriedade | População rural de 2016<br>Porcentagem das propriedades com menos de 4 módulos fiscais. |
| Transição no uso do solo | 40 classes de uso do solo (OTIMIZAGRO, 2012)<br>Projeção uso do solo 2050 |
| Diversidade produtiva (milho e feijão) e (café e frutas) | 20 classes de cultivos agrícolas (PAM, 2016). |
| Capacidade institucional para produção em SAFs | Número de cooperativas<br>Número de Associações<br>EMATER sedes municipais e regionais<br>Número de organizações não governamentais<br>Iniciativas do próprio produtor<br>Iniciativas de produção agro |

Foi realizada a análise das componentes principais (ACP) usando as variáveis de entrada listadas acima e extraídas as componentes associadas com cada uma das dimensões.

A dimensão população rural em pequena propriedade contou com as variáveis de população rural total de 2016 e porcentagem das propriedades com menos de 4 módulos fiscais no município (Figura 66).

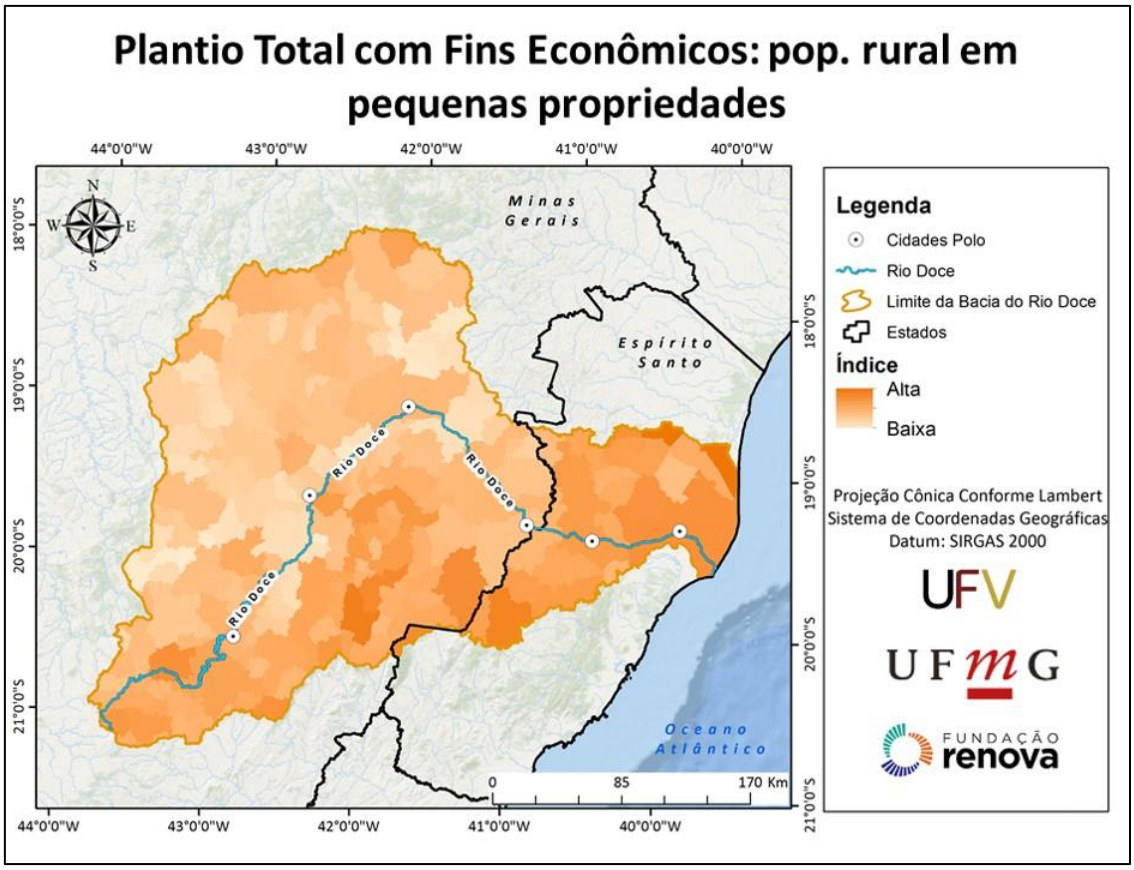


**Figura 66. População rural em pequenas propriedades na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

O índice de transição de uso da terra foi elaborado com base nas 40 classes de uso do solo extraídas do modelo OTIMIZAGRO (SOARES-FILHO et al., 2013) do ano de 2012 e da projeção para o ano de 2050 (Figura 67). Do mesmo modo, a partir destas variáveis foi feita a ACP e os componentes principais extraídos e reclassificados quanto à estimativa de que os municípios estejam em um processo de transição com tendência para recuperar áreas florestais.

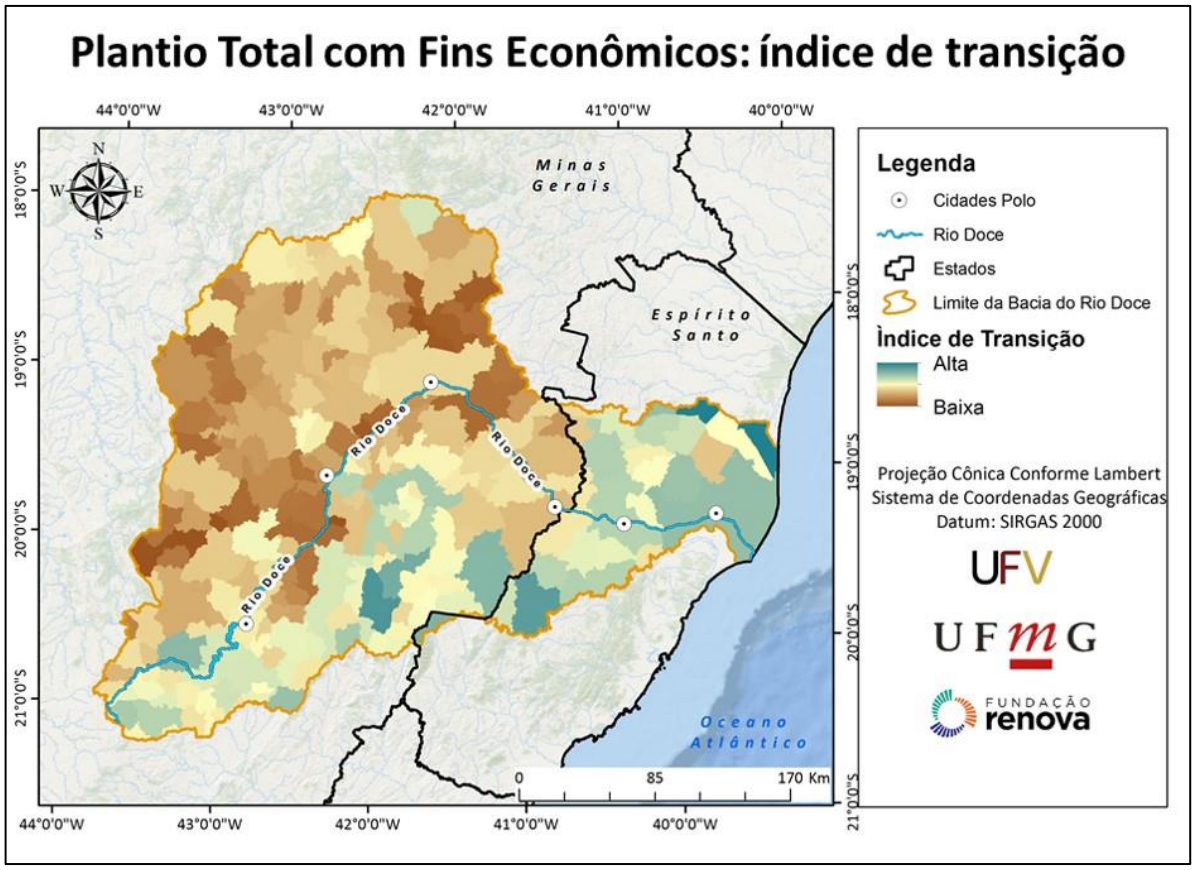


**Figura 67. Mudanças de uso da terra simuladas pelo modelo Otimizagro entre 2013-2050 na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Soares-Filho et al. (2016).**

A análise da diversidade produtiva na região foi realizada usando como variáveis de entrada as 20 classes de cultivos agrícolas conforme a PAM (IBGE, 2016) dada a definição de SAF aqui adotada foi excluída da diversidade produtiva a silvicultura. A partir destas variáveis foi feita a ACP e os componentes principais extraídos. A ACP mostrou duas componentes principais associadas à vocação SAF: uma representando os municípios cuja diversidade produtiva tem enfoque em milho e feijão e outra cujas produções são baseadas em café e frutas. Estes componentes foram classificados em cinco classes de quebras naturais e cada uma das cinco classes recebeu nota entre 1 a 10, sendo 1 como o baixo índice de diversidade produtiva tradicional do milho e do feijão e 10 como alto índice de diversidade produtiva tradicional do milho e do feijão. Da mesma forma, o peso 1 foi definido como o baixo índice de diversidade produtiva tradicional do café e frutas e 10 como alto índice de diversidade produtiva tradicional do café e frutas.

A estimativa da capacidade institucional de produção para SAFs foi feita usando como variáveis de entrada a coleta de dados primários realizados pela UFV (Tabela 37). Nessa pesquisa foi levantado, para todos os municípios da bacia, o número de: instituições governamentais, cooperativas, associações e escritórios municipais e regionais da EMATER, empresas agrícolas, organizações não governamentais e iniciativas de produção agroflorestal. Após a modelagem, foram gerados mapas e tabelas de ranking dos municípios por tipo de vocação (Figura 68).

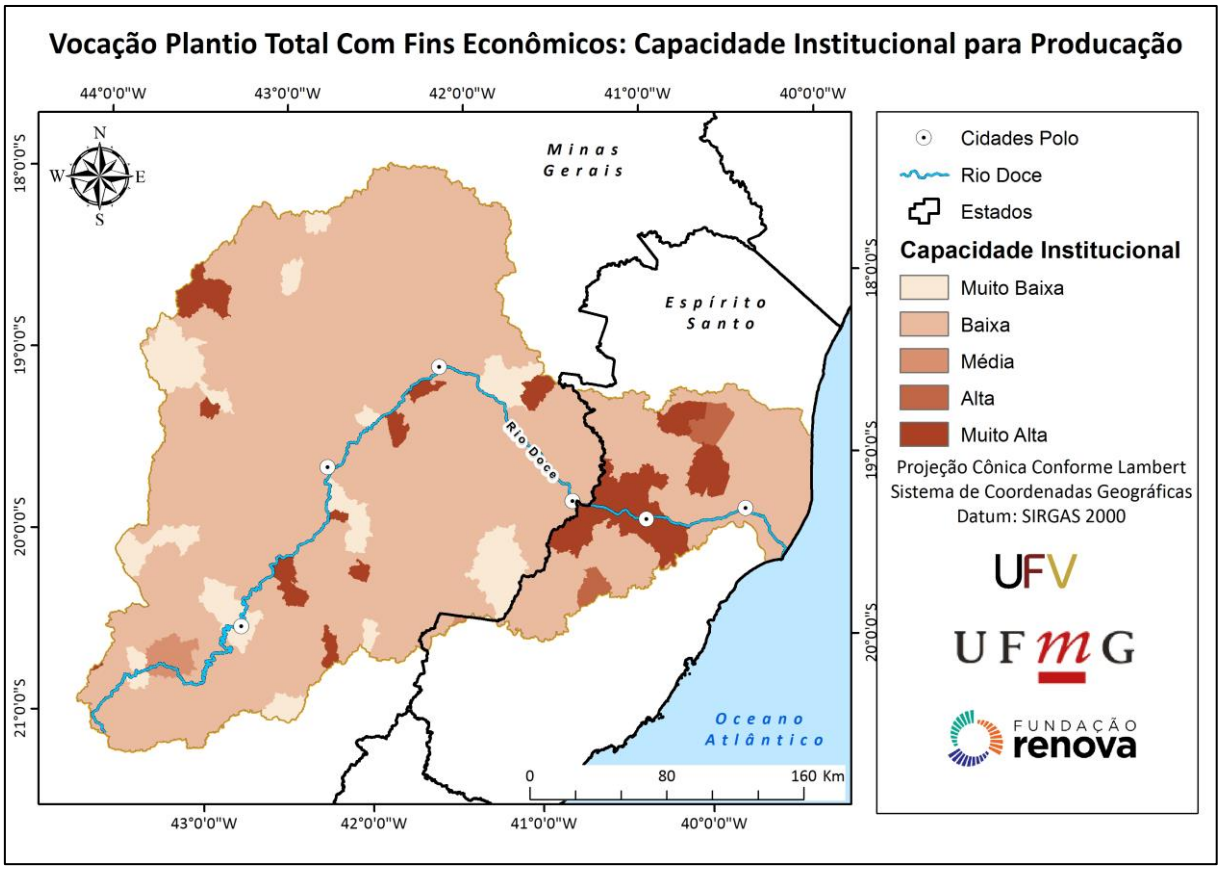


**Figura 68. Capacidade institucional para plantio total com fins econômicos (SAFs) na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

A Figura 69 apresenta o resultado final do índice de vocação para o plantio total com fins econômicos na bacia do rio Doce. É possível notar que, graças à maior presença de população rural nas porções sul e capixaba da bacia aumenta a prioridade dessas áreas. A alta capacidade institucional na região de fronteira entre os estados e a diversidade produtiva também sugere

que a parte capixaba da bacia tem capacidade para receber intervenções ligadas a SAFs altamente biodiversos.

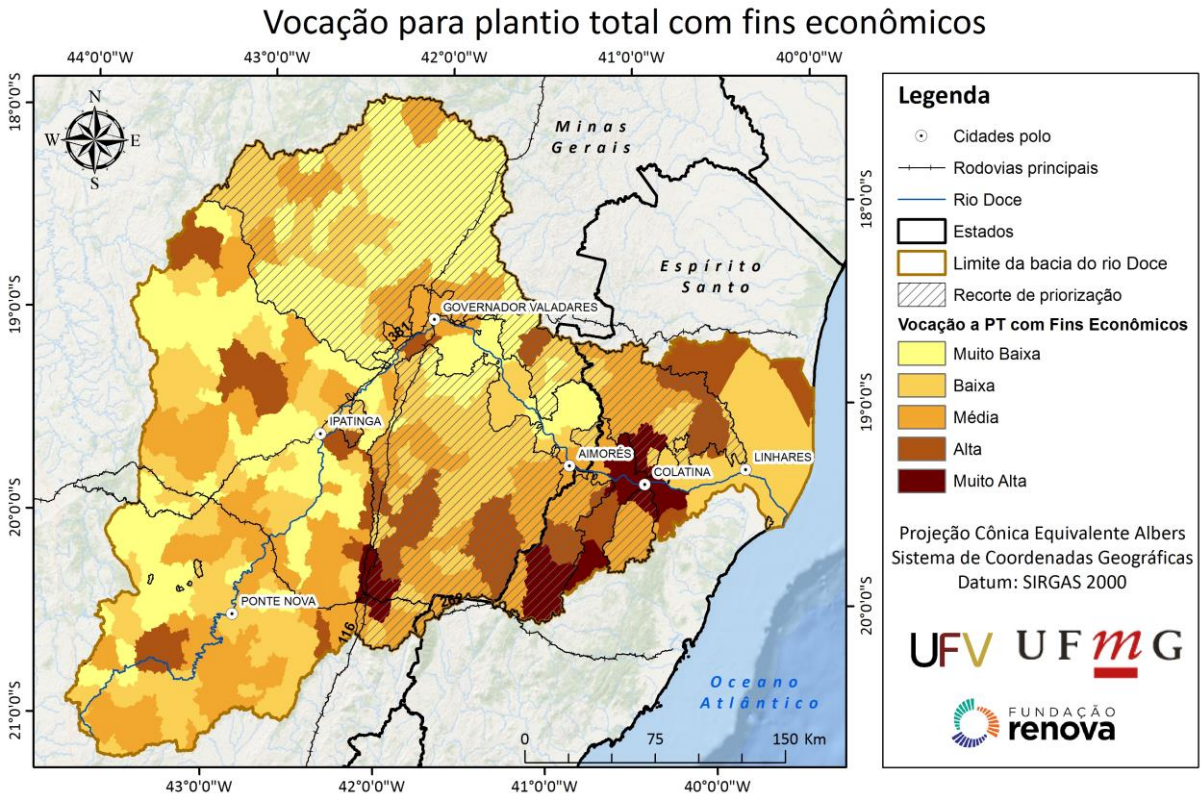


**Figura 69. Vocação para plantio total com fins econômicos (Sistemas agroflorestais – SAFs) na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pela equipe UFMG.**

# 8. MAPA DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

Após estabelecer, individualmente, a vulnerabilidade ambiental, a vulnerabilidade social e a vocação para recuperação ambiental na bacia do rio Doce, foi utilizada a análise multicritério para gerar os mapas finais de priorização para recuperação ambiental. Essa metodologia foi baseada em um Processo Analítico Hierárquico (AHP) (SAATY, 1977). O método tem como premissa que a tomada de decisões de problemas complexos pode ser tratada por meio de uma estrutura hierárquica simples e compreensível (LI et al., 2009). A lógica da AHP é organizada pela ruptura do problema em partes constituintes menores, em diferentes níveis, e envolve basicamente três etapas: (i) desenvolver uma matriz de comparação em cada nível da hierarquia; (ii) computar os pesos para cada elemento da hierarquia; e (iii) estimar os índices que representam a vulnerabilidade ambiental, critério socioambiental e outras dimensões que devem ser levadas em conta na priorização final (BOROUSHAKI e MALCZEWSKI, 2008).

A AHP foi escolhida como metodologia base em razão dos muitos critérios levantados para a bacia e da necessidade de criar várias camadas individuais que, posteriormente, podem ser analisadas em conjunto. As comparações em pares foram realizadas para todos os fatores a serem considerados e a matriz foi computada usando pontuações com base na sua importância relativa. A definição dos pesos de cada um dos critérios foi realizada ao longo do trabalho, por meio da consulta a especialistas da área, da expertise dos membros da equipe de trabalho, da consulta à literatura especializada, bem como da consulta pública aos atores envolvidos. Na Tabela 38 são apresentadas as intensidades de importância relativa de cada critério.

**Tabela 38. Escalas de comparação utilizadas entre pares de critérios para análise multicritério hierárquica**

| Escala de pesos | |
|---|---|
| Extremamente menos importante | 1/9 |
| Muito fortemente menos importante | 1/7 |
| Fortemente menos importante | 1/5 |
| Moderadamente menos importante | 1/3 |
| Igual importância | 1 |
| Moderadamente mais importante | 3 |
| Fortemente mais importante | 5 |
| Muito fortemente mais importante | 7 |
| Extremamente mais importante | 9 |

Se dois critérios forem de igual importância, o valor 1 é dado na comparação, enquanto 9 indica a importância absoluta de um critério sobre o outro. Foi gerada então uma matriz de comparação entre as variáveis e um vetor de prioridade foi computado, denominado auto-vetor normalizado da matriz. Isso foi feito dividindo-se cada uma das colunas pela sua soma correspondente. A estimativa da importância relativa dos atributos ($w_i$) é, portanto, obtida através da média dos valores de cada linha da matriz.

Segundo Thanh e De Smedt (2012), as vantagens de se utilizar a técnica AHP são: (i) todos os tipos de informação podem ser incluídos no processo de discussão; (ii) o julgamento é estruturado para que todas as informações sejam levadas em consideração; (iii) as regras de discussão podem ser baseadas na experiência; (iv) uma vez que é alcançado um consenso, os pesos para cada fator relevante são obtidos automaticamente pelo cálculo do vetor próprio da matriz de decisão; e (v) inconsistências no processo de decisão podem ser detectadas e, portanto, corrigidas. Por sua vez, a principal desvantagem da AHP é o julgamento e a classificação de fatores causais baseados na opinião de especialistas, de modo que a preferência subjetiva no ranking não pode ser evitada, pois depende da escolha pessoal e do conhecimento do analista.

Considera-se que a aplicação da AHP seja um processo dinâmico, onde as diferentes partes envolvidas possam debater o sentido das prioridades, analisar os pesos resultantes e visualizar o resultado final de forma transparente e ágil. De forma geral, o modelo desenvolvido para esta análise combina os índices IVA (vulnerabilidade ambiental), IVS (vulnerabilidade social) e IVR (vocação à recuperação ambiental) para identificar os municípios prioritários para cada

uma das três alternativas de intervenção já mencionadas. No modelo, desenvolvido na plataforma de modelagem Dinamica EGO (SOARES-FILHO et al. 2013), utilizam-se dados tabulares para a apresentação dos índices (tabelas em formato *comma-separated-values*, extensão .csv) e dados na forma de mapas *raster* (especificamente em GeoTIFF), tal como o mapa de municípios da bacia. Os índices são associados ao mapa de municípios através do geocódigo do IBGE.

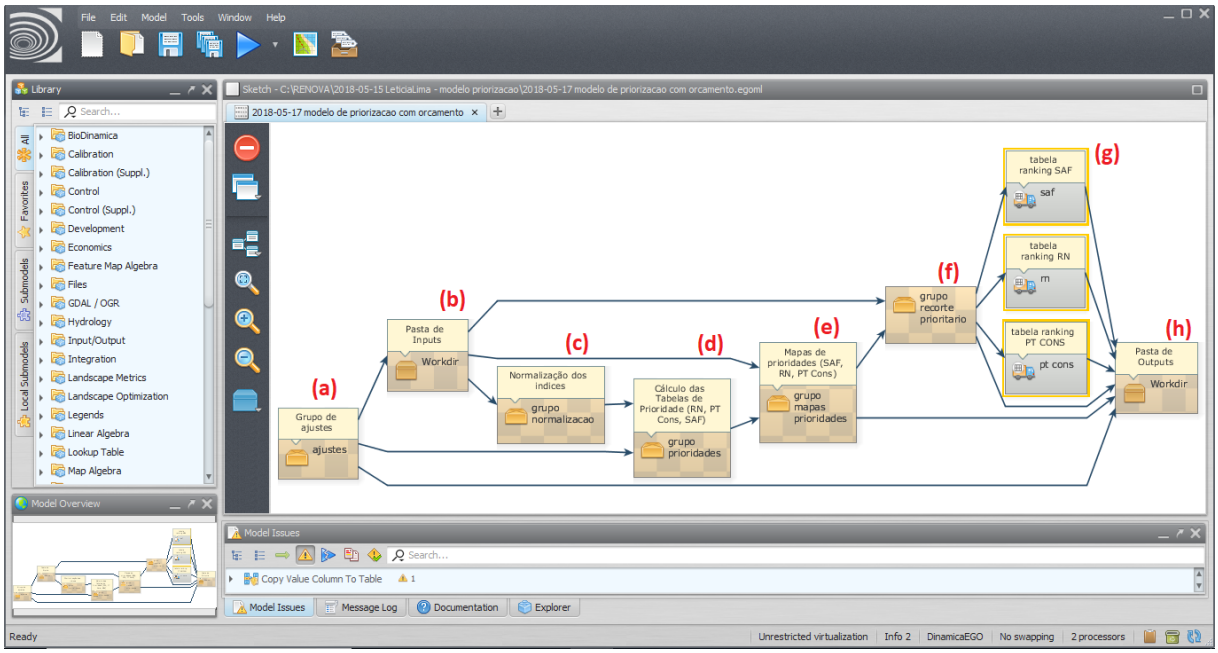


**Figura 70. Visão Geral do modelo computacional de priorização implementado na plataforma de modelagem Dinamica EGO.**

Na Figura 70 observa-se uma sequência de etapas (a até h) definidas na forma de blocos e conexões, os quais representam conjuntos de funções a serem executadas, cujos produtos são passados adiante para as próximas etapas. Esses blocos agrupam vários itens, sejam eles dados de entrada para a execução da simulação ou fórmulas algébricas para cálculo de mapas. Cada bloco pode ser aberto para deixar à mostra todas as funções, equações e processos lógicos que estão sendo executadas.

O item (a), denominado “grupo de ajustes”, dá início à sequência de operadores do modelo e se caracteriza como um grupo dedicado aos ajustes necessários para a simulação. Nesse item encontram-se os campos que permitem inserir ou modificar os valores definidos para os pesos

associados a cada índice, tal como descrito nas seções acima. Também estão definidos os caminhos para o acesso à pasta que contém os dados de entrada e à pasta na qual serão gravados os dados gerados ao final da simulação.

A partir das definições de caminho para pastas definidas no item (a), o bloco chamado “pasta de inputs”, correspondente ao item (b) da Figura 70, encarrega-se de buscar os dados necessários para a simulação. Nesse bloco, encontram-se listados como dados de entrada as tabelas que listam os municípios por geocódigo e seus índices correspondentes, uma tabela que associa os geocódigos aos nomes dos municípios, o mapa de municípios indexados por geocódigo, o mapa de recorte de priorização (Figura 10) e uma tabela que apresenta o orçamento geral em hectares de APPs e zonas de recarga a serem recuperadas por município. Todos esses dados são utilizados em diferentes etapas do modelo de priorização.

Na sequência, o modelo parte para a etapa de “normalização dos índices”, correspondente ao item (c). Esse bloco, ao ser aberto, exibe cinco blocos internos dedicados, cada um, à normalização de um índice por vez (IVA, IVS e IVR para os três tipos de intervenção). O processo de normalização consiste em ajustar os valores dos índices a uma escala comum a todos eles, de tal forma que sejam comparáveis. Por exemplo, se um índice foi calculado em uma escala de valores inteiros que varia de 0 a 100 e o outro foi calculado em uma escala de valores decimais que podem variar de 0 a 1, tais índices inicialmente não são comparáveis e, portanto, requerem um procedimento típico de normalização para que sejam representados na mesma escala. Para isso, a normalização reajusta os limiares máximos e mínimos dos índices para que sejam todos coincidentes. Tal como no dado original, os índices normalizados são gravados na forma de tabelas cujos valores são indexados por geocódigo municipal.

Após a normalização dos índices, o modelo procede ao cálculo da priorização, item (d) da Figura 70, o qual associa os índices normalizados aos pesos específicos para cada índice. O cálculo da priorização para uma determinada intervenção é feito pelo somatório das multiplicações dos índices pelos pesos:

$$\text{Priorização}_x = (\text{índice}_i \times \text{peso}_i) + (\text{índice}_j \times \text{peso}_j) + \ldots + (\text{índice}_n \times \text{peso}_n) \qquad \text{(Equação 17)}$$

Tomemos como exemplo o cálculo da priorização para regeneração natural (RN):

$$\text{Priorização}_{RN} = (\text{índice}_{IVA} \times \text{peso}_{IVA,RN}) + (\text{índice}_{IVS} \times \text{peso}_{IVS,RN}) + \ldots + (\text{índice}_{VOC} \times \text{peso}_{VOC,RN}) \quad \text{(Equação 18)}$$

O índice IVA é multiplicado pelo peso atribuído ao IVA para RN. Da mesma forma, o índice IVS é multiplicado pelo peso atribuído ao IVS para RN e o índice de vocação para RN é igualmente multiplicado por seu peso. O somatório desses valores corresponde ao valor de priorização para RN calculado para cada município. Esse cálculo é feito para cada uma das três intervenções de forma separada. Após o cálculo dos valores de priorização para cada tipo de intervenção (ou seja, regeneração natural, plantio total sem e com fins econômicos), tabelados por município, procede-se à atribuição dos valores obtidos ao mapa de municípios, de tal forma que uma visão geográfica dos índices possa ser obtida para facilitar a comparação visual. Esse procedimento é feito no item (e) do modelo, chamado “mapas de prioridades”.

Quando os valores de priorização são associados ao mapa de municípios por geocódigo, é possível obter uma visualização preliminar do resultado de cada mapa através da ferramenta *Map Viewer*, disponível na plataforma DINAMICA EGO. Essa ferramenta permite a combinação de diferentes mapas raster, bem como o zoom em zonas específicas do mapa, ajuste de histograma para melhor visualização dos diferentes intervalos de valores e, finalmente, a verificação de valores para cada célula do mapa a partir do posicionamento do cursor sobre o ponto desejado (Figura 71).

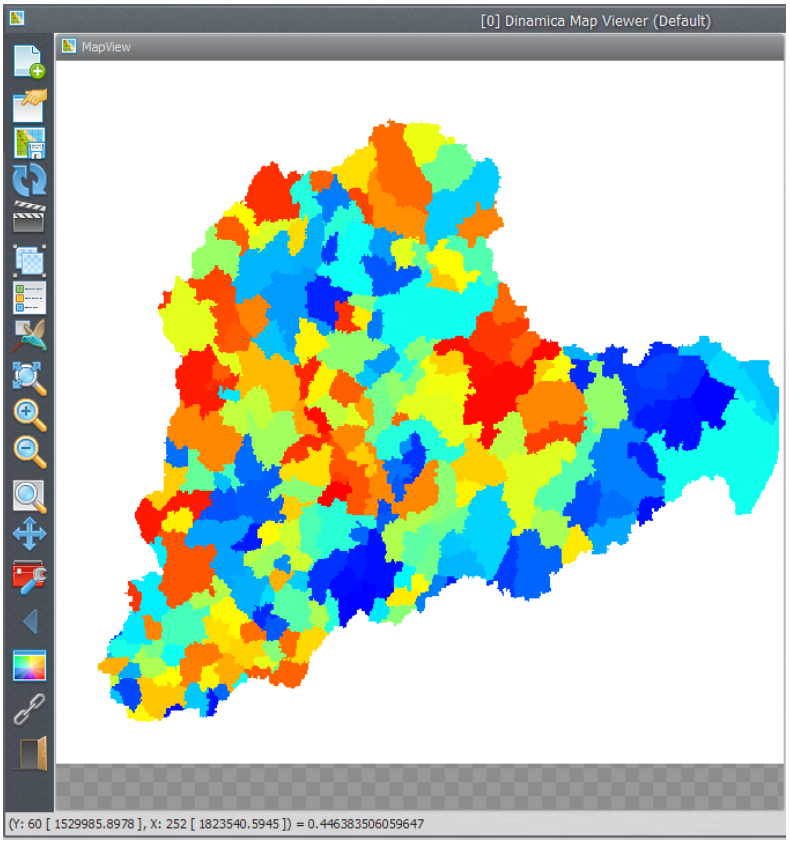


**Figura 71. Exemplo de visualização de mapa através do "Map Viewer" do Dinamica EGO. A categorização por cores permite uma diferenciação visual rápida de valores**

Na etapa seguinte, item (f) da Figura 70, chamada “grupo recorte prioritário”, uma série de procedimentos é feita. Primeiro, o mapa de recorte prioritário é sobreposto aos mapas resultantes de priorização de cada intervenção. Dessa forma, apenas os municípios localizados em áreas de interesse para mananciais alternativos são considerados para o ranking final relativo à priorização para intervenção. Esse ranking é feito extraindo-se os valores obtidos dos mapas de priorização pós-recorte e listando os municípios em ordem decrescente de valores para cada priorização. Em seguida, os primeiros colocados das listas de ranking são elencados em tabelas, associando também seus respectivos nomes e os valores obtidos de orçamento geral de APPs. As tabelas são repassadas ao item (g), cuja finalidade é apenas a visualização imediata dos 25 primeiros municípios elencados para priorização por tipo de intervenção.

Como última etapa, todos os mapas e tabelas gerados pelo modelo são levados ao seu último item, o item (h), que corresponde ao grupo de outputs, ou seja, de dados de saída do modelo que serão gravados na pasta correspondente indicada no item (a) pelo usuário. Cada item

possui um bloco específico que indica o nome do arquivo final, o tipo de arquivo (GeoTIFF ou CSV) e vincula ao caminho associado à pasta de outputs do modelo. Por fim, o mapeamento com a representação das áreas prioritárias para recuperação conforme parâmetros específicos para a bacia do Rio Doce (para cada modalidade) podem ser visualizados nas Figura 72Figura 73 Figura 74.

Para compor a proposta inicial dos pesos dos três índices foi formado um grupo de trabalho liderado pelos pesquisadores da UFMG e UFV, com a participação de membros do corpo técnico da Fundação Renova. Após três dias de trabalho o grupo chegou a uma proposta consensual de pesos para os índices e, em consequência, aos três mapas de prioridade para a recuperação ambiental na bacia. A ferramenta assim como os pesos foram apresentados aos membros do CT-FLOR nos dias 17 e 25 de maio, sendo que nessa segunda data foi possível demonstrar o funcionamento da ferramenta. Na sequência são apresentadas as justificativas, pesos e resultado final para a proposta de prioridade para a recuperação ambiental nas três modalidades possíveis.

## 8.1. CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL

Sob condições adequadas, a regeneração natural permite que o processo de auto-organização da colonização de espécies se inicie e se crie uma trajetória de recuperação (CHAZDON e URIARTE, 2016). Além disso, a regeneração natural é um processo ecológico espontâneo de longo prazo que ocorre em estágios, que podem ser conduzidos ou assistidos para sustentar a biodiversidade local e interações bióticas (CHAZDON, 2008). Nesse sentido, áreas degradadas que ainda não ultrapassaram um limiar ecológico de auto-regeneração (solo com cobertura vegetal, presença de regenerantes, etc.) e próximas de remanescentes florestais preservados podem ser alvo de esforços de condução da regeneração natural.

Com base no TTAC e no TdR definido pela CT-FLOR, a Fundação Renova prevê três classes de intervenção para a condução da regeneração natural: (i) restauração passiva; (ii) enriquecimento; e (iii) adensamento. Essas intervenções apoiam-se na aceleração dos processos sucessionais naturais para maximizar a efetividade da restauração e possuem vantagens econômicas (custos) em relação aos plantios totais. Dessa forma, restaurar áreas

degradadas com potencial de regeneração natural configura-se como um objetivo prioritário, pois além de promover a recuperação ambiental permite liberar recursos para serem aplicados em áreas onde métodos mais caros e intensivos são necessários (plantios totais de espécies nativas para restauração).

A partir do objetivo prioritário desejado, atribuiu-se pesos igualmente importantes para a vulnerabilidade ambiental e vocação para a regeneração natural. Essa igualdade de pesos tem como justificativa principal a aproximação das ações de maior intervenção (plantio total) com as de condução da regeneração, pois faz um balanço entre áreas com maior potencial de expressão natural (ex. presença de fragmentos) com áreas de maior vulnerabilidade ambiental (ex. presença de voçorocas). Isso permite a Fundação Renova promover ações em áreas mais degradadas ao passo que pode lançar mão da presença de fragmentos florestais da região, o que resulta, por exemplo, em possibilidade de manejo em fragmentos em estágio inicial e criação de corredores ecológicos ao mesmo tempo. Para a vulnerabilidade social utilizou-se um peso comparativamente baixo em razão do menor potencial de geração de emprego e renda em relação aos métodos de plantios totais. A comparação par-a-par e os pesos finais dos índices podem ser observados nas Tabela 39 e Tabela 40.

**Tabela 39. Escalas utilizadas para atribuir os pesos para o mapa de condução da regeneração natural**

| Comparação par a par | Vulnerabilidade ambiental | Vocação para conservação (regeneração natural) | Vulnerabilidade social |
|---|---|---|---|
| Vulnerabilidade ambiental | 1 | 1 | 4 |
| Vocação para conservação (regeneração natural) | 1 | 1 | 4 |
| Vulnerabilidade social | 1/4 | 1/4 | 1 |

**Tabela 40. Pesos utilizados para o mapa de condução da regeneração natural**

| Componente | Pesos finais |
|---|---|
| Vulnerabilidade ambiental | 45% |
| Vocação para conservação (regeneração natural) | 45% |
| Vulnerabilidade social | 10% |

Como resultado da modelagem obteve-se o mapa de áreas prioritárias para condução da regeneração natural em escala municipal na bacia do rio Doce (Figura 72). A distribuição

espacial dos índices municipais revela uma maior concentração de áreas prioritárias na porção oeste da bacia do Rio Doce, notadamente nas sub-bacias Piranga, Piracicaba e Santo Antônio. Este padrão geográfico é coerente com os mapas de favorabilidade e vocação à regeneração natural, que carregam grande influência sobre o resultado. Contudo, o terço médio da bacia, em especial nas sub-bacias Manhuaçu e Suaçuí, também apresenta uma concentração importante de áreas prioritárias para a condução da regeneração natural. Isto pode ser explicado em grande parte pela influência das áreas de média a alta vulnerabilidade ambiental.

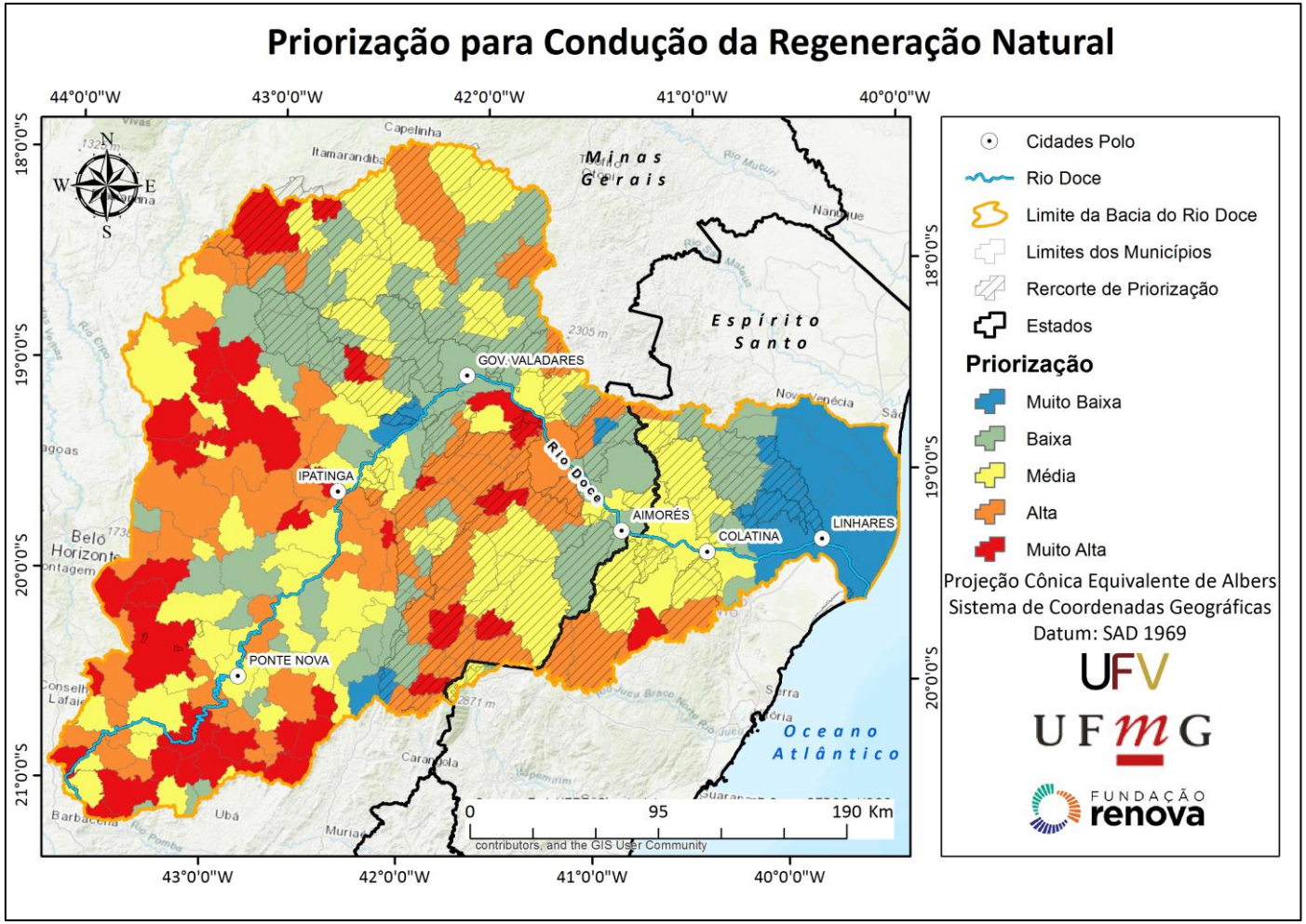


**Figura 72. Mapa de áreas prioritárias para condução da regeneração natural, em escala municipal, na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pelas equipes UFV e UFMG.**

## 8.2. PLANTIO TOTAL SEM FINS ECONÔMICOS

Os plantios de restauração (plantio total) visam normalmente recuperar ecossistemas e paisagens em estágio avançado de degradação (solo exposto, ausência de cobertura vegetal, etc.), partindo da premissa que o nível de degradação ultrapassou o limiar ecológico de auto-regeneração, sendo necessário interferência humana. O método é geralmente realizado por meio de práticas intervencionistas, como a semeadura direta e o plantio de mudas de espécies nativas, a fim de se estabelecer uma trajetória de restauração desejada em termos de composição florística, sucessão ecológica, controle de erosão, etc. (RODRIGUES et al., 2011). Portanto, restaurar áreas profundamente degradadas que atuam como fontes contínuas de impacto ambiental na bacia hidrográfica (ex. perda de solo, assoreamento, etc.), torna-se um objetivo prioritário para mitigação dos principais impactos pontuais e difusos que afetam a qualidade ambiental local e na paisagem (ex. controle da erosão e assoreamento dos corpos hídricos).

Ao mesmo tempo, áreas com maior vulnerabilidade social podem se beneficiar do potencial de geração de emprego e renda das atividades de restauração (estabelecimento de viveiros, mão de obra para plantio, manutenção, monitoramento, etc.). Portanto, dinamizar social e economicamente regiões ambientalmente degradadas configura-se como um efeito secundário desejado. Nesse sentido, mesmo municípios com baixa vocação para plantios florestais podem ser alvos de investimentos uma vez que há potencial para impulsionar a oferta e demanda de uma economia da restauração a partir dos investimentos planejados (produção de mudas nativas, insumos, máquinas agrícolas, etc) contribuindo, dessa forma, para redução dos níveis de vulnerabilidade social local.

A partir desta racionalidade, os pesos dos índices foram ajustados de modo a refletir o objetivo principal e suas externalidades positivas na seleção de áreas de maior vulnerabilidade ambiental que requerem, a priori, maior magnitude de intervenção e podem se beneficiar economicamente da restauração. Dessa forma justifica-se o maior valor para a vulnerabilidade ambiental (58%), seguido da vulnerabilidade social (31%) e por último a vocação para plantio total (11%)em razão da baixa favorabilidade para a regeneração natural. Este último em razão da baixa favorabilidade resultar em menor chance de sucesso de condução da regeneração

natural. Nas Tabela 41 e Tabela 42 são apresentados a comparação par-a-par e os pesos finais dos índices para plantio total sem fins econômicos na bacia do rio Doce, respectivamente.

**Tabela 41. Escalas utilizadas para atribuir os pesos para o mapa de plantio total sem fins econômicos**

| Comparação par a par | Vulnerabilidade ambiental | Vocação para conservação (plantio total) | Vulnerabilidade social |
|---|---|---|---|
| Vulnerabilidade ambiental | 1 | 5 | 2 |
| Vocação para conservação (plantio total) | 1/5 | 1 | 1/3 |
| Vulnerabilidade social | 1/2 | 3 | 1 |

**Tabela 42. Pesos utilizados para o mapa de plantio total sem fins econômicos**

| Componente | Pesos finais |
|---|---|
| Vulnerabilidade ambiental | 58% |
| Vulnerabilidade social | 31% |
| Vocação para conservação (plantio total) | 11% |

O mapa de áreas prioritárias para plantios totais sem fins econômicos indica maior concentração de municípios prioritários na porção central e sudeste da bacia (Figura 73), principalmente nas sub-bacias do Guandu, Santa Maria e Suaçuí. Como esperado, a presença de áreas de maior vulnerabilidade ambiental contribui decisivamente para este padrão geográfico. As áreas classificadas como muito vulneráveis ambientalmente e socialmente podem ser observadas na porção norte da bacia, indicando áreas importantes para promoção de uma economia baseada na restauração florestal.

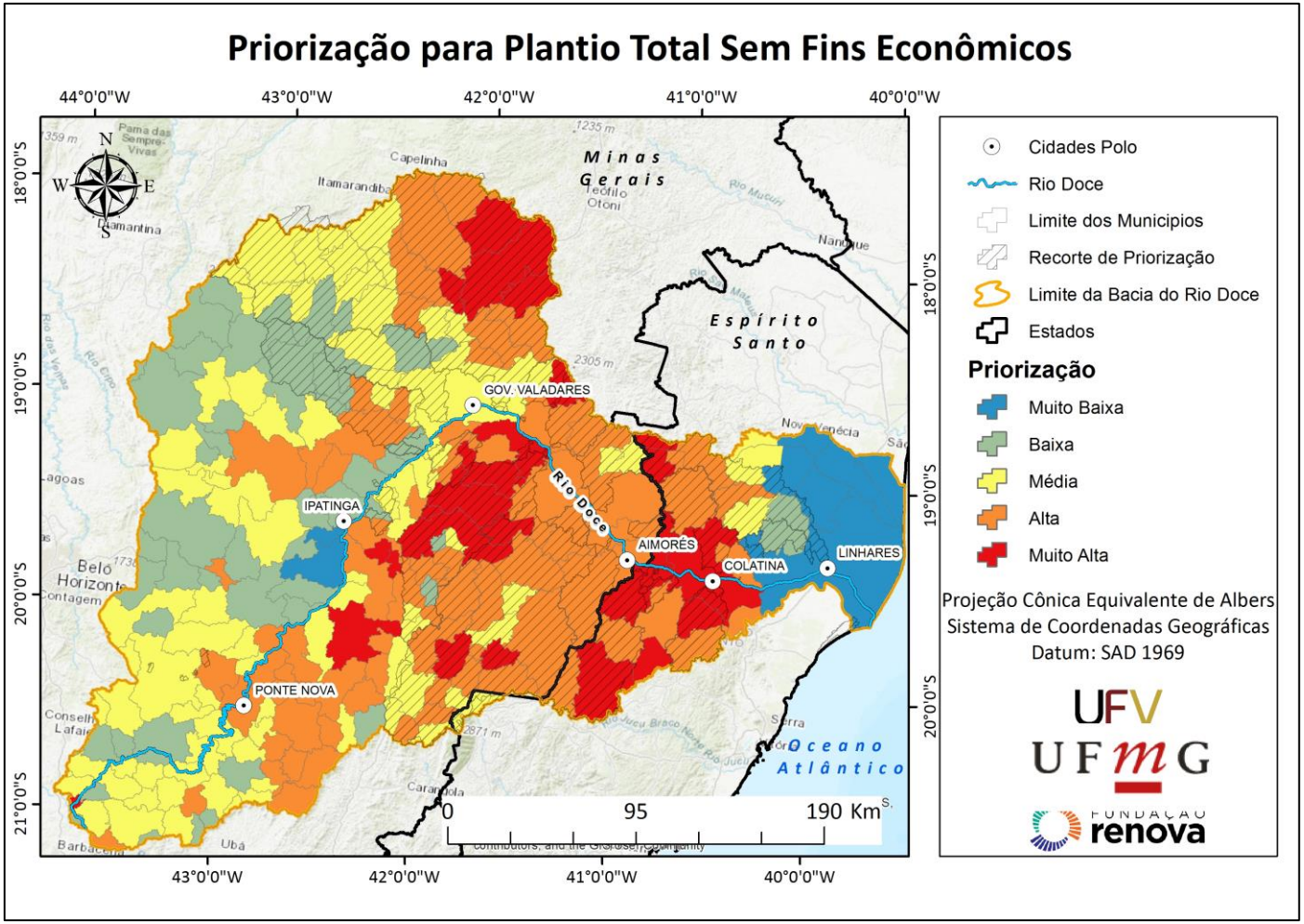


**Figura 73. Mapa de áreas prioritárias para plantio total sem fins econômicos em escala municipal na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pelas equipes UFV e UFMG.**

## 8.3. PLANTIO TOTAL COM FINS ECONÔMICOS (SAFS)

Sistemas agroflorestais (SAFs) buscam conciliar a conservação ambiental com o desenvolvimento socioeconômico. Podem ser definidos como o uso da terra onde as plantas lenhosas perenes (árvores, arbustos, palmeiras, bambus) são cultivadas em associação com plantas herbáceas (culturas agrícolas e/ou pastagens) e/ou animais, em uma mesma unidade de manejo, onde deve haver interações ecológicas e econômicas (YOUNG, 1991) voltadas para a recuperação ambiental. Particularmente interessantes para o restabelecimento dos serviços ecossistêmicos são os SAFs sucessionais, pois preconizam a introdução de vários extratos naturais - arbóreo, herbáceo, epífitas, raízes-profundas e superficiais, que potencializam o armazenamento de nutrientes na biomassa viva acima do solo, minimizando, assim, a lixiviação pela superfície do solo e a perda de fertilidade.

Em vista da busca pela conciliação de objetivos de conservação ambiental, desenvolvimento social e incremento econômico pelo aumento da renda bruta nas propriedades rurais, os pesos dos índices foram ajustados para refletir o equilíbrio entre a vulnerabilidade ambiental, a vulnerabilidade social e a vocação para produção florestal. A equivalência dos pesos atribuídos justifica-se, pois, além das questões ambientais e da vocação para produção florestal, existe a necessidade de uma economia agrícola regional diversificada e com disponibilidade de mão de obra rural, familiar ou não, dentre outros fatores, para que se torne factível a implementação de modelos de SAFs para a restauração, conforme mostrado nas Tabela 43 e Tabela 44.

**Tabela 43. Escalas utilizadas para atribuir os pesos para o mapa de plantio total com fins econômicos**

| Comparação par a par | Vulnerabilidade ambiental | Vocação para produção Agroflorestal | Vulnerabilidade social |
|---|---|---|---|
| Vulnerabilidade ambiental | 1 | 1 | 1 |
| Vocação para produção Agroflorestal | 1 | 1 | 1 |
| Vulnerabilidade social | 1 | 1 | 1 |

**Tabela 44. Pesos utilizados para o mapa de plantio total com fins econômicos**

| Componente | Pesos finais |
|---|---|
| Vulnerabilidade ambiental | 33% |
| Vocação para produção Agroflorestal | 33% |
| Vulnerabilidade social | 33% |

Por fim, o mapa de áreas prioritárias para plantios totais com fins econômicos (Figura 74) revela uma concentração de municípios prioritários nas porções central e leste, principalmente na região capixaba da bacia. Este resultado pode ser em grande parte explicado pela influência das áreas de maior vocação para implantação de sistemas agroflorestais em municípios classificados como muito vulneráveis do ponto de vista ambiental e social.

Para que o SAF seja uma das opções de recuperação ambiental devem ser priorizadas as áreas cujo nível de degradação ambiental não alto e que ao mesmo tempo por terem alto índice de vulnerabilidade social alto possam ser socialmente podem ser beneficiadas pelos investimentos de SAFs. Ao mesmo tempo enquanto as demais opções de restauração não dependem de um arranjo produtivo já estabelecido o SAF só é viável em regiões onde existe diversidade da produção agrícola.

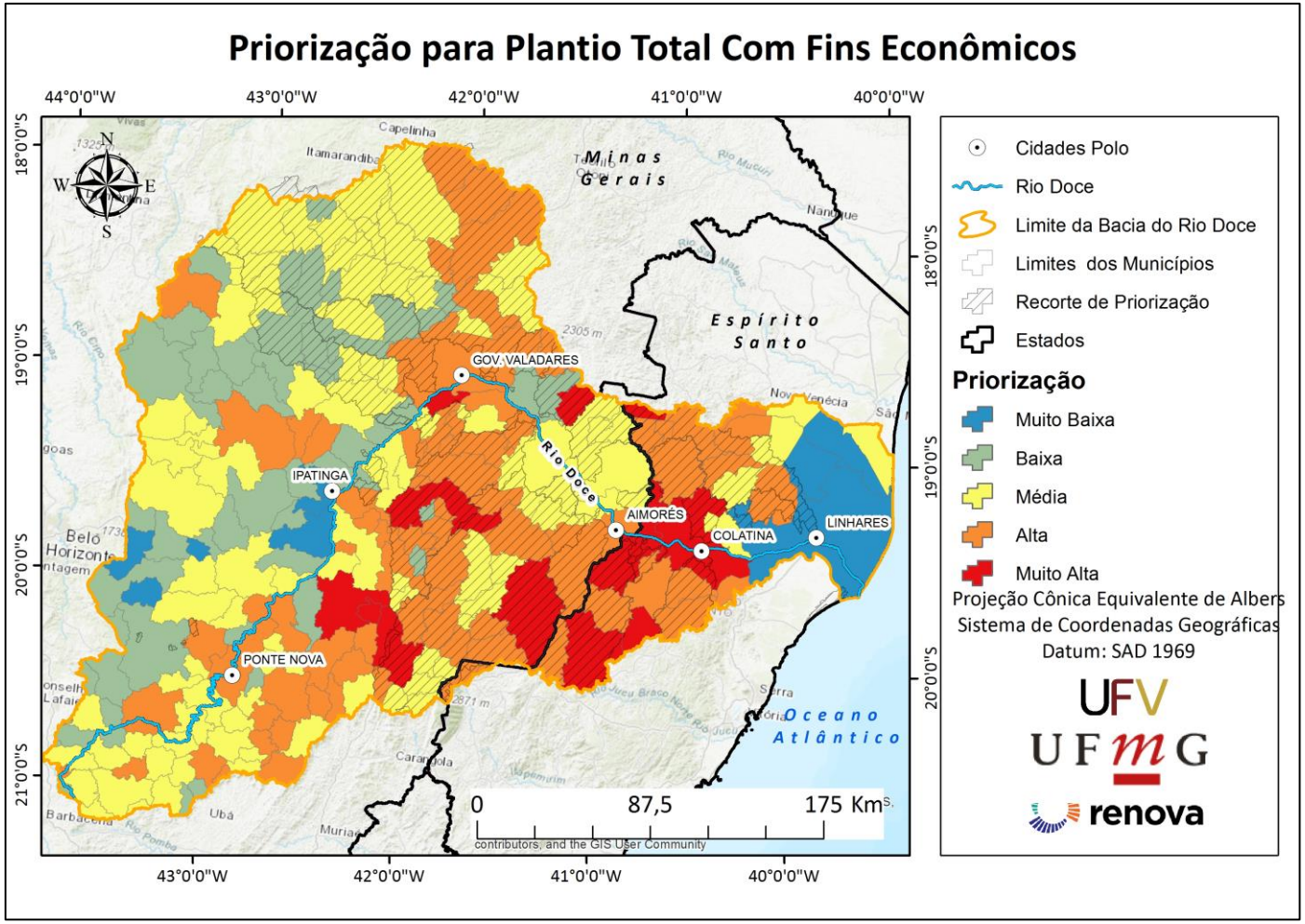


**Figura 74. Mapa de áreas prioritárias para plantio total com fins econômicos em escala municipal na bacia do rio Doce.**
**Fonte: Elaborado pelas equipes UFV e UFMG.**

# 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÁPITO, A. O.; VIANNA, D. S.; CANDIDO, L. A.; MEZA, E. B. M.; VIANNA, M. D. F. D. Utilização do Método de Análise Hierárquica (Ahp) Como Ferramenta de Auxílio Multicritério no Processo de Decisão de Priorização de Projetos de Ciência, Tecnologia e Inovação na Amazônia Azul. Blucher Marine Engineering Proceedings, v. 2, n. 1, p. 474-483, 2016.

ANA. Balanço Hídrico Quantitativo. Agência Nacional de Águas. 2016. Disponível em: http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=35f247ac-b5c4-419e-9bdb-dcb20defb1f4. Acesso em: abril de 2018.

ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning, Global Biogeochemical Cycles, n. 15, v.4, p. 955-966, 10.1029/2000GB001382, 2001.

AQUINO, R. F.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; MELLO, C. R.; AVANZI, J. C. Erosividade das chuvas e tempo de recorrência para Lavras, Minas Gerais. Revista Ceres [online]. v.61, n.1, p.09-16, 2014.

ARONSON, J., and ALEXANDER, S. "Ecosystem Restoration is Now a Global Priority: Time to Roll Up Our Sleeves." Restoration Ecology 21:293–96, 2013.

AZEVEDO, D., G., GOMES, R., L., MORAES, M. E. B., Estudos da fragmentação da paisagem na definição de áreas prioritárias para recuperação ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Bruranhém, Bol. Geogr., Maringá, v. 34, n. 2, p. 127-144, 2016.

BAILEY, Trevor C.; GATRELL, Anthony C. Interactive spatial data analysis. Essex: Longman Scientific & Technical, 1995.

BECHARA F C, DICKENS S J, FARRER E C, LARIOS L, SPOTSWOOD E N, MARIOTTE P and SUDING K N. Neotropical rainforest restoration: comparing passive, plantation and nucleation approaches Biodivers. Conserv. 25, 2021, 2016.

BERNARDI, A. C. C.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Spatial variability of vegetation index and soil properties in an integrated crop-livestock system. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambient, v.21, p.513-518, 2017.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 9. ed. São Paulo: Ícone. 355 p. 2014.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURI, N.; VIOLA, M .R.; AVANZI, J. C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. Catena, v. 79, n. 1, p. 49-59, 2009.

BIOFLORA. Tecnologia da Restauração, Manual De Restauração Ecológica Técnicos e Produtores Rurais No Extremo Sul Da Bahia, December 2015)

BIRKMANN, JORN. (org.) Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards disaster resilient societies. Toquio: United Nations University Press. 2006.

BLOISE, G.L.F.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; REATTO, A.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.S.; CARVALHO, A.P.F. Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da bacia do Olaria-DF. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 14. Planaltina: Embrapa Cerrados. 33 p. 2001.

BNDES. Iniciativa Mata Atlântica, 2015.

BOROUSHAKI, S.; MALCZEWSKI, J. Measuring consensus for collaborative decision-making: AGIS-based approach. Computers, Environment and Urban Systems, v. 34, n. 4, p. 322–332, 2010.

BRADSHAW, A. Restoration ecology as a science. Restoration Ecology 1, 71-73, 1993.

BRAGA, T. M.; OLIVEIRA, E. L.; GIVISIEZ, G. H. N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. In: XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais. Caxambú-MG, setembro de 2006.

BRANCALION P D S, GAUDARE U, MANGUEIRA J, LAMONATO F, FARAH F AND RODRIGUES R. Balancing economic costs and ecological outcomes of passive and active restoration in agricultural landscapes: the case of Brazil Biotropica 48 856–67, 2016.

BRASIL. Lei da Mata Atlântica. Lei Federal 11.428/2006.

BRASIL. Intended nationally determined contribution towards achieving the objective of the United Nations framework convention on climatechange 2015. 2015.

BUDIHARTA, S.; MEIJAARD, E.; WELLS, J.A.; ABRAM, N.K.; WILSON, K.A. Enhancing feasibility: Incorporating a socio-ecological systems framework into restoration planning. Environ. Sci. Policy, 64, 83–92, 2016.

CALEGARIO, A. T.; PEREIRA, L. F.; PEREIRA, S. B.; DE ARAÚJO, U. L.; SILVA, L. N. de O.; FERNANDES FILHO, E. I. Capacidade de uso e manejo da terra em zonas de recarga. Viçosa: IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, 2017.

CARDONA, O. D., The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. BANKOFF, G., FRERKS G., HILHORST, D. (Ed), Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People, Earthscan Publishers, London, 2004.

CARVALHO, H. de P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. de. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. Bioscience Journal, v. 27, n. 2, p. 221–229, 2011.

CARVALHO-RIBEIRO, S., et al. Assessing the ability of rural agrarian areas to provide cultural ecosystem services (CES): A multi scale social indicator framework (MSIF). Land Use Policy 53, 8-19, 2016.

CARVALHO-RIBEIRO, S.M., LOVETT, A., O'RIORDAN, T. Multifunctional forest management in Northern Portugal: Moving from scenarios to governance for sustainable development. Land Use Policy 27, 1111-1122, 2010.

CARVALHO-RIBEIRO, S.M., MADEIRA, L., PINTO-CORREIA, T. Developing comprehensive indicators for monitoring rural policy impacts on landscape in Alentejo, southern Portugal. Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography 113, 87-96, 2013.

CHAVES, H.M.L. Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco: relatório final de consultoria. Brasília: CODEVASF. 35 p. 1994.

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands Science 320 1458–60, 2008.

CHAZDON, R. L. Encyclopedia of Biodiversity 2nd edn ed S Levin (Waltham, MA: Academic) Regenerating tropical forest ecosystem 277–86 pp, 2013.

CHAZDON, R. L. Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation (Chicago: University of Chicago Press) 485 p, 2014.

CHAZDON, R, L, and GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a toolfor large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges Biotropica 48 844–55, 2016.

CHAZDON, R. L. Landscape restoration, natural regeneration, and the forests of the future. Ann. Missouri. Bot. Gard. 102(2): 251–257, 2017.

CHAZDON, R. L., and M. Uriarte. Natural regeneration in the context of large-scale forest and landscape restoration in the tropics. Biotropica 48: 709–715, 2016.

CHAZDON, R. L., et al. When is a forest a forest? The new era of forest and landscape restoration calls for additional forest concepts and definitions Ambio 45: 538–550, 2016a.

CLEUGH, H. A.; LEUNING, R.; MU, Q. Z.; RUNNING, S. W. Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data. Remote Sensing of Environment, v. 106, n. 3. p. 285-304, 2007.

CONSÓRCIO ECOPLAN - LUME. Plano Integrado De Re Cursos Hídricos Da Bacia Hidrográfica Do Rio Doce. v. I, p. 472, 2010.

CORBIN, J. D.; HOLL, K. D. Applied nucleation as a forest restoration strategy For. Ecol. 680 Manage. 265 37–46, 2012.

COSTA, M., MARGUTI, B., O., (ed.) Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros, Brasília: IPEA, 2015ª.

COSTA, M., MARGUTI, B., O., (ed.) Atlas da vulnerabilidade social nas Regiões Metropolitanas Brasileiras, Brasília: IPEA, 2015b.

CROUZEILLES, R., et al. Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests, Science Advances, 3 (11), 2017.

CUNHA, A. M.; FEITOZA, H. N.; FEITOZA, L. R.; OLIVEIRA, F. S.; LANI, J. L.; CARDOSO, J. K. F.; TRINDADE, F. S. Atualização da Legenda do Mapa de Reconhecimento de Solos do Estado do Espírito Santo e Implementação e Interface no Geobases para Uso dos Dados em SIG. Geografares, n. 22, p. 32-65, 2016.

CURY, R. T. S., CARVALHO, O. J. Manual para restauração florestal: Florestas de transição, 2011.

DIAS, L. C. P, PIMENTA, F. M., SANTOS, A. B., COSTA, M. H., LADLE, R. J. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture Glob. Change Biol. 22-2887, 2016.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. de. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. Engenharia Sanitária Ambiental, v. 21, n. 4, p. 677-685, 2016.

EASTMAN, J. R., Guide to GIS and Image Processing. Clark University: Worcester, MA, USA, v. 1, n. May, p. 87–131, 2009.

EMBRAPA SOLOS. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília-DF, 3 ed. 353p. 2013.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10Redlands, CA Environmental Systems Research Institute, 2012.

ESRI. Curvature function: Panform. 2016. Disponível em: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>. Acesso em: 15 jul. 2018.

FALKENMARK, M. Water-a reflection of land use: Understanding of water pathways and quality genesis. International Journal of Water Resources Development, v. 27, n. 1, p. 13–32, 2011.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo – utilizando novas tecnologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, p. 73–85, 2006.

FBDS. Projeto de Apoio à Implantação do CAR – Metodologia. Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, 3 p., 2018.

FERNANDES FILHO, E. I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ABRAHÃO, W. A. P.; SIMAS, F. N. B.; VASCONCELOS, B. N. F.; CASTRO, G. D. O., FARIA, M. M. Levantamento de solos e aptidão agrícola da porção mineira da bacia do Rio Doce. Belo Horizonte: Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM), 2010.

FITTS, Charles R. Groundwater science. Elsevier, 2002.

FRANCISCO, C. E. D.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Watershed selection for environmental rehabilitation using multicriteria analysis. Ciencia Florestal, v. 18, n. 1–2, p. 1–13, 2008.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. Groundwater. New Jersey, Prentice-Hall inc; 604 p., 1979.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G.; CADAMURO, A. L. M. Condições de infiltração em solos na região de recarga do sistema aqüífero Urucuia no oeste da Bahia sob diferentes condições de usos. Revista Brasileira de Geociências, v. 37, n. 3, p. 542-550, 2016.

GONTIJO, A. B; PEREIRA, A. A; OLIVEIRA, D.S.O; JUNIOR, F.W.A; Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7966, 2011.

GONZALEZ R C and Woods R E. Digital Image Processing Third Edition, 2008.

HALL, G. Landscape. In: R. Lal (Org.); Encyclopedia of Soil Science. 2º ed. New York: Taylor and Francis Group. p.996–999, 2006.

HANTSON, S.; PADILLA, M.; CORTI, D.; CHUVIECO, E. Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. Remote Sensing of Environment, v.131, n.1, 2013.

HARALICK, R. M; SHANMUGAM, K; DINSTEIN, I. Textural Features for Image Classification. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics,v. 3, p. 610-620, 1973.

HOLL K D.; AIDE T M 2011 When and where to actively restore eco-systems? For. Ecol. Manage. 261 1558–63

HOLMES, J. Impulses towards a multifunctional transition in rural Australia: Gaps in the research agenda. Journal of Rural Studies 22, 142-160, 2006.

HOLMES, J. Impulses towards a multifunctional transition in rural Australia: Interpreting regional dynamics in landscapes, lifestyles and livelihoods. Landscape Research 33, 211-223., 2008.

HOLZ, S.; PLACCI G 2005 Forest Restoration in Landscapes Beyond Planting Trees ed S Mansourian, D Vallauri and N Dudley (New York, USA: Springer) Stimulating natural regeneration 250–6 pp, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE. Fazendas de café. Governador Valadares. Disponível em https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/governador-valadares/historico. Acessado em Julho de 2018.

IBIO. Mapeamento dos Mananciais Alternativos nos Municípios e Distritos Afetados. Relatório Técnico, 2016.

ICHOKU, C.; GIGLIO, L.; WOOSTER, M.; REMER, L. Global characterization of biomass burning patterns using satellite measurements of fire radiative energy. Remote Sensing of

ICHOKU, C.; KAHN, R.; CHIN, M. Satellite contributions to the quantitative characterization of biomass burning for climate modeling. Atmospheric Research, v.111, p. 1-28, 2012.

IMAFLORA 2008 Manual Técnico: Restauração e Monitoramento da Mata Ciliar e da reserva Legal para a Certificação Agrícola—Conservação da Biodiversidade na Cafeicultura (Accessed: December 2015)

INAES - INSTITUTO ANTONIO ERNESTO DE SALVO (Minas Gerais). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Estado da Arte das Pastagens em Minas Gerais. Belo Horizonte: Inaes, 2015.

INPE. Satélites Aqua e Terra e o Sensor Modis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Disponível em: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/modis.html. Acesso em: 17 abr. 2018.

IPCC. Climate change 2001 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press, p. 1–94, 2001.

KANGAS, JYRKI; LESKINEN. Modelling ecological expertise for forest planning calculations-rationale, examples, and pitfalls. Journal of Environmental Management, 2005

KUMMEROW, C.; BARNES. W.; KOZU, T.; SHIUE, J.; SIMPSON, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. v. 15, n. 3, p. 809-817, 1998.

LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; PARROTTA, J. A. Restoration of degraded tropical forest landscapes Science310 1628–32, 2005.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

LEPSCH, I. F.; ESPINDOLA, C. R.; VISCHI FILHO, O. J.; HERNANI, L. C.; SIQUEIRA, D. S. Manutal para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 1º ed. Viçosa: SBCS, 2015.

LINDBORG, R. et al. A landscape perspective on conservation of semi-natural grasslands. Agriculture, Ecosystems & Environment ;125:213–222. doi: 10.1016/j.agee.2008.

LIU Y, ET al. Wine microbiome: A dynamic world of microbial interactions. Crit Rev Food Sci Nutr 57(4):856-873, 2017.

Liu, W., Song, C., Schroeder, T. A., & Cohen, W. B. Predicting forest successional stages using multitemporal Landsat imagery with forest inventory and analysis data. International Journal of Remote Sensing, v. 29, n. 13, p. 3855-3872, 2008.

MARQUES, J. J. G. S. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M .L. N.; SÁ, M. A. C. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 21, p. 447-456, 1997.

MARTINS, S. V. et al.. Potencial de regeneração natural de florestas nativas nas diferentes regiões do Estado do Espírito Santo, 2014a. (Accessed: December 2015)

MARTINS, S. G.; et al. Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the coastal plain of Espirito Santo, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do solo, v. 34, p. 999-1004, 2010.

MCDERMOTT, R., D. TINGLEY, J. COWDEN, G. FRAZZETTO; D. JOHNSON. Monoamine Oxidase A gene (MAOA) Predicts Behavioral Aggression Following Provocation. Proceedings of the National Academy of Sciences 106 (7): 2118–23., 2009.

MENZ, M.H.M., DIXON, K.W. & HOBBS, R.J. Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. Science 339: 526-527, 2013.

MUNDA, G.; NIJKAMP, P.; RIETVELD, P. Qualitative multicriteria evaluation for environmental management. Ecological Economics, v. 10, n. 2, p. 97–112, 1994.

NASA LP DAAC2015ASTER Level 1 Precision Terrain Corrected Registered At-Sensor Radiance Version 3 NASA EOSDIS Land Processes DAAC USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center Sioux Falls South Dakota (https://lpdaac.usgs.gov), acesso em 2018.

NIGG, J.M. Disaster recovery as a social process. University of Delaware Disaster Research Center, 1995.

NUNES, F. S. M.; SOARES-FILHO, B. S., RAJÃO, R.; MERRY, F. Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. Environ. Res. Lett. 12 044022.

OLIVEIRA, F. P. Monodominância de aroeira: fitossociologia, relações pedológicas e distribuição espacial em Tumiritinga - MG. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

OLIVEIRA, F. P. Ecologia da monodominância de aroeira (Myracrodruon urundeuva FR. All) em floresta tropical estacional no médio Rio Doce, MG. Tese de doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

OLIVEIRA G. C., FERNANDES FILHO E. I. Automated mapping of permanent preservation areas on hilltops. CERNE 22: 111-120, 2016.

OLIVEIRA, G. C. Precisão de modelos digitais de terreno, mapeamento automático de APPs em topos de morros e a eficácia do novo código florestal. Dissertação (Mestrado em Solo e

Nutrição de Plantas) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015. Disponível em: <http:\\www.locus.ufv.br/handle/123456789/645>.

OLIVEIRA, J. A.; DOMINGUEZ, J. M. L.; NEARING, M. A.; OLIVEIRA, P. T. S. A GIS-Based procedure for automatically calculation soil loss fron the universal soil loss equation: GISus-M. American Society of Agricultural and Biological Engineers. v. 31, n. 6, p. 907–917, 2015.

ORSI, F.; GENELETTI, D.; NEWTON, A. C. Towards a common set of criteria and indicators to identify forest restoration priorities: An expert panel-based approach. Ecological Indicators, v. 11, n. 2, p. 337–347, 2011.

OSBORNE, B.G.; FEARN, T.; HINDLE, P.H. 1993: "Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis", 2nd edition. Longman Scientific and Technical, Singapore. 227 p.

OSTROM, E. A diagnostic approach for going beyond panaceas. Proceedings of the national Academy of sciences, v. 104, n. 39, p. 15181-15187, 2007.

PACHECO, R.; RAJÃO, R.; SOARES-FILHO, B.; HOFF, R. VAN DER. Regularização do passivo de reserva legal: percepção dos produtores rurais no Pará e Mato Grosso. Ambiente & Sociedade, v. XX, n. 2, p. 185–206, 2017.

PEREIRA, L.; OLIVEIRA, C.; TOREZAN, J. M. D. Woody species regeneration in Atlantic forest restoration sites depends on surrounding landscape Nat. Conservacao 11 138–44, 2013.

Pessôa, A. C. M. Caracterização Espectral de Estágios Sucessionais no Domínio Mata Atlântica em Diferentes Condições de Iluminação Local Utilizando Imagens Tm/Landsat 5. Dissertação (Sensoriamento Remoto) – Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 154 p., 2016.

PINTO-CORREIA, T., GUIOMAR, N., GUERRA, C.A., CARVALHO-RIBEIRO, S. Assessing the ability of rural areas to fulfil multiple societal demands. Land Use Policy 53, 86-96, 2016.

PINTO-CORREIA, T., GUIOMAR, N., GUERRA, C.A., CARVALHO-RIBEIRO, S. Assessing the ability of rural areas to fulfil multiple societal demands. Land Use Policy 53, 86-96, 2016.

PRUSKI, F. F. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2º ed. Viçosa: UFV, 2009.

QUINLAN, J. R. C4.5: Programs for Machine Learning, Morgan Kaufmann, San Mateo, Californi, 1993.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Viena, Áustria, R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: http://www.r-project.org/.

RAJÃO, R.; SOARES-FILHO, B. Cotas de reserva ambiental (CRA): potencial e viabilidade econômica do mercado no Brasil. 1. ed. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2015.

RAO, V. & WALTON, M. [eds.] Culture and public action. Stanford, US: World Bank, Stanford University Press. 2004.

RIO GRANDE DO SUL. Manual de conservação do solo. 1. ed. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura, 1979.

RODRIGUES, R. R. et al, Large-scale ecological restoration of high diversity tropical forests in SE Brazil For. Ecol. Manage. 261 1605–13, 2011.

RODRIG-UES, R. et al, Large-scale ecological restoration of high diversity tropical forests in SE Brazil For. Ecol. Manage. 261 1605–13, 2011.

RODRIGUES, R; LIMA, R A F; GANDOLFI, S; NAVE A G. On the restoration of high diversity forests: 30 yr of experience in the Brazilian Atlantic Forest Biol. Conserv 142 1242–51, 2009.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J.; A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Earth technology satellite symposium, 3, 1973, Washington. Proceedings. Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.

SAATY, Roseanna W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical modelling, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção de processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 229–267, 2005.

SANTOS, E. E. Uso da Geotecnologia na Detecção e Espacialização de Queimadas no Estado de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 2015.

SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. Erosividade das chuvas (R) nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, no estado do Piauí (Brasil). Geoambiente On-Line. v. 2, n. 13, p. 57–72, 2015.

SANTOS, R. F. Planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Texto, p. 184, 2004.

SHONO, K; CADAWENG, E A; DURST, P B. Application of assisted natural regeneration to restore degraded tropical forestlands Restor. Ecol. 15 620–6, 2007.

SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUAX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 21, p. 131-137, 1997.

SIMENSEN, T., HALVORSEN, R., ERIKSTAD, L. Methods for landscape characterisation and mapping: A systematic review. Land Use Policy 75, 557-569, 2018.

SIMENSEN, T., HALVORSEN, R., ERIKSTAD, L. Methods for landscape characterisation and mapping: A systematic review. Land Use Policy 75, 557-569, 2018.

SOARES FILHO, B., RODRIGUES, H., COSTA, W., (2009) Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO. Guidebook. (http://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=tutorial:start) (accessed 20 November 2015), in: Soares Filho, B. (Ed.), Belo Horizonte, Brazil.

SOARES FILHO, B., RODRIGUES, H., COSTA, W., Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO. Guidebook. (http://csr.ufmg.br/dinamica/dokuwiki/doku.php?id=tutorial:start) (accessed 20 November 2015), in: Soares Filho, B. (Ed.), Belo Horizonte, Brazil, 2009.

SOARES-FILHO, B. S, et al. Cracking Brazil's Forest Code Science 344 363–4, 2014.

SOARES-FILHO, B. S, et al. Brazil's market for trading forest certificates Plos One 11 e0152311, 2016.

SOARES-FILHO, B S; RODRIGUES, H; FOLLADOR, M. A hybrid analytical-heuristic method for calibrating land-use change models Environ. Modell Software 2013 43 80–87, 2013.

SOARES-FILHO, B., et al OTIMIZAGRO: Uma Plataforma Integrada de Modelagem de Uso e Mudanças no Uso da Terra para o Brasil. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência do Brasil. Tech. Report, 2013

Society for Ecological Restoration Science & Policy Working Group—SER, The SER Primer on Ecological Restoration, Tucson, 2004. (Acessed: December 2015)

The Nature Conservancy – TNC. Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará, 2013. (Accessed: December 2015)

TREVISAN, A. C. D.; SCHMITT-FILHO, A. L.; FARLEY, J.; FANTINI, A. C.; LONGO, C. Farmerperceptions, policy and reforestation in Santa Catarina, Brazil. Ecological Economics, v. 130, p. 53–63, 2016.

TURNER, B. L. et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 100, n. 14, p. 8074–9, 2003.

VAIDYA, Omkarprasad S.; KUMAR, Sushil. Analytic hierarchy process: An overview of applications. European Journal of operational research, v. 169, n. 1, p. 1-29, 2006.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, p. 74-103, 2008b.

VALERIANO, M. M. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008a.

VASCONCELOS, V. V; MARTINS JUNIOR, P. P.; HADAD, R. M. Methodology for rapid assessment of aquifer recharge areas. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 13, n. 2, p. 6-6, 2013.

WANG, S.-Y.; LIU, J.-S.; YANG, C.-J. Eco-Environmental Vulnerability Evaluation in the Yellow River Basin, China. Pedosphere, v. 18, n. 2, p. 171–182, 2008.

WESTERN, A. W.; GRAYSON, R. B.; BLOSCH, G.; WILLGOOSE, G. R.; MCMAHON, T. A. Observed spatial organization of soil moisture. Water Resources, v. 35, n. 3, p. 797–810, 1999.

WICKHAM, J., Riitters, K., Vogt, P., Costanza, J., Neale, A. (2017) An inventory of continental U.S. terrestrial candidate ecological restoration areas based on landscape context. Restor Ecol 25, 894-902.

WICKHAM, J., RIITTERS, K., VOGT, P., COSTANZA, J., NEALE, A. An inventory of continental U.S. terrestrial candidate ecological restoration areas based on landscape context. Restor Ecol 25, 894-902, 2017.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Prediciting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 58 p, 1978.

WUNDER, S., ANGELSEN, A., BELCHER, B. (2014) Forests, Livelihoods, and Conservation: Broadening the Empirical Base. World Development 64, Supplement 1, S1-S11., 2014.

WÜNSCHER, T., ENGEL, S. International payments for biodiversity services: Review and evaluation of conservation targeting approaches. Biological Conservation 152, 222-230, 2012.

WÜNSCHER, T., ENGEL, S., WUNDER, S. Spatial targeting of payments for environmental services: A tool for boosting conservation benefits. Ecological Economics 65, 822-833, 2008.

WWF (2014) WWF Report UK. Working Together to help save 1 billion trees http://assets.wwf.org.uk/downloads/wwf_a4_report_wild_rubber_web__2_.pdf (accessed November 2015).

YOUNG, A. Agroforestry for soil conservation. Wallingford: CAB International, p. 275, 1991.

ZUFFO, A. C. Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos. 1998. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ZUFFO, A. C., REIS, L. F. R., SANTOS, R. F., CHAUDHRY, F. H. Aplicação de métodos multicritérios ao planejamento dos recursos hídricos. Rev. Bras. Rec. Hídricos, v. 7, n. 1, p. 81-102, 2002.

# ANEXOS

## ANEXO 1. LISTA DE VARIÁVEIS UTILIZADAS NA ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE PRIORIZAÇÃO

| Índice | Sub índice | N. | Variáveis |
|---|---|---|---|
| **Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA)** | Áreas de Recarga | 1 | Balanço Hídrico Climatológico - Precipitação TRMM |
| | | 2 | Evapotranspiração MODIS |
| | | 3 | Curvatura horizontal do terreno, Modelo digital de elevação – MDE |
| | | 4 | Terço de superior do terreno, Modelo digital de elevação – MDE |
| | | 5 | Pedologia (DPS/UFV) |
| | Adequação do uso do solo | 6 | Declividade |
| | | 7 | Pedologia (DPS/UFV) |
| | | 8 | Aspectos legais (APPs) |
| | | 9 | Terço Superior do relevo |
| | | 10 | Capacidade de uso da terra |
| | | 11 | Intensidade de uso exercida sobre a terra (NDVI) |
| | Disponibilidade hídrica (ANA) | 12 | Disponibilidade hídrica (ANA) |
| | Potencial de erosão | 13 | Erosividade da chuva |
| | | 14 | Erodibilidade do solo |
| | | 15 | Fator de comprimento e declividade da encosta |
| | Queimadas/Focos de Calor (INPE) | 16 | Queimadas/Focos de Calor (INPE) |
| **Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)** | Grupo A - Capital Humano | 17 | Percentual de pessoas de 5 a 14 anos não alfabetizadas |
| | | 18 | Percentual de pessoas com até 15 anos |
| | | 19 | Percentual de pessoas com mais de 65 anos |
| | | 20 | Percentual de mães chefes de família não alfabetizadas |
| | | 21 | Taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais |
| | | 22 | Percentual negros ou pardos |
| | Grupo B: Infraestrutura e moradia | 23 | Localização da moradia (rural ou urbana) |
| | | 24 | Percentual de moradias com água e esgoto inadequados |
| | | 25 | Percentual de moradias sem coleta de lixo |
| | | 26 | Percentual de famílias com renda inferior a 1 salário mínimo (de 2010) e condição de moradia inadequada |
| | | 27 | Percentual de domicílios sem acesso a rede geral de energia elétrica |
| | | 28 | Condição do imóvel (percentual de imóveis não próprios) |
| | Grupo C: Renda | 29 | Percentual de pessoas com rendimento de até 1 salário mínimo (de 2010) |
| | | 30 | Percentual pessoas responsáveis sem rendimentos |
| | | 31 | Percentual pessoas sem rendimento |
| | IPAE: Valor Bruto da PAM, PPM, PEVS | 32 | Valor bruto da produção das Lavouras Permanentes em relação ao PIB municipal; |
| | | 33 | Valor bruto da produção das Lavouras Temporárias em relação ao PIB municipal; |
| | | 34 | Relação entre o número de cabeças da produção pecuária municipal e do estado de referência (MG ou ES); |
| | | 35 | Valor bruto da produção do Extrativismo Vegetal e Silvicultura em relação ao PIB municipal; |
| **Índice Vocação Recuperação (IVR)** | Índice prioridade para conservação | 36 | Porcentagem do município abrangido por áreas de proteção integral |
| | | 37 | Porcentagem do município abrangido por áreas de Uso Sustentável |
| | | 38 | Porcentagem do município abrangido por áreas de proteção da fauna |

| Índice | Sub índice | N. | Variáveis |
|---|---|---|---|
| **Vocação para Regeneração Natural** | | 39 | Porcentagem do município abrangido por áreas de proteção da flora |
| | | 40 | Porcentagem de cobertura florestal nos imóveis CAR |
| | | 41 | Extraído um componente principal ( CP) associado às UCs prioridade para conservação |
| | | 42 | Reclassificação dos valores do CP extraído em 5 classes (muito baixa a muito alta) através do método quebras naturais |
| | Favorabilidade à RN | 43 | Hidrografia |
| | | 44 | Uso e cobertura da terra |
| | | 45 | Modelo digital de elevação |
| | | 46 | Plano de curvatura do terreno |
| | | 47 | Intensidade histórica de uso da terra (pastagens plantadas) |
| | | 48 | Intensidade histórica de uso da terra (cultivos agrícolas) |
| | | 49 | Precipitação média anual |
| | | 50 | Porcentagem do município com alta favorabilidade de regeneração natural dentro do CAR |
| | | 51 | Favorabilidade à regeneração natural |
| | | 52 | Porcentagem do município com alta favorabilidade à regeneração |
| | | 53 | Vocação regeneração natural |
| **Índice Vocação Recuperação (IVR) Vocação Plantio Total SEM Fins Econômicos** | Naturalização APP | 54 | APP Ripária com formação florestal |
| | | 55 | Zona de recarga (ZR) com vegetação nativa |
| | | 56 | CP associado a APP e ZR preservadas |
| | | 57 | Reclassificação dos valores do CP em 5 classes (muito baixa a muito alta) |
| | Área média da mancha classe 4 formação florestal (FBDS) | 58 | Área média das manchas por município (30*30) |
| | | 59 | Área média das manchas reclassificada pelo método quebras naturais |
| | Capacidade institucional para plantio | 60 | Área Restaurada |
| | | 61 | Número de projetos de restauração |
| | | 62 | Número de Viveiros |
| | | 63 | Extraído o CP associado a Capacidade Institucional para restauração florestal |
| | | 64 | Reclassificação do CP através do método quebras naturais |
| | Índice de prioridade para conservação | 65 | CP associado à prioridade preservação |
| | Métricas da paisagem- Conectividade entre fragmentos classe 4 FBDS | 66 | Distância ao Vizinho mais próximo-(média da distância) Euclidean Nearest-Neighbor (ENN_MN) |
| | | 67 | Reclassificação do ENN através do método quebras naturais |
| | | 68 | Porcentagem da Paisagem que a classe formação florestal ocupa na paisagem (PLAND) |
| | | 69 | Área da Maior mancha Large Patch índex (LPI) |
| | | 70 | Área MN área média das manchas |
| | | 71 | Mediana da distância ENN_Mediana |
| | | 72 | Coeficiente de variação da distância ao vizinho mais próximo ENN |
| | | 73 | Conectividade (Conect_1500) |
| | | 74 | Reclassificação em 5 classes através do método quebras naturais |
| **Índice Vocação Recuperação (IVR)** **Vocação Plantio Total COM Fins Econômicos-Produção** | População Rural em pequena propriedade | 75 | População Rural em 2016 |
| | | 76 | Porcentagem das propriedades com menos de 4 Módulos Fiscais nos municípios |
| | | 77 | Extraído o CP associando população rural em peq. propriedade |
| | | 78 | Reclassificação da componente extraída através do método quebras naturais |
| | | 79 | 2030-2012 "água" |

| Índice | Sub índice | N. | Variáveis |
|---|---|---|---|
| | Transição para restauração 40 categorias de uso do solo do Otimizagro (2030-2012) | 80 | 2030-2012 "urbano" |
| | | 81 | 2030-2012 “pastagem" |
| | | 82 | 2030-2012 "pastagem_em_AP" |
| | | 83 | 2030-2012 "savanas" |
| | | 84 | 2030-2012 "savanas_em_AP" |
| | | 85 | 2030-2012 "florestas" |
| | | 86 | 2030-2012 "florestas_em_AP" |
| | | 87 | 2030-2012"restauração florestal" |
| | | 88 | 2030-2012 "soja" |
| | | 89 | 2030-2012 "cana_de_acucar" |
| | | 90 | 2030-2012 "milho" |
| | | 91 | 2030-2012 "algodao" |
| | | 92 | 2030-2012 "arroz" |
| | | 93 | 2030-2012 "trigo" |
| | | 94 | 2030-2012 "feijao" |
| | | 95 | 2030-2012 "cafe_arabica" |
| | | 96 | 2030-2012 "cafe_robusta" |
| | | 97 | 2030-2012 "laranja" |
| | | 98 | 2030-2012 "mandioca" |
| | | 99 | 2030-2012 "banana" |
| | | 100 | 2030-2012 "cacau" |
| | | 101 | 2030-2012 "fumo" |
| | | 102 | 2030-2012 "milho_2s" |
| | | 103 | 2030-2012 "feijao_2s" |
| | | 104 | 2030-2012 "floresta_plantada" |
| | | 105 | 2030-2012 "soja_milho_safrinha" |
| | | 106 | 2030-2012 "soja_trigo" |
| | | 107 | 2030-2012 "milho_trigo" |
| | | 108 | 2030-2012 "soja_feijao" |
| | | 109 | 2030-2012 "milho_feijao" |
| | | 110 | 2030-2012 "feijao_feijao" |
| | Transição para restauração | 111 | pastagem |
| | | 112 | pastagem_em_AP |
| | | 113 | savanas |
| | | 114 | florestas |
| | | 115 | Restauração florestal |
| | | 116 | milho |
| | | 117 | arroz |
| | | 118 | feijao |
| | | 119 | cafe_arabica |
| | | 120 | cafe_robusta |
| | | 121 | laranja |
| | | 122 | mandioca |
| | | 123 | banana |
| | | 124 | floresta_plantada |
| | | 125 | milho_feijao |
| | | 126 | feijao_feijao |
| | | 127 | Extraído o CP associado à transição para restauração |
| | | 128 | Reclassificação do CP extraído através do método quebras naturais |
| | Diversidade Produtiva Caracterização do | 129 | Café |
| | | 130 | Feijão |
| | | 131 | Milho |

| Índice | Sub índice | N. | Variáveis |
|---|---|---|---|
| | sistema produtivo no presente (2016) classes de cultivos agrícolas PAM | 132 | Cana-de-açúcar |
| | | 133 | Mandioca |
| | | 134 | Banana |
| | | 135 | Tomate |
| | | 136 | Laranja |
| | | 137 | Arroz |
| | | 138 | Maracujá |
| | | 139 | Limão |
| | | 140 | Abacate |
| | | 141 | Tangerina |
| | | 142 | Batata-doce |
| | | 143 | Batata Inglesa |
| | | 144 | Maçã |
| | | 145 | Pêssego |
| | | 146 | Abacaxi |
| | | 147 | Amendoim |
| | | 148 | Soja |
| | | 149 | Trigo |
| | Diversidade Produtiva café e frutas | 150 | CP associada à diversidade produtiva que assenta em produções como café e frutas |
| | | 151 | Reclassificação da CP associada a sistemas produtivos que assentam em café e frutas através do método quebras naturais |
| | Diversidade Produtiva milho feijão | 152 | CP associada à diversidade produtiva que assenta em sistemas produção de milho e feijão |
| | | 153 | Reclassificação da CP associada a sistemas produtivos que assentam milho, feijão através do método quebras naturais |
| | | 154 | Diversidade sistemas produtivos |
| | Capacidade Institucional para SAFs | 155 | Número de instituições governamentais |
| | | 156 | Número de cooperativas |
| | | 157 | Número Empresas |
| | | 158 | Número ONGs |
| | | 159 | Iniciativas Próprio Produtor |
| | | 160 | CP associado de capacidade institucional para SAF |
| | | 161 | Reclassificação em 5 classes (muito baixa a muito alta) dos valores da CP Iniciativas de Produção SAFs |

## ANEXO 2. ORÇAMENTO

**Tabela A1.** Orçamento municipal APPs ripárias a serem recompostas e zonas de recarga considerando a favorabilidade à regeneração natural. As estimativas das áreas de APPs consideram ambas as regras da Lei da Mata Atlântica e do Código Florestal.

| Município | APPs com baixa favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com alta favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com baixa favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | APPs com alta favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | Zonas de recarga com baixa favorabilidade à regeneração natural (ha) | Zonas de recarga com alta favorabilidade à regeneração natural (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3100302 | 2392,65 | 1650,33 | 1.558,42 | 1.074,92 | 3597,75 | 4207,86 |
| 3100401 | 387,18 | 482,31 | 387,18 | 482,31 | 544,41 | 895,23 |
| 3100500 | 1720,89 | 1774,89 | 1.635,86 | 1.687,19 | 6023,61 | 8059,23 |
| 3100609 | 3106,17 | 3230,1 | 2.559,70 | 2.661,82 | 10413,45 | 8047,35 |
| 3101102 | 6014,07 | 2021,76 | 5.160,36 | 1.734,77 | 9900,18 | 7215,66 |

| Município | APPs com baixa favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com alta favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com baixa favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | APPs com alta favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | Zonas de recarga com baixa favorabilidade à regeneração natural (ha) | Zonas de recarga com alta favorabilidade à regeneração natural (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3101805 | 1340,73 | 410,49 | 897,37 | 274,75 | 2562,12 | 137,97 |
| 3102100 | 2074,23 | 3359,7 | 889,82 | 1.441,27 | 2629,44 | 4718,16 |
| 3102209 | 894,6 | 551,88 | 485,62 | 299,58 | 3117,15 | 2233,62 |
| 3102308 | 2082,24 | 3418,11 | 2.587,45 | 4.247,44 | 2929,32 | 6577,29 |
| 3102407 | 297,18 | 1132,74 | 443,18 | 1.689,24 | 1495,98 | 2208,78 |
| 3102506 | 589,77 | 561,33 | 415,78 | 395,73 | 472,95 | 1057,41 |
| 3103009 | 503,91 | 2571,3 | 1.138,45 | 5.809,19 | 2547,63 | 9662,67 |
| 3103702 | 933,21 | 979,56 | 829,50 | 870,70 | 1874,16 | 2165,22 |
| 3105400 | 263,79 | 1172,07 | 807,42 | 3.587,51 | 856,62 | 2755,35 |
| 3105707 | 1750,5 | 1988,1 | 1.348,40 | 1.531,43 | 2080,44 | 3783,33 |
| 3106002 | 147,6 | 402,21 | 323,58 | 881,74 | 474,84 | 887,22 |
| 3106309 | 659,88 | 954,9 | 1.202,33 | 1.739,87 | 1477,71 | 1508,85 |
| 3107703 | 415,26 | 894,6 | 510,39 | 1.099,53 | 1629,72 | 2081,61 |
| 3107802 | 1694,16 | 1308,6 | 1.278,76 | 987,74 | 4566,69 | 5129,37 |
| 3108701 | 818,28 | 1675,08 | 425,92 | 871,90 | 963,45 | 2439,99 |
| 3108800 | 645,75 | 913,23 | 542,59 | 767,33 | 1428,66 | 3424,14 |
| 3109253 | 516,42 | 286,56 | 203,17 | 112,74 | 1466,19 | 1050,75 |
| 3110202 | 329,94 | 358,2 | 139,84 | 151,81 | 461,52 | 661,59 |
| 3110806 | 1299,96 | 698,4 | 1.305,02 | 701,12 | 5091,03 | 2938,32 |
| 3111705 | 853,92 | 700,65 | 358,86 | 294,45 | 1190,16 | 1758,15 |
| 3112059 | 489,78 | 404,37 | 350,38 | 289,28 | 811,53 | 1097,82 |
| 3112208 | 386,28 | 698,4 | 133,71 | 241,75 | 486,09 | 1101,06 |
| 3112653 | 1206,81 | 536,85 | 654,31 | 291,07 | 2782,53 | 1885,32 |
| 3112901 | 1137,24 | 486,54 | 640,92 | 274,20 | 2034,63 | 1546,65 |
| 3113107 | 380,88 | 1185,84 | 190,28 | 592,41 | 719,91 | 1426,23 |
| 3113206 | 96,66 | 294,48 | 940,91 | 2.866,53 | 149,85 | 475,02 |
| 3113404 | 4119,57 | 2958,48 | 3.432,39 | 2.464,98 | 14095,89 | 11128,41 |
| 3113800 | 173,43 | 1289,07 | 135,73 | 1.008,87 | 422,1 | 2305,53 |
| 3115359 | 146,79 | 839,16 | 150,49 | 860,34 | 909,72 | 2116,98 |
| 3115409 | 130,77 | 659,79 | 138,99 | 701,29 | 401,13 | 1324,08 |
| 3116001 | 1523,79 | 1005,21 | 895,31 | 590,61 | 2063,52 | 1913,58 |
| 3116308 | 792,18 | 952,83 | 241,68 | 290,70 | 1009,35 | 1573,74 |
| 3116704 | 376,2 | 515,7 | 144,14 | 197,60 | 685,44 | 974,52 |
| 3116803 | 741,42 | 1017,18 | 531,56 | 729,26 | 1025,28 | 2413,35 |
| 3117405 | 614,7 | 739,98 | 325,05 | 391,30 | 1707,48 | 2380,32 |
| 3117504 | 2101,41 | 4958,28 | 3.218,97 | 7.595,18 | 4676,58 | 7513,02 |
| 3118106 | 12,51 | 171,45 | 222,36 | 3.047,49 | 2,16 | 36,45 |
| 3118304 | 23,85 | 61,47 | 515,48 | 1.328,58 | 36,54 | 156,6 |
| 3118403 | 4931,82 | 4431,15 | 2.604,84 | 2.340,40 | 10957,77 | 10386,27 |
| 3119203 | 1459,08 | 1531,53 | 1.516,90 | 1.592,22 | 4749,3 | 5751,63 |
| 3119401 | 176,04 | 597,06 | 179,87 | 610,05 | 1145,34 | 3413,43 |
| 3120003 | 532,44 | 560,61 | 683,15 | 719,29 | 1214,73 | 1336,32 |
| 3120409 | 13,23 | 56,34 | 300,36 | 1.279,09 | 69,21 | 142,02 |
| 3120839 | 1109,16 | 360,45 | 996,88 | 323,96 | 2342,34 | 1073,61 |
| 3121506 | 410,31 | 541,8 | 246,51 | 325,51 | 759,69 | 1187,28 |
| 3121704 | 576 | 937,08 | 208,02 | 338,42 | 613,71 | 1499,31 |
| 3121803 | 806,22 | 801,36 | 1.779,65 | 1.768,92 | 2308,14 | 2127,78 |
| 3121902 | 373,59 | 354,6 | 272,87 | 259,00 | 679,32 | 731,07 |
| 3122108 | 1690,92 | 577,26 | 1.166,50 | 398,23 | 4510,08 | 2322,99 |
| 3122207 | 367,74 | 368,37 | 313,60 | 314,14 | 830,61 | 1465,74 |
| 3122504 | 197,82 | 205,83 | 86,06 | 89,55 | 869,04 | 643,95 |
| 3122603 | 652,86 | 1714,77 | 521,95 | 1.370,92 | 1383,21 | 3250,26 |
| 3122702 | 721,08 | 841,68 | 695,67 | 812,02 | 1201,5 | 1749,96 |

| Município | APPs com baixa favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com alta favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com baixa favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | APPs com alta favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | Zonas de recarga com baixa favorabilidade à regeneração natural (ha) | Zonas de recarga com alta favorabilidade à regeneração natural (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3123106 | 668,16 | 1303,02 | 583,98 | 1.138,86 | 924,12 | 2852,28 |
| 3123304 | 1139,76 | 1177,83 | 720,25 | 744,31 | 1601,37 | 2268,99 |
| 3123528 | 948,96 | 1095,57 | 616,97 | 712,29 | 1680,21 | 1991,7 |
| 3123700 | 930,33 | 222,39 | 486,15 | 116,21 | 2655,18 | 972,63 |
| 3123858 | 391,23 | 171,36 | 198,11 | 86,78 | 846,72 | 751,86 |
| 3124005 | 1647,09 | 1313,28 | 1.057,21 | 842,95 | 2402,1 | 2453,85 |
| 3125804 | 775,35 | 147,15 | 512,22 | 97,21 | 2325,6 | 304,11 |
| 3125903 | 1156,68 | 4778,37 | 1.365,87 | 5.642,57 | 2070,45 | 10604,43 |
| 3126752 | 2360,16 | 1300,59 | 1.707,71 | 941,05 | 5827,05 | 4460,4 |
| 3126901 | 2221,38 | 769,23 | 2.880,22 | 997,38 | 6761,16 | 1619,19 |
| 3126950 | 171,27 | 660,15 | 117,38 | 452,44 | 388,62 | 1631,52 |
| 3127305 | 2265,3 | 2412 | 2.518,04 | 2.681,10 | 4869 | 5541,3 |
| 3127370 | 523,71 | 210,15 | 239,41 | 96,07 | 1231,65 | 452,61 |
| 3127503 | 203,67 | 707,58 | 110,01 | 382,19 | 1389,51 | 2829,06 |
| 3127701 | 9844,47 | 5494,41 | 10.341,84 | 5.772,00 | 29315,7 | 13735,44 |
| 3128006 | 2487,78 | 3104,55 | 2.408,27 | 3.005,33 | 4582,8 | 9021,42 |
| 3128204 | 1040,31 | 1977,93 | 656,36 | 1.247,93 | 671,4 | 2449,08 |
| 3129301 | 1315,71 | 676,44 | 1.078,12 | 554,29 | 4174,2 | 2105,82 |
| 3130556 | 824,4 | 411,39 | 405,57 | 202,39 | 3315,42 | 1598,13 |
| 3130903 | 3042,27 | 2170,71 | 1.683,00 | 1.200,85 | 8864,55 | 9272,52 |
| 3131158 | 265,77 | 260,91 | 59,46 | 58,38 | 888,48 | 839,61 |
| 3131208 | 1572,12 | 989,1 | 987,27 | 621,14 | 3266,19 | 3109,05 |
| 3131307 | 140,76 | 436,14 | 179,03 | 554,73 | 957,69 | 1846,53 |
| 3131703 | 1992,87 | 5824,62 | 2.700,45 | 7.892,68 | 5450,94 | 11800,44 |
| 3132701 | 4884,21 | 1864,08 | 4.733,66 | 1.806,62 | 16110,45 | 5682,24 |
| 3132800 | 217,08 | 1499,58 | 381,26 | 2.633,73 | 812,7 | 2622,78 |
| 3133204 | 2070,45 | 1070,1 | 1.405,00 | 726,17 | 6002,64 | 3765,15 |
| 3133907 | 598,86 | 1338,03 | 396,47 | 885,83 | 973,26 | 2616,39 |
| 3134103 | 1634,22 | 1019,52 | 1.123,00 | 700,59 | 4119,12 | 2593,53 |
| 3135001 | 128,52 | 483,57 | 162,80 | 612,55 | 214,83 | 1219,05 |
| 3135076 | 2382,21 | 692,55 | 2.250,36 | 654,22 | 7652,07 | 2910,6 |
| 3135506 | 2063,16 | 2414,25 | 1.131,70 | 1.324,28 | 2618,82 | 4910,67 |
| 3136108 | 539,37 | 882,72 | 225,15 | 368,48 | 1210,86 | 2359,26 |
| 3136207 | 132,48 | 223,47 | 600,66 | 1.013,21 | 527,13 | 607,86 |
| 3136553 | 388,44 | 619,92 | 246,74 | 393,78 | 885,51 | 1263,87 |
| 3137700 | 2935,44 | 1681,65 | 2.252,10 | 1.290,18 | 3771 | 2839,23 |
| 3137908 | 437,31 | 831,51 | 237,50 | 451,59 | 607,77 | 1156,14 |
| 3138674 | 1193,04 | 326,97 | 683,61 | 187,35 | 1778,04 | 1007,19 |
| 3139201 | 1520,28 | 1418,94 | 812,48 | 758,32 | 3256,47 | 4064,22 |
| 3139409 | 3864,6 | 1620,99 | 1.995,69 | 837,08 | 7653,24 | 4088,43 |
| 3139508 | 855,45 | 768,42 | 615,17 | 552,58 | 1269,36 | 1577,79 |
| 3140001 | 1612,17 | 4538,79 | 3.499,59 | 9.852,51 | 4049,19 | 11237,94 |
| 3140100 | 610,11 | 347,85 | 556,55 | 317,31 | 2520,63 | 646,47 |
| 3140308 | 541,08 | 733,86 | 635,69 | 862,19 | 1123,29 | 1512,18 |
| 3140530 | 565,2 | 441,72 | 359,92 | 281,29 | 1217,61 | 1017 |
| 3140605 | 683,28 | 1384,38 | 665,14 | 1.347,63 | 624,42 | 1626,48 |
| 3140902 | 1842,57 | 676,35 | 1.277,67 | 468,99 | 2928,6 | 1957,05 |
| 3141603 | 168,93 | 219,96 | 977,10 | 1.272,26 | 480,69 | 487,62 |
| 3141702 | 585,09 | 882,45 | 220,13 | 332,01 | 1630,35 | 2618,82 |
| 3143708 | 334,17 | 1750,59 | 351,20 | 1.839,82 | 1288,17 | 3165,12 |
| 3144003 | 7096,32 | 3392,1 | 4.329,72 | 2.069,64 | 10391,13 | 7495,02 |
| 3144201 | 591,12 | 443,16 | 558,03 | 418,35 | 2673,36 | 2145,33 |
| 3144359 | 411,03 | 257,49 | 457,55 | 286,64 | 1497,69 | 625,86 |

| Município | APPs com baixa favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com alta favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com baixa favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | APPs com alta favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | Zonas de recarga com baixa favorabilidade à regeneração natural (ha) | Zonas de recarga com alta favorabilidade à regeneração natural (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3144706 | 723,78 | 1247,58 | 1.493,36 | 2.574,10 | 1251,81 | 3352,77 |
| 3145851 | 368,82 | 363,6 | 255,32 | 251,70 | 414,09 | 707,22 |
| 3145901 | 74,97 | 326,34 | 578,67 | 2.518,90 | 246,78 | 629,82 |
| 3146107 | 958,59 | 1557,45 | 3.085,05 | 5.012,37 | 1581,21 | 3120,84 |
| 3147501 | 284,76 | 572,94 | 331,91 | 667,81 | 492,84 | 1029,87 |
| 3148301 | 908,55 | 1270,26 | 532,37 | 744,32 | 1376,73 | 2589,66 |
| 3148400 | 589,5 | 679,14 | 541,25 | 623,56 | 674,55 | 1024,29 |
| 3148608 | 2364,57 | 2892,33 | 1.851,06 | 2.264,20 | 6550,83 | 9014,13 |
| 3148756 | 963,72 | 521,1 | 287,30 | 155,35 | 1465,65 | 1255,32 |
| 3148806 | 739,35 | 714,06 | 468,66 | 452,63 | 935,73 | 1660,41 |
| 3149952 | 848,79 | 505,44 | 890,66 | 530,37 | 2115,27 | 976,77 |
| 3150158 | 242,73 | 324,45 | 128,15 | 171,30 | 983,7 | 1046,61 |
| 3150208 | 508,32 | 172,17 | 490,98 | 166,30 | 928,08 | 461,34 |
| 3150539 | 141,39 | 152,64 | 322,04 | 347,67 | 517,14 | 403,56 |
| 3150802 | 2116,62 | 4055,94 | 1.075,53 | 2.060,97 | 3194,73 | 7106,85 |
| 3151909 | 2731,68 | 1208,97 | 1.793,05 | 793,56 | 5838,12 | 4741,65 |
| 3152105 | 2366,28 | 1989,18 | 1.943,59 | 1.633,85 | 3106,71 | 3710,25 |
| 3152303 | 789,12 | 1750,86 | 405,15 | 898,93 | 567,09 | 2080,35 |
| 3153103 | 809,28 | 1573,11 | 419,50 | 815,44 | 679,77 | 2190,69 |
| 3153509 | 937,17 | 435,78 | 609,95 | 283,62 | 1225,08 | 1025,19 |
| 3154002 | 3593,52 | 1827,9 | 2.471,40 | 1.257,12 | 7470,18 | 6055,2 |
| 3154150 | 984,06 | 611,64 | 681,69 | 423,70 | 1941,39 | 1470,87 |
| 3154309 | 5318,01 | 1875,96 | 4.272,40 | 1.507,12 | 9854,64 | 5465,07 |
| 3154408 | 31,32 | 246,06 | 93,97 | 738,24 | 188,73 | 680,31 |
| 3154903 | 1504,17 | 1230,39 | 1.858,30 | 1.520,06 | 2593,26 | 2077,56 |
| 3155009 | 495,63 | 436,95 | 442,30 | 389,94 | 710,82 | 854,28 |
| 3155207 | 995,13 | 1560,87 | 457,85 | 718,14 | 1290,33 | 2695,77 |
| 3155702 | 1234,62 | 1859,94 | 1.101,77 | 1.659,81 | 1835,01 | 3717,54 |
| 3156007 | 1396,62 | 3988,89 | 1.304,31 | 3.725,23 | 2286,36 | 5800,23 |
| 3156809 | 1729,35 | 3686,76 | 1.865,67 | 3.977,39 | 3162,24 | 7264,17 |
| 3157203 | 345,69 | 1997,01 | 1.439,60 | 8.316,43 | 1758,78 | 4060,62 |
| 3157252 | 447,84 | 238,77 | 227,53 | 121,31 | 1261,89 | 809,82 |
| 3157401 | 1280,07 | 1001,79 | 910,17 | 712,30 | 1864,26 | 2135,34 |
| 3157500 | 250,47 | 375,48 | 152,30 | 228,32 | 1230,93 | 1698,3 |
| 3157906 | 1834,2 | 553,95 | 767,03 | 231,65 | 3150,72 | 1471,5 |
| 3158003 | 699,75 | 2408,49 | 1.052,24 | 3.621,72 | 1732,86 | 5750,19 |
| 3158201 | 1081,44 | 1398,87 | 659,59 | 853,20 | 4855,59 | 5389,47 |
| 3158904 | 1805,04 | 1623,78 | 1.079,34 | 970,96 | 3656,25 | 3486,33 |
| 3158953 | 729,63 | 770,85 | 362,79 | 383,29 | 3058,29 | 2258,55 |
| 3159100 | 739,62 | 1287,9 | 496,96 | 865,36 | 969,48 | 1943,37 |
| 3159357 | 289,44 | 183,69 | 139,78 | 88,71 | 773,91 | 643,77 |
| 3159506 | 1932,39 | 1031,04 | 1.267,47 | 676,27 | 3330,36 | 3943,98 |
| 3160108 | 510,3 | 512,1 | 550,61 | 552,55 | 678,06 | 1100,34 |
| 3160207 | 350,19 | 1295,37 | 332,51 | 1.229,97 | 966,24 | 2636,91 |
| 3160504 | 239,04 | 878,4 | 185,94 | 683,28 | 585,18 | 1325,43 |
| 3160959 | 140,67 | 212,04 | 57,08 | 86,03 | 866,88 | 884,07 |
| 3161007 | 1517,31 | 2516,22 | 1.278,32 | 2.119,89 | 3351,78 | 6441,3 |
| 3161502 | 163,17 | 168,84 | 493,60 | 510,75 | 374,49 | 408,78 |
| 3161601 | 435,96 | 297,45 | 309,03 | 210,85 | 1390,14 | 1396,44 |
| 3161650 | 1261,8 | 465,75 | 748,11 | 276,14 | 3332,88 | 1737,72 |
| 3161908 | 667,62 | 1589,31 | 554,05 | 1.318,95 | 1873,98 | 4051,26 |
| 3162559 | 1210,05 | 270 | 558,90 | 124,71 | 1550,16 | 657,09 |
| 3162609 | 479,25 | 160,29 | 191,80 | 64,15 | 1377,9 | 683,73 |

| Município | APPs com baixa favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com alta favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com baixa favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | APPs com alta favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | Zonas de recarga com baixa favorabilidade à regeneração natural (ha) | Zonas de recarga com alta favorabilidade à regeneração natural (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3162807 | 1682,19 | 1191,51 | 1.372,29 | 972,01 | 2688,12 | 2771,82 |
| 3163003 | 626,04 | 480,6 | 689,00 | 528,93 | 2917,62 | 1485,36 |
| 3163409 | 574,02 | 418,41 | 364,29 | 265,53 | 1164,87 | 1008,27 |
| 3163508 | 706,77 | 1167,75 | 598,34 | 988,61 | 1736,73 | 2615,58 |
| 3163607 | 232,65 | 244,89 | 165,82 | 174,54 | 266,22 | 470,7 |
| 3163805 | 729,09 | 706,32 | 235,06 | 227,71 | 863,01 | 1420,47 |
| 3164001 | 1900,71 | 759,78 | 2.518,64 | 1.006,79 | 3791,34 | 1236,87 |
| 3164100 | 655,65 | 911,88 | 721,87 | 1.003,98 | 1192,05 | 2204,37 |
| 3164472 | 265,86 | 204,03 | 111,94 | 85,91 | 1155,06 | 927,09 |
| 3164506 | 824,04 | 1785,06 | 302,65 | 655,60 | 1943,1 | 3524,04 |
| 3164803 | 246,15 | 1083,87 | 155,62 | 685,24 | 540,09 | 1546,2 |
| 3165503 | 256,59 | 478,62 | 163,39 | 304,77 | 756,18 | 1546,92 |
| 3165560 | 606,42 | 777,96 | 326,82 | 419,27 | 1418,58 | 1492,65 |
| 3165701 | 1017,27 | 1023,66 | 546,43 | 549,86 | 949,23 | 1666,71 |
| 3166006 | 930,87 | 911,34 | 387,04 | 378,92 | 1093,59 | 1584,72 |
| 3166105 | 315,09 | 1560,87 | 361,00 | 1.788,31 | 499,95 | 3091,32 |
| 3166204 | 949,05 | 1041,3 | 408,40 | 448,10 | 1541,52 | 2550,69 |
| 3166303 | 703,35 | 663,48 | 247,91 | 233,85 | 755,46 | 1512,36 |
| 3166501 | 499,32 | 1122,21 | 731,34 | 1.643,68 | 671,49 | 1580,49 |
| 3167103 | 1004,31 | 2531,97 | 1.515,35 | 3.820,36 | 2802,87 | 4175,91 |
| 3167608 | 1749,6 | 1690,2 | 779,35 | 752,89 | 4857,93 | 5222,7 |
| 3167707 | 743,4 | 340,92 | 517,83 | 237,47 | 2456,46 | 1234,08 |
| 3168051 | 777,87 | 335,16 | 469,95 | 202,49 | 1380,51 | 1094,49 |
| 3168408 | 2862 | 1729,71 | 1.814,51 | 1.096,64 | 8169,66 | 6030,9 |
| 3168507 | 531,45 | 712,35 | 214,92 | 288,08 | 546,84 | 1350,36 |
| 3168705 | 246,15 | 218,61 | 186,44 | 165,58 | 349,38 | 614,7 |
| 3169505 | 1936,08 | 1848,42 | 1.514,61 | 1.446,03 | 4786,47 | 2949,21 |
| 3169901 | 322,56 | 501,21 | 784,81 | 1.219,48 | 564,84 | 835,83 |
| 3170057 | 764,82 | 497,25 | 338,12 | 219,83 | 2194,47 | 1878,3 |
| 3170503 | 735,84 | 409,59 | 751,41 | 418,26 | 1012,05 | 799,65 |
| 3170578 | 511,11 | 199,08 | 199,78 | 77,82 | 954,54 | 1084,68 |
| 3171154 | 562,77 | 386,55 | 222,88 | 153,09 | 1203,57 | 1037,7 |
| 3171303 | 958,41 | 1289,07 | 393,68 | 529,50 | 1443,6 | 2665,08 |
| 3171501 | 917,46 | 212,58 | 1.078,09 | 249,80 | 2737,8 | 273,33 |
| 3171808 | 1206,36 | 1218,6 | 995,75 | 1.005,85 | 2809,26 | 4420,98 |
| 3171907 | 1032,39 | 506,97 | 479,74 | 235,59 | 3859,29 | 2019,42 |
| 3200102 | 6143,67 | 3754,71 | 3.517,67 | 2.149,83 | 9739,71 | 8209,53 |
| 3200136 | 2604,42 | 657,27 | 1.502,92 | 379,29 | 3126,78 | 1086,39 |
| 3200359 | 1379,34 | 472,5 | 665,03 | 227,81 | 3777,48 | 1555,38 |
| 3200805 | 5036,31 | 1997,37 | 3.810,85 | 1.511,36 | 13772,43 | 5759,73 |
| 3201159 | 2629,98 | 1384,92 | 1.318,66 | 694,39 | 5706,45 | 2793,15 |
| 3201506 | 8159,22 | 3177,99 | 5.823,49 | 2.268,23 | 17480,43 | 8329,59 |
| 3202256 | 1797,84 | 408,06 | 1.230,22 | 279,22 | 4501,71 | 1285,83 |
| 3202454 | 286,65 | 72,45 | 514,80 | 130,11 | 332,55 | 141,39 |
| 3202504 | 43,65 | 26,91 | 392,79 | 242,15 | 52,29 | 87,57 |
| 3202702 | 2424,24 | 1038,69 | 1.506,36 | 645,41 | 5223,24 | 3197,43 |
| 3202900 | 981 | 1124,73 | 457,84 | 524,92 | 2011,05 | 2556,09 |
| 3203007 | 1020,96 | 465,21 | 1.079,91 | 492,07 | 1358,46 | 612,72 |
| 3203056 | 1009,98 | 872,01 | 1.239,95 | 1.070,56 | 306,18 | 198,72 |
| 3203130 | 1067,22 | 435,15 | 680,88 | 277,62 | 1736,82 | 1159,74 |
| 3203163 | 2462,13 | 1170,72 | 1.222,93 | 581,49 | 3724,65 | 2714,85 |
| 3203205 | 7603,38 | 3315,42 | 9.669,01 | 4.216,13 | 2679,48 | 2115,09 |
| 3203304 | 732,96 | 401,85 | 735,27 | 403,12 | 2394,54 | 1221,21 |

| Município | APPs com baixa favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com alta favorabilidade à regeneração natural (Lei da Mata Atlântica) (ha) | APPs com baixa favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | APPs com alta favorabilidade (Código Florestal/CAR) (ha) | Zonas de recarga com baixa favorabilidade à regeneração natural (ha) | Zonas de recarga com alta favorabilidade à regeneração natural (ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3203353 | 1582,92 | 444,51 | 867,11 | 243,50 | 3449,7 | 1225,17 |
| 3203908 | 1015,02 | 196,38 | 6.788,60 | 1.313,42 | 3182,76 | 395,91 |
| 3204005 | 3677,13 | 1913,67 | 2.070,12 | 1.077,34 | 4800,6 | 3469,32 |
| 3204351 | 3240,9 | 1047,24 | 1.633,32 | 527,78 | 4414,23 | 1997,46 |
| 3204609 | 1589,31 | 1228,32 | 1.687,48 | 1.304,19 | 4377,78 | 3918,96 |
| 3204658 | 1635,21 | 313,65 | 861,92 | 165,33 | 5352,3 | 856,62 |
| 3204708 | 2372,76 | 299,25 | 1.050,15 | 132,44 | 7566,21 | 743,67 |
| 3204906 | 1372,5 | 823,5 | 5.454,11 | 3.272,47 | 1132,11 | 268,38 |
| 3204955 | 2044,17 | 603,81 | 973,21 | 287,47 | 4706,82 | 2059,29 |
| 3205010 | 910,71 | 473,31 | 1.200,15 | 623,74 | 147,96 | 43,38 |
| 3205176 | 1804,14 | 509,85 | 1.112,05 | 314,27 | 2020,23 | 698,58 |