

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA A SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DOS RECURSOS
RENOVÁVEIS

Reginaldo Santos Coutinho Neto

PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA ALOCAÇÃO DE RESERVA LEGAL

Sorocaba

2022

Reginaldo Santos Coutinho Neto

PRIORIZAÇÃO DE ÁREAS PARA ALOCAÇÃO DE RESERVA LEGAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Guilherme Molin

Coorientação: Pra. Dra. Roberta Aversa Valente

Sorocaba

2022

Coutinho Neto, Reginaldo Santos

Priorização de áreas para alocação de Reserva Legal /
Reginaldo Santos Coutinho Neto -- 2022.
91f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São
Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Paulo Guilherme Molin
Banca Examinadora: Paulo André Tavares, Adriana
Cavaliere Sais
Bibliografia

1. Avaliação Multicritério. 2. Regularização Ambiental. 3.
Planejamento Ambiental. I. Coutinho Neto, Reginaldo
Santos. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Reginaldo Santos Coutinho Neto, realizada em 27/05/2022.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Paulo Guilherme Molin (UFSCar)

Prof. Dr. Paulo André Tavares (ESALQ/USP)

Profa. Dra. Adriana Cavalieri Sais (UFSCar)

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, que sem ele eu não conseguiria chegar aonde cheguei. Também aos meus pais, Reginaldo Santos Coutinho Junior e Leonor Soares Neves, que sempre me incentivaram a estudar e que deram todo apoio desde o início. Aos meus irmãos, que cresceram junto comigo e que sempre estiveram ao meu lado. À família que construí e que sempre estará ao meu lado, Helen Cristina Franco e Maria Flor Franco e Coutinho, que me motivaram a continuar, mesmo nos momentos mais difíceis e que me mostraram que tenho uma capacidade a qual não tinha conhecimento. À minha família, que me proporcionou conhecer diferentes realidades. Ao PGPUR e às amigas que fiz ao longo do mestrado, que foram essenciais para que eu continuasse a pós e a crescer como pessoa, em especial à Maria Inês, à Suellen Marum, ao Felipe Gavioli e à Melodie Kern, que mesmo sendo EaD, foram companheiros até nos momentos de dificuldade.

Especial agradecimento ao meu orientador Paulo Guilherme Molin, que desde a graduação com a Iniciação Científica, me amparou, me motivou, me ensinou, me aconselhou em minhas decisões e me proporcionou várias oportunidades. E também à minha coorientadora Roberta Aversa Valente, que, com seus direcionamentos e conhecimentos, foi essencial para concluir este trabalho.

Agradeço à minha querida e eterna Catu, a Vanessa Santos, que eu guardo em meu coração, junto com as melhores lembranças da graduação.

Ao meu compadre e comadre, André Pereira e Marina Cunha, minha sogra, Elaine Cristina da Silva, e meus queridos amigos, Stephany Ribeiro, Joyce Pedroso, Neide Purificação, Júlia Ghion, Amanda Melo, Leonardo Paes Niero e Arildo Nogueira, que, nestes últimos meses, foram meus irmãos e irmãs, me dando forças e ajudando a continuar. Todos da República Caverna do Dragão, sendo estes o Vinicius Rainer Boniolo, Edmilson Lopes Junior, Eduardo Lopes Dorancenzi, Sarah Mafeis, David Araújo Xukuru, Ivan Braga Kambeba, Thiago da Silva Rodrigues e Lucas Soares Coutinho, que me acolheram e que me tornaram uma pessoa mais crítica nos pensamentos.

A todos os colaboradores da Proton Energy e Get Energy, em especial ao Raphael Peres e Maria Luiza, que tive o privilégio de ter como orientadores no ambiente de trabalho e que levarei para a vida independente de nossa trajetória. E ao Centro de Pesquisa e Extensão em Geotecnologias – CePE – Geo, que me proporcionou conhecimentos importantes para minha carreira, inclusive para a realização deste estudo. Em especial à Bruna Renata que, em um momento em que quase desisti, me motivou a finalizar este trabalho.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (nº de processo: 88887.613894/2021-00), que deu todo apoio financeiro para a realização deste trabalho e ao projeto temático FAPESP intitulado “Compreendendo florestas restauradas para o benefício das pessoas e da natureza – NewFor” (nº do processo: 2018/18416-2) pelo apoio e colaboração.

Resumo

A Reserva Legal (RL) é definida pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) como parte da terra de uma propriedade rural cuja função é assegurar o uso econômico e sustentável dos recursos naturais, contribuindo para a conservação e reabilitação dos processos ecológicos e à conservação da biodiversidade. Os imóveis rurais que se encontram irregulares por apresentarem déficit de RL podem se adequar à lei, comprometendo-se com medidas de recuperação na propriedade ou compensando o passivo ambiental fora da mesma, na extensão estabelecida pela lei. Para dar suporte à tomada de decisão da alocação de RL surgem os métodos de Avaliação Multicritério (AMC), que têm sido eficientemente utilizados no processo de restauração florestal. Nesse sentido, considerando os critérios sugeridos pela LPVN e outros indicadores de fragilidade ambiental, o objetivo principal deste trabalho foi elaborar um zoneamento de áreas prioritárias para alocação de RL dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, inseridos na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, tendo como limite imóveis rurais declaradas no Cadastro Ambiental Rural. Verificou-se que podemos obter resultados de importância distintos para cada bioma, uma vez que a realidade de cada um é diferente em decorrência do comportamento das variáveis em cada cenário. As áreas classificadas como Muito Baixa, Baixa e Moderada para alocação de RL são maioria (76,7% para Cerrado e 61,8% para Mata Atlântica) e possuem pouca área coberta por vegetação nativa (12,37% no Cerrado e 10,59% na Mata Atlântica), com predomínio de cobertura de agricultura e pastagem. Já as áreas classificadas como prioridade Alta e Muito Alta, possuem maior cobertura de vegetação nativa (24,15% no Cerrado e 34,1% na Mata Atlântica) e que obedecem aos critérios orientados pela LPVN. A AMC se mostrou eficiente mesmo sem a ponderação dos critérios, permitindo priorizar áreas para alocação de RL dentro de uma bacia hidrográfica. Este estudo pode facilitar a escolha pela população do local onde deve ser alocada a compensação da RL podendo também facilitar a percepção pública quanto a importância da compensação de RL localmente.

Palavras-chave: Avaliação Multicritério; Regularização Ambiental; Planejamento Ambiental; Bacia Hidrográfica;

Abstract

The Legal Reserve (LR) is defined by the Native Vegetation Protection Law (NVPL) as a portion of a rural property whose function is to ensure the economic and sustainable use of natural resources, contributing to the conservation and rehabilitation of ecological processes and biodiversity conservation. Rural properties or possessions that are irregular because they have a deficit of LR may comply with the law, as long as they commit to restoration measures inside the property or compensate outside, to the extent established by law. To support the decision making of the allocation of LR, the Multicriteria Evaluation (MCE) methods appear, which have been efficiently used for forest restoration processes. Considering the criteria suggested by the NVPL and other indicators of environmental fragility, the main objective of this work was to elaborate a zoning of priority areas for the allocation of LR of the Atlantic Forest and Cerrado biomes, inserted in the Alto Paranapanema watershed, having as limit rural properties declared in the Rural Environmental Registry. We observed results of different importance for each biome since the reality of each is different due to behavior of variables in each scenario. Areas classified as Very Low, Low and Moderate for LR allocation are the majority (76.7% for Cerrado and 61.8% for Atlantic Forest) and have little area covered by native vegetation (12.37% in Cerrado and 10,59% in the Atlantic Forest), with a predominance of agriculture and pasture cover. The areas classified as High and Very High priority have greater coverage of native vegetation (24.15% in the Cerrado and 34.1% in the Atlantic Forest) and that comply with the criteria guided by the NVPL. The MCE proved to be efficient even without the weighting of the criteria, allowing prioritizing areas for LR allocation within the watershed. This study can facilitate the population's choice for the placement of LR compensations and may also facilitate the public perception of the importance of compensating LR locally.

Keywords: Multicriteria Evaluation; Environmental Regularization; Environmental planning; Watershed.

Lista de Figuras

- Figura 1 – Comparativo entre a Lógica Clássica e a Lógica Fuzzy. 22
- Figura 2 – Localização da área de estudo, delimitada pela Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos número 14 (UGRHI-14), a bacia hidrográfica do Alto Paranapanema (ALPA), ao Sul do Estado de São Paulo, na divisa com o Estado do Paraná, com identificação dos limites dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, além de sua cobertura florestal para o ano de 2020, os principais corpos d'água e as áreas urbanas. 24
- Figura 3 – Classes de solos da Bacia Hidrográfica do ALPA. 28
- Figura 4 – Uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do ALPA, conforme reclassificação apresentada pela Tabela 2. 31
- Figura 5 – Fluxograma metodológico para obtenção das zonas prioritárias, onde PROXVN: proximidade para florestas nativas pré-existent; PROXAPP: Proximidade para Área de Preservação Permanente; PROXUC: Proximidade para Unidades de Conservação; DEC: Declividade; ERO: Erodibilidade; DISTFD: Distância de Fontes de Distúrbio. 33
- Figura 6 – Área de interesse para o estudo, representada pelos imóveis rurais cadastrados no CAR, sendo que foram excluídas as áreas urbanas, os cursos hídricos, espelhos d'água e as áreas que já estão protegidas por um dos dispositivos apresentados pela legislação ambiental, como as APPs, as RLs averbadas e as UCs. 37
- Figura 7 – Representação dos Critérios, onde A são os dados de entrada; B são as variáveis espacializadas em formato matricial (raster) cuja coloração varia do amarelo (menor valor da variável) ao vermelho (maior valor da variável); e C são os critérios normalizados, cuja coloração varia do amarelo (menos prioritário) ao vermelho (mais prioritário). PROXVN é o critério “Proximidade de Vegetação Nativa”; PROXAPP é o critério “Proximidade de Áreas de Preservação Permanente”; PROXUC é o critério “Proximidade de Unidades de Conservação”; DEC é o critério “Declividade”; ERO é o critério “Erodibilidade”; e DISTFD é o critério “Distância de Fontes de Distúrbio”. 38
- Figura 8 – Mapa com normalização das Zonas Prioritárias para alocação de Reserva Legal na Bacia ALPA, onde a prioridade para alocação de RL varia do menos prioritário (verde escuro) ao mais prioritário (vermelho), sendo que o amarelo representa as áreas de prioridade moderada. 40
- Figura 9 – Mapa classificado das Zonas Prioritárias para alocação de Reserva Legal na Bacia ALPA, onde a prioridade para alocação de RL varia da prioridade muito baixa (verde escuro) à muito alta (vermelho), sendo que o amarelo representa as áreas de prioridade moderada. 41

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Base de dados geográficos utilizados para composição dos critérios da análise multicritério e posterior modelo de alocação de Reserva Legal.	27
Tabela 2 – Cobertura da terra proveniente da coleção 5.0 do MapBiomas, reclassificada para uso no estudo.	30
Tabela 3 – Classificação das áreas por prioridade de Reserva Legal.	36
Tabela 4 – Estatística descritiva dos critérios, por bioma.	39
Tabela 5 – Área das zonas prioritárias para alocação de Reserva Legal separadas por classe conforme Tabela 3, por bioma.	42
Tabela 6 – Uso e cobertura da terra para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, em área e porcentagem.	42
Tabela 7 – Uso e cobertura da terra por classe de prioridade para o bioma do Cerrado.	43
Tabela 8 – Uso e cobertura da terra por classe de prioridade para o bioma da Mata Atlântica.	43

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	11
2.2. A IMPLEMENTAÇÃO DA LPVN.....	15
2.3. AVALIAÇÃO MULTICRITERIAL (AMC)	18
2.4. LÓGICA <i>FUZZY</i>	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	22
3.2. BANCO DE DADOS CARTOGRÁFICO	25
3.3. CRITÉRIOS	28
3.3.1. <i>Descrição dos critérios</i>	29
3.4. USO E COBERTURA DA TERRA	30
3.5. ÁREA DE RESTRIÇÃO.....	31
3.6. DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA ALOCAÇÃO DE RL.....	32
3.7. CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS.....	33
3.8. NORMALIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS	35
3.9. COMBINAÇÃO LINEAR DOS CRITÉRIOS.....	36
4. RESULTADOS	37
4.1. ÁREAS DE INTERESSE.....	37
4.2. CRITÉRIOS	37
4.3. ZONAS PRIORITÁRIAS PARA ALOCAÇÃO DE RESERVA LEGAL.....	39
5. DISCUSSÃO	45
5.1. CRITÉRIOS	45
5.2. ZONAS PRIORITÁRIAS PARA ALOCAÇÃO DE RESERVA LEGAL.....	47
6. CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
APENDICE A - FATOR K POR ASSOCIAÇÃO DE TIPOS DE SOLO	58
APENDICE B – MAPA E HISTOGRAMA DO USO E COBERTURA DA TERRA E DOS CRITÉRIOS	62
APENDICE C – MAPAS E HISTOGRAMA DAS ZONAS PRIORITÁRIAS.....	87

1. Introdução

A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), também popularmente conhecida como “novo Código Florestal”, foi resultado da confluência de diferentes projetos de lei que buscavam reduzir as exigências ambientais previstas na legislação. Um dos argumentos utilizados foi o da crescente dificuldade em implementar o Código Florestal anterior (Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989) e fiscalizar o seu cumprimento. Muitos projetos de lei justificaram uma mudança na legislação florestal brasileira por existir uma discrepância entre as normas vigentes e a realidade no campo, o que afetava sua efetividade. Muitos deputados também argumentavam que a discrepância entre legislação e realidade, bem como os altos custos para seu cumprimento, pesariam principalmente para os pequenos produtores (PAULINO, 2012; SAUER; FRANÇA, 2012).

Conforme a LPVN, a Reserva Legal (RL) é tida como parte da terra de uma propriedade rural cuja função é assegurar o uso econômico e sustentável dos recursos naturais, contribuindo para a conservação e reabilitação dos processos ecológicos e à conservação da biodiversidade, sendo que sua proporção pode variar de acordo com a região do Brasil onde se localiza o imóvel rural. Já as Áreas de Preservação Permanente (APP) são tidas como áreas especialmente protegidas, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, além de facilitar o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Diferentemente das RLs, a espacialidade e dimensões das APPs dentro dos imóveis rurais são claramente definidas com base em faixas marginais de corpos hídricos, altitudes superiores a 1800 metros, declividades superiores a 45°, restingas, manguezais, veredas, bordas de tabuleiros ou chapadas e topos de morros (BRANCALION et al., 2016).

Embora não exista uma definição exata, de acordo com o art. 14 da LPVN, a alocação da RL devem seguir os seguintes critérios orientadores:

Art. 14. A localização da área de Reserva Legal no imóvel rural deverá levar em consideração os seguintes estudos e critérios:

I – o plano de bacia hidrográfica;

II – o Zoneamento Ecológico-Econômico;

III – a formação de corredores ecológicos com outra Reserva Legal, com Área de Preservação Permanente, com Unidade de Conservação ou com outra área legalmente protegida;

IV – as áreas de maior importância para a conservação da biodiversidade; e

V – as áreas de maior fragilidade ambiental.

Os proprietários ou posseiros dos imóveis rurais que se encontram irregulares por não terem o mínimo necessário de vegetação nativa (VN) em APPs ou por apresentarem déficit de RL podem optar por aderir ao Programa de Regularização Ambiental (PRA) e se adequarem à lei, comprometendo-se com medidas de recuperação na propriedade ou compensando o passivo ambiental fora da mesma, na extensão estabelecida pela lei (BRANCALION et al., 2016). Com a assinatura do termo de compromisso do PRA, os passivos ambientais da propriedade podem ser resolvidos com instrumentos previstos em lei, como o Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas (PRADA), no qual o proprietário se compromete a manter e recuperar a VN em APP e/ou RL ou através dos outros instrumentos de compensação do déficit de RL, sendo que todos devem ser no mesmo bioma (ZAKIA; PINTO, 2013).

Para dar suporte à tomada de decisão da alocação de RL, surgem, a partir da década de 1960, os métodos de Avaliação Multicritério (AMC), que possibilitam a análise comparativa de fatores ou atributos e de múltiplos cenários, bastante utilizados em análises comparativas de projetos alternativos ou múltiplos objetivos (MEDEIROS, 2013). De acordo com Pimenta et al. (2019), os métodos de AMC diferenciam-se entre si na determinação dos critérios que serão utilizados (escolha e níveis de preferência) e em como tais critérios e subcritérios serão categorizados ou hierarquizados, de modo que, conforme o objetivo, tem-se a possibilidade de um ou mais métodos para uso.

A AMC é uma abordagem que tem sido eficientemente utilizada no processo de restauração florestal, devido à sua capacidade de incorporar a perspectiva da paisagem, ou seja, com ela podemos

agregar os critérios, que representam as características críticas de estrutura da paisagem (VETTORAZZI; VALENTE, 2016). Uma vez que se identifica as zonas prioritárias, é possível realizar uma análise estatística dessas zonas, comparando-as com suas características geográficas.

Inserindo a AMC no contexto de adequação ambiental dos imóveis rurais, podemos identificar as zonas prioritárias para alocação de Reserva Legal, dado que a LPVN permite diversos mecanismos de compensação de RL. Nesse sentido, considerando os critérios sugeridos pela LPVN e outros indicadores de fragilidade ambiental, o objetivo principal deste trabalho foi elaborar um zoneamento de áreas prioritárias para alocação de RL nos biomas Mata Atlântica e Cerrado, inseridos na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema (ALPA), tendo como limite os imóveis rurais cadastradas no CAR.

Os resultados e discussões propostos podem facilitar a percepção pública sobre a importância da compensação de RL localmente, servindo também como incentivo para melhorias em políticas públicas tanto em nível de bacias hidrográficas como também estadual, uma vez que o método pode ser replicado em todo o Estado de São Paulo.

2. Revisão de literatura

2.1. Legislação ambiental

O primeiro Código Florestal (CF-34) foi promulgado em 23 de janeiro de 1934 por meio do Decreto Federal nº 23.793 no Governo de Getúlio Vargas. Este Código justificava a necessidade de limitações ao direito de propriedade ao definir as florestas como “bem de interesse comum” e, indo além, estendia a proteção florestal às demais formas de vegetação, sendo estas reconhecidas como de utilidade às terras que revestem (RAJÃO et al., 2021). Desde então, o CF-34 já classificava algumas florestas como sendo “protetoras” que, por sua localização, serviam conjunta ou separadamente, para assegurar condições de salubridade pública, para a conservação dos recursos hídricos, do solo, de espécies raras da fauna indígena, auxiliando também na defesa das fronteiras e protegendo sítios que, por sua beleza natural, mereciam ser conservados (BRASIL, 1934).

Em 15 de setembro de 1965, a Lei nº 4.771 foi aprovada e sancionada. Este Código Florestal (CF-65) fortaleceu diferentes aspectos da legislação anterior, pois ampliou o conceito de florestas como sendo “bens de interesse público” e, além disso, forneceu regras precisas para o estabelecimento de APP. O Código Florestal de 1965 definiu um regime de utilização limitada do imóvel rural, visando a manter um percentual mínimo de cobertura arbórea, cujas características são similares ao que a Lei nº 7.803 de 1989, veio a denominar “Reserva Legal”. O CF-65 alterou o percentual de vegetação arbórea a ser mantida em cada propriedade de 25% da vegetação existente no imóvel rural para 20%, na maior parte do território nacional. No caso específico da Amazônia, a nova lei limitou o desmate em corte raso em 50% do imóvel (Brasil, 1965).

Em 31 de agosto de 1981, foi sancionada a Lei nº 6.938, que cria a Política Nacional do Meio Ambiente e, junto dela, o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama). Esta mesma lei criou, como parte do Sisnama, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), principal instância de definição de normas ambientais infralegais, sendo amplamente composta pela sociedade civil (Brasil, 1981).

Por meio da Lei nº 7.803 de 1989 e da Lei de Política Agrícola, Lei nº 8.171 de 17 de janeiro de 1991, avanços nos interesses ambientais começaram após apenas um ano da aprovação da Constituição da República, que apresentou regras mais rígidas na época para proteger a cobertura florestal dos imóveis rurais, como também, isentou as áreas dos imóveis rurais consideradas de preservação permanente e de reserva legal, determinou a recuperação de áreas erodidas e em processo de desertificação. O ponto mais importante deste período para a implantação do Código Florestal foi a determinação da recomposição da RL pelo proprietário por meio do plantio, em cada ano, de ao menos um trinta avos da área total a ser recomposta (RAJÃO et al, 2021).

Em 1996 o governo estabeleceu a Medida Provisória (MP) nº 1.511-1, que aumentou de 50% para 80% a Reserva Legal nos imóveis localizados nas áreas de floresta da Amazônia Legal (Brasil, 1996). Já em 2000, devido a um rápido processo de expansão agropecuária que ocorreu no país, a RL nas áreas de Cerrado na Amazônia Legal foi reduzida de 50% para 35% pela MP nº 1.956-50 (Brasil,

2000). Este percentual permanece inalterado até hoje, possuindo alterações apenas em sua forma de aplicação. Ainda através da MP nº 1.956-50, ocorre uma reformulação no art. 16 do CF-65, a qual a RL passa a incidir em imóvel de domínio público, afetando especialmente as terras devolutas e assentamentos ainda não titulados, uma vez que outros imóveis de domínio público, como as Unidades de Conservação (UC), já possuem formas mais restritivas de proteção. Já a MP nº 2.166-01, determina que “a supressão de vegetação em área de preservação permanente somente poderá ser autorizada em caso de utilidade pública ou de interesse social, devidamente caracterizados e motivados em procedimento administrativo próprio, quando inexistir alternativa técnica e locacional ao empreendimento proposto.”

Outro avanço na legislação foi o decreto nº 750, de 10 de fevereiro de 1993, que dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica; a sanção da Lei de Crimes Ambientais, Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; a criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), com a Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000; a instituição da Lei da Mata Atlântica, Lei nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006; da Lei nº 11.284 de 2 de março de 2006, que dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; e o Decreto nº 6.514 de 22 de julho de 2008, que dispõe as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente. Conforme Sauer e França (2012), esse conjunto de normas representou o auge dos avanços na legislação ambiental ao indicar que práticas de desmatamento em áreas protegidas (RL e APPs) teriam consequências punitivas e econômicas para os proprietários e posseiros (SAUER; FRANÇA, 2012).

A Lei nº 11.428 de 2006, conhecida como “Lei da Mata Atlântica”, estabeleceu a conservação, a proteção, a regeneração e a utilização do Bioma Mata Atlântica. Para efeitos desta lei e obedecendo o mapa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, consideram-se integrantes do Bioma Mata Atlântica as seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, denominada também de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional

Decidual, bem como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste. Esta lei especifica as situações em que a supressão e exploração da vegetação do bioma é permitida, a depender de que se trate de vegetação primária ou secundária, sendo que nesta última leva-se em conta o estágio de regeneração, devendo ser apresentados estudos e relatórios de impacto ambiental em casos de necessidade de supressão em caráter excepcional para “a realização de obras, projetos ou atividades de utilidade pública, pesquisas científicas e práticas preservacionistas.”

Em dezembro de 2009, foi criado o Programa Mais Ambiente, que suspende as multas e o efeito dos embargos para os produtores inscritos no Cadastro Ambiental Rural (CAR). Atualmente, com a LPVN, o CAR passa a ser um registro eletrônico autodeclaratório e obrigatório para todos os imóveis rurais do país, que tem por finalidade integrar as informações ambientais referentes à situação das APPs, das RLs, das florestas e dos remanescentes de VN, das Áreas de Uso Restrito e das áreas consolidadas dos imóveis rurais do país (LAUDARES; SILVA; BORGES, 2014).

Com a última atualização do Código Florestal brasileiro em 2012, que passa a ser chamado de Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN), Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012, houve algumas modificações nas metragens de áreas que devem ser protegidas, apesar de o conceito ter sido pouco alterado. Em 2014, o Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) foi oficialmente inaugurado por meio da Instrução Normativa MMA nº2, de 2014. Foi também neste ano que o Ministério do Meio Ambiente publicou o Decreto nº 8.235, de 2014, estabelecendo normas para a implantação do CAR e do PRA.

A LPVN reduziu as exigências de RL em relação ao CF anterior, com a implementação do Art. 68, que isenta os proprietários rurais das obrigações de RL se a vegetação nativa foi suprimida sem ofender a legislação vigente no momento da supressão. Tavares et al (2019), desenvolveram um modelo para estimar os efeitos do Art. 68 na RL usando o Estado de São Paulo como estudo de caso. Para isso, eles consideraram os principais períodos em que os requisitos de preservação de VN mudaram, buscando dados espaciais de cobertura de VN para cada período. Deste modo, criaram dois

cenários para efeitos do Art. 68, além de um cenário de linha base, que não considera os efeitos do Art. 68. O cenário que considera como referencial legal o CF-65 reduziu os déficits de RL em 49% em relação ao cenário de linha base, enquanto o cenário que considera a Lei n° 7.803 de 1989 reduziu os déficits de RL em 59%. Conforme os autores, esta última redução assumiu particular importância, visto que tal redução se concentrou no Cerrado, que é um bioma já bastante fragmentado e impactado.

Gontijo et al. (2019) visaram avaliar o cumprimento da legislação vigente. Para isso, buscaram mapear, quantificar e caracterizar áreas localizadas em uma sub-bacia no interior do Estado de Minas Gerais, a fim de indicar quais áreas devem ser recompostas ou compensadas. Este estudo verificou que a área se encontra de acordo com a legislação, visto que existe vegetação nativa excedente suficiente para compensação de Reserva Legal de todos os imóveis

Sparovek et al. (2020) analisaram a possibilidade de restauração e compensação de Reserva Legal no Estado de São Paulo (SP) do ponto de vista fundiário, ou seja, da disponibilidade de terras para cada um dos mecanismos disponíveis previstos pela LPVN e pela sua regulamentação estadual (Lei Estadual n° 15.684/2015). Conforme esta análise, considerando: (1) apenas a VN disponível para compensação dentro de SP de todos os mecanismos de compensação de RL existentes, para cada hectare de déficit de RL existem 2,04 ha disponíveis para compensação no Cerrado e 3,49 ha na Mata Atlântica; (2) além da VN disponível, as áreas de pastos degradados passíveis de restauração ecológica ou multifuncional que ocorrem dentro dos imóveis rurais com déficit, para cada hectare de déficit de RL existem 2,39 ha disponíveis para compensação ou restauração no Cerrado e 3,85 ha na Mata Atlântica.

2.2. Instrumentos da LPVN

Nos termos LPVN, área rural consolidada consiste em “área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio”. A relevância dessas áreas especiais na legislação ambiental se dá, em especial, porque “nas Áreas de Preservação

Permanente, 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, caput, Lei 12.651/12).

Já as RLs, conforme Brancalion et al (2016), são tidas como parte da terra de uma propriedade rural estabelecida com a função de assegurar o uso econômico sustentável dos recursos naturais, contribuindo para a conservação e reabilitação dos processos ecológicos e à conservação da biodiversidade.

A proporção da área da propriedade ou posse rural destinada a ser RL é definida de acordo com a região. Na Amazônia, deve cobrir 80% da propriedade em ecossistemas florestais e 35% em savanas (Cerrado), enquanto em outras regiões do Brasil, este percentual deve atingir 20% da área da propriedade, independentemente do tipo de VN. Como são de uso sustentável, as RLs podem ser exploradas economicamente por meio da extração de madeira ou produtos não-madeireiros, com o fim de proporcionar renda aos agricultores, desde que seja empregado um plano de manejo sustentável autorizado pelos órgãos ambientais. (BRANCALION et al., 2016)

Assim como as RLs, a LPVN define as APPs, tidas como áreas especialmente protegidas, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, além de facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRANCALION et al., 2016). A espacialidade e dimensões das APPs são definidas com base em faixas marginais de corpos hídricos, altitudes superiores a 1800 metros, declividades maiores que 45°, restingas, manguezais, veredas, bordas de tabuleiros ou chapadas e topos de morros.

Para entender a situação ambiental dos imóveis rurais em relação às demandas da LPVN, criou-se o CAR, onde o proprietário ou posseiro rural pode declarar a RL e a APP que estão inseridos em seu imóvel. Ele serve também como mecanismo de diagnóstico da situação ambiental espacialmente explícito. Com as informações obtidas pelo CAR, o poder público passa a ser capaz de produzir um quadro abrangente de como os imóveis rurais no Brasil estão perante a legislação

ambiental e ainda, de subsidiar tanto programas de incentivo ao cumprimento da lei como atividades de controle, monitoramento e fiscalização (BRANCALION et al., 2016).

Embora ocorram sobreposições de imóveis cadastrados no CAR, há estudos que visam corrigir e analisar esta sobreposição, considerando bases de dados do INCRA e do CAR (FREITAS et al., 2018). Esta base de dados georreferenciada possui abrangência nacional, oferecendo aberta e publicamente uma visão do conjunto das terras públicas e dos imóveis privados do país. O estudo feito por Freitas et al. (2018) permitiu verificar que a maioria dos imóveis possuem pouca sobreposição, sendo classificados como *CAR Premium*, pois apresentam menos de 5% de sua área sobreposta. De um total de 4.213.785 imóveis cadastrados no CAR, até o momento daquele estudo, cerca de 70% (ou 2.979.816 imóveis) foram classificados como *Premium*.

Outro instrumento presente na LPVN é o Programa de Regularização Ambiental (PRA), no qual os imóveis rurais que se encontram irregulares podem optar por aderir ao programa e se adequarem à lei, comprometendo-se com medidas de recuperação na propriedade ou compensando o passivo ambiental fora da mesma, na extensão estabelecida pela lei (BRANCALION et al., 2016). A partir da adesão ao PRA, o proprietário rural pode ter acesso a uma flexibilização no compromisso de manutenção de vegetação nativa ou restauração de áreas degradadas, em função do tamanho do imóvel rural, permitindo, por exemplo, que imóveis de até 04 módulos fiscais com remanescentes de vegetação nativa inferiores ao exigido na lei não promovam restauração de RL para o atingimento dos percentuais estabelecidos na própria legislação, conforme artigo 67 da LPVN.

Com a assinatura do termo de compromisso do PRA, os passivos ambientais da propriedade podem ser resolvidos com instrumentos, como o Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas (PRADA), onde o proprietário se compromete a manter e recuperar a VN em APP e/ou RL ou através dos outros instrumentos, compensar o déficit de RL (ZAKIA; PINTO, 2013). De acordo com Leão & Almeida (2017), conforme a LPVN, a oficialização da RL pode ser alocada tanto dentro da propriedade como também mediante os instrumentos previstos em lei, como a aquisição de Cota de Reserva Ambiental (CRA); arrendamento de área sob regime de servidão ambiental ou RL; doação

ao poder público de área localizada no interior de UCs de domínio público pendente de regularização fundiária; ou cadastramento de outra área equivalente e excedente à RL, em imóvel de mesma titularidade ou obtida em imóveis de terceiros, com VN estabelecida, em regeneração ou recomposição, desde que localizada no mesmo bioma (PIMENTA et al., 2019; LEÃO; ALMEIDA, 2017).

O CAR e o PRA são implementados por lei pelos Estados. No momento do cadastro no SICAR, o proprietário ou posseiro declara as feições que estão contidas em sua propriedade. Deste modo, gera-se automaticamente a APP, sendo que é possível sugerir a área prevista a ser destinada a Reserva Legal, caso ainda não esteja averbado na matrícula do imóvel.

Deve-se também indicar onde existe vegetação nativa (tanto dentro quanto fora de APP). Deste modo, o sistema já indica se a propriedade ou posse possui déficit ou excedente de vegetação nativa em APP e/ou RL, sendo que o excedente vale somente para RLs. Esse excedente gera, por tanto, a possibilidade de compensação de RL por terceiros, usando diferentes mecanismos contidos na LPVN. Após a aprovação do CAR, o proprietário ou posseiro entra com o PRADA no módulo do PRA. O PRADA é proposto pelo proprietário, devendo ser aprovado pelo órgão ambiental do Estado, e nele, deve constar onde e como será feito o processo de restauração das áreas de APP e RL que possuem déficit.

Como as APPs são bem definidas, seu excedente e déficit é facilmente desenhado, calculado e simulado. Diferentemente, as RLs não possuem uma espacialização definida em lei, contudo, variáveis são sugeridas, acrescido do fato de existirem diversos mecanismos para sua compensação. Por conta disso, há uma necessidade de utilizar ferramentas geoespaciais e modelos que visem auxiliar na tomada de decisão de onde devem ser alocadas as áreas de RL.

2.3. Avaliação Multicriterial (AMC)

A tomada de decisão considerando múltiplas variáveis é uma realidade em um contexto em que os problemas se mostram cada vez mais complexos e, ao mesmo tempo, mais dados se tornam

disponíveis (PIMENTA et al., 2019). Problemas dessa natureza necessitam, em geral, de uma avaliação de critérios que representem atributos espaciais que possam assegurar uma decisão mais adequada à realidade local.

Conforme Franco *et al.* (2013), na análise de problemas para a tomada de decisão e as informações obtidas em um levantamento de dados geram um elevado número de variáveis ou de atributos que, durante o processo de avaliação, exigem critérios aos quais são atribuídos pesos e valores. Atribuídos deste modo, cria-se uma hierarquia em que, para facilitar a tomada de decisão, priorizam-se os que possuem maior peso e significância. Nesse contexto, delimita-se o problema a ser solucionado e os atributos a serem considerados, para posteriormente inserir quantificadores que permitam a estruturação das preferências dos tomadores de decisão (DROBNE; LISEC, 2009).

Para dar suporte à tomada de decisão, surgem, a partir da década de 1960, os métodos de Avaliação Multicriterial (AMC), que possibilitam a análise comparativa de fatores ou atributos e de múltiplos cenários, bastante utilizados em análises comparativas de projetos alternativos ou múltiplos objetivos (MEDEIROS, 2013). De acordo com Pimenta et al. (2019), os métodos de AMC diferenciam-se entre si na determinação dos critérios que serão utilizados (escolha e níveis de preferência) e em como tais critérios e subcritérios serão categorizados ou hierarquizados, de modo que, conforme o objetivo, tem-se a possibilidade de um ou mais métodos para uso.

Dentre os métodos existentes, destacam-se o Método de Organização de Classificação de Preferência para Enriquecimento de Avaliações; o Método Combinação Linear Ponderada (CLP); a Média Ponderada Ordenada (MPO); a Agregação pelo Operador; o Algoritmo de tradução de eliminação e escolha, e o mais conhecido, o método Processo Analítico Hierárquico (MALCZEWSKI, 1999; MALCZEWSKI, 2000; FIGUEIRA; GRECO; EHRGOTT, 2005; BOROUSHAKI; MALCZEWSKI, 2008; MALCZEWSKI, RINNER, 2015).

A maioria desses métodos utiliza a modelagem matemática em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para facilitar o processo de tomada de decisão, comparando

alternativas ou cenários, de modo a indicar soluções mais adequadas aos interessados e/ou tomadores de decisão (SILVA; BELDERRAIN, 2005)

Conforme Vettorazzi & Valente (2016), a AMC é uma abordagem que tem sido eficientemente utilizada no processo de restauração florestal, devido à sua capacidade de incorporar a perspectiva da paisagem, ou seja, com a AMC podemos agregar os critérios, que representam as características críticas de estrutura da paisagem.

Valente *et al.* (2021) utilizaram a AMC em conjunto com a técnica participatória para identificar áreas prioritárias para restauração florestal com base nos serviços ecossistêmicos hídricos em paisagens agrícolas na região da Mata Atlântica. Este estudo tem potencial para auxiliar tomadores de decisão a definir prioridades para o pagamento por serviços ecossistêmicos e foi aplicado em bacias hidrográficas com diferentes padrões de cobertura florestal para verificar se o modelo pode ser aplicado em paisagens com padrões distintos.

Os critérios selecionados por Valente *et al.* (2021) foram: proximidade de nascentes, declividade, erodibilidade do solo, índice topográfico e uso e cobertura do solo. Estes foram agregados pelo método de CLP. Os pesos para cada critério foram definidos pela Técnica Participatória, utilizando-se do método AHP, onde especialistas no assunto abordado são entrevistados, para atribuir pesos aos critérios selecionados conforme sua importância para o estudo. Os mapas de prioridades mostraram áreas classificadas como alta prioridade perto dos rios (no máximo a uma distância de 200 m), nas maiores encostas (> 40%), nos solos associados com alto potencial de erosão, e predominantemente em terras agrícolas. Porém, as áreas priorizadas próximas a VN foram predominantes na microbacia florestal, em que a VN cobre 55% de sua área, diferentemente da outra microbacia, na qual sua cobertura é de apenas 25%. Outro ponto importante, que é inclusive uma característica do método WLC, é que os mapas finais apresentaram uma alta porcentagem (W1 - 45% e W2 - 39%) de áreas associadas à classe de média prioridade. Os autores determinaram, portanto, que as áreas classificadas como alta e média prioridade são alvos importantes para restauração florestal nas microbacias.

Diversos autores também utilizaram a AMC para auxiliar no planejamento ambiental. Pode-se ressaltar Geneletti (2007) que determinou áreas de maior prioridade para conservação florestal em uma paisagem agrícola; Sartori et al. (2012) que definiram áreas prioritárias, para favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais; Vettorazzi e Valente (2016) que definiram áreas prioritárias para restauração florestal considerando a conservação dos recursos hídricos; e Follmann e Foletto (2020) que buscaram áreas prioritárias à conservação ambiental.

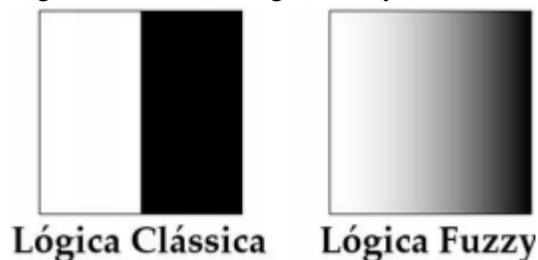
Até então, foram encontrados poucos estudos que se utilizam de AMC para definir áreas prioritárias para alocação de RL, como o Ranieri (2004), que analisa e propõe estratégias para a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos por meio do instrumento de RL, considerando critérios de alocação e aspectos de gestão, com ênfase na realidade dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, nos municípios de São Carlos - SP e Descalvado – SP; Rezende, Pires & Veniziani Junior (2011) que apresentam uma proposta de priorização de áreas e sub-bacias para Reserva Legal no âmbito da bacia hidrográfica do Rio Jaú - SP, visando à conservação dos recursos hídricos, a proteção e preservação da biodiversidade e a sustentabilidade das atividades agrícolas; e COSTA (2015), que buscou identificar áreas adequadas à restauração florestal visando à definição de reservas legais no município de Piedade - SP. Desta forma, a elaboração de novos estudos com esta temática visa garantir a proteção de vegetação nativa em zonas de maior prioridade, utilizando dos instrumentos e diretrizes apresentados pela LPVN.

2.4. Lógica *Fuzzy*

A lógica Fuzzy, também conhecida como lógica “nebulosa” ou “difusa”, tem como principal objetivo lidar com dados que possuem algum tipo de incerteza (AGUADO; CANTANHEDE, 2010). Usando essa teoria, cada objeto ou declaração é dado em um valor no intervalo entre 0 e 100, entre 0 a 1 ou entre 0 a 255 bytes, indicando a sua adesão a um determinado conjunto, sendo que um valor mais alto indica maior adequação e um menor indica menos. Por convenção, neste estudo os critérios foram normalizados em uma escala de 0 (zero) a 100 (cem).

De acordo com Kohagura (2007), a ideia da Teoria Fuzzy não fica restrita apenas entre verdadeiro e falso, mas sim existem vários níveis entre o verdadeiro e falso. De modo a exemplificar isso, enquanto a lógica clássica ou lógica booleana enxerga apenas o preto e o branco, a lógica fuzzy é capaz de além do preto e do branco, enxergar diferentes tons de cinza, conforme a Figura 1.

Figura 1– Comparativo entre a Lógica Clássica e a Lógica Fuzzy.



Fonte: Kohagura (2007).

A Teoria *Fuzzy* cria linguisticamente escalas de valores que buscam quantificar o objeto a ser estudado. O uso dessa teoria possibilita, deste modo, captar o grau de incerteza presente nas variáveis e traduzir para uma modelagem matemática (AGUADO; CANTANHEDE, 2010).

Deste modo, baseada na lógica Fuzzy, a representação contínua da paisagem passa a ser possível, com a padronização das variáveis para uma escala numérica comum (Eastman, 2001). Ou seja, por essa lógica, um conjunto de valores expressos numa dada escala é convertido em outro comparável, expresso em uma escala normalizada (Malczewski, 1996). Por conta disso, é comum que essa etapa de padronização dos fatores, no ambiente da AMC, seja denominada de “normalização” (Malczewski, 1996; Eastman, 2001).

3. Material e Métodos

3.1. Área de estudo

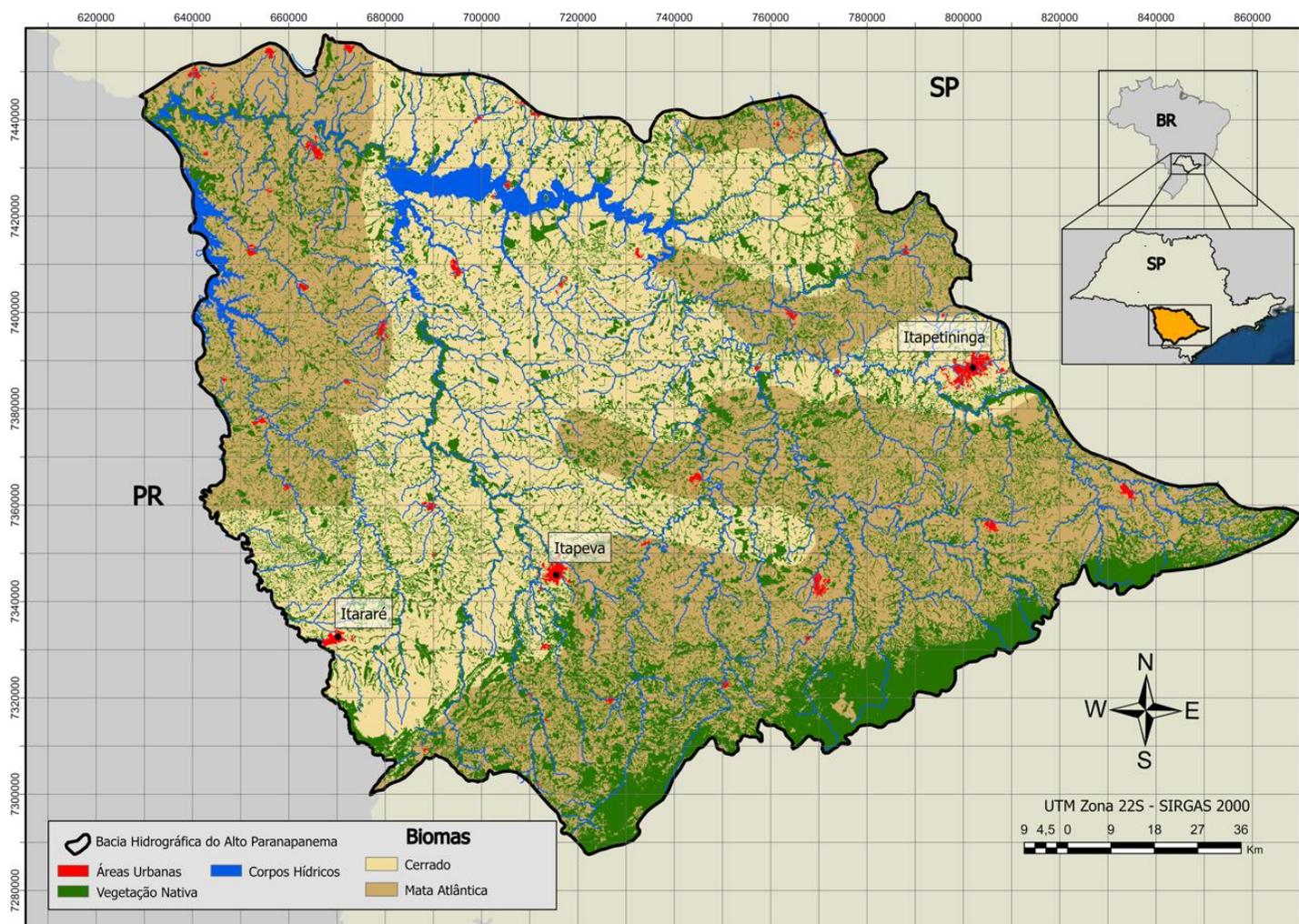
A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, representada pela Figura 2. Sendo a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos número 14 (UGRHI-14) que corresponde

à Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (ALPA), uma das seis UGRHIs pertencentes à Bacia do Paranapanema, ela está localizada no sudoeste do Estado de São Paulo e inclui a vertente paranaense, cujo rio principal é de domínio da União. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (CBH-ALPA) foi inaugurado em 17 de maio de 1996, com o intuito de gerenciar os recursos hídricos da bacia, a fim de conservar, preservar e recuperar seus recursos ao longo dos anos de sua atuação (CBH-ALPA, 2021).

A bacia é composta por 34 (trinta e quatro) municípios, que se encontram total ou parcialmente inseridos na ALPA. Tal bacia é também a maior do Estado de São Paulo, com 22.699 km² de extensão territorial, o que representa 21,3% do território da bacia do Rio Paranapanema. Os municípios que mais se destacam na bacia, quanto a população e economia, são Itapetininga, Itapeva e Itararé, sendo que a bacia possui uma população de 761 mil habitantes (SEADE, 2019).

Conforme a classificação climática de Köppen, na UGRHI-14 predomina-se o tipo Cwa, úmido com inverno seco e verão quente, sendo que no sul da unidade contém o tipo climático Cwb, que é marcado por verões suaves. Quanto à precipitação média, esta corresponde a 1200 mm/ano, sendo janeiro o mês mais chuvoso e agosto o mais seco. O cultivo de soja, trigo, feijão, cana-de-açúcar, silvicultura e algodão constituem parte do uso agrícola da região.

Figura 2 – Localização da área de estudo, delimitada pela Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos número 14 (UGRHI-14), a bacia hidrográfica do Alto Paranapanema (ALPA), ao Sul do Estado de São Paulo, na divisa com o Estado do Paraná, com identificação dos limites dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, além de sua cobertura florestal para o ano de 2020 (MAPBIOMAS 2021), os principais corpos d'água e as áreas urbanas.



Na área de estudo encontra-se 4.677 km² de vegetação remanescente, a qual ocupa 20% da extensão da ALPA. A porção do bioma Cerrado da ALPA possui uma área de 10.057 km² (44,3%) dos quais 1,712 km² são de vegetação nativa (31,4% do total de vegetação nativa da bacia). A porção de Mata Atlântica da ALPA possui uma área de 12.641 km² (55,7%), dos quais 3,745 km² são de vegetação nativa (68,6% do total de vegetação nativa da bacia), referentes ao ano de 2019 (IPA,2020). A mesma localidade é definida morfologicamente por morros baixos com altitudes entre 700 e 800 m, colinas com topos convexos e presença de rochas sedimentares, contando com porções de

metassedimentos argilosos, arenosos e carbonáticos, o que em determinados trechos, principalmente os de margem, podem implicar na ocorrência de atividade erosiva, impulsionada pelo escoamento superficial, contribuindo, assim, para o transporte de partículas sedimentares (CBH-ALPA, 2021).

Conforme o relatório de situação dos recursos hídricos da UGRHI-14, elaborado pela CBH-ALPA (2021), a unidade possui uma economia diversificada, com destaque às indústrias de papel e celulose, mineração de calcário e plantio e processamento de madeiras de reflorestamento, agricultura e pecuária. Ela também possui grande potencial turístico, com destaque às áreas das Represas de Jurumirim e Chavantes e às 18 UCs que estão inseridas no território. A agricultura irrigada está presente na maior parte do território da ALPA, principalmente nos municípios de Itaí, Itapeva, Paranapanema, Buri, Itaberá e Itapetininga.

3.2. Banco de dados cartográfico

O trabalho é baseado em dados secundários oficiais ou amplamente utilizados, com transformações ou padronizações quando necessário (Tabela 1), formalizando os critérios adotados para a AMC. O mapa pedológico do estado de São Paulo, como pode ser observado pela Figura 3, foi utilizado para obter dados de erodibilidade do solo do estado, baseando-se em dados disponibilizados pelo Instituto Florestal (IF) (ROSSI, 2017). As informações de uso e cobertura da terra foram baseadas no projeto MapBiomas, coleção 5.0, que possui registros históricos de 1985 até 2019 baseados em imagens Landsat com resolução espacial de 30m, sendo utilizado o ano mais recente, que pode ser observado pela Figura 4 e com mais detalhes pelo Apêndice B (MAPBIOMAS, 2021). A hidrografia utilizada se baseia nos dados disponibilizados pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS, 2013), que utilizaram como fonte original imagens de satélite RapidEye, com resolução espacial de 5 metros, com ano base de 2013, resultando em uma hidrografia na escala de 1:25.000. O Modelo Digital de Elevação, utilizado para obter a declividade de toda a extensão da área de estudo, inclusive para identificação das APPs de declividades superiores a 45°, foi baseado em um dado disponibilizado pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo

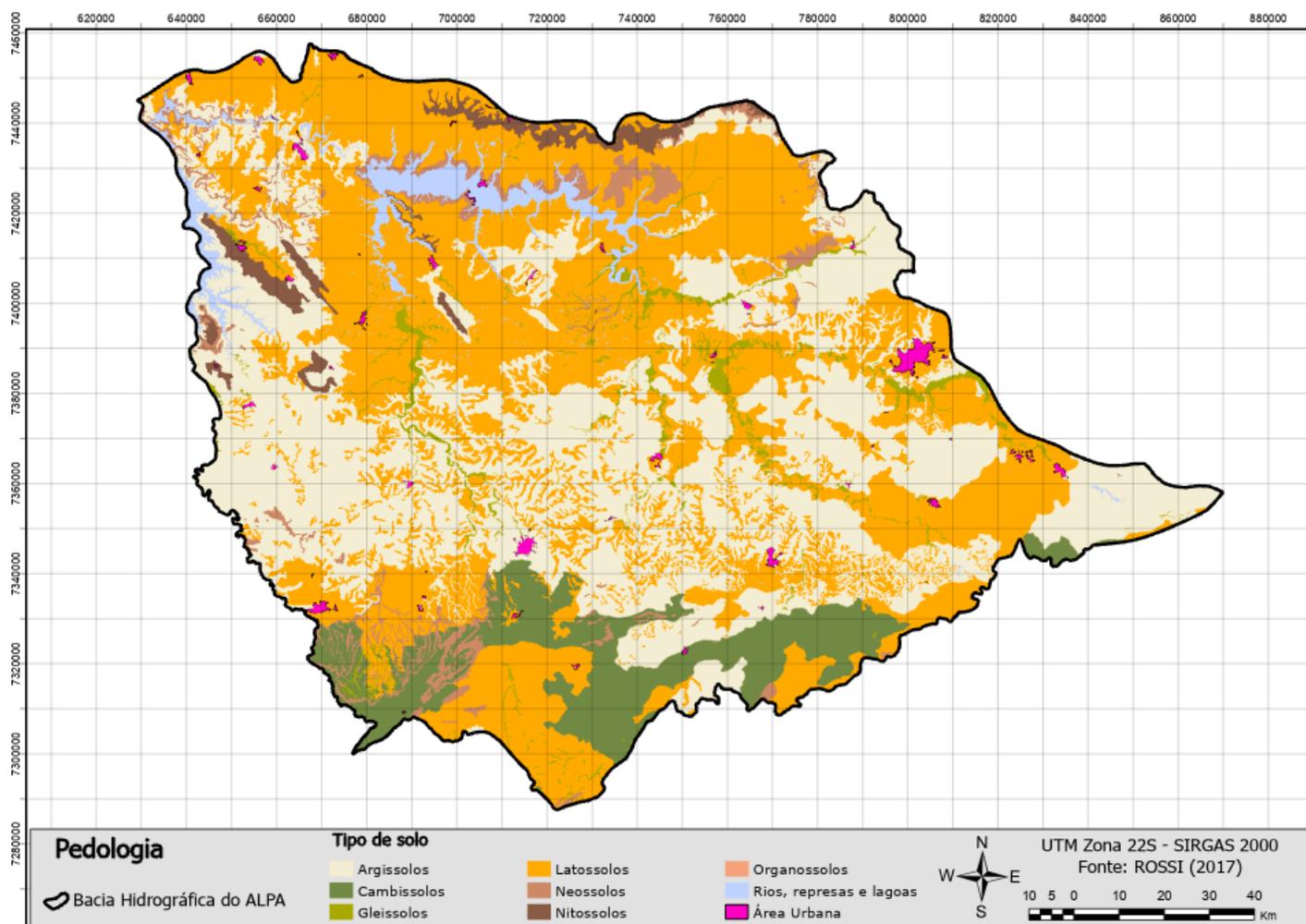
(SMA-SP, 2013), gerado a partir das curvas de nível extraídas das cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Geográfico Geológico (IGG) e Departamento de Serviços Geográficos do Exército, na escala 1:50.000 (projeto GISAT) e com resolução horizontal de 30 metros. A Cobertura de Vegetação Nativa foi baseada em dados disponibilizados pelo Inventário Florestal realizado pelo Instituto de Pesquisas Ambientais para o ano de 2019, com resolução espacial de 0,5m, sendo que a área mínima mapeada foi de 0,1 ha (IPA, 2021). Conforme supracitado, os dados utilizados para a avaliação multicritério possuem relação com os critérios determinados pela LPVN para o estabelecimento da Reserva Legal.

Além das variáveis, foi necessário obter arquivos vetoriais dos limites dos imóveis e posses rurais localizadas na bacia hidrográfica do ALPA, obtidos através dos dados disponibilizados pelo projeto temático FAPESP nº 2016/17680-2, denominado “Código Florestal no Estado de São Paulo” (SPAROVEK, 2018).

Tabela 1– Base de dados geográficos utilizados para composição dos critérios da análise multicritério e posterior modelo de alocação de Reserva Legal.

Nome	Código	Dado original	Utilização	Escala/Resolução	Formato Original	Fonte
Proximidade de Vegetação Nativa Pré-existentes	PROXVN	Imagens orbitais do WorldView, GeoEye e QuickBird	Variável AMC - Distância euclidiana	0,5m. Área Mínima mapeada: 0,1 ha	Imagem	Instituto de Pesquisas Ambientais (2021)
Proximidade para Área de Preservação Permanente	PROXAPP	Hidrografia	Variável AMC - Distância euclidiana	1:25.000	Vetorial	FBDS (2013) e SMA-SP (2013)
Proximidade para Unidades de Conservação	PROXUC	Unidades de Conservação	Variável AMC - Distância euclidiana	1:25.000	Vetorial	MMA(2010)
Declividade	DEC	Modelo digital de elevação (MDE) do estado de São Paulo	Variável AMC	30m	Imagem	SMA-SP (2013)
Erodibilidade	ERO	Mapa Pedológico do Estado de São Paulo	Variável AMC	1:250.000	Imagem	Rossi (2017)
Fontes de Distúrbio	DISTFD	Vias de Acesso e Centros Urbanos	Variável AMC - Distância euclidiana	1:250.000	Vetorial	Ministério de Infraestrutura (2021) e MAPBIOMAS (2021)
Uso e cobertura da Terra		MapBiomias Coleção 5.0	Caracterização do Uso e cobertura da Terra das zonas prioritárias	30m	Imagem	MAPBIOMAS (2021)
Imóveis Rurais		Múltiplos	Caracterização geral de imóveis rurais	1:25.000	Vetorial	Sparovek (2018)
Cobertura Vegetal Nativa		Imagens orbitais do WorldView, GeoEye e QuickBird	Identificação de Vegetação Nativa do Cerrado e da Mata Atlântica	0,5m. Área Mínima mapeada: 0,1 ha	Imagem	Instituto de Pesquisas Ambientais (2021)

Figura 3 – Classes de solos da Bacia Hidrográfica do ALPA (Adaptado de Rossi (2017)).



3.3. Critérios

A seleção dos critérios foi feita a partir da necessidade de informações que visem identificar possíveis áreas para alocação de RL. Estas devem seguir os critérios definidos pela LPVN, que objetivam garantir a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. A Tabela 1, apresenta a relação das variáveis utilizadas com seus respectivos códigos, a fonte produtora, o formato e a escala disponível.

A definição dos critérios foi feita, por tanto, com base no Art. 14 da LPVN, que levou à separação das “variáveis espacializáveis”, que nada mais são que os critérios a serem observados pelos proprietários rurais durante a escolha das áreas onde deve ser alocada a RL da propriedade.

Estes critérios são os seguintes: (i) formação de corredores ecológicos, que consistem na distância euclidiana (proximidade) dos fragmentos de VN já existentes; (ii) em relação às APPs e (iii) às UCs; e (iv) áreas de maior vulnerabilidade natural, que neste caso foram consideradas as áreas de maior declividade e erodibilidade.

3.3.1. Descrição dos critérios

Proximidade de Vegetação Nativa (PROXVN): foram priorizadas as áreas mais próximas à vegetação nativa pois, conforme Ranieri (2004), é possível que em áreas planas, de solos férteis e pouco erodíveis, com baixa densidade de drenagem, haja uma tendência da fragmentação florestal, com RLs isoladas uma das outras. Sendo assim, é importante também dar preferência para a interligação dessas áreas ou garantir uma maior proximidade e consequente conectividade ou ainda aumento da área nuclear dessas manchas florestais.

Proximidade para Área de Preservação Permanente (PROXAPP): conforme Brancalion et al. (2016), as APPs possuem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, além de facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas, por tanto, devem ser priorizadas as áreas próximas a elas, também garantindo uma maior interligação, conectividade ou aumento da área nuclear.

Proximidade para Unidades de Conservação (PROXUC): foram priorizadas as áreas com maior proximidade de unidades de conservação que, em conjunto com as variáveis PROXFLO e PROXAPP, visam justamente a interligação dessas áreas através de corredores ecológicos, de acordo com a própria LPVN.

Declividade (DEC): De acordo com Salomão et al (2020), quanto maior o seu valor, maior é o risco de erosão, tornando as áreas mais declivosas mais interessantes ao reflorestamento, e por possuírem menor propensão ao uso agrícola.

Erodibilidade (ERO): foi utilizado como referência o fator de erodibilidade do solo K. Conforme Ranieri (2004), solos mais suscetíveis à erosão, combinado com declividades acentuadas

e cobertura vegetal pouco densa são mais frágeis e, por este motivo, devem ser priorizados para recuperação ou conservação na forma de RL.

Distância de Fontes de Distúrbio (DISTFD): foram priorizadas as áreas mais distantes de fontes de distúrbio, sendo estas as zonas urbanas e vias de acesso (rodovias e ferrovias). Conforme Rezzadori et al (2016), proximidade a estes ambientes antrópicos influenciam diretamente na fragmentação da paisagem florestal.

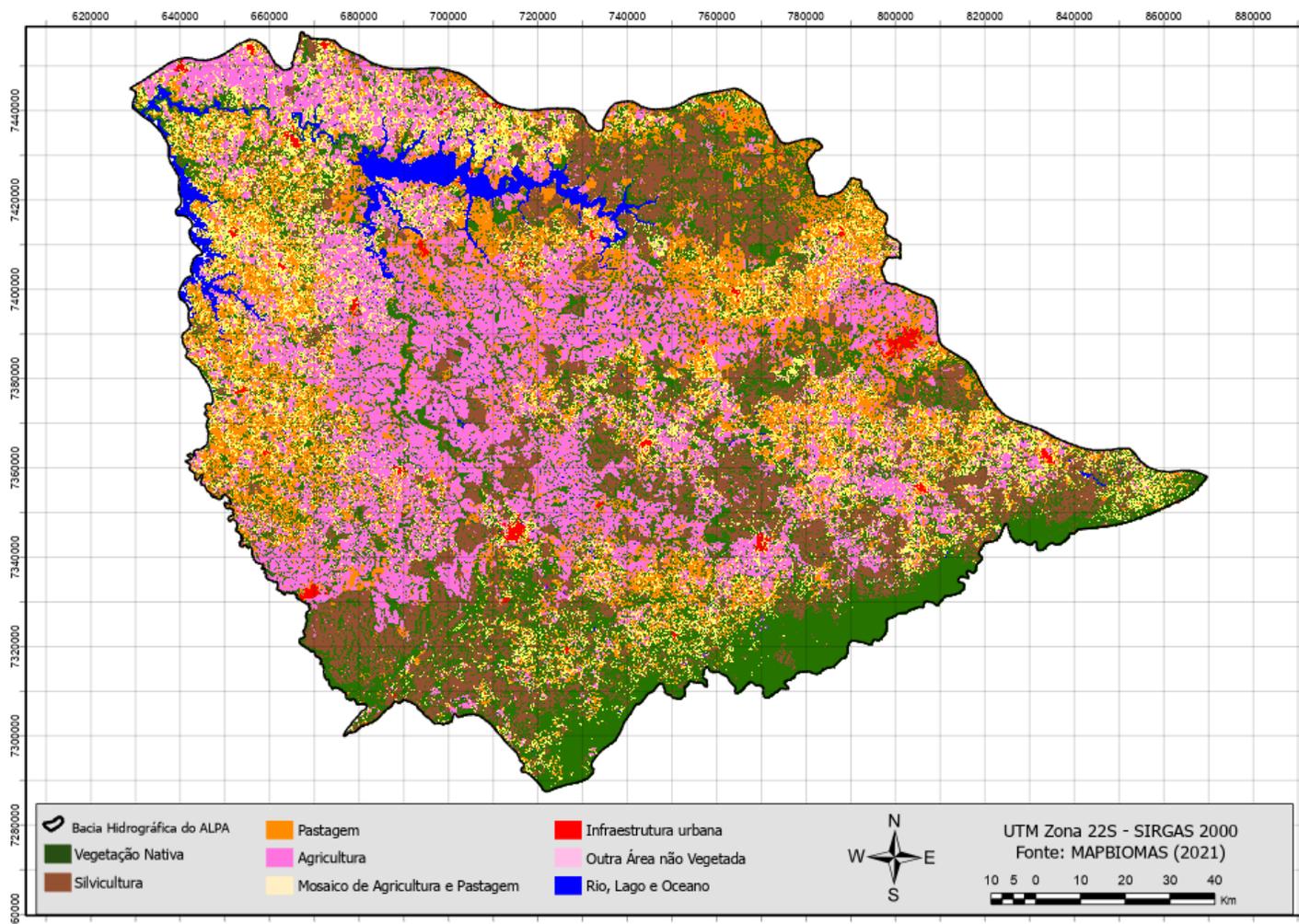
3.4. Uso e cobertura da terra

Para realizar a análise do uso e cobertura da terra das zonas prioritárias, utilizou-se os dados do MapBiomias do ano de 2019, porém, para facilitar a compreensão dos resultados, foi necessário unificar alguns usos, reclassificando-os conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Cobertura da terra proveniente da coleção 5.0 do MapBiomias, reclassificada para uso no estudo.

Nomenclatura Mapbiomas	Reclassificação
Formação Florestal Formação Savânica Formação Campestre Outra Formação Natural não Florestal	Vegetação Nativa
Floresta Plantada	Silvicultura
Pastagem	Pastagem
Cana Lavoura Perene Soja Outras Lavouras Temporárias	Agricultura
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Mosaico de Agricultura e Pastagem
Infraestrutura Urbana	Outra Área não vegetada

Figura 4 – Uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do ALPA, conforme reclassificação apresentada pela Tabela 2.



3.5. Área de restrição

Após a espacialização dos critérios dentro da Bacia ALPA, foi necessário excluir as áreas que não possuem as características exigidas para que possa ser possível a alocação de Reserva Legal dentro delas, como também, as áreas que já estão protegidas por um dos dispositivos apresentados pela Legislação Ambiental. Considerou-se, portanto, como áreas restritas as Áreas de Preservação Permanente (Declividade superior a 45° e geradas por cursos hídricos); RLs já averbadas na matrícula do imóvel; UCs (com exceção de Áreas de Proteção Ambiental); Áreas Urbanas; Áreas que não são imóveis ou que não possuam CAR; Cursos Hídricos e espelhos d'água.

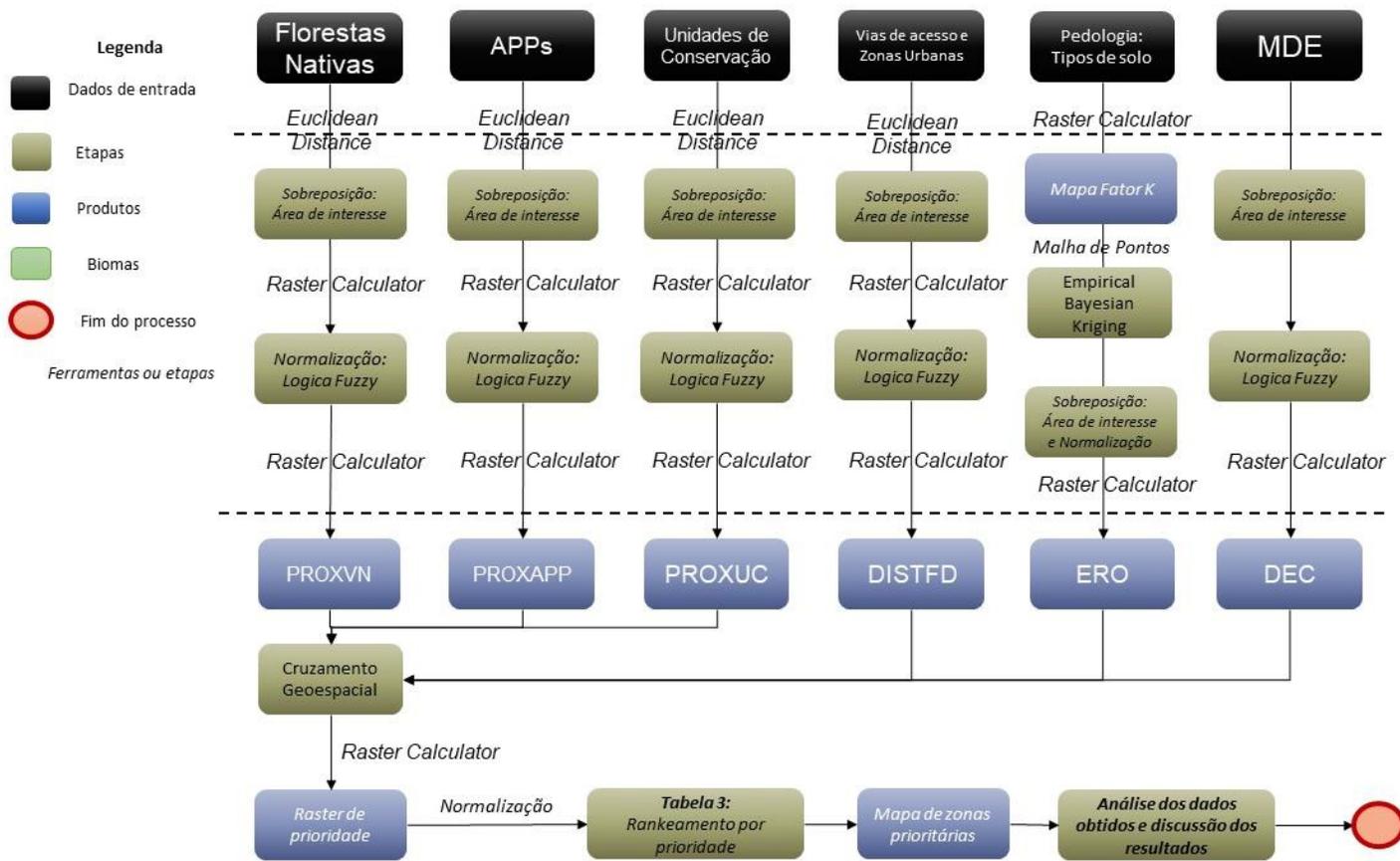
A exclusão foi realizada em ambiente SIG, onde primeiramente extraiu-se os espelhos d'água dos dados de uso e cobertura da terra e em seguida converteu-se o dado do formato matricial para vetorial. Após este processo, foi feita a união e mesclagem de todos os dados vetoriais de restrição. Com isso, foi possível realizar a exclusão das áreas restritas. Feita a exclusão dessas áreas, obteve-se a área de interesse para o estudo, onde é possível realizar a alocação da compensação de Reserva Legal. Esta, por sua vez, foi sobreposta a todos critérios, de modo que a análise foi feita apenas dentro da área de interesse.

3.6. Determinação das áreas prioritárias para alocação de RL

A metodologia empregada na execução deste trabalho para obter as zonas prioritárias seguiu proposta semelhante à de Rodrigues (2019), com algumas modificações, que podem ser observadas pelo fluxograma metodológico representado pela Figura 5. Foi utilizado o software ArcGIS PRO a fim de realizar o processamento dos dados para determinar as áreas prioritárias.

A determinação das áreas prioritárias para alocação de RL foi feita separadamente para os dois biomas existentes na bacia ALPA, visto que, conforme a LPVN, a compensação da RL deve ser realizada no mesmo bioma.

Figura 5 – Fluxograma metodológico para obtenção das zonas prioritárias para alocação de Reserva Legal para cada bioma, onde PROXVN: proximidade para florestas nativas pré-existentis; PROXAPP: Proximidade para Área de Preservação Permanente; PROXUC: Proximidade para Unidades de Conservação; DEC: Declividade; ERO: Erodibilidade; DISTFD: Distância de Fontes de Distúrbio.



Fonte: Rodrigues (2019) adaptada.

3.7. Caracterização dos critérios

Para poder comparar e sobrepor os critérios entre si, foi necessário antes categorizá-los de acordo com o que é mais e menos importante para priorização na determinação de RL. Através de ambiente SIG, foram obtidas as distâncias euclidianas no formato matricial, com resolução espacial de 15 metros, para as variáveis cuja informação é apresentada por distância, como é o caso das variáveis que representam os critérios PROXAPP, PROXVN, PROXUC e DISTFD, sendo que para cada pixel de uma imagem, há o valor da distância correlacionada ao objeto em específico. Após este

processo, foi feita a normalização (padronização para uma única escala, nesse caso, variando de 0 a 100) desses critérios, sendo obedecida a lógica *Fuzzy*.

Para o critério ERO, o mapa pedológico do estado de São Paulo (ROSSI, 2017) foi recortado para os limites da bacia ALPA, sendo reclassificado conforme os valores de erodibilidade para cada tipo de solo, considerando valores presentes na literatura e os seguintes pontos: frequência de valor citado na literatura; robustez da referência no meio científico e coerência entre o valor citado com o contexto teórico do tipo de solo e suas características, sendo priorizados os solos mais suscetíveis a erosão.

Para obter os valores de K, foram considerados autores como Cavalieri (1994), Levy (1995), Mannigel et al. (2002), Correchel (2003), Silva & Alvares (2005), Farinasso et al. (2006), Demarchi & Zimback (2014), Corrêa et al. (2015), que estão em concordância com os conceitos, valores de grandes grupos de solos e discussões apresentadas por Freire & Pessotti (1974), Sartori et al. (2005), Bertoni & Lombardi Neto (2008). Os valores são apresentados no Apêndice A.

Para a espacialização do Fator K de forma contínua, buscando atender aos requisitos da AMC, primeiramente foi gerada uma malha regular de pontos distribuídos na área de estudo, a qual foi sobreposta ao mapa de erodibilidade (Fator K), de forma a obter uma amostragem representativa, e posteriormente foi aplicado o método geostatístico da Krigagem Bayesiana Empírica (KRIVORUCHKO; GRIBOV, 2019; GRIBOV; KRIVORUCHKO, 2020). Este, por sua vez, foi feito pelo método de krigagem ordinário, sendo que a modelagem do semivariograma foi linear, obtendo-se um raster com resolução espacial de 30 metros que também obedece à lógica *Fuzzy*.

Já para o critério DEC cuja variável representativa é a declividade, foi necessário apenas realizar o processo de normalização, uma vez que a variável já obedece à lógica *Fuzzy*, onde os valores variam continuamente pela paisagem.

3.8. Normalização dos Critérios

Para usar uma variedade de escalas na medição dos critérios, é essencial padronizar cada critério em uma escala comum antes de qualquer combinação entre eles. O processo de normalização dos critérios se faz por meio de funções de pertinência fuzzy (por ex.: linear, sigmoidal e j-invertido), que no caso da função de pertinência linear, esta pode ser crescente ou decrescente, sendo definidas de acordo com a variável estudada. Ou seja, os valores que serão priorizados para cada variável são definidos de acordo com os critérios utilizados na AMC.

Para os critérios cujas variáveis obedecem à escala linear crescente, cujos valores máximos e mínimos antes da normalização representam maior e menor adequação, respectivamente, à alocação de RL, utilizou-se a Equação 1. Já para os critérios cujas variáveis obedecem à escala linear decrescente, cujos valores máximos e mínimos representam menor e maior adequação, respectivamente, utilizou-se a Equação 2.

$$X_i = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} \times 100 \quad (1)$$

$$X_i = \frac{R_i - R_{max}}{R_{min} - R_{max}} \times 100 \quad (2)$$

Onde: X_i = o valor da célula após a normalização;

R_i = o valor da célula antes da normalização;

R_{max} = o valor máximo da variável;

R_{min} = o valor mínimo da variável;

Para os critérios de proximidade, que são PROXVN, PROXUC E PROXAPP, a normalização foi feita através de uma função linear decrescente (Equação 1), onde foram priorizadas as regiões mais próximas dos objetos correlacionados, ou seja, de menor valor (distância zero). Já para os critérios DEC, ERO e DISTFD, a normalização foi feita através da função linear crescente (Equação 2), sendo priorizados os maiores valores de suas respectivas variáveis, isto é, de maior declive, maior erodibilidade e mais distantes das fontes de distúrbio, respectivamente.

Com os critérios já normalizados, foi possível obter as zonas prioritárias para alocação de RL, através da combinação linear entre eles. Esta combinação, porém, foi feita sem a ponderação dos critérios.

3.9. Combinação Linear dos critérios

Após as variáveis serem convertidas em critérios através do processo de normalização para que fosse possível sua comparação, foi realizada a combinação linear entre eles por meio da equação 3.

$$ZP = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (3)$$

Esta combinação, por sua vez, dá origem a uma nova informação, um raster que indica as áreas com maior ou menor prioridade para a alocação de RL na bacia do ALPA. Este raster, que obedece a escala linear crescente, foi normalizado novamente e então classificado em cinco categorias de prioridade, como visto pela Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação das áreas por prioridade de Reserva Legal.

Classificação	Resultado normalizado
Altamente prioritário	81 a 100
Prioritário	61 a 80
Prioridade moderada	41 a 60
Prioridade baixa	21 a 40
Prioridade muito baixa	0 a 20

Fonte: próprio autor.

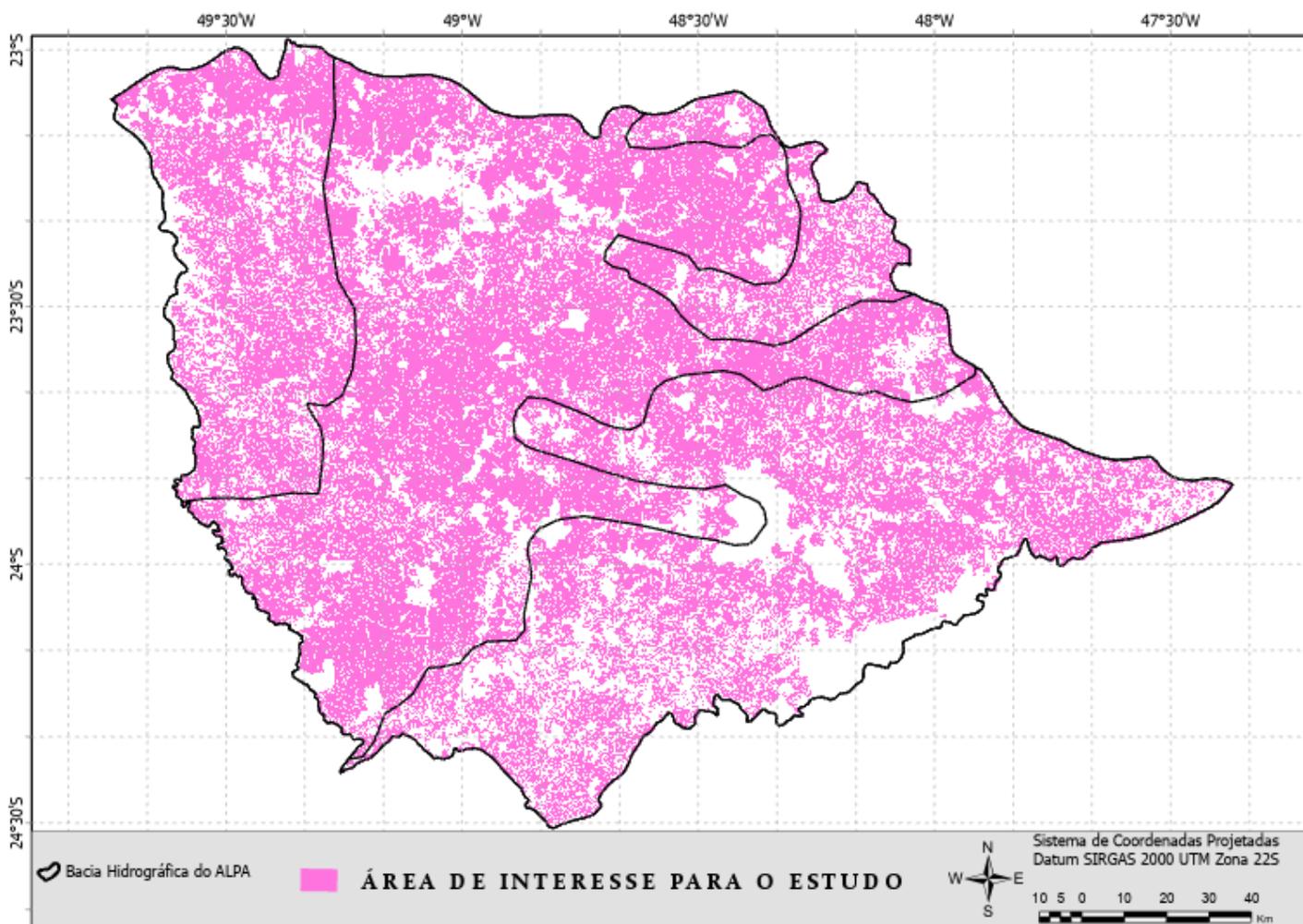
Após a classificação das áreas por prioridade, realizou-se uma análise geográfica das zonas prioritárias, buscando identificar onde mais se concentram as zonas de alta prioridade, quais os usos predominantes para cada classe e comparar as zonas entre os dois biomas inseridos na bacia do ALPA.

4. Resultados

4.1. Áreas de interesse

A área de interesse para o estudo, desconsiderando aquelas onde não é possível se ter a priorização de áreas, totalizaram 12.827 km², o que representa 56,5% da área total da bacia (Figura 6).

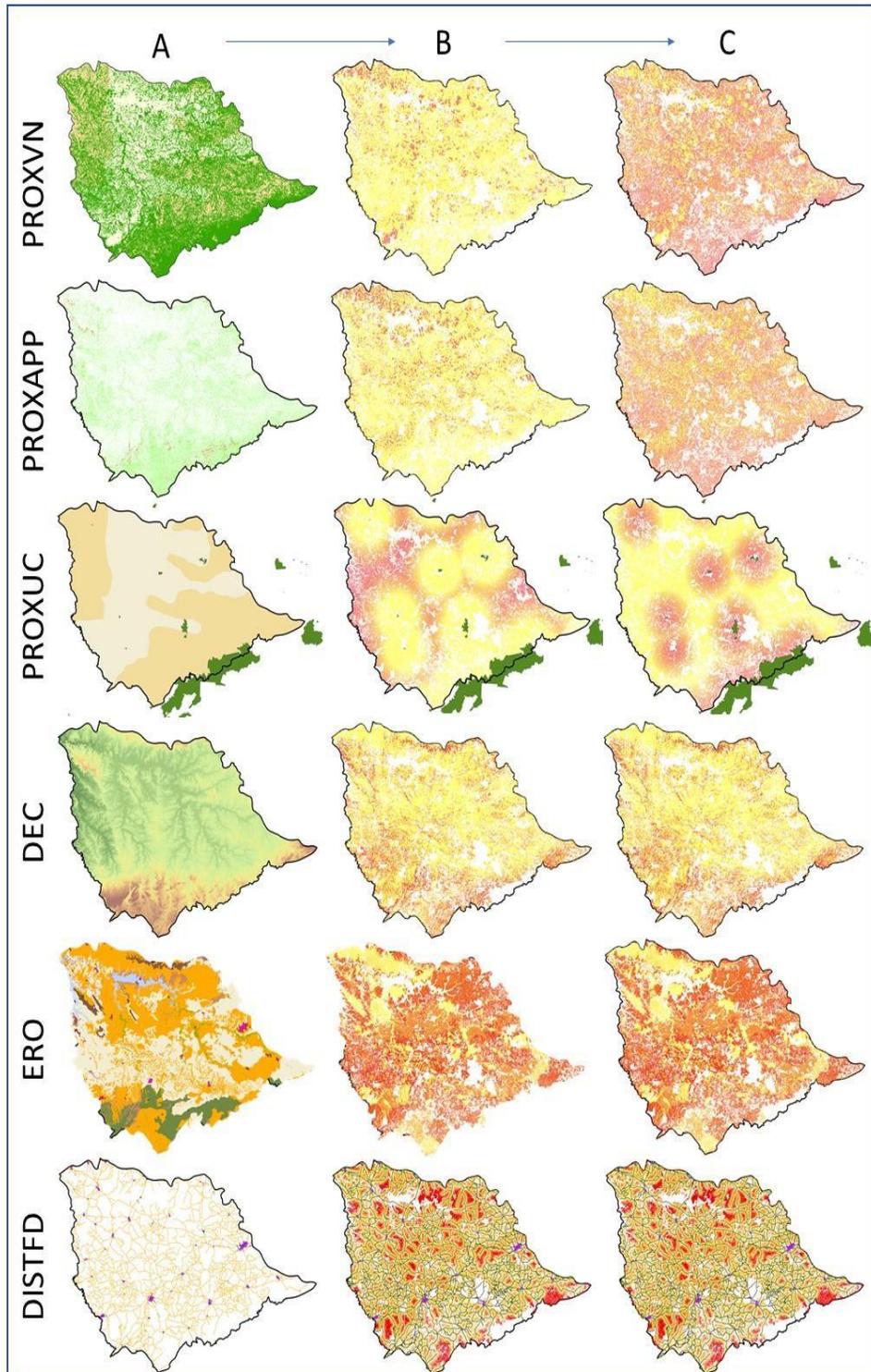
Figura 6 – Área de interesse para o estudo, representada pelos imóveis rurais cadastrados no CAR, sendo que foram excluídas as áreas urbanas, os cursos hídricos, espelhos d'água e as áreas que já estão protegidas por um dos dispositivos apresentados pela legislação ambiental, como as APPs, as RLs averbadas e as UCs, com exceção das Áreas de proteção Ambiental.



4.2. Critérios

Os subprodutos para obtenção dos critérios e os critérios são apresentados na Figura 7 e os mapas de cada critério estão disponíveis no Apêndice B em uma escala mais detalhada com legenda.

Figura 7 – Representação dos Critérios, onde A são os dados de entrada; B são as variáveis espacializadas em formato matricial (raster) cuja coloração varia do amarelo (menor valor da variável) ao vermelho (maior valor da variável); e C são os critérios normalizados, cuja coloração varia do amarelo (menos prioritário) ao vermelho (mais prioritário). PROXVN é o critério “Proximidade de Vegetação Nativa”; PROXAPP é o critério “Proximidade de Áreas de Preservação Permanente”; PROXUC é o critério “Proximidade de Unidades de Conservação”; DEC é o critério “Declividade”; ERO é o critério “Erodibilidade”; e DISTFD é o critério “Distância de Fontes de Distúrbio”.



Os valores de máximos, mínimos e médias antes e após a normalização dos critérios foram obtidos por bioma conforme a Tabela 4. Os histogramas de cada variável também estão disponíveis no Apêndice B.

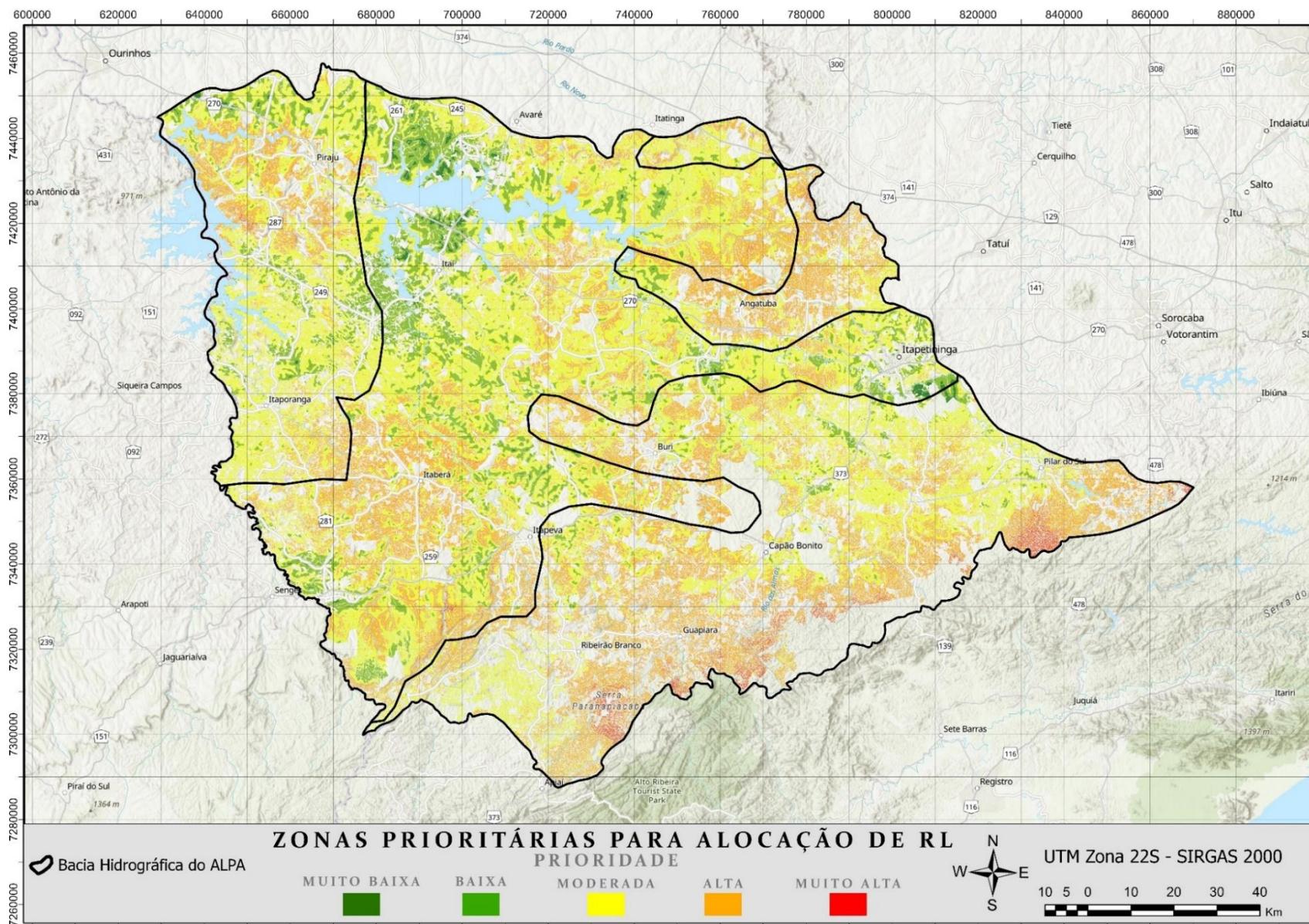
Tabela 4 – Estatística descritiva dos critérios, por bioma.

	Critério	Máximo	Máximo Normalizado	Mínimo	Mínimo Normalizado	Média	Média Normalizada
ProxVN	Cerrado	3.095,11 m	0	0	100	221,21 m	92,85
	Mata Atlântica	1.622,49 m	0	0	100	131,09 m	91,92
ProxAP P	Cerrado	1.739,48 m	0	0	100	248,82 m	86,57
	Mata Atlântica	1.701,82 m	0	0	100	154,83 m	90,9
ProxUC	Cerrado	45.124,94 m	0	0	100	19.124,82 m	57,62
	Mata Atlântica	53.353,76 m	0	0	100	19.640,42 m	63,19
DEC	Cerrado	30,59 °	100	0	0	4,18 °	13,67
	Mata Atlântica	43,4 °	100	0	0	6,23 °	14,36
ERO	Cerrado	0,0505	100	0	0	0,0295	58,54
	Mata Atlântica	0,0646	100	0	0	0,0306	47,34
DISTFD	Cerrado	7.463,21 m	100	0	0	1.125,41 m	15,08
	Mata Atlântica	12.549,51 m	100	0	0	1.215,54 m	9,69

4.3. Zonas Prioritárias para alocação de Reserva Legal

Os mapas de Zonas Prioritárias para alocação de Reserva Legal na bacia hidrográfica do Alto Paranapanema com normalização e classificados de acordo com a Tabela 3, podem ser verificados pelas Figuras 8 e 9, respectivamente. Para mais detalhes, os mapas e histogramas das zonas prioritárias estão disponíveis no Apêndice C.

Figura 9 – Classes de Zonas Prioritárias para alocação de Reserva Legal na Bacia ALPA, onde a prioridade para alocação de RL varia da prioridade muito baixa (verde escuro) à muito alta (vermelho), sendo que o amarelo representa as áreas de prioridade moderada.



A Tabela 5 apresenta a área das zonas prioritárias separadas por classe conforme a Tabela 3.

Tabela 5 – Área das zonas prioritárias para alocação de Reserva Legal separadas por classe conforme Tabela 3, por bioma.

Classe de Prioridade	Cerrado		Mata Atlântica	
	Área (Km ²)	%	Área (Km ²)	%
Muito Baixa	72,6	1,1	14,6	0,2
Baixa	1249,0	19,3	503,9	7,9
Moderada	3632,7	56,3	3418,8	53,7
Alta	1490,2	23,1	2307,0	36,2
Muito Alta	12,0	0,2	125,9	2,0
Total	6456,5	100,0	6370,3	100,0

A Tabela 6 exibe o uso e cobertura da terra por bioma, em área e porcentagem. As Tabelas Tabela 7 e 8 apresentam o uso e cobertura da terra por classe de prioridade para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, respectivamente.

Tabela 6 – Uso e cobertura da terra para os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, em área e porcentagem.

Tipo de Uso	Cerrado		Mata Atlântica	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Vegetação Nativa	976,4	15,1	1247,6	19,6
Silvicultura	1434,5	22,2	1115,0	17,5
Pastagem	981,7	15,2	1383,5	21,7
Agricultura	2680,6	41,5	1573,9	24,7
Mosaico de Agricultura e Pastagem	374,5	5,8	1045,3	16,4
Outra Área não Vegetada	12,2	0,2	8,5	0,1
Total	6459,9	100,0	6373,8	100,0

Tabela 7 – Uso e cobertura da terra por classe de prioridade para o bioma do Cerrado.

Tipo de Uso	Classe de Prioridade									
	Muito Baixa		Baixa		Moderada		Alta		Muito Alta	
	Área (km ²)	%								
Vegetação Nativa	5,9	8,2	117,0	9,4	490,4	13,5	355,9	23,9	7,2	59,9
Silvicultura	12,9	17,8	185,7	14,9	841,3	23,1	392,0	26,3	2,5	20,9
Pastagem	5,0	6,8	151,9	12,2	562,2	15,5	261,5	17,5	1,1	9,5
Agricultura	38,7	53,3	682,5	54,6	1571,1	43,2	387,7	26,0	0,7	6,2
Mosaico de Agricultura e Pastagem	9,5	13,0	107,3	8,6	164,0	4,5	93,3	6,3	0,4	3,5
Outra Área não Vegetada	0,6	0,9	5,0	0,4	5,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0
Total	72,6	100,0	1249,4	100,0	3634,5	100,0	1491,3	100,0	12,0	100,0

Tabela 8 – Uso e cobertura da terra por classe de prioridade para o bioma da Mata Atlântica.

Tipo de Uso	Classe de Prioridade									
	Muito Baixa		Baixa		Moderada		Alta		Muito Alta	
	Área (km ²)	%								
Vegetação Nativa	0,1	0,4	20,8	4,1	396,1	11,6	724,8	31,4	105,8	83,7
Silvicultura	3,9	26,4	49,4	9,8	588,6	17,2	460,0	19,9	13,2	10,4
Pastagem	0,9	6,1	68,8	13,7	789,9	23,1	519,8	22,5	4,0	3,2
Agricultura	8,7	59,6	285,3	56,6	1037,6	30,3	241,9	10,5	0,4	0,3
Mosaico de Agricultura e Pastagem	1,0	7,2	78,4	15,6	602,7	17,6	360,2	15,6	3,0	2,3
Outra Área não Vegetada	0,0	0,2	1,3	0,3	4,9	0,1	2,3	0,1	0,0	0,0
Total	14,6	100,0	504,1	100,0	3419,9	100,0	2308,9	100,0	126,3	100,0

5. Discussão

5.1. Critérios

A Tabela 9 apresenta uma comparação dos critérios e estudos elencados no Art. 14 da LPVN com os critérios utilizados neste trabalho e em outros com a mesma temática.

Tabela 9 – Comparação de trabalhos voltados para alocação de RL com Art. 14 da LPVN

Art. 14 (Lei 12.651/2012 LPVN)	Este trabalho	Raniere (2004)	Sartori et al. (2012)
I – O plano de bacia hidrográfica;	Não	Não	Não
II – O Zoneamento Ecológico-Econômico;	Não	Não	Não
III – A formação de corredores ecológicos com outra Reserva Legal, com Área de Preservação Permanente, com Unidade de Conservação ou com outra área legalmente protegida;	Critérios: PROXVN, PROXAPP E PROXUC	Critérios: (1) Manutenção dos fragmentos existentes; (3) aumento dos fragmentos existentes; (4) Alargamento das faixas de vegetação ao longo dos corpos d'água; (6) redução das distâncias entre fragmentos	Critérios: (1) proximidade entre fragmentos de maior área nuclear; (2) proximidade de cobertura florestal; (3) proximidade de rede hidrográfica
IV – As áreas de maior importância para a conservação da biodiversidade	Critério DISTFD	Não	Critérios: (4) distância aos centros urbanos
V – As áreas de maior fragilidade ambiental.	Critérios: DEC e ERO	Critérios: (2) áreas com maior suscetibilidade à erosão; (5) proteção das cabeceiras das bacias	Critérios: (5) declividade e (6) erodibilidade do solo

Observa-se, pela Tabela 9, que nenhum autor considerou os dois primeiros itens do Art. 14 em seus trabalhos, sendo este um ponto que pode ser abordado em estudos futuros. Comparando os seis critérios selecionados neste estudo para priorização de áreas para alocação de Reserva Legal com os propostos por Raniere (2004), que foram (1) Manutenção dos fragmentos existentes; (2) áreas com maior suscetibilidade à erosão; (3) aumento dos fragmentos existentes; (4) alargamento das faixas de vegetação ao longo dos corpos d'água; (5) proteção das cabeceiras das bacias; (6) redução das distâncias entre fragmentos, verifica-se que os critérios PROXVN, PROXUC e PROXAPP se assemelham aos critérios (1), (3), (4) e (6), visto que estes dão preferência para a interligação dessas áreas, garantindo uma maior proximidade e conseqüente conectividade entre os fragmentos de vegetação nativa existentes. Já os critérios DEC e ERO se assemelham ao critério (2) utilizado pelo autor, que para obter este critério, utilizou-se os fatores de tipo de solo e de declividade do terreno. O

único critério que não se correspondeu ao do autor foi o DISTFD, que prioriza as áreas mais distantes de fontes de distúrbio.

Sartori et al. (2012) também utilizou critérios para priorização de áreas para conectividade entre fragmentos florestais que se assemelham aos utilizados neste estudo, tais como: (1) proximidade entre fragmentos de maior área nuclear e (2) proximidade de cobertura florestal, similares ao PROXUC e PROXVN, sendo que as UCs são áreas conservadas que possuem maior área nuclear de vegetação nativa; (3) proximidade de rede hidrográfica, similar ao PROXAPP, que também incorpora APPs geradas por rede de drenagem; (4) distância aos centros urbanos, que se assemelha ao DISTFD; (5) declividade e (6) erodibilidade do solo, similares a DEC e ERO, respectivamente.

Embora Ranieri (2004) não tenha aplicado a camada de restrições, ele também não atribuiu pesos aos critérios utilizados. Já Valente (2005), Sartori et al. (2012), Valente et al. (2021), por exemplo, aplicaram a camada de restrição, incluindo a ponderação dos critérios em seus estudos, sendo está a abordagem comumente realizada e que possibilita a comparação da importância dos critérios para o estudo.

De acordo com Tavares et al (2019) e Rajão et al (2021), o bioma Cerrado já se encontra extremamente fragmentado e ameaçado. Esta realidade é observada também na bacia do ALPA que, pela Tabela 4, verifica-se que a distância máxima entre fragmentos de vegetação nativa no bioma atinge aproximadamente 3.100 metros, o que difere do bioma Mata Atlântica, que atinge 1.622 metros. Tavares et al. (2019) também citam que o bioma Cerrado possui uma notável baixa ocorrência de proteção por meio de UCs no Estado de São Paulo, totalizando 24 unidades em todo o estado, representando uma área total de 433.674 ha, enquanto a Mata Atlântica tem 142 unidades e uma área total de 3.412.517 ha. Isso é verificado também na bacia ALPA, onde existem 6 UCs no Cerrado, enquanto existem 12 unidades na Mata Atlântica

5.2. Zonas Prioritárias para alocação de Reserva Legal

O bioma da Mata Atlântica apresentou proporcionalmente mais área classificada como de prioridade Alta e Muito Alta para alocação de Reserva Legal. Pela Tabela 5, verifica-se que esse valor foi também numericamente maior, sendo que o bioma da Mata Atlântica possui 10 (dez) vezes mais área classificada como de prioridade Muito Alta. Em decorrência disso, as classes de prioridade Baixa e Muito Baixa foram proporcionalmente e numericamente menores na Mata Atlântica do que no Cerrado. Já a classe de prioridade Moderada teve resultados parecidos para ambos os biomas, ocupando a maior parte das áreas disponíveis para alocação de RL. Conforme Valente et al. (2021), a utilização de dados de alta resolução, associados ao conjunto de critérios e pesos robustos, contribuiriam para minimizar a tendência da AMC à classe de prioridade Moderada.

Comparando-se com o estudo feito por Mello et al. (2018), que utilizaram a AMC para definição de áreas protegidas visando a melhoria da qualidade da água, verifica-se que os resultados das zonas prioritárias para alocação de Reserva Legal foram parecidos com a média dos valores obtidos com a ponderação feita pelos especialistas em seu estudo, sendo que os valores foram 1% para prioridade Muito Baixa; 11% para prioridade Baixa; 59% para prioridade Moderada; 22% para prioridade Alta; e 7% para prioridade Muito Alta. Observa-se, ainda, que ocorre o mesmo padrão de distribuição das zonas prioritárias obtidas pelos especialistas A, B e D, onde há predominantemente zonas de prioridade Moderada, seguido de prioridade Alta.

Conforme os dados de uso e cobertura da terra, pela Tabela 6, constata-se que há mais VN presente na Mata Atlântica, o que pode ser resultado da proteção que é promovida pela Lei da Mata Atlântica e pela presença de mais UCs no bioma. Pelas Tabelas 7 e 8, nota-se que, da classe de prioridade Muito Baixa à classe Muito Alta, ocorre uma diminuição na proporcionalidade dos usos e cobertura da terra que são antropizados (agricultura, pastagem e silvicultura), enquanto ocorre um aumento da VN, para ambos os biomas. Observa-se, ainda, que nas classes de prioridade Alta e Muito

Alta, a VN está proporcionalmente mais presente na Mata Atlântica do que no Cerrado. Cerca de 60% dos pixels classificados como Muito Alta prioridade no Cerrado já são classificados como VN, enquanto na Mata Atlântica esse número é de quase 84%, um indicativo que essa VN, não se encontra protegida em forma de RL, uma vez que foram excluídas as RLs averbadas. Portanto, devem ser vistas como prioritárias em políticas públicas.

Em busca de atingir o teto do déficit de RL na bacia hidrográfica do ALPA, é necessário definir estratégias para alcançar este teto e estudos como este visam justamente auxiliar no processo de tomada de decisão de onde devem ser alocadas as RLs, seja compensando fora da propriedade ou dentro da mesma. Observando os resultados deste estudo, como citado em parágrafos anteriores, sugere-se que o tipo de alocação do deficit de RL que deve ser priorizado para o bioma Mata Atlântica é o de compensação fora das propriedades, em decorrência de haver uma quantidade maior de VN que ainda não foi averbada como RL, enquanto para o Cerrado, o que deve ser priorizado é a compensação de RL dentro das propriedades, através de métodos de restauração com baixo custo.

Ao observarmos as áreas classificadas como Muito Baixa, Baixa e Moderada para alocação de RL, verificamos que essas são a maior parte e possuem pouca área coberta por vegetação nativa. No Cerrado, cerca de 53% das áreas de muito baixa prioridade de ser RL estão sobre pixels classificados como Agricultura, enquanto na Mata Atlântica, quase 60% se encontram na mesma situação. Um indicativo que terras agricultáveis não devem ser vistas como prioritárias para conversão em RL. O mesmo padrão de pixels majoritariamente agrícolas se estende até a classe Moderada. Nessas áreas, portanto, presume-se que os métodos utilizados para regularização ambiental dos imóveis rurais para atingir o teto do déficit de reserva legal sejam por compensação fora das mesmas, visto que há um uso agropastoril consolidado (Bernasconi et al. 2016, Freitas et al. 2017). Conforme Tavares et al (2019), para que haja conversão de uso agropastoril consolidado em VN, é fundamental promover incentivos à restauração de VN, como pagamento por serviços

ecossistêmicos (PSA) e outras políticas de fomento à restauração de VN em terras privadas ou a criação de UCs públicas.

Tavares et al (2019) também calcularam o déficit de RL para cada propriedade rural do Estado de São Paulo, considerando dois cenários para isso, um com e outro sem o Art. 68 da LPVN. Com estes dados, seria possível espacializar o déficit por propriedade inserida na bacia ALPA, bem como saber quais das VN ainda não estão protegidas por RL declarada, devendo ser, por tanto, priorizadas para alocação de RL.

Mello et al. (2021) avaliaram a capacidade de atingir a meta de RL para cobertura de VN no Brasil, considerando o grau de equivalência ecológica e sob diferentes estratégias de restauração e compensação dentro e fora da propriedade rural, constatando que em todos os cenários, o bioma Mata Atlântica teve a menor capacidade de atingir a meta, seguido pelo Cerrado. Os autores apontam que a implantação da restauração vegetal em pastagens com baixa aptidão agrícola possibilita o alcance da meta para todo o território brasileiro, visto que são áreas que em geral nunca foram desenvolvidas por apresentarem terrenos íngremes ou outras características desfavoráveis, e por isso são mais fáceis de restaurar com baixo custo do que áreas produtivas, pois geralmente possuem algum nível de regeneração natural (Molin *et al.* 2018; Crouzeilles et al., 2020). Estudos recentes mostraram aumento na regeneração de florestas secundárias em áreas com baixo potencial agrícola (Molin et al., 2017; Rezende et al., 2018).

As áreas classificadas como prioridade Alta e Muito Alta, possuem maior cobertura de vegetação nativa, embora sejam a menor parte da área total da bacia. Estas áreas possuem em sua maioria características de baixa aptidão agrícola, por serem mais íngremes e com maior erodibilidade. Como sugere os autores Crouzeilles et al. (2020), nos imóveis rurais com déficit de RL localizadas nessas áreas de maior prioridade, sejam priorizados métodos de restauração com baixo custo da cobertura de vegetação nativa para atingir o teto do déficit, visto também que são áreas de maior

fragilidade ambiental. De acordo com Metzger et al. (2019), uma grande oportunidade econômica para proprietários de terras em regiões com baixo potencial agrícola é o uso de espécies exóticas de alto interesse econômico para a restauração de RLs e a pecuária em regiões de campos naturais (se presentes), visto que a LPVN permite estes usos se combinado com espécies nativas.

Diferentes estratégias para atingir a meta de RL podem ser adotadas pelos Estados, e a melhor solução pode não depender de apenas uma estratégia. Mello et al. (2021) mostraram que os diferentes mecanismos de compensação de RL que a legislação oferece podem ser uma boa oportunidade para os proprietários rurais se adequarem à lei. Os autores apontam que cada bioma no Brasil apresenta um cenário diferente e, por exemplo, a restauração dentro dos imóveis rurais será essencial para a Mata Atlântica, mas não para a Floresta Amazônica.

Utilizar as UGRHs como área de estudo pode ser um bom caminho para definir estratégias de restauração e compensação de Reserva Legal, visto que a cobertura florestal proporciona diversos serviços ecossistêmicos hídricos como proteção contra os processos erosivos nas margens dos rios, o controle de ciclos biogeoquímicos, diminuição do escoamento de nutrientes, redução da carga de poluentes no rio e manutenção da temperatura da água adequada (Mingoti e Vettorazzi, 2011; Schilling e Jacobson, 2014; Tanaka et al., 2016; Taniwaki et al., 2017).

6. Conclusão

A AMC é uma metodologia que se mostrou eficiente mesmo sem a ponderação dos critérios, permitindo priorizar áreas para alocação de RL dentro de uma bacia hidrográfica. Os resultados apresentados indicam que podemos obter resultados distintos para cada bioma, uma vez que a realidade de cada um é diferente em decorrência do comportamento das variáveis em cada cenário. Ressalta-se a importância da avaliação antecipada dos fatores que influenciam no processo decisório, considerando sua espacialização e particularidades na área de estudo. Verificou-se também que as zonas de maior prioridade para alocação de RL possuem VN que ainda não foi averbada como RL, o

que possibilita a realização de compensação de RL nessas áreas. Ainda, foi possível observar a importância de a legislação permitir o uso de diferentes mecanismos de alocação de RL para regularização ambiental dos imóveis rurais, visto que há um mecanismo que se adequa melhor para cada cenário.

Como melhoria ao modelo, a utilização de pesos atribuídos por especialistas aos critérios que definem as áreas prioritárias para alocação de RL, contribuiria para minimizar a tendência da AMC à média e identificar os critérios menos relevantes, inclusive que poderiam ser desconsiderados no modelo, através do método de análise de sensibilidade. O cálculo do déficit de RL e excedente de vegetação nativa dos imóveis rurais localizadas na Bacia Hidrográfica do ALPA, possibilitaria acrescentar no modelo quais métodos seriam mais adequados para atingir o teto do déficit de RL, de acordo com cada classe de zoneamento e considerando o potencial de regeneração natural da paisagem. Ainda, com esses dados, seria possível mensurar os custos e benefícios da restauração, através dos serviços ecossistêmicos.

Por fim, este estudo pode facilitar a escolha pela população do local onde deve ser alocada a compensação da Reserva Legal, considerando os critérios apresentados pela LPVN, podendo também facilitar a percepção pública quanto à importância da compensação de Reserva Legal localmente, em busca de proteger áreas de maior fragilidade ambiental e que promovam a conectividade da paisagem, melhorando a qualidade de vida e o fornecimento de serviços ecossistêmicos.

Referências Bibliográficas

- AGUADO, A. G.; CANTANHEDE, M. A. **Lógica Fuzzy**. Faculdade de Tecnologia – Univerdade Estadual de Campinas (UNICAMP) – Limeira, SP. 2010. Disponível em: <https://docplayer.com.br/32988870-Logica-fuzzy-alexandre-garcia-aguado-marco-andre-cantanhede.html> . Acesso em: 20 agosto 2020.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 6.ed. São Paulo: Ícone. 355p. 2008.
- BERNASCONI, P., BLUMENTRATH, S., BARTON, D.N., RUSCH, G.M. & ROMEIRO, A.R. 2016. **Constraining Forest Certificate’s Market to Improve Cost-Effectiveness of Biodiversity Conservation in São Paulo State, Brazil**. Plos One 11(10): 1–18.
- BOROUSHAKI, S., MALCZEWSKI, J., 2008. Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 34(4), 399-410.
- PIMENTA, L. B. et al. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **Interações (Campo Grande)**, p. 407–420, 5 jul. 2019.
- BRANCALION, P. H. S. et al. A critical analysis of the Native Vegetation Protection Law of Brazil (2012): updates and ongoing initiatives. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. 1–15, abr. 2016.
- BRASIL, Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Approva o código florestal que com este baixa. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF. jan. 1934
- BRASIL, Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.
- BRASIL, Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF. set. 1965
- BRASIL, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF. ago. 1981.
- BRASIL, Medida Provisória nº 1.511-1, de 25 de julho de 1996.
- BRASIL, Medida Provisória nº 1.956-50, de 26 de maio de 2000.
- CAVALIERI, A. Erodibilidade do solo: avaliação por meio de propriedades físicas e químicas. Dissertação de Mestrado, UNICAMP. 1994.
- CBH-ALPA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - Alto Paranapanema. UGRHI-14. Piraju, SP. 2021.
- CORRÊA, E.A.; MORAES, I.C., PINTO, S.D.A.F. - Estimativa da erodibilidade e tolerância de perdas de solo na região do centro leste paulista. *Geociências*, vol. 34, n. 4, p. 848-860. 2015.
- CORRECHEL, V. Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “Fallout” do ¹³⁷Cs. Tese (Doutorado). Piracicaba, Universidade de São Paulo. 2003.

COSTA, D. R. DA. **Avaliação multicriterial na implantação de reservas legais**. Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 9 out. 2015.

CROUZEILLES, R., BEYER, H.L., MONTEIRO, L.M., FELTRAN-BARBIERI, R., PESSÔA, A.C.M., BARROS, F.S.M., LINDENMAYER, D.B., LINO, E.D.S.M., GRELLE, C.E.V., CHAZDON, R.L., MATSUMOTO, M., ROSA, M., LATAWIEC, A.E., STRASSBURG, B.B.N., 2020. Achieving cost-effective landscape-scale forest restoration through targeted natural regeneration. *Conserv. Lett.* 1–9.

DEMARCHI, J.C., ZIMBACK, C.R.L. - Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perdas de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. *Revista Energia na Agricultura*, vol. 29, n. 2, p. 102-114. 2014.

DROBNE, S.; LISEC, A. Multi-attribute decision analysis in gis: weighted linear combination and ordered weighted averaging. **Informatica**, v. 33, n. 4, p. 459-74, jan. 2009.

DE ALCÂNTARA LAUDARES, S. S.; GOMES DA SILVA, K.; COIMBRA BORGES, L. A. Cadastro Ambiental Rural: uma análise da nova ferramenta para regularização ambiental no Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 31, 29 ago. 2014.

EASTMAN, J.R. Decision support: decision strategy analysis. *Idrisi 32 release 2: guide to GIS and image processing*. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v 2, 22p.

FARINASSO, M. et al. Avaliação qualitativa do Potencial de Erosão Laminar em grandes áreas por meio da EUPS –Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba –PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006

FBDS. Mapeamento em Alta Resolução dos Biomas Brasileiros. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável**. 2013.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. Multiple criteria decision analysis: state of art surveys. *International series in operations research & management science*. New York: Springer **International Editions** – Verlag, 2005.

FOLLMANN, F.; FOLETO, E. 2020. Áreas prioritárias à conservação ambiental em Santa Maria, RS. p. 19.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, 16., 2013, Foz do Iguaçu-PR. Foz do Iguaçu, PR: INPE, 2013.

FREIRE, O. & PESSOTI, J.E.S. Erodibilidade dos solos do estado de São Paulo. *Anais da ESALQ*, vol. 31, p. 333-350. 1974.

FREITAS, F., SPAROVEK, G., MÖRTBERG, U., SILVEIRA, S., KLUG, I. & BERNDDES, G. 2017. Offsetting legal deficits of native vegetation among Brazilian landholders: Effects on nature protection and socioeconomic development. *Land Use Policy* 68: 189-199.

FREITAS, F. L. M.; GUIDOTTI, V.; SPAROVEK, G.; HAMAMURA, C. Nota técnica: Malha fundiária do Brasil, v.1812. In: Atlas - A Geografia da Agropecuária Brasileira, 2018.

FUNDAÇÃO SEADE. Portal de Estatísticas do Estado de São Paulo. 2019. Disponível: <www.seade.gov.br>. Acesso em novembro de 2021.

GENELETTI, D. An approach based on spatial multicriteria analysis to map the nature conservation value of agricultural land. **Journal of Environmental Management** **83**, 228-235, 2007.

GONTIJO, G. A. B. et al. Análise do atendimento ao Código Florestal e a regularização ambiental por unidades de bacias hidrográficas. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p. 1538–1550, 10 dez. 2019.

GRIBOV, A.; KRIVORUCHKO, K. Empirical Bayesian kriging implementation and usage. **Science of the Total Environment**, v. 722, p. 137290, 2020.

IPA. Instituto de Pesquisas Ambientais. Inventário Florestal 2020: Mapeamento da cobertura vegetal nativa do Estado de São Paulo. 2020.

KOHAGURA, T. Lógica Fuzzy e suas aplicações. 2007. 49 f. Monografia (Graduação em Ciência da Computação), Departamento de Computação da Universidade Estadual de Londrina, Londrina - PR, 2007.

KRIVORUCHKO, K.; GRIBOV, A. Evaluation of empirical Bayesian kriging. *Spatial Statistics*, v. 32, p. 100368, 2019.

LEÃO, L. R.; ALMEIDA, M. R. R. Compensação de Reserva Legal: flexibilização ou ganho ambiental? Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. CONGRESSO ABES 2017. Uberlândia, MG. 2017.

LEVY, M. C. T. C. Avaliação do cenário da produção agrícola, visando a suscetibilidade do uso das terras de Piracicaba (SP). Piracicaba: ESALQ/USP120p. Dissertação Mestrado, 1995.

MALCZEWSKI, J. A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 10, n. 8, p. 955-971, 1996.

MALCZEWSKI, J., 1999. GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons.

MALCZEWSKI, J., 2000. On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1), 5-22.

MALCZEWSKI, J., RINNER, C., 2015. Multicriteria decision analysis in geographic information science. Springer.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MAPBIOMAS. Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, acessado em janeiro de 2021 através do link: <http://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>

MEDEIROS, A. **Análise Multicritério em SIG**, 2013. Disponível em: <<http://www.clickgeo.com.br/analise-multicriterio-em-sig-1/>>. Acesso em: 20 jun. 2021

MELLO, K. DE et al. Multicriteria Evaluation for Protected Area Definition Aiming at Water Quality Improvement. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, 28 maio 2018.

MELLO, K. DE et al. Integrating ecological equivalence for native vegetation compensation: A methodological approach. **Land Use Policy**, v. 108, p. 105568, set. 2021.

MELLO, K. DE; FENDRICH, A. N.; SPAROVEK, G. ; SIMMONDS, J. S. ; MARON, M. ; TAVARES, P. A. ; BRITES, A. D. ; RODRIGUES, R. R. ; JOLY, C. A. ; METZGER, J. P. Achieving private conservation targets in Brazil through restoration and compensation schemes without impairing productive lands. *ENVIRONMENTAL SCIENCE & POLICY*, v. 120, p. 1-10, 2021.

METZGER, J.P., BUSTAMANTE, M.C.C., FERREIRA, J., FERNANDES, GW, LIBR'AN-EMBED, F., PILLAR, V.D., PRIST, P.R., RODRIGUES, R.R., VIEIRA, I.C.G., OVERBEC, O.E., 407 scientist signatories, 2019. Why Brazil needs its Legal Reserves. *Perspect. Ecol. Conserv.* v. 17, 91–103.

MOLIN PG, CHAZDON R, DE BARROS FERRAZ SF, BRANCALION PHS. A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration. *J Appl Ecol.* 2018.

MOLIN, P.G., GERGEL, S.E., SOARES-FILHO, B.S., FERRAZ, S.F.B., 2017. Spatial determinants of Atlantic Forest loss and recovery in Brazil. *Landsc. Ecol.* 32, 857–870.

Mingoti, R., Vettorazzi, C.A., 2011. Relative reduction in annual soil loss in micro watersheds due to the relief and forest cover. *Eng. Agric.* 31 (6), 1202–1211

PAULINO, E. T. A Mudança do Código Florestal brasileiro: em jogo a função social da propriedade. v. 7, n. 13, p. 26, 2012.

RAJÃO, R. et al. **Uma Breve História da Legislação Florestal Brasileira.** 1. ed. [s.l.] Editora Expressão Ltda, 2021.

RANIERI, V. E. L. **Reservas legais: critérios para localização e aspectos de gestão.** Doutorado em Hidráulica e Saneamento—São Carlos: Universidade de São Paulo, 30 jun. 2004.

Rezende, C.L., Scarano, F.R., Assad, E.D., Joly, C.A., Metzger, J.P., Strassburg, B.B.N., Tabarelli, M., Fonseca, G.A., Mittermeier, R.A., 2018. From hotspot to hopespot: an opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspect. Ecol. Conserv.* 16, 208–214.

REZENDE, J. H.; PIRES, J. S. R.; VENIZIANI JR, J. C. T. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA RESERVA LEGAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAÚ. **Holos Environment**, v. 11, n. 1, p. 16, 31 jan. 2011.

REZZADORI, T.; HARTMANN, M. T.; HARTMANN, P. A. Proximidade de rodovias pode influenciar a fragmentação florestal? Um estudo de caso no norte do Rio Grande do Sul. p. 8, 2016.

RODRIGUES, M. A. A. Proposta Metodológica para o Estabelecimento da Reserva Legal: Aplicação em uma Bacia Hidrográfica no Estado de Minas Gerais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Coordenação de Observação da Terra (OBT). São José dos Campos, SP. Julho de 2019.

ROSSI, M. Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. 1. ed. São Paulo: São Paulo (Estado), Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal, 2017.

SALOMÃO, C. DE S. C.; DE SOUZA PAULA, L. G.; ELMIRO, M. A. T. Use of multicriteria analysis to define priority areas for reforestation in the Piranga River Basin, MG, Brazil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 2, p. 95–120, 31 ago. 2020.

SARTORI, A. A. DA C.; SILVA, R. F. B. DA; ZIMBACK, C. R. L. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1079–1090, dez. 2012.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2005.

SAUER, S.; FRANÇA, F. C. DE. Código Florestal, função socioambiental da terra e soberania alimentar. **Caderno CRH**, v. 25, n. 65, p. 285–307, ago. 2012.

Schilling, K.E., Jacobson, P., 2014. Effectiveness of natural riparian buffers to reduce subsurface nutrient losses to incised streams. *Catena* 114, 140–148.

SILVA, A. M.; & ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. *Geociências (São Paulo)*, vol. 24, n. 1, p. 33-41. 2005.

SILVA, R. M.; BELDERRAIN, M. C. N. Considerações sobre métodos de decisão multicritério. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 11., 2005. Anais [...]. São José dos Campos: XI Encita, 2005. p. 1-7. Disponível em: <http://www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf> 2005.

SMA – Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE) DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2013. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/cpla/modelo-digital-de-elevacao-mde-do-estado-de-sao-paulo/>. Acesso em: 20 ago 2020.

SPAROVEK, G. et al. 2020. Áreas disponíveis para restauração e compensação de Reserva Legal no Estado de São Paulo. *Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal – LERF – ESALQ – USP*. p. 21, [s.d.].

SPAROVEK, G.; METZGER, J. P. W.; MELLO, K.; MOLIN, P. G.; RODRIGUES, R. R. Projeto Temático Fapesp: Código Florestal no Estado de São Paulo. 2018. Disponível em: <https://codigoflorestal.wixsite.com/tematico>. Acesso em: 15 maio 2019.

Tanaka, M.O., Souza, A.L.T., Moschini, L.E., Oliveira, A.K., 2016. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 216, 33–339.

Taniwaki, R.H., Cassiano, C.C., Filoso, S., Ferraz, S.F. de B., Camargo, P. B. de, Martinelli, L.A., 2017. Impacts of converting low-intensity pastureland to highintensity bioenergy cropland on the water quality of tropical streams in Brazil. *Sci. Total Environ.* 584–585, 339–347.

TAVARES, P.A. BRITES, A.D. SPAROVEK, G. GUIDOTTI, V. CERIGNONI, F. AGUIAR, D. METZGER, J.P.W. RODRIGUES, RICARDO. PINTO, L.F.G. MELLO, K. MOLIN, P. G. **Unfolding additional massive cutback effects of the Native Vegetation Protection Law on Legal Reserves, Brazil.** *Biota Neotropica*. 19(4): e20180658.

VALENTE, R. DE O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG.** Doutorado em Recursos Florestais—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 22 mar. 2005.

VALENTE, R. A. et al. A multicriteria evaluation approach to set forest restoration priorities based on water ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, v. 285, p. 112049, maio 2021.

VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A. Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. **Ecological Engineering**, v. 94, p. 255–267, set. 2016.

ZAKIA, M. J.; PINTO, L. F. G. **Guia para aplicação da nova lei em propriedades rurais**. Piracicaba, SP: Imaflora, 2013.

APENDICE A - FATOR K POR ASSOCIAÇÃO DE TIPOS DE SOLO

Unidade	Associação	Subordem	DESCRIÇÃO	Fator K
CX9	CX+PVA	Cambissolos Háplicos	CX9 - Associação de CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico/Eutrófico, típico ou latossólico text. argilosa e média, A moderado e proeminente + ARGISSOLO AMARELO/VERMELHO-AMARELO Distrófico textura média/argilosa e argilosa, não rochoso e rochoso, ambos	0,03994
GX11	GX/GM	Gleissolos Háplicos	GX11 - GLEISSOLO HÁPLICO ou MELÂNICO Eutrófico ou Distrófico textura argilosa, fase relevo plano	0,044628
LA6	LA/LV	Latossolos Amarelos	LA6 - LATOSSOLO AMARELO/VERMELHO-AMARELO, Distrófico típico, A moderado, textura média, álicos ou não álicos, fase relevo ondulado	0,03868
LA11	LA+RQ	Latossolos Amarelos	LA11 - Associação de LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura média + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico distrófico, A moderado, fase relevo ondulado	0,06464
LB3	LB+RL+AF	Latossolos Brunos	LB3 - Associação de LATOSSOLO BRUNO + NEOSSOLO LITÓLICO ambos Eutróficos, textura argilosa, A moderado e chernozêmico, fase rel. montanhoso + Afloramento de Rocha	0,01804
LV1	LV	Latossolos Vermelhos	LV1 - LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, A moderado ou chernozêmico, textura argilosa ou muito argilosa, fase relevo suave ondulado, fase relevo suave ondulado	0,0131
LV11	LV	Latossolos Vermelhos	LV11 - LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, A moderado ou proeminente, textura argilosa ou muito argilosa, fase relevo suave ondulado	0,016148
LV20	LV	Latossolos Vermelhos	LV20 - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa, álico, relevo suave ondulado	0,0223
LV21	LV	Latossolos Vermelhos	LV21 - LATOSSOLO VERMELHO ou VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado ou fraco textura média álico ou não álico, fase relevo suave ondulado	0,0337
LV16	LV+LV	Latossolos Vermelhos	LV16 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO Distro/Eutroférico típico, A moderado ou proeminente + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, álico, ambos textura argilosa ou muito argilosa, fase relevo ondulado e suave ondulado	0,00282
LV18	LV+LV	Latossolos Vermelhos	LV18 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, A moderado ou proeminente, textura argilosa ou muito argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A húmico textura argilosa, ambos fase relevo ondulado e suave ondulado	0,0302
LV23	LV+LV	Latossolos Vermelhos	LV23 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura média, álico + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, álico, ambos fase relevo ondulado e suave ondulado	0,0282
LVA1	LVA	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA1 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado ou proeminente textura argilosa ou média, álico, fase relevo suave ondulado e ondulado	0,0342

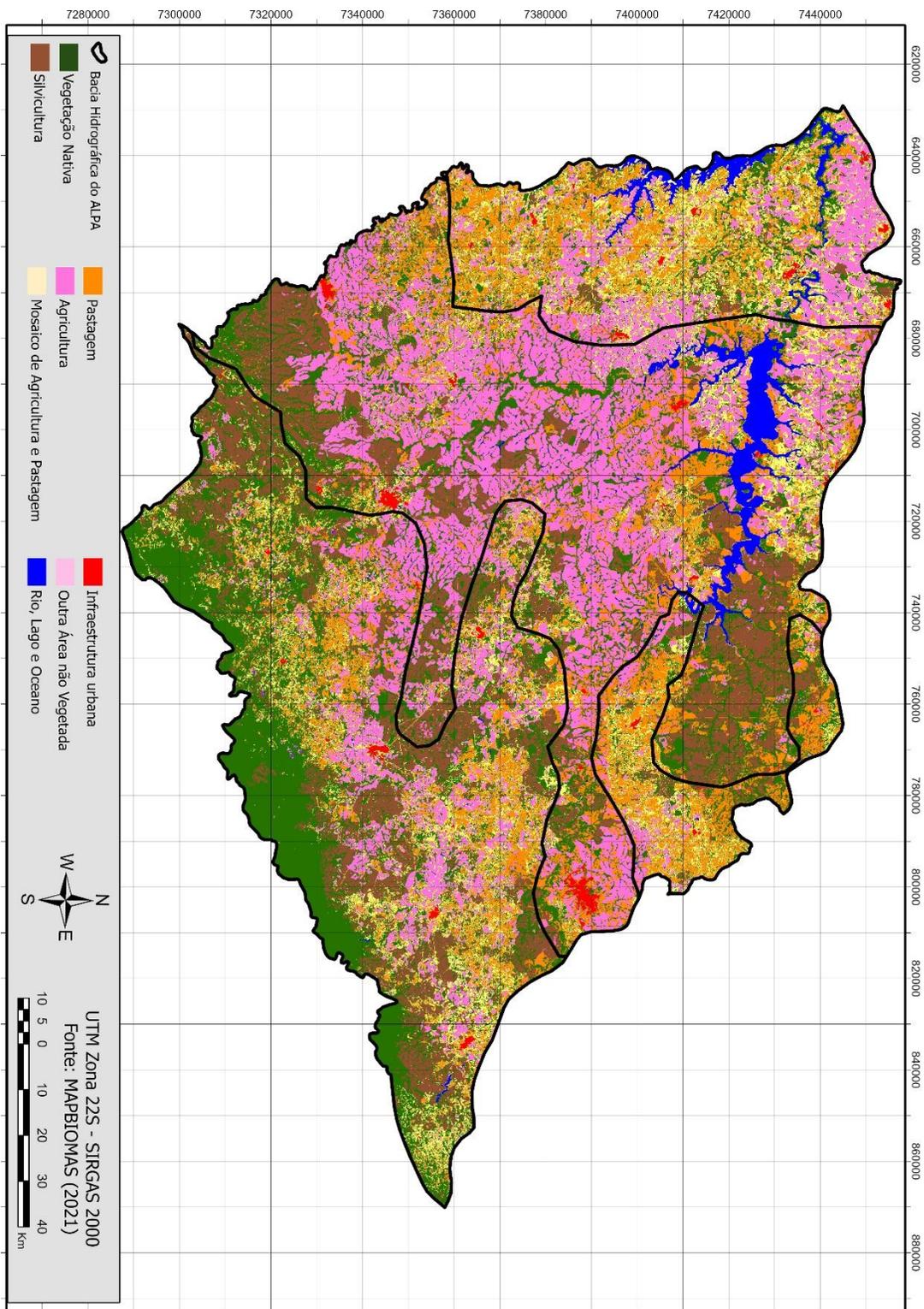
Unidade	Associação	Subordem	DESCRIÇÃO	Fator K
LVA2	LVA	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA2 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A proeminente ou húmico, textura muito argilosa ou argilosa, álico, fase relevo forte ondulado	0,0112
LVA6	LVA	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA6 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/VERMELHO, Distróficos típicos, A moderado ou fraco, textura média, álico ou não álico, fase relevo suave ondulado e ondulado	0,0332
LVA20	LVA/LV	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA20 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, fase relevo ondulado e forte ondulado	0,00916
LVA10	LVA+CX	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA10 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/VERMELHO Distrófico típico A moderado textura média ou argilosa, álico + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico, textura média ou argilosa, pedregoso ou não, ambos fase relevo forte ondulado e ondulado	0,02818
LVA11	LVA+CX+GX	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA11 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico cambissólico, A moderado ou proeminente textura indiscriminada, álico + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico, textura indiscriminada, bem a imperfeitamente drenado + GLEISSOLO HÁPLICO/MELÂN	0,01902
LVA13	LVA+LV	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA13 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico ou cambissólico pouco profundo, A moderado textura média e argilosa + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico ou cambissólico pouco profundo, A moderado textura argilosa, ambos fase	0,025
LVA14	LVA+LV	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA14 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico pouco profundo, A moderado textura argilosa + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, ambos fase relevo ondulado e forte ondulado	0,01468
LVA15	LVA+LV+CX	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA15 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado textura argilosa + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico pouco profundo, A moderado, textura argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico, A moderado textura muito argil	0,01594
LVA9	LVA+PVA	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA9 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado textura argilosa com cascalho, álico + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado textura média ou argilosa, ambos fase relevo ondulado	0,0228
LVA7	LVA+RQ	Latossolos Vermelho-Amarelos	LVA7 - Associação de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/VERMELHO Distrófico típico, A moderado textura argilosa ou média, álico + NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, ambos fase relevo suave ondulado e ondulado	0,03639
NV1	NV	Nitossolos Vermelhos	NV1 - NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, A chernozêmico textura argilosa a muito argilosa, fase relevo suave ondulado e ondulado	0,0081
NV2	NV	Nitossolos Vermelhos	NV2 - NITOSSOLO VERMELHO Distro/Eutroférico típico, A moderado, textura argilosa ou muito argilosa, fase relevo ondulado	0,0259
NV5	NV+LV	Nitossolos Vermelhos	NV5 - Associação de NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico/Distroférico, A moderado textura argilosa a muito argilosa + LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, A moderado ou chernozêmico, textura argilosa ou muito argilosa, ambos fase relevo ondulado e	0,02682

Unidade	Associação	Subordem	DESCRIÇÃO	Fator K
NV12	NV+PVA	Nitossolos Vermelhos	NV12 - Associação de NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura muito argilosa + ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura argilosa, ambos A moderado, fase relevo ondulado	0,02634
NV16	NV+PVA+ RL	Nitossolos Vermelhos	NV16 - Associação de NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico, A chernozêmico, textura argilosa ou muito argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico/Distrófico, A moderado textura argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A chernozêmico	0,028011
OX1	OX	Organossolos Háplicos	OX1 - ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico típico, fase relevo plano	0,061
PVA33	PVA+CX+ RL	Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA33 - Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado ou proeminente, textura média/argilosa, pouco profundo + CAMBISSOLO HÁPLICO A moderado textura argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico, textura média subst	0,044474
RL1	RL	Neossolos Litólicos	RL1 - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, A moderado ou chernozêmico, textura argilosa ou muito argilosa, fase substrato basalto/diabásio, relevo regional ondulado localmente escarpado	0,0179
RL3	RL	Neossolos Litólicos	RL3 - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A moderado ou proeminente, textura média, fase substrato sedimentos do Grupo Passa Dois, relevo ondulado	0,04793
RL4	RL	Neossolos Litólicos	RL4 - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A moderado ou chernozêmico, textura média, fase substrato sedimentos das Formações Botucatu e Pirambóia, relevo regional ondulado localmente escarpado	0,0553
RL21	RL+AF	Neossolos Litólicos	RL21 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico textura arenosa e média, fase substrato Formações Itararé e Furnas, relevo escarpado + Afloramento Rochoso	0,044
RL22	RL+AF	Neossolos Litólicos	RL22 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico textura média com cascalho, fase substrato metassedimentos, relevo forte ondulado e montanhoso + Afloramento Rochoso	0,0349
RL23	RL+AF	Neossolos Litólicos	RL23 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico textura média ou argilosa, com ou sem cascalho, fase substrato granitóides, relevo montanhoso e escarpado + Afloramento Rochoso	0,0179
RL20	RL+CX	Neossolos Litólicos	RL20 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A moderado, textura média, substrato metassedimentos + CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico A moderado textura média, ambos fase relevo forte ondulado e montanhoso	0,03656
RL24	RL+CX	Neossolos Litólicos	RL24 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A moderado, textura arenosa e média, substrato Formações Itararé e Furnas + CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico A moderado textura média, ambos fase relevo forte ondulado	0,04016
RL26	RL+CX	Neossolos Litólicos	RL26 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico A moderado, textura média ou argilosa, substrato granitóides + CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico A moderado textura média ou argilosa, ambos fase relevo forte ondulado	0,0328
RL25	RL+GM	Neossolos Litólicos	RL25 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico textura média e arenosa, fase substrato Formações Itararé e Furnas, relevo ondulado + GLEISSOLO MELÂNICO (Ta ou Tb) Distrófico típico ou organossólico textura indiscriminada	0,03732

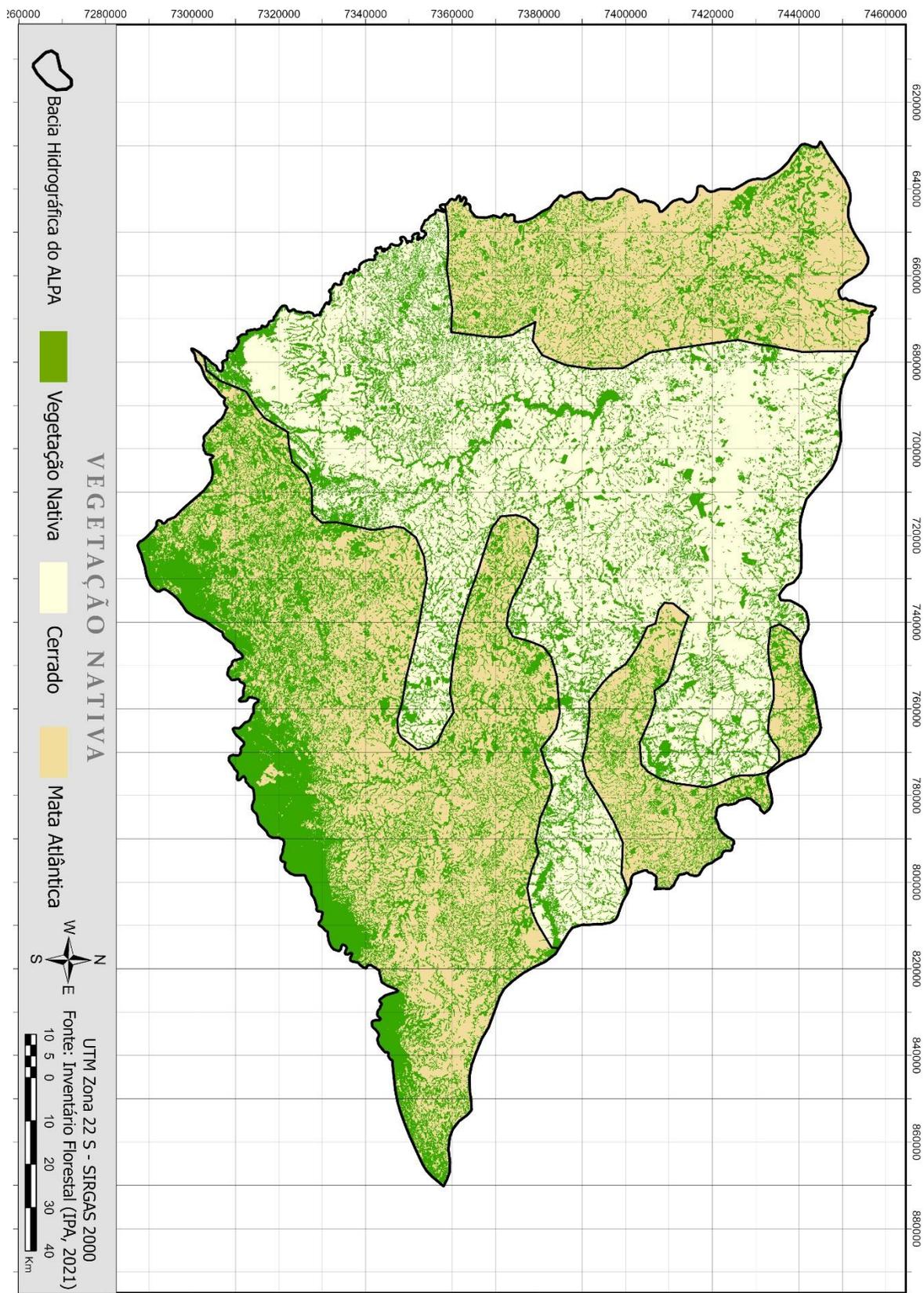
Unidade	Associação	Subordem	DESCRIÇÃO	Fator K
RL11	RL+Nv	Neossolos Litólicos	RL11 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A moderado ou chernozêmico, textura argilosa, substrato basalto ou diabásio + NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico/Distroférico, A moderado textura argilosa a muito argilosa, ambos fase rel	0,028
RL13	RL+PVA	Neossolos Litólicos	RL13 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico, A moderado, proeminente ou chernozêmico, textura média + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico/Distrófico abrupto, A moderado ou proeminente, textura arenosa/argilosa ou média/argil	0,04072
RL9	RL+RL	Neossolos Litólicos	RL9 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A moderado, textura arenosa ou média, substrato arenito Botucatu-Pirambóia + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A moderado ou chernozêmico, textura argilosa, substrato basalto ou d	0,050664
RL10	RL+RL	Neossolos Litólicos	RL10 - Associação de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A moderado ou chernozêmico, textura argilosa, substrato basalto ou diabásio + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico/Distrófico A moderado, textura arenosa ou média, substrato arenito Botucatu-P	0,048346
RQ3	RQ+LVA/LV	Neossolos Quartzarênicos	RQ3 - Associação de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado, álico + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura média, ambos fase relevo ondulado e suave ondulado	0,032918

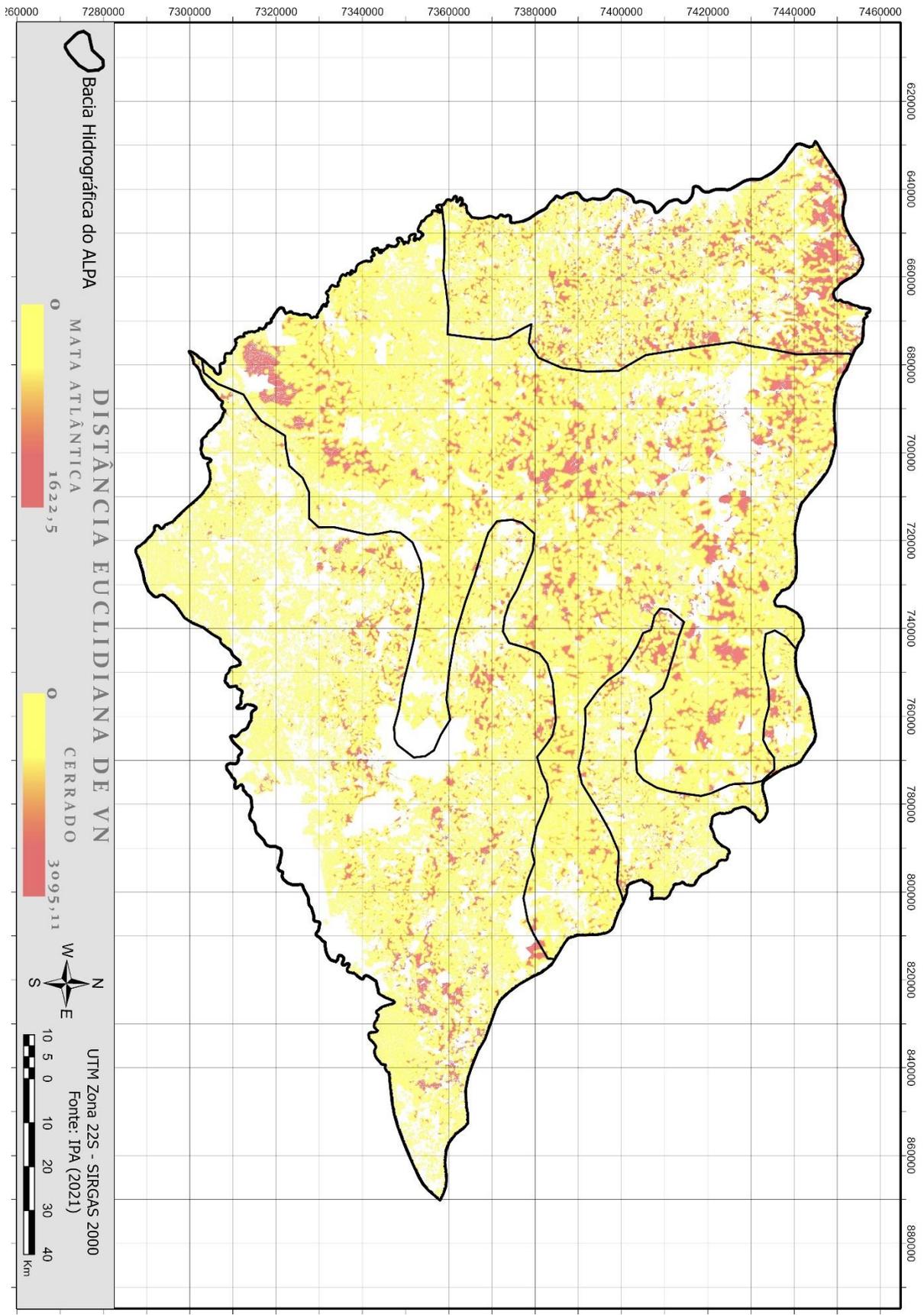
APENDICE B – MAPA E HISTOGRAMA DO USO E COBERTURA DA TERRA E DOS CRITÉRIOS

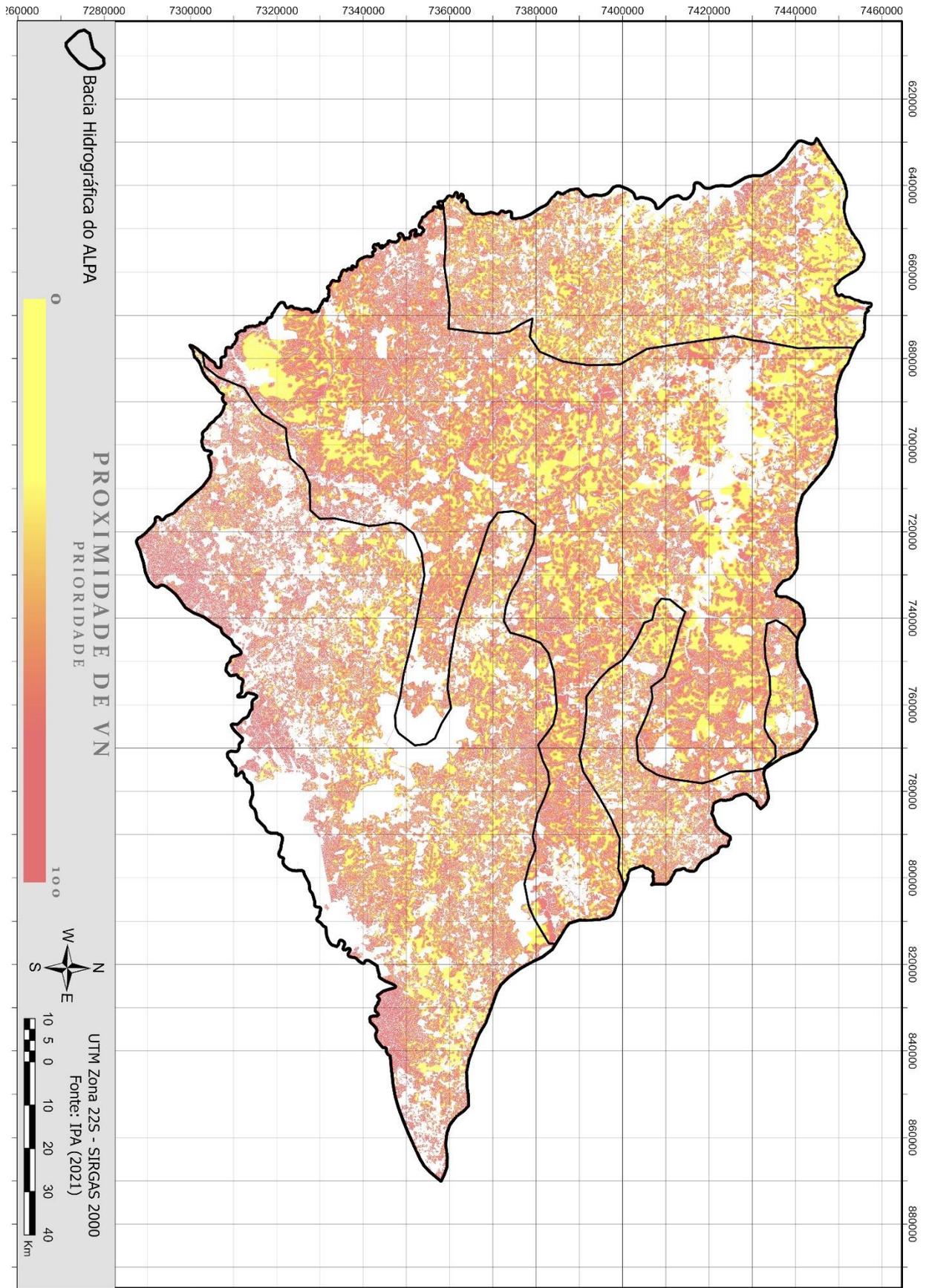
1. Uso e Cobertura da Terra - MAPBIOMAS



2. PROXVN

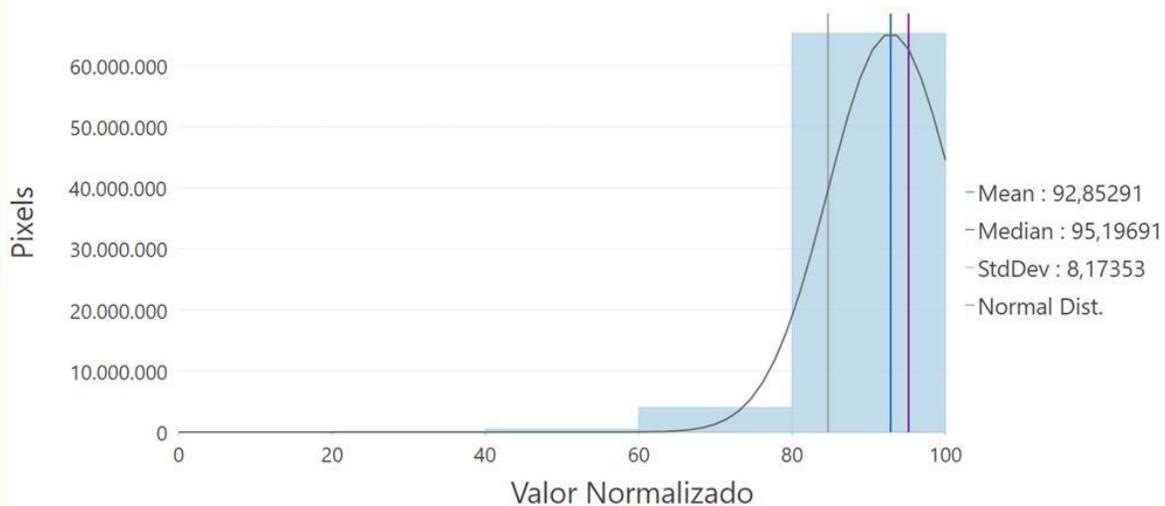




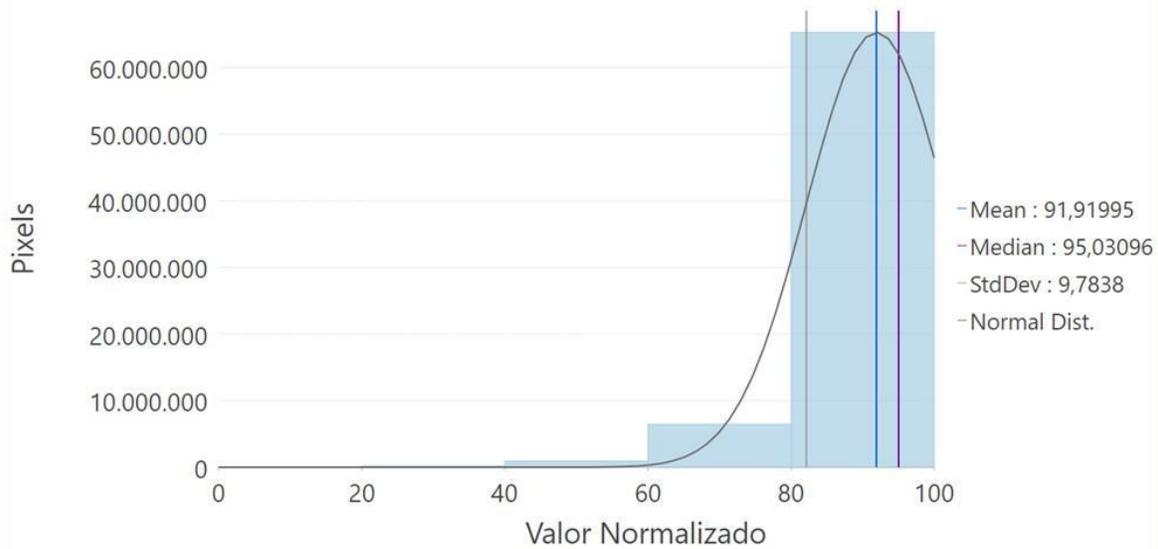


PROXVN

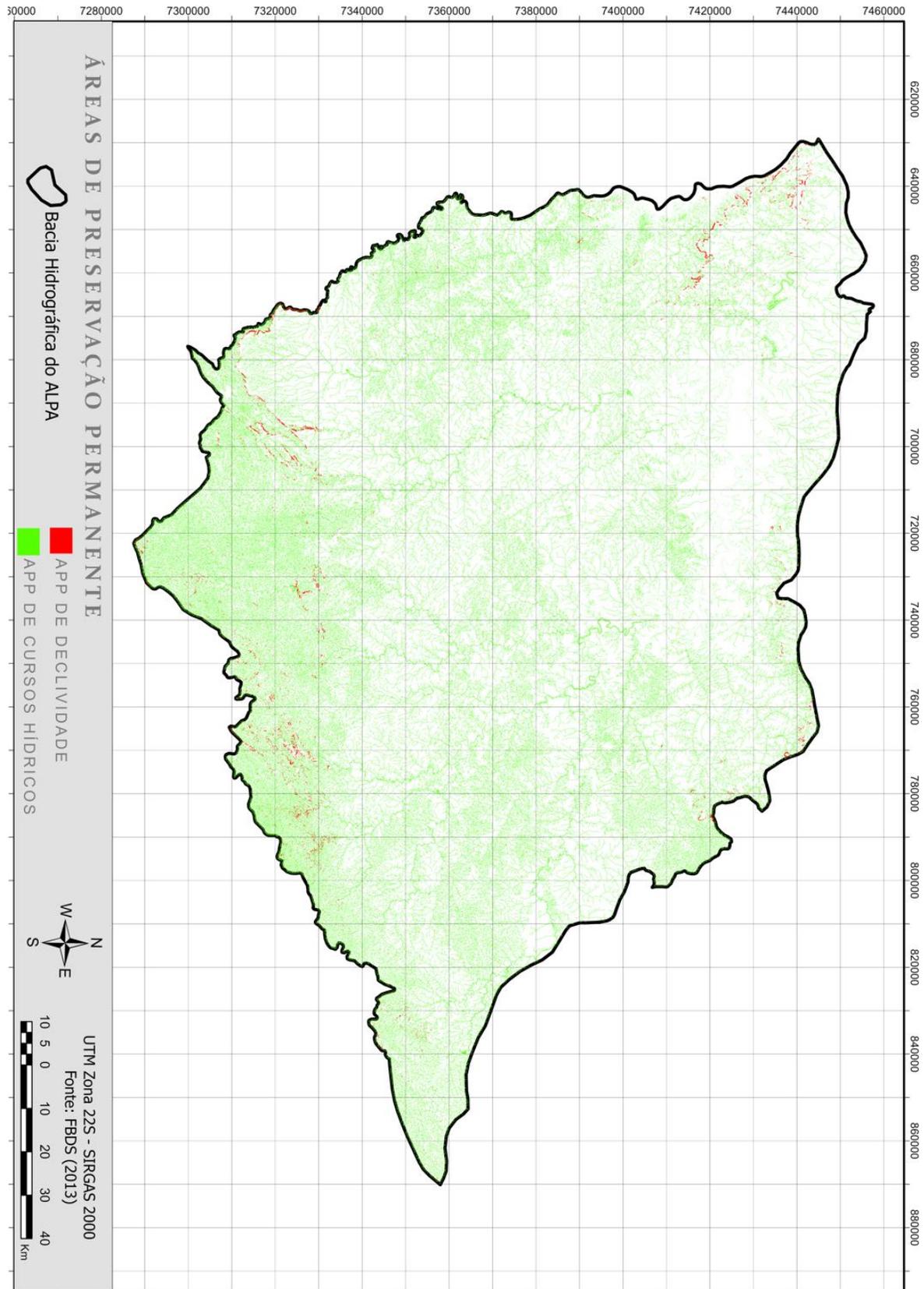
Cerrado

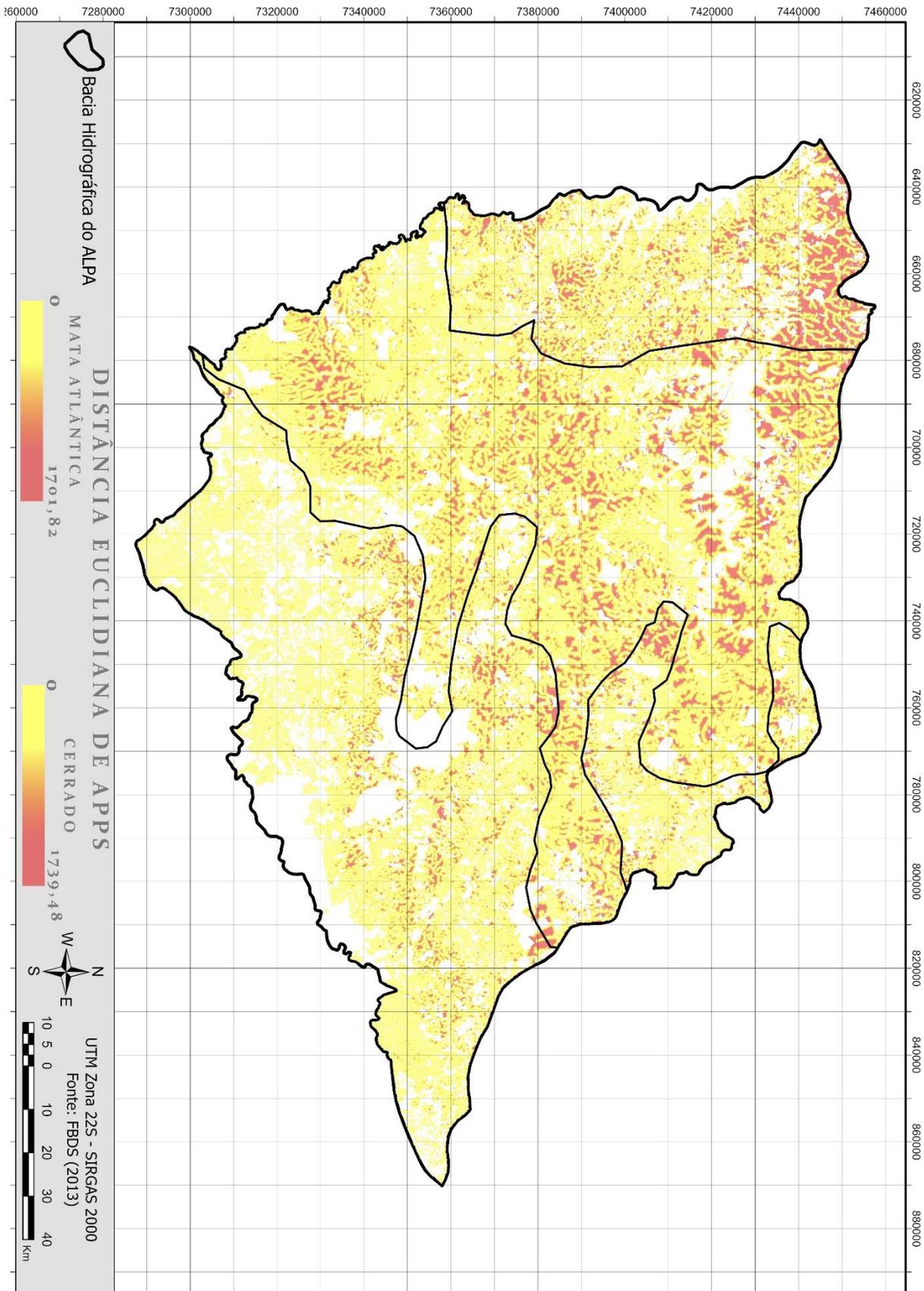


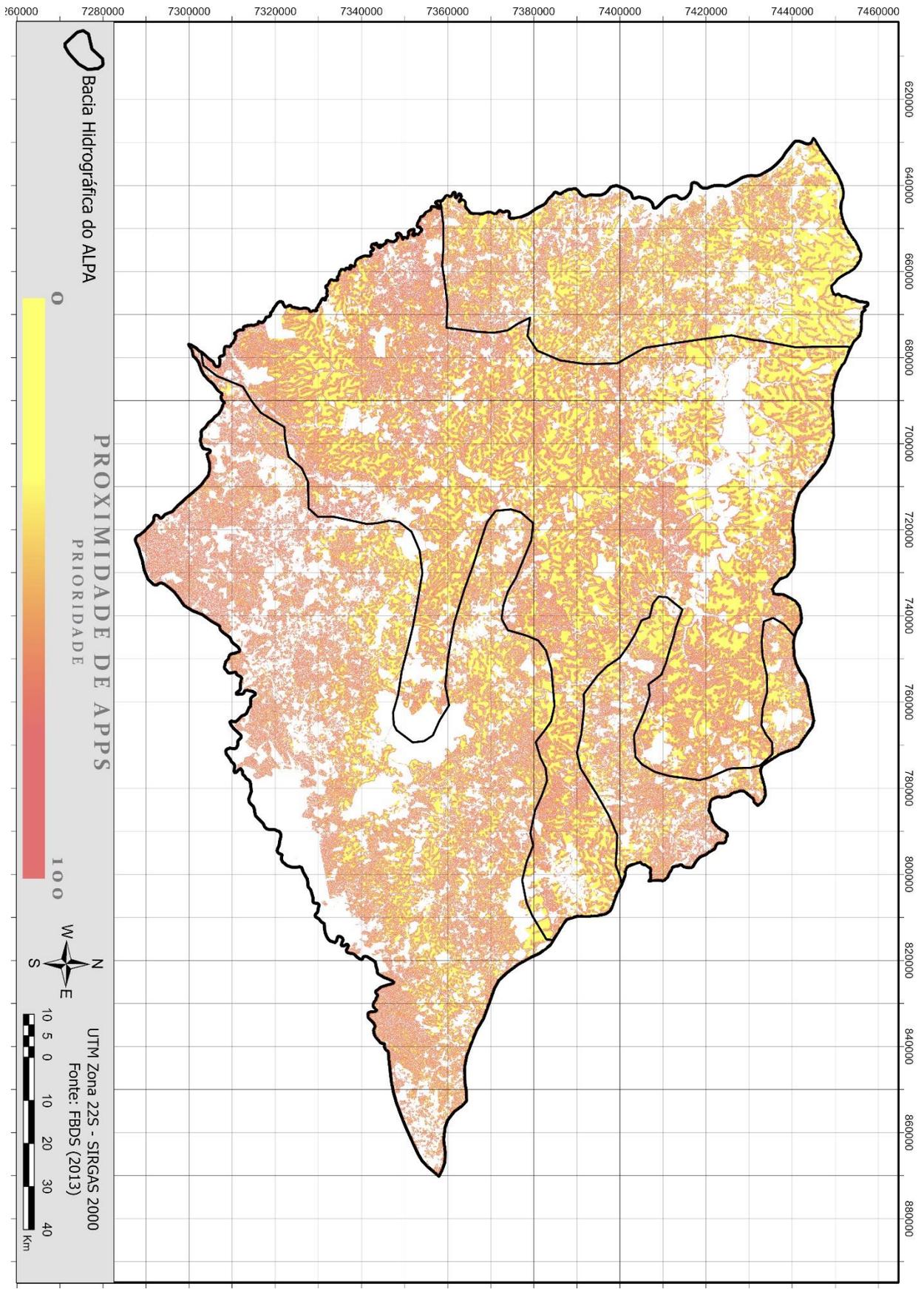
Mata Atlântica



3. PROXAPP

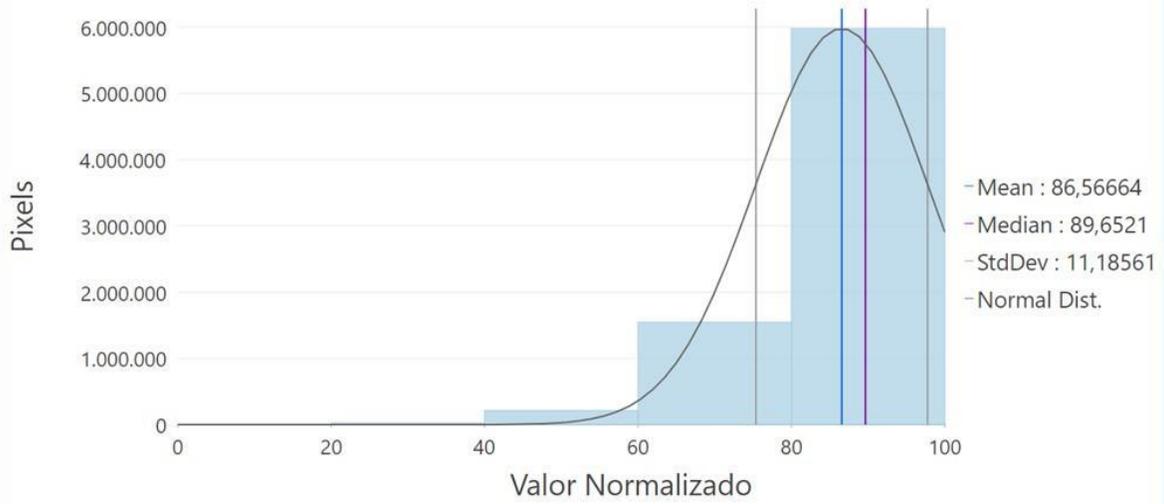




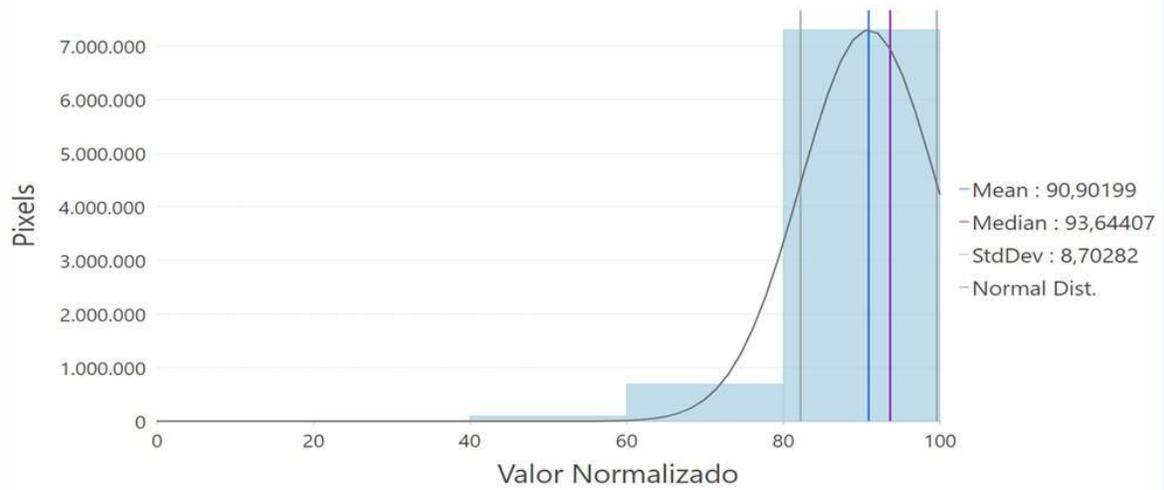


PROXAPP

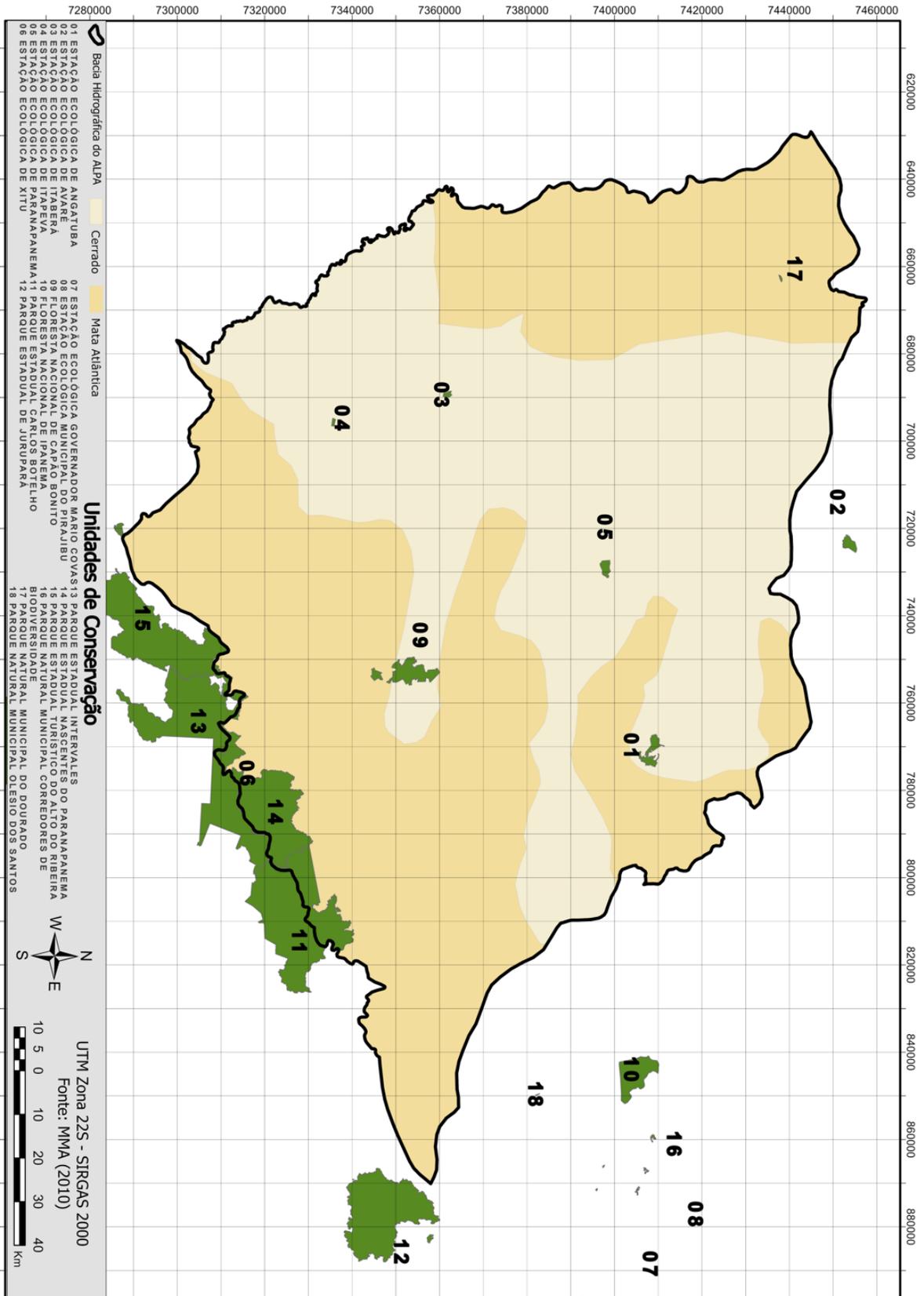
Cerrado

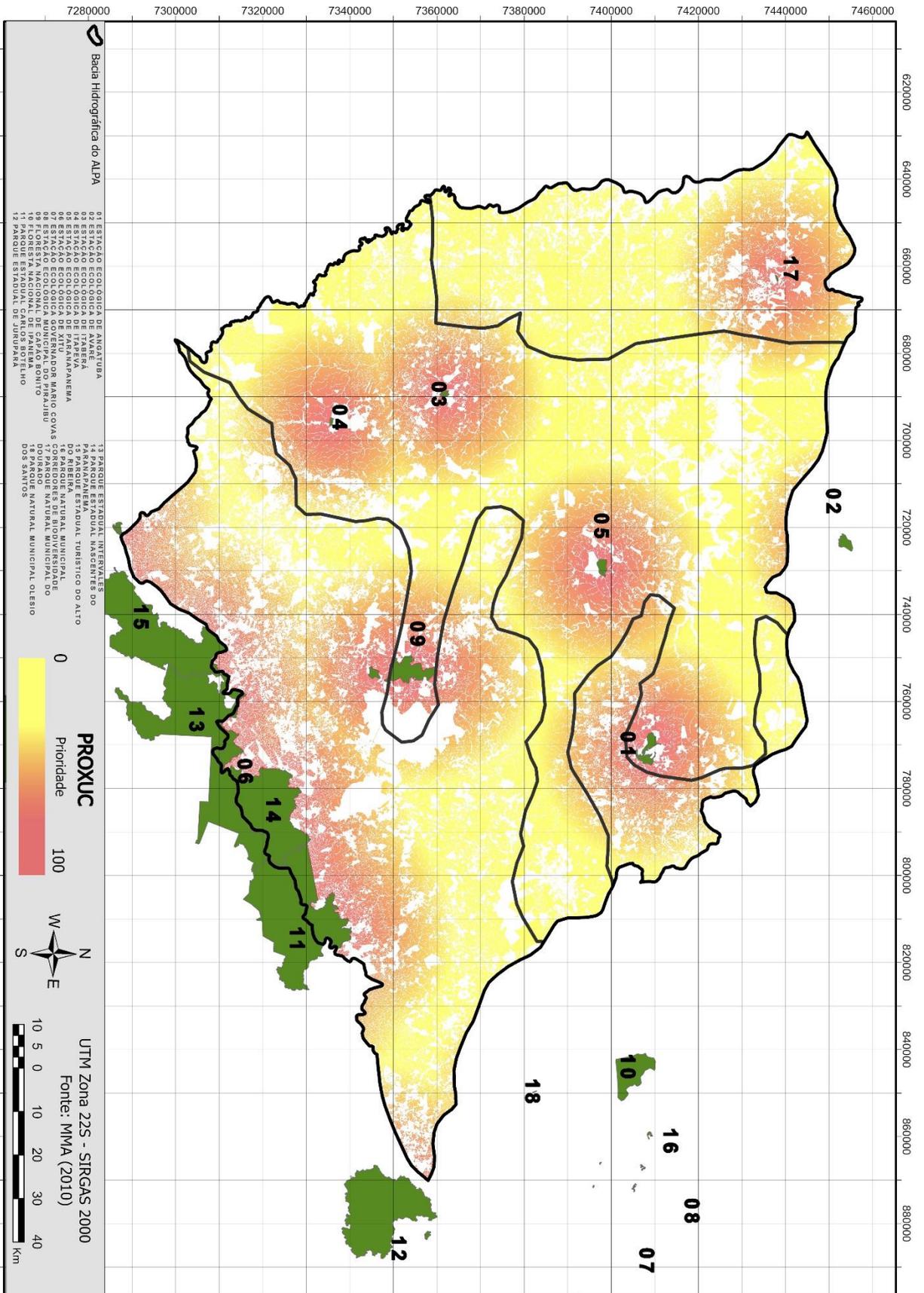


Mata Atlântica



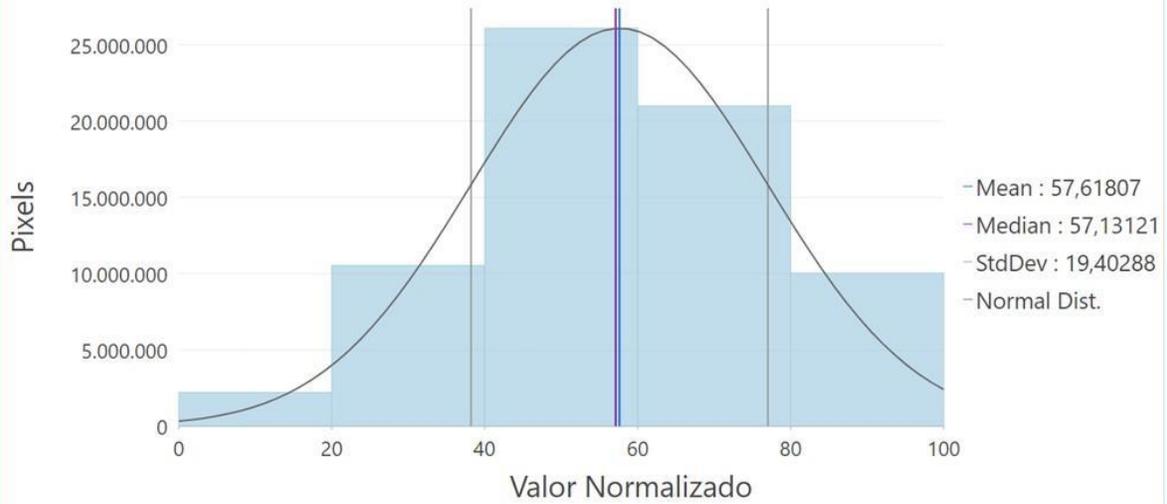
4. PROXUC



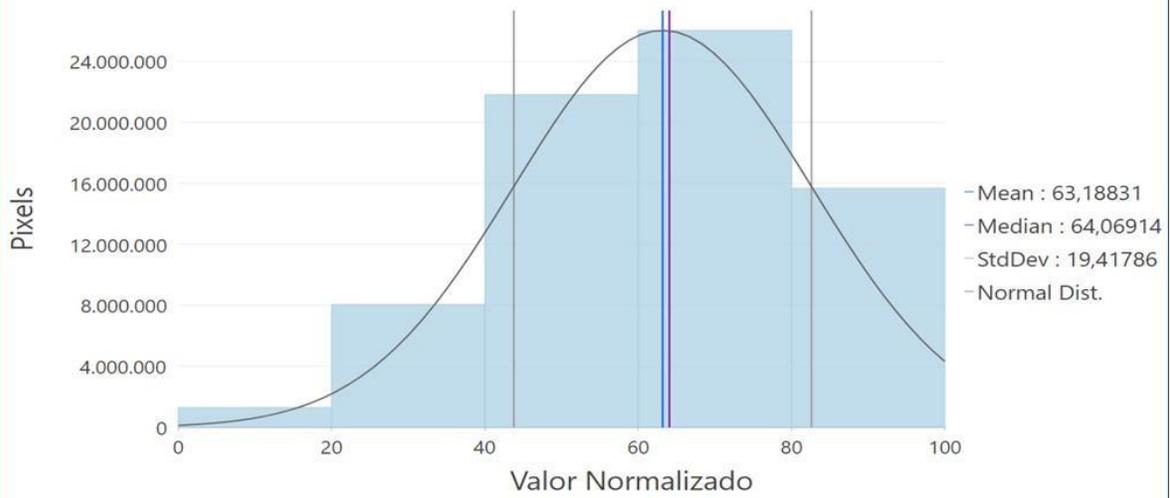


PROXUC

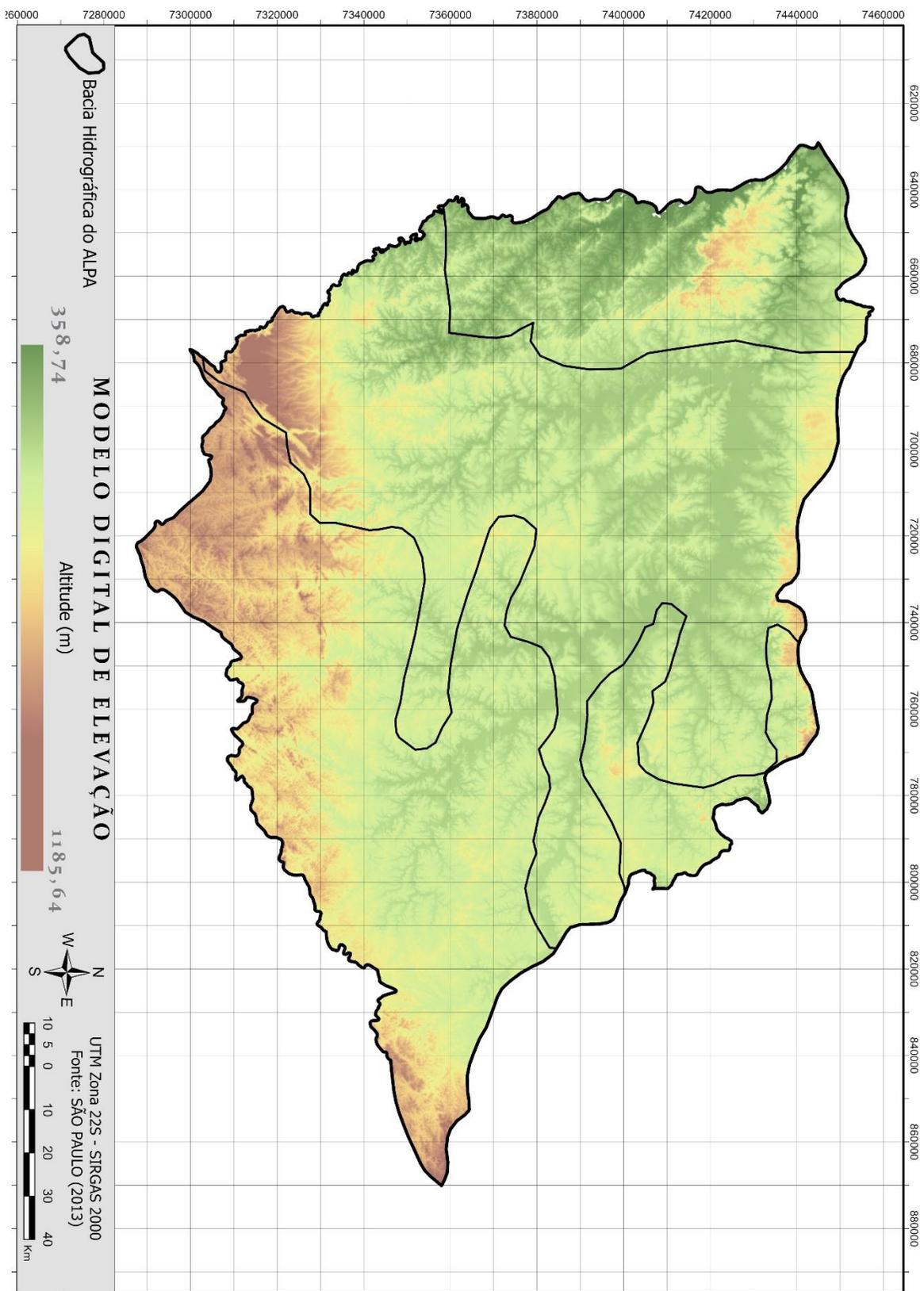
Cerrado

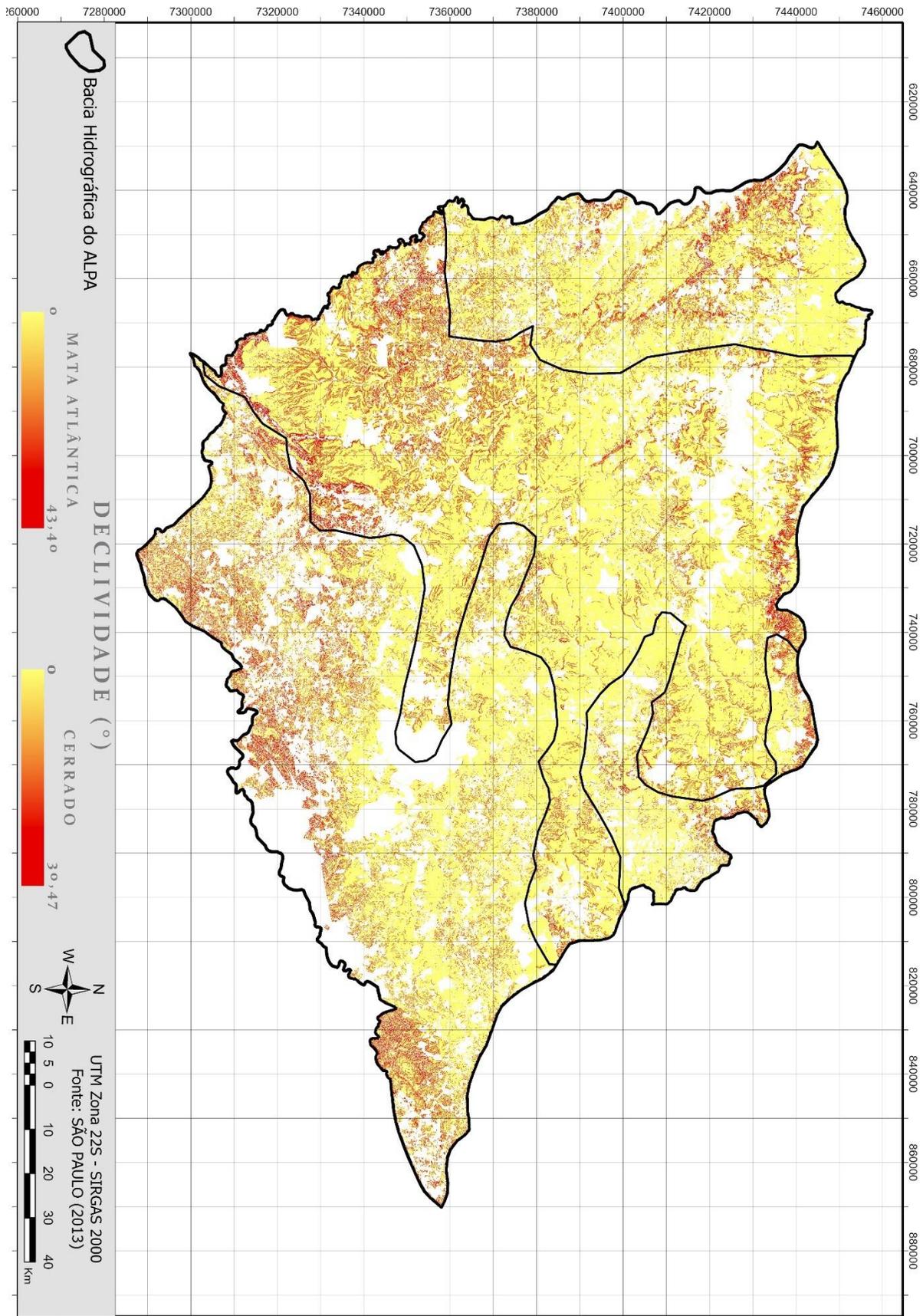


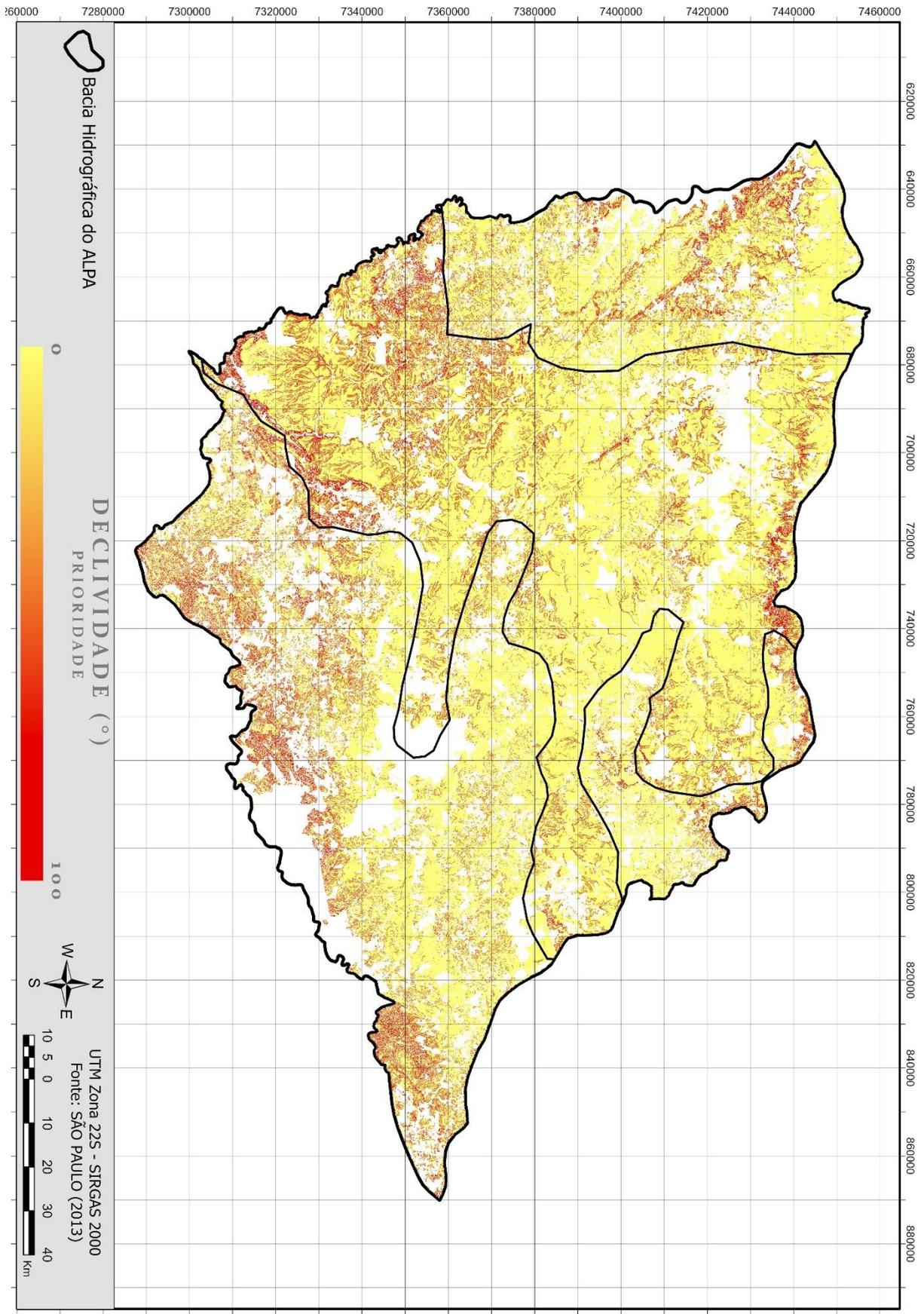
Mata Atlântica



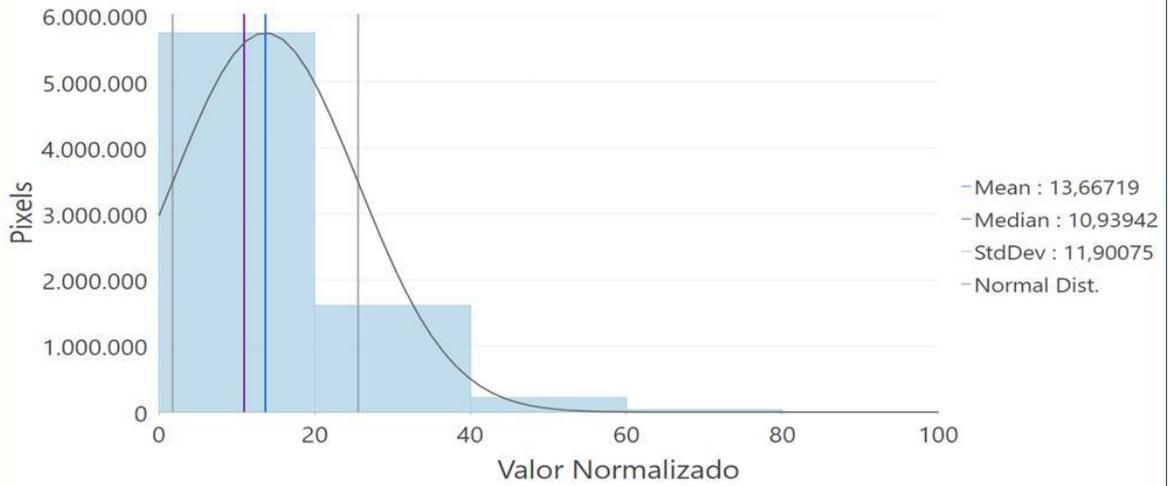
5. DEC



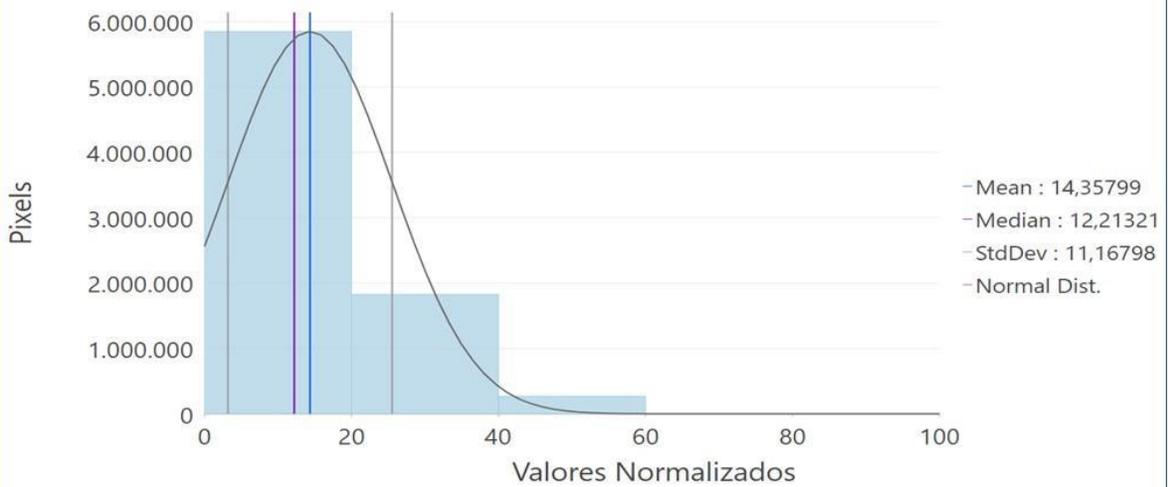




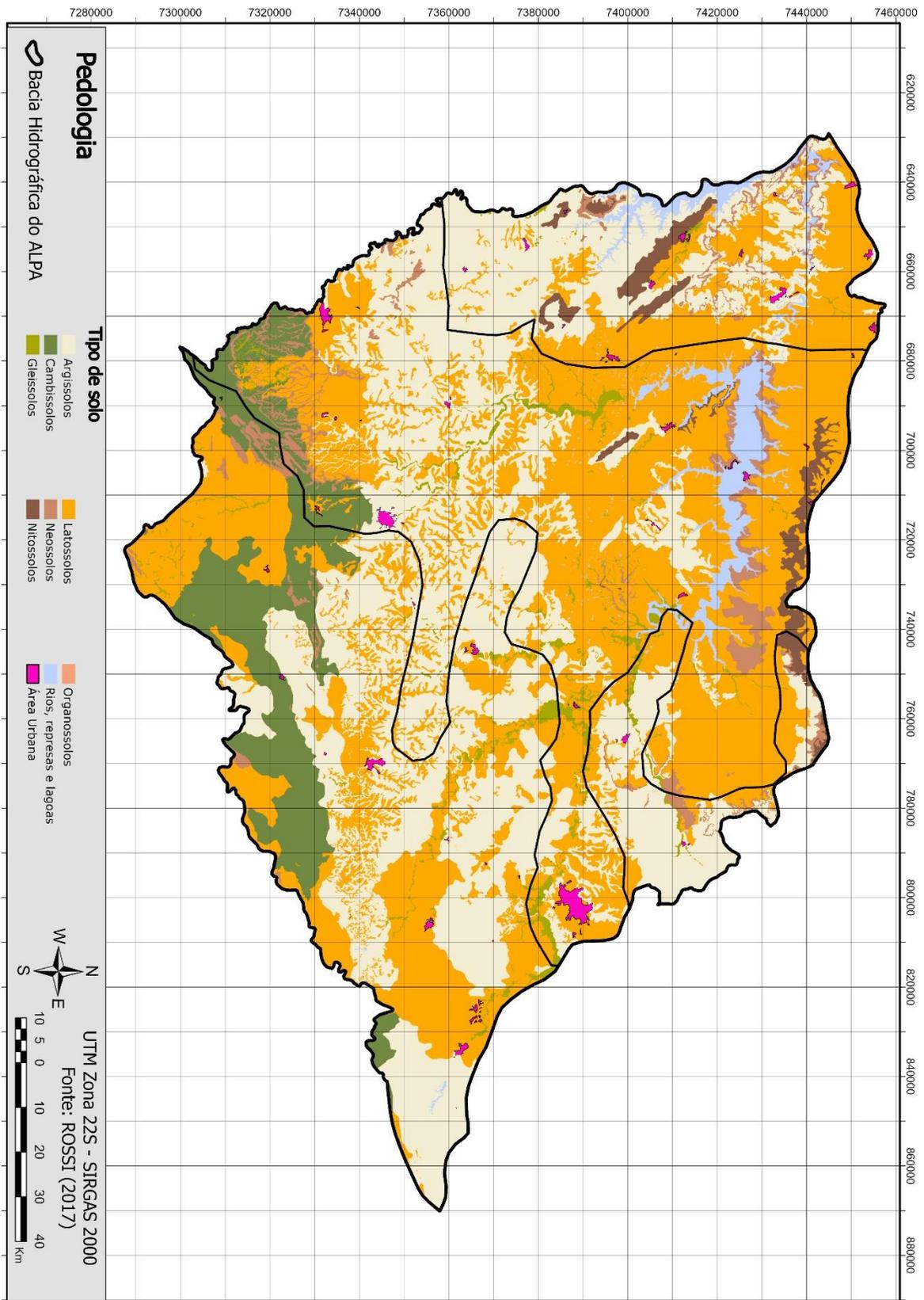
DEC Cerrado

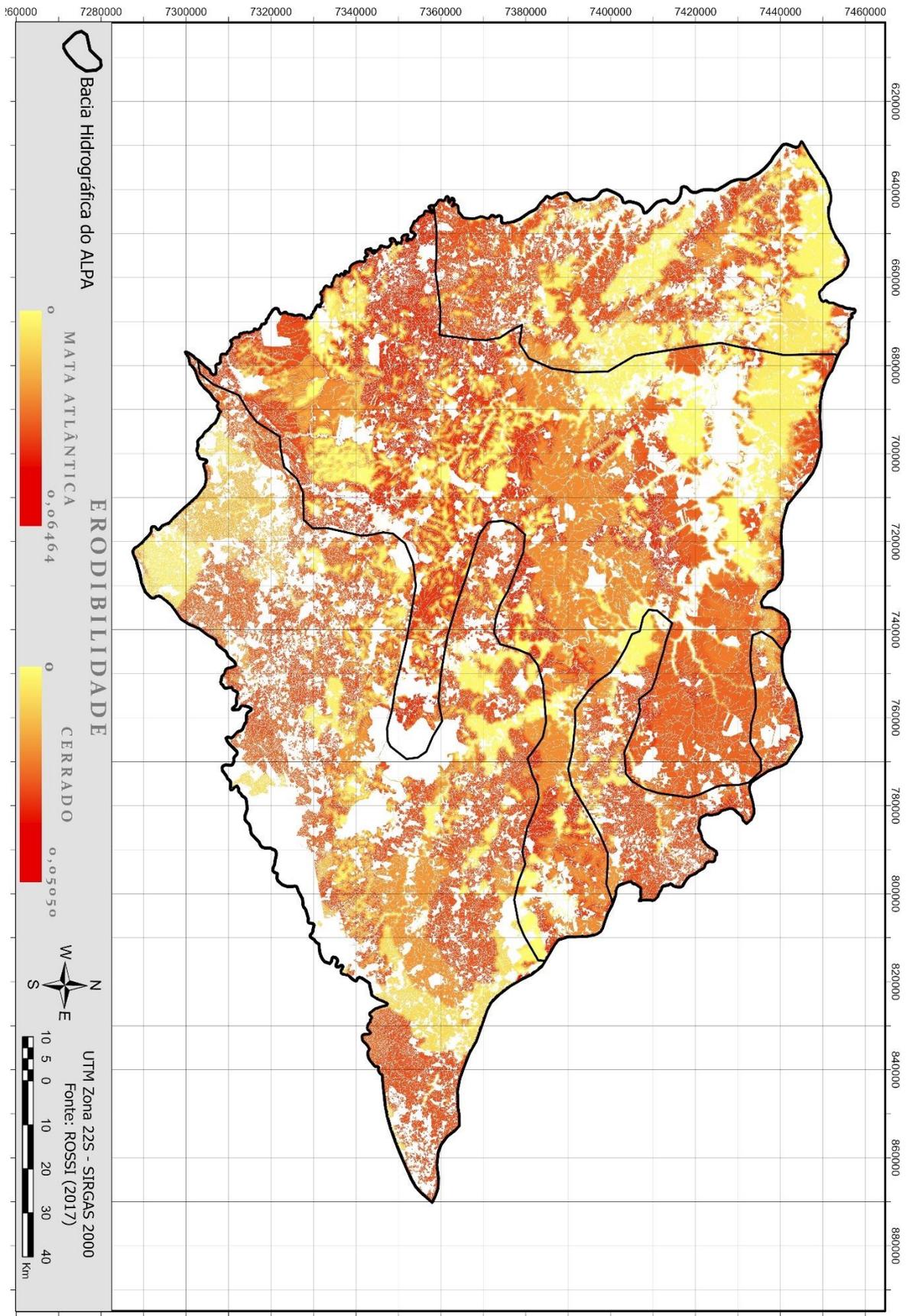


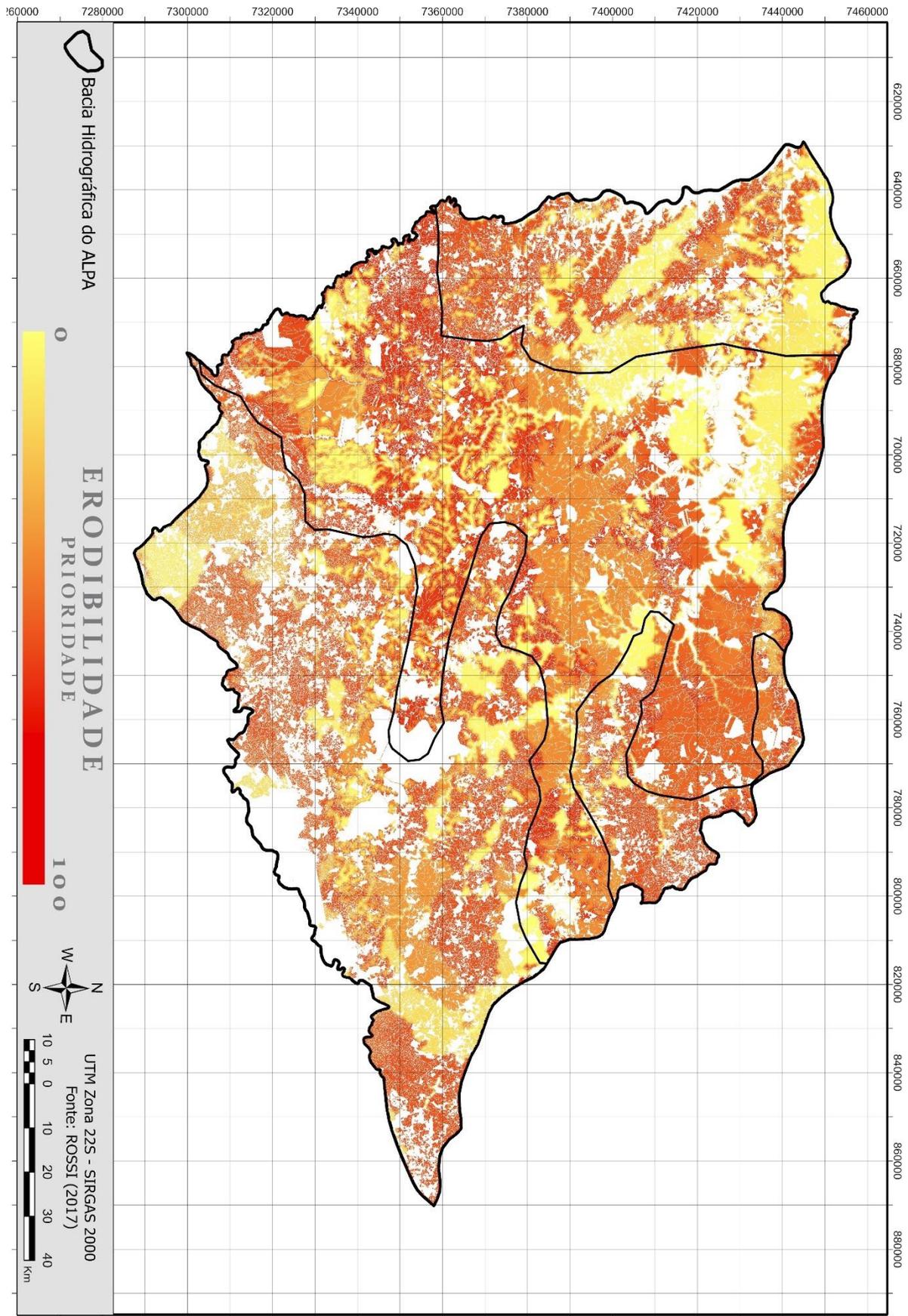
Mata Atlântica



6. ERO

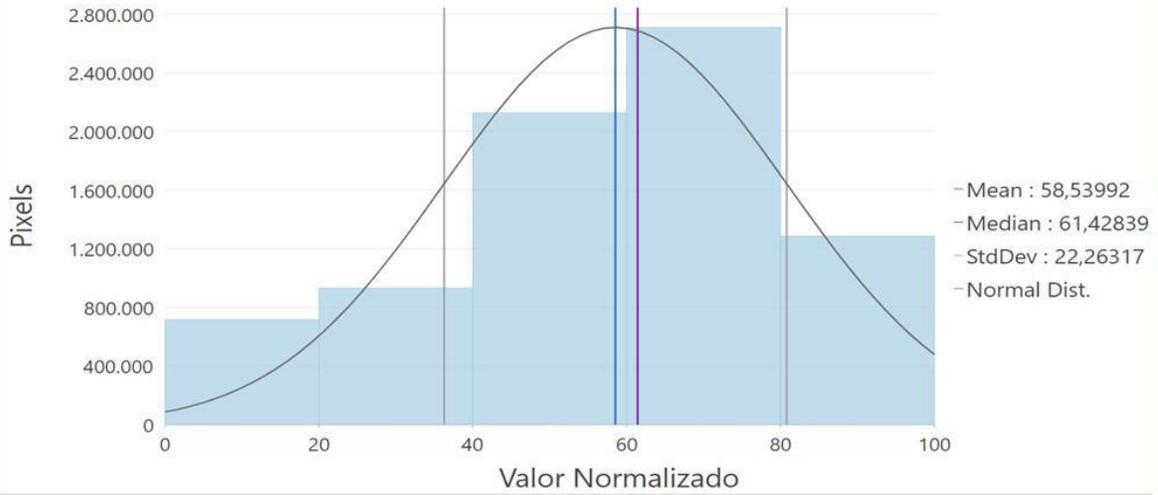




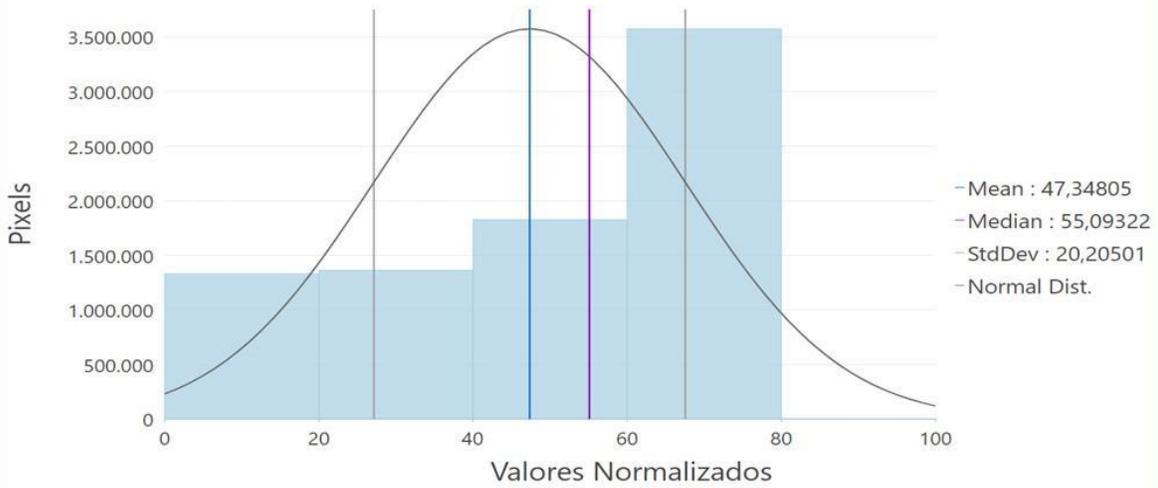


ERO

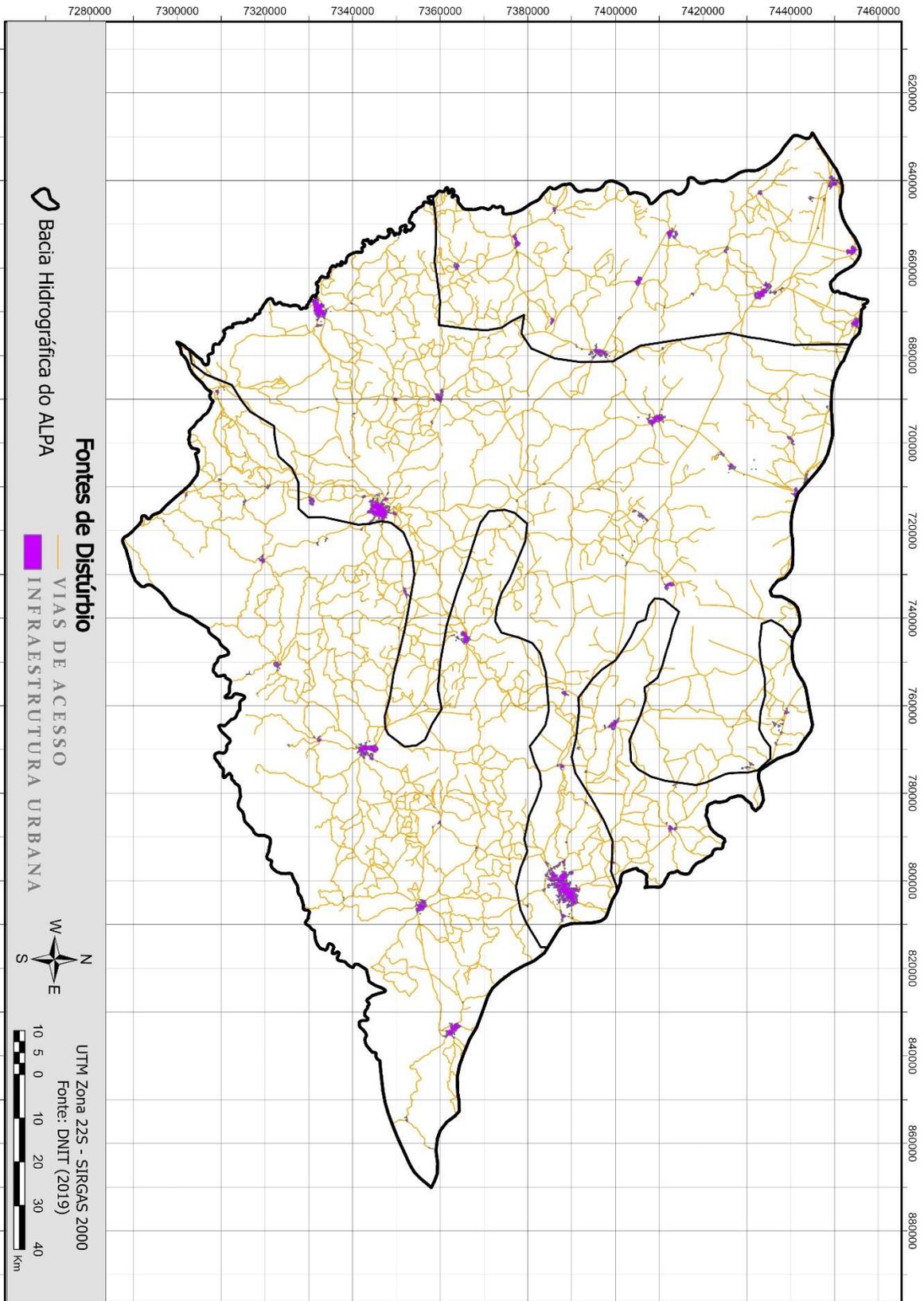
Cerrado

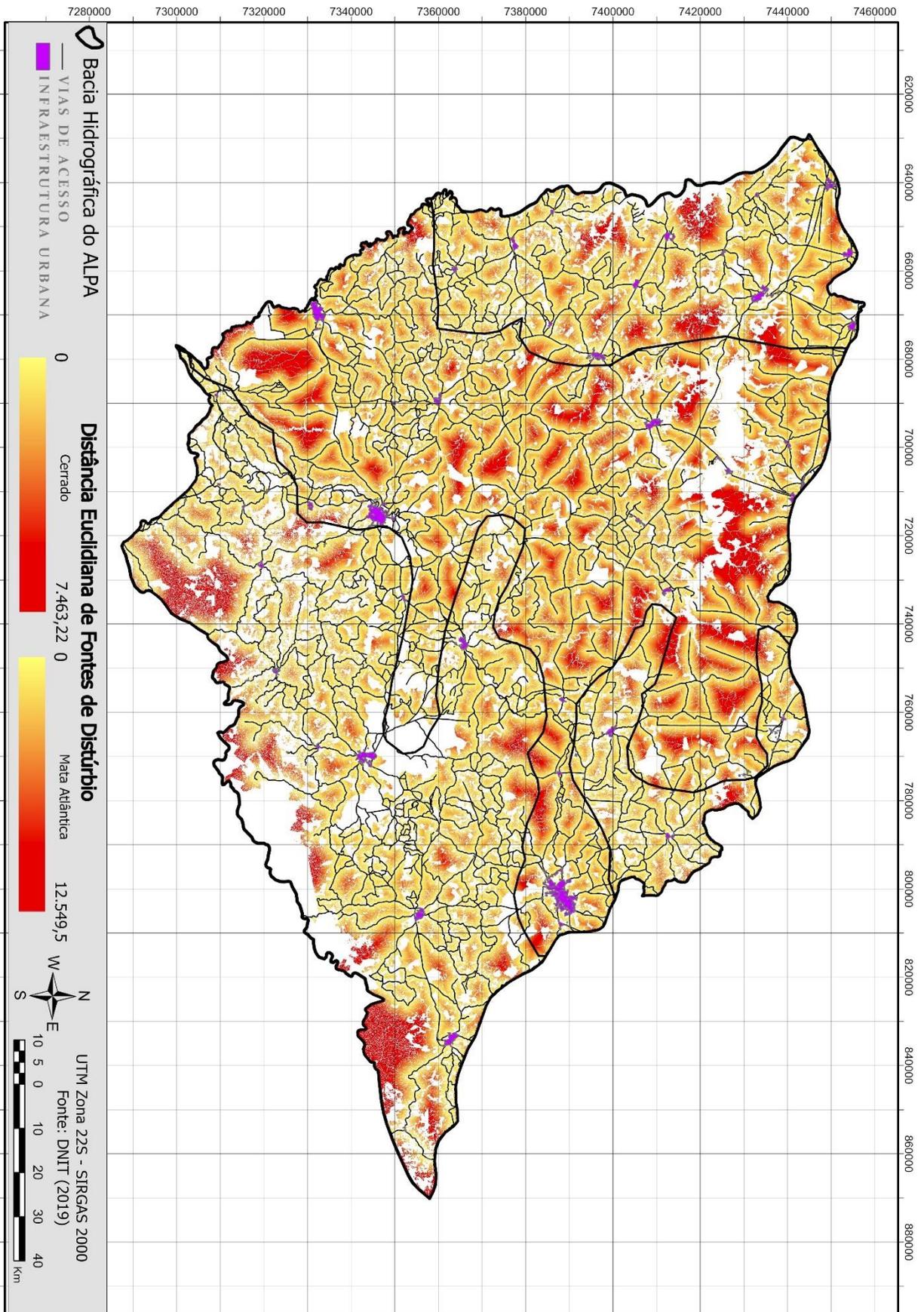


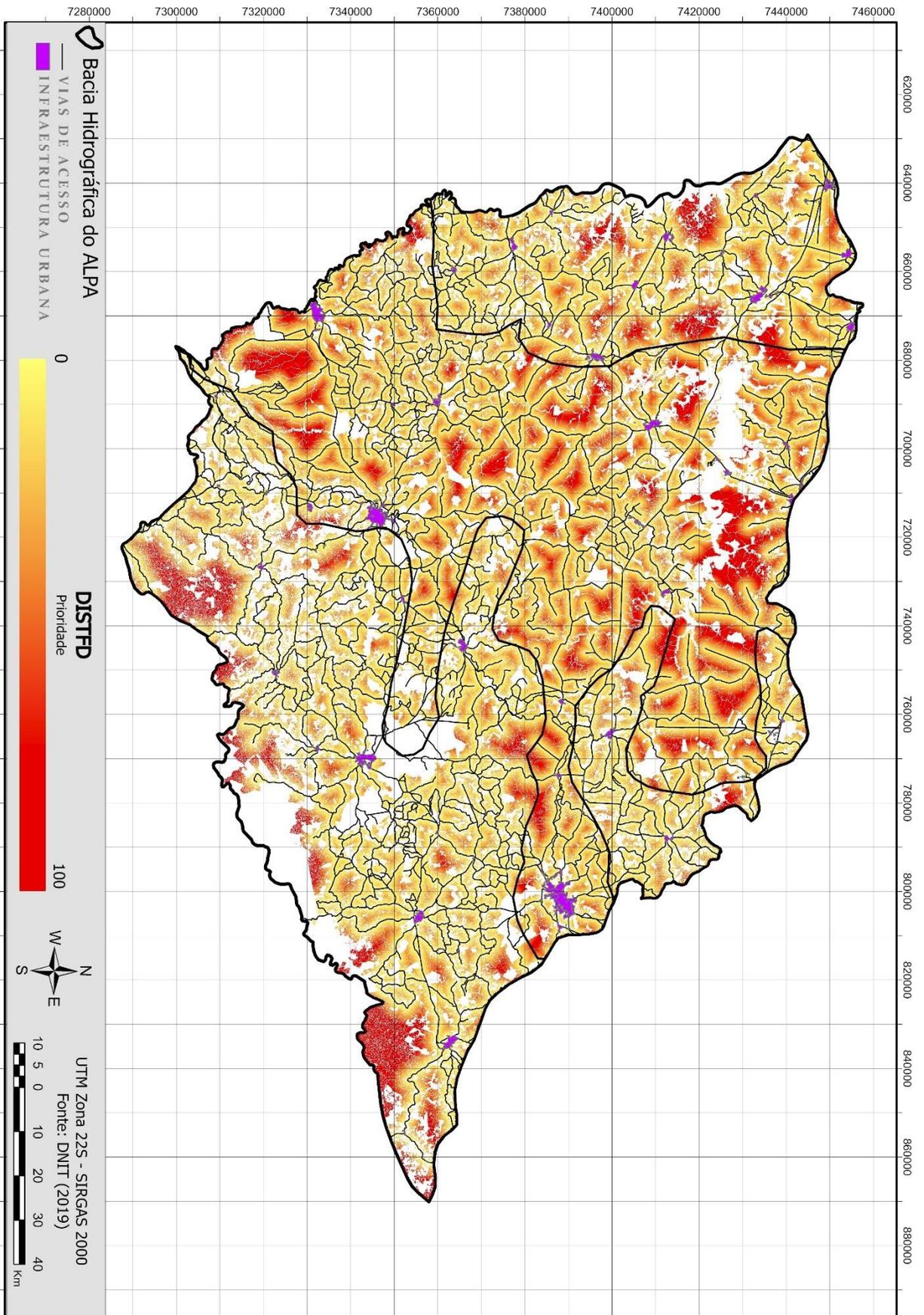
Mata Atlântica



7. DISTFD

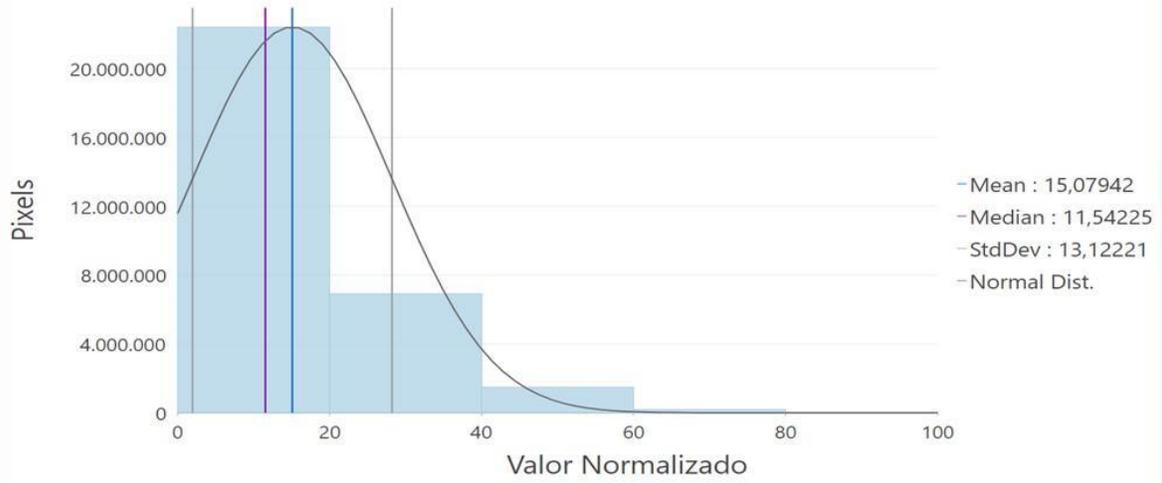




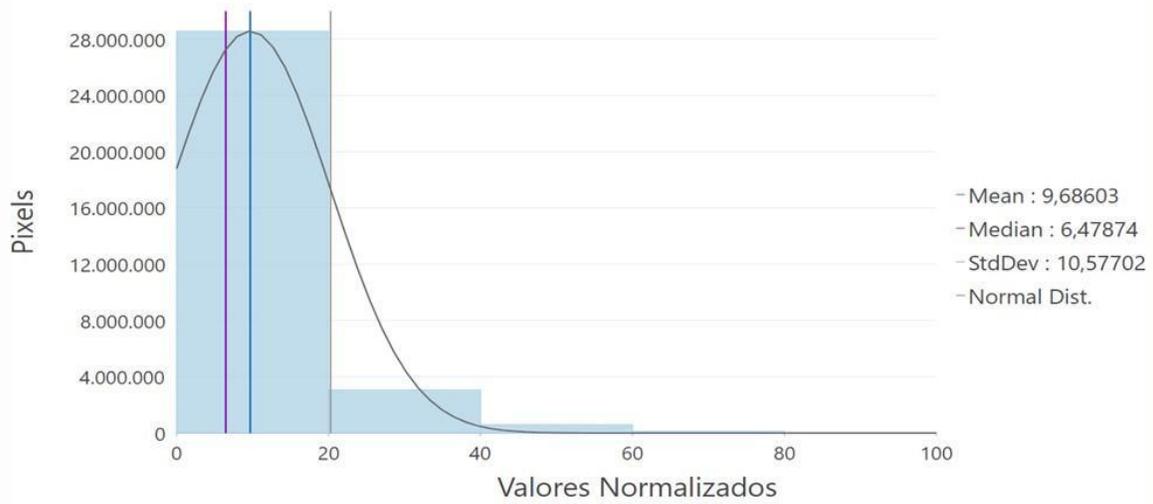


DISTFD

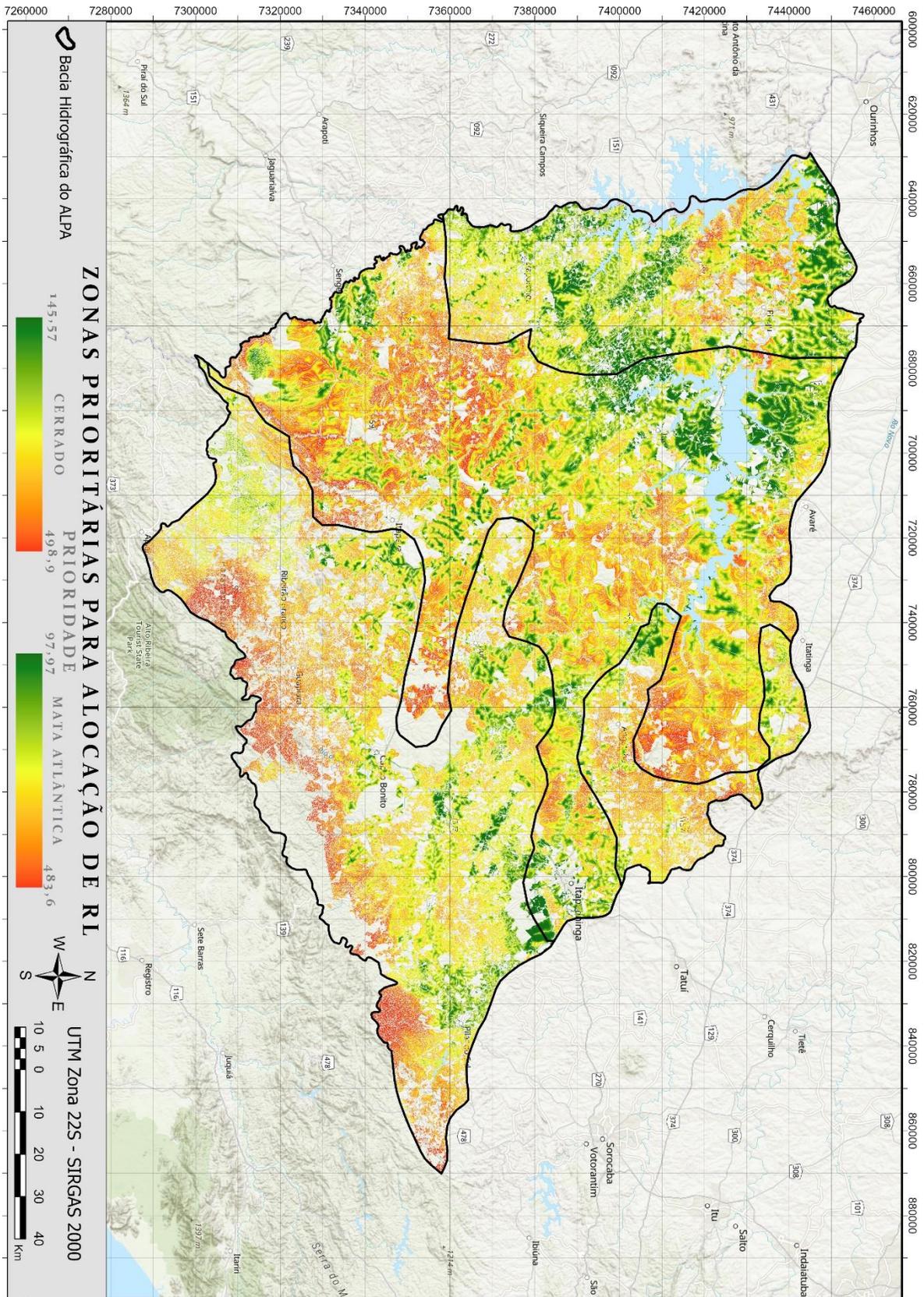
Cerrado

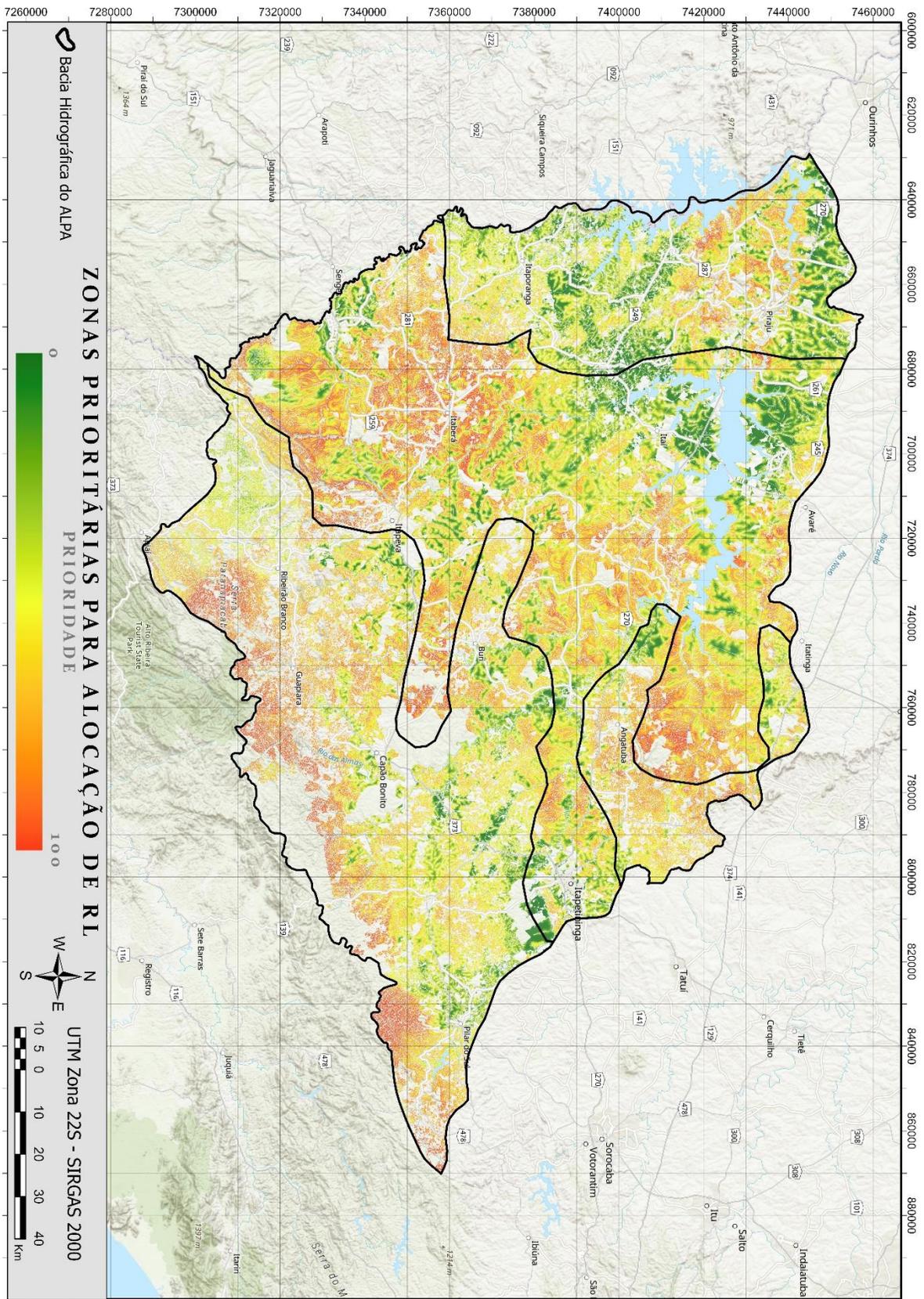


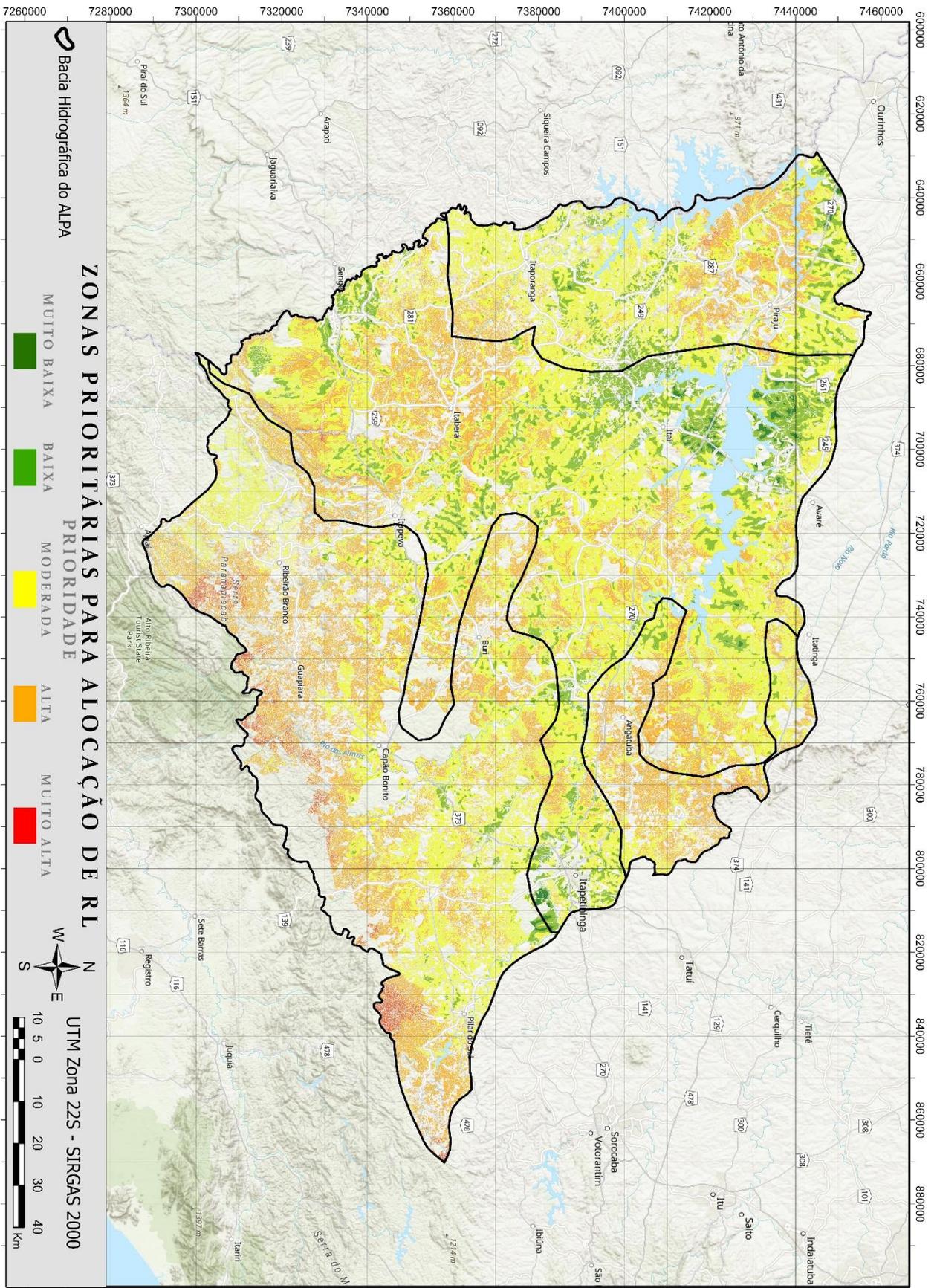
Mata Atlântica



APENDICE C – MAPAS E HISTOGRAMA DAS ZONAS PRIORITÁRIAS

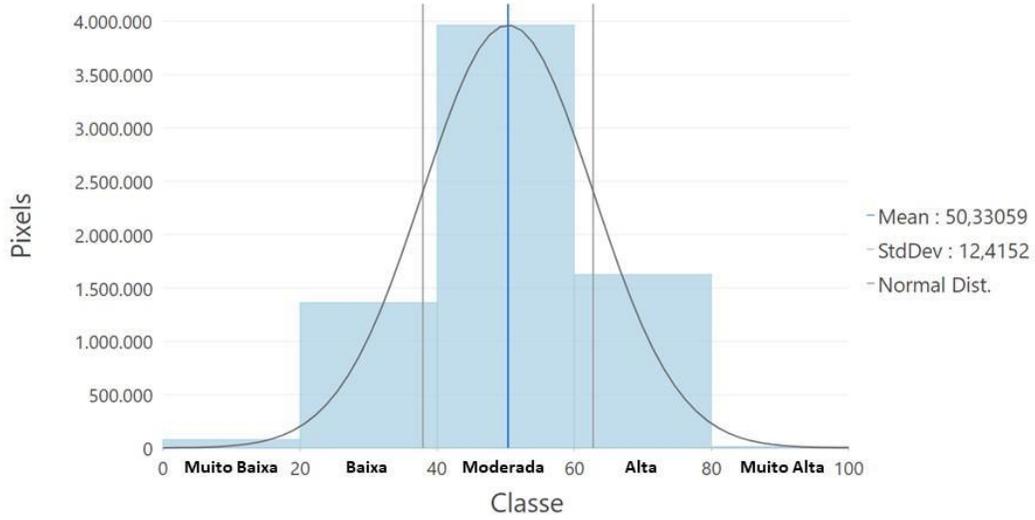






Zonas Prioritárias

Cerrado



Mata Atlântica

