

THAÍS DE CARVALHO FELICORI

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA A CONSTRUÇÃO DE ATERROS
SANITÁRIOS E USINAS DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM NA MESORREGIÃO DA
ZONA DA MATA – MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F314i
2015
Felicori, Thaís de Carvalho, 1988-
Identificação de áreas adequadas para a construção de
aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na
mesorregião da Zona da Mata – Minas Gerais / Thaís de
Carvalho Felicori. – Viçosa, MG, 2015.
xiii, 102f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Eduardo Antonio Gomes Marques.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.75-80.

1. Engenharia sanitária. 2. Saneamento. 3. Aterro sanitário -
Localização - Zona da Mata (MG). 4. Resíduos sólidos urbanos .
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
II. Título.

CDD 22. ed. 628.364

THAÍS DE CARVALHO FELICORI

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA A CONSTRUÇÃO DE ATERROS
SANITÁRIOS E USINAS DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM NA MESORREGIÃO DA
ZONA DA MATA – MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2015

Profa. Maria Lúcia Calijuri

Prof. Gustavo Ferreira Simões

Prof. Eduardo Antonio Gomes Marques
(Orientador)

*Dedico à minha família e ao Henrique.
Dedico, também, a todos que
colaboraram para o desenvolvimento
deste estudo e aos que trabalham
pela melhoria da gestão de resíduos
em Minas Gerais.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me iluminar em todos os meus passos.

Agradeço à minha família pelo amor e apoio em todos os momentos.

Ao Henrique pelo amor, companheirismo, compreensão e incentivo.

Ao Professor Eduardo Marques pela amizade, pelos ensinamentos e orientação nos últimos seis anos!

Às estudantes, hoje engenheiras, Bárbara Porto, Kássia Mara, Tamila Bravin e Tatiana Quintão, pela ajuda intensa e incansável na criação da base de dados, pela amizade e companhia ao longo desses anos.

Ao Wellington Guimarães pelos inúmeros ensinamentos e auxílios no trabalho com o *software* ArcGIS.

Ao Professor Elpidio Filho e ao estudante Guilherme Oliveira pela geração das áreas de APP de topo de morro, obtidas a partir de metodologia desenvolvidas por eles para atender ao Novo Código Florestal.

À Cláudia Saraiva do IGA/MG pelo fornecimento dos dados faltosos.

Ao Prof. Joel Gripp, à Profa. Izabel Cristina de Azevedo e ao prof. Roberto Azevedo pelos ensinamentos, sugestões e amizade.

Aos demais professores e funcionários do DEC e LEC pela boa convivência durante os anos em que estive por lá.

Às irmãs do DEC: Luana Andrade, Luiza Betim e Geanne Brito, amigas e companheiras desde o início dos trabalhos na geotecnia. Aprendi muito com vocês!!

Às professoras Nádia Dutra e Vera Muniz com quem iniciei os trabalhos na área de resíduos e inclusão social.

Às amigas queridas do CUBLICO e agregadas, pela amizade incondicional, motivação diária e pela companhia independente da distância ao longo de todos esses anos.

Aos amigos da Engenharia Ambiental, especialmente aos da EAB-06, pela companhia e amizade ao longo da graduação e, alguns, da pós-graduação.

Ao Oscar Mattos e aos colegas da Geopetrus Engenharia pelo apoio nos momentos em que foi preciso conciliar o trabalho e o mestrado.

À FEAM pelo financiamento da pesquisa e fornecimento de dados.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço a todos que fizeram parte desse processo e colaboraram direta ou indiretamente para que este trabalho fosse concluído.

E, finalmente, à Universidade Federal de Viçosa pela estrutura, conhecimento concedido e por me proporcionar os anos mais felizes da minha vida!!

*“Que as coisas são inatingíveis?
Ora! Isso não é motivo para não
querê-las.
Que tristes seriam os caminhos
Sem a presença distante das
estrelas.”*

Mario Quintana

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Justificativa do estudo.....	3
1.2. Objetivos da pesquisa.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Resíduos Sólidos Urbanos e seu Gerenciamento	5
2.1.1. Panorama nacional da disposição de RSU	8
2.1.2. A disposição de resíduos no estado de Minas Gerais e na mesorregião da Zona da Mata	10
2.1.2.1. O Projeto Minas Sem Lixões	12
2.1.2.2. Histórico	12
2.2. Seleção de áreas para a disposição de RSU.....	13
2.2.1. Legislação brasileira.....	13
2.2.2. Consórcios Intermunicipais de tratamento de RSU.....	15
2.2.3. Arranjos Territoriais Ótimos – ATOs.....	16
2.3. Análise de decisão multicritério.....	19
3. METODOLOGIA	22
3.1. Caracterização da Área de Estudo	23
3.1.1. Hidrografia.....	26
3.1.2. Relevo	26
3.1.3. Clima	27
3.1.4. Geologia	27

3.1.5. Bioma	27
3.2. Análise multicritério	28
3.3. Levantamento da base de dados	28
3.3.1. Obtenção dos dados georreferenciados.....	28
3.3.2. Obtenção da imagem de satélite	29
3.3.3. Padronização do sistema de referência horizontal (datum) das cartas	29
3.3.4. Edição das cartas.....	29
3.3.5. Delimitação das áreas urbanas e núcleos populacionais.....	30
3.3.6. Obtenção do MDEHC.....	30
3.3.7. Obtenção das Unidades de Conservação	30
3.4. Análise estratégica de decisão – Estabelecimento de critérios.....	31
3.5. Comparação par a par para ponderação das variáveis	37
3.6. Análise Multicritério - Métodos	38
3.7. Estimativa das áreas de disposição de RSU para cada ATO	38
3.8. Validação em campo.....	40
3.9. Análises Multicritérios – AM1, AM2 e AM3	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1. Análise Multicritério 1 – AM1	41
4.1.1. Planos de informação de restrição	41
4.1.2. Planos de informação finais - ATOs	50
4.1.3. Validação em campo	50
4.1.3.1. Muriaé	51
4.1.3.2. Tocantins.....	56
4.1.3.3. Rio Casca.....	59
4.2. Análise Multicritério 2 – AM2.....	63
4.2.1. Proposição de novos parâmetros – Hidrografia e sistema viário.....	63
4.2.1.1. Planos de informação de restrição	63
4.2.1.2. Planos de informação finais – ATOs – AM2.....	69

4.3. Análise Multicritério 3 – AM3.....	70
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXO 1.....	81
ANEXO 2.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da geração e disposição de resíduos sólidos urbanos no Brasil. ...	9
Tabela 2 – Arranjos Territoriais Ótimos (ATOs) que compõem a Zona da Mata	24
Tabela 3 – Unidades de Conservação inseridas na Zona da Mata mineira (Fonte: Cadastro de Unidades de Conservação, MMA, 2014).	32
Tabela 4 - Restrições legais para a escolha de áreas para a disposição de RSU.	33
Tabela 5 – Fatores utilizados para a obtenção de cartas de adequabilidade e seus respectivos arquivos e pontos de controle.	35
Tabela 6– Pesos ponderados dos fatores obtidos pela Matriz WEIGHT.....	37
Tabela 7 – Percentual de áreas aptas e inaptas para cada restrição.....	42
Tabela 8 - Áreas mínimas requeridas calculadas por ATO.	50
Tabela 9 – Novos parâmetros analisados para hidrografia e sistema viário.	63
Tabela 10 – Áreas aptas e inaptas para o limite legal vigente e para os parâmetros adotados – Hidrografia.	63
Tabela 11 - Áreas aptas e inaptas para o limite legal vigente e para os parâmetros adotados – Sistema Viário.....	64
Tabela 12 – Comparativo do número de áreas obtidas nas análises AM1 e AM2.	69
Tabela 13 - Áreas mínimas requeridas calculadas por municípios.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Destinação de resíduos sólidos urbanos em MG (t/dia)	10
Figura 2 – Panorama da Destinação dos RSU em Minas Gerais – 2012.....	11
Figura 3 – Custo de implantação de aterro sanitário em MG – 2002 (R\$ por habitante).....	16
Figura 4 – Delimitação dos Arranjos Territoriais Ótimos em Minas Gerais.	18
Figura 5 – Localização da zona da mata no estado de Minas Gerais.	23
Figura 6 – Arranjos Territoriais Ótimos referentes à zona da mata.	25
Figura 7 – Exemplos de Função Sigmoidal (LEITE, 2005).....	34
Figura 8 – Exemplos de Função Linear (LEITE, 2005).....	34
Figura 9 – Matriz WEIGHT 6x6 gerada para a ponderação	38
Figura 10 – Plano de informação de restrição quanto à hidrografia.	43
Figura 11 – Plano de informação de restrição quanto ao sistema viário.	44
Figura 12 – Plano de informação de restrição quanto à declividade.	45
Figura 13 – Plano de informação de restrição quanto aos núcleos populacionais.	46
Figura 14 – Plano de informação de restrição quanto às APPs de Topo de Morro.	47
Figura 15 – Plano de informação de restrição quanto à presença de aeroportos.	48
Figura 16 – Plano de informação de restrição quanto às unidades de conservação.....	49
Figura 17 - Condições do acesso no momento da validação em campo.	52
Figura 18– Plano de informação referente aos ATOs que compõe a Zona da mata com destaque para os municípios validados em campo e seus ATOs correspondentes.....	53
Figura 19 – Áreas aptas validadas no município de Muriaé.	54
Figura 20 - Vista panorâmica do entorno da área M3, validada em campo.	55
Figura 21 - Vista panorâmica da área M3.....	55
Figura 22(a)(b)(c) –Acessos às áreas selecionadas.	56
Figura 23 – Áreas aptas validadas no município de Tocantins.....	57
Figura 24 - Vistas da área T1 selecionada.	58
Figura 25 - Vistas da área T2 selecionada.	58
Figura 26 - Vista panorâmica da área T3.	58
Figura 27 - Vista panorâmica da área T4.	59
Figura 28 – (a) (b) Estrada não pavimentada de acesso à área RC1.	59
Figura 29 – Áreas aptas validadas no município de Rio Casca.....	60
Figura 30 - Vista panorâmica da área RC1.	61

Figura 31 - Acesso à área RC2 (a) Estrada em bom estado; (b) Estrada já deteriorada devido ao uso do solo como pastagem.	61
Figura 32 - Vista panorâmica da área RC2.	62
Figura 33 - Vista panorâmica da área R3.	62
Figura 34 – Plano de informação da restrição R1.A – 200m – Hidrografia.	65
Figura 35 – Plano de informação da restrição R1.B – 100m - Hidrografia.	66
Figura 36 – Plano de informação da restrição R2.A – 75m – Sistema Viário.	67
Figura 37 – Plano de informação da restrição R2.B – 50m – Sistema Viário.	68

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
- AHP – Analytical Hierarchy Process (Processo de Hierarquização Analítica)
- APP – Área de Preservação Permanente
- ART – Anotação de Responsabilidade Técnica
- ATO – Arranjo Territorial Ótimo
- CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica
- COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental
- FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IGA – Instituto de Geociências Aplicadas
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas
- LABGEO - Laboratório de Geoprocessamento da UFV
- MDEHC - Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- OWA - Ordered Weighted Average (Média Ponderada Ordenada)
- PBGRA - Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário
- PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
- RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
- SERIPA - Serviços Regionais de Investigação e Proteção de Aeródromos
- SIG – Sistemas de Informação Geográfica
- SISEMA – Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
- SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
- UC – Unidade de Conservação
- UFV – Universidade Federal de Viçosa
- UTC – Usina de Triagem e Compostagem
- UTM - Universal Transversa de Mercator
- WLC – Weighted Linear Combination (Combinação Linear Ponderada)

RESUMO

FELICORI, Thaís de Carvalho, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata – Minas Gerais.** Orientador: Eduardo Antonio Gomes Marques.

A disposição final inadequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em lixões e aterros controlados é realizada em 60% dos municípios brasileiros. Além disso, a escolha das áreas para a implantação desses depósitos, comumente, não leva em consideração as restrições legais vigentes estabelecidas para estes locais. Na Zona da Mata mineira, este fator é agravado pelas condições físicas observadas na mesorregião, como: densa malha hidrográfica e relevo acidentado; apresentando assim, extensas áreas de preservação permanente (APP). Considerando o consórcio intermunicipal como uma alternativa para regularizar a disposição de resíduos nos municípios de Minas Gerais, a Fundação Estadual do Meio Ambiente subdividiu o estado em Arranjos Territoriais Ótimos (ATOs) para a gestão compartilhada dos RSU. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo a identificação das áreas passíveis de serem utilizadas para a implantação de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na Zona da Mata. Ademais, foi realizado o cálculo estimado das áreas requeridas para atender aos ATOs na forma de consórcios intermunicipais e o número de áreas existentes com a extensão mínima calculada. Para tanto, foi construída uma extensa base de dados para a identificação das áreas restritas legalmente e realizadas análises espaciais multicritério utilizando os *softwares* de geoprocessamento ArcGIS e IDRISI Taiga. Após a obtenção das áreas legalmente viáveis para a construção de depósitos de resíduos, foram realizadas duas novas análises. A primeira teve como objetivo a identificação do impacto da alteração de parâmetros de restrição no número de áreas obtidas; e a segunda utilizou o município como unidade de planejamento para a gestão de resíduos. Nesta análise foram selecionados três municípios de diferentes portes para se avaliar o aumento do número de áreas obtidas para atender a um número reduzido de habitantes e, dessa forma, dispor um volume reduzido de resíduos. De forma geral, as análises resultaram em número reduzido de áreas passíveis de serem utilizadas como depósitos de resíduos. A alteração de dois parâmetros de restrição provocou um aumento considerável na quantidade de áreas e a análise realizada para os municípios mostrou que a viabilidade de consórcio intermunicipal é inversamente proporcional ao tamanho do município. Dessa forma, conclui-se que, para se adotar o consorciamento, cada caso deve ser analisado de forma específica.

ABSTRACT

FELICORI, Thaís de Carvalho, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, 2015 february. **Identification of suitable areas for construction of landfill sites and waste selection and composting plants in the mesoregion of Zona da Mata – Minas Gerais.** Adviser: Eduardo Antonio Gomes Marques.

Improper waste disposal in unregulated dumping sites is still found in 60% of Brazilian cities and, in most cases, deposit sites selection does not follow legal or regulatory restrictions. In the Zona da Mata region, this process is still more problematic since the region's physical environment contains abundant river network and steep landscape resulting in large protected areas. Considering intermunicipal consortium as an alternative for waste disposal sites regulation in Minas Gerais state, FEAM (Minas Gerais Environmental Foundation) subdivided the state in ATOs (Acronym for Optimum Territorial Arrangements), which are areas in which shared waste disposal should be considered. In this context, this study aims to determine the suitable areas for landfill and composting plants construction in the Zona da Mata region. Furthermore, estimated site sizes were calculated and the number of suitable areas to attend each ATO was obtained. To accomplish this goal, a database was generated by collecting several spatial information to be used in geoprocessing *softwares* (ArcGIS and IDRISI Taiga) to perform a spatial analysis. After that, two complementary analysis were performed. The first one aimed to identify the impact of environmental restrictions in the amount of suitable sites by changing the limits of two parameters; while the second one was performed by evaluating the number of deposit sites for three selected cities individually, each one with different population. In general, the studies resulted in a small number of suitable sites. The change in the parameter's limits triggered a substantial increase in the number of sites and the analysis for a single municipality area showed that consortium viability is inversely proportional to cities size. Therefore, it is concluded that the consortium adoption must be discretely evaluated for each case.

1. INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) em Minas Gerais e no Brasil por muitos anos tem sido ainda realizada de forma inadequada e em áreas impróprias, nos chamados lixões - áreas escolhidas aleatoriamente e sem qualquer controle de poluição da água e do solo em seu entorno.

No Brasil, as técnicas consideradas adequadas ambientalmente e viáveis economicamente para a disposição e tratamento de RSU são os aterros sanitários em conjunto com as Usinas de Triagem e Compostagem.

O aterro sanitário consiste na disposição de resíduos em área impermeabilizada com recobrimento e compactação dos mesmos com camadas de solo sucessivas. O tratamento dos resíduos ocorre por meio de digestão anaeróbia e requer um controle ambiental do lixiviado e do biogás resultantes do processo. O lixiviado é coletado por meio de drenos e direcionado para sistemas de tratamento, como, por exemplo, lagoas aeróbias. O biogás muitas vezes é queimado, mas pode, também, ser coletado para o reaproveitamento e geração de energia.

Enquanto o aterro sanitário é uma técnica de disposição final, a Unidade de Triagem e Compostagem (UTC) é uma técnica que deve preceder à etapa de disposição, uma vez que proporciona o reaproveitamento dos resíduos por meio da triagem dos materiais recicláveis e da compostagem da porção orgânica para a geração de adubo orgânico.

Os custos envolvidos na implantação e operação de tais equipamentos públicos são elevados e muitos municípios têm dificuldades em regularizar a gestão de resíduos devido a limitações financeiras e técnicas. Para estimular a solução dessa problemática, a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), propôs o incentivo à adoção de consórcios intermunicipais. Estes consórcios visam dividir esses custos entre as administrações públicas e facilitar a obtenção de recursos para a sua implantação.

Em âmbito estadual, foi proposta a divisão do estado de Minas Gerais em Arranjos Territoriais Ótimos (ATOs) por meio do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA) para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo a identificação das áreas disponíveis para a construção de sistemas de disposição de resíduos na Zona da Mata de Minas Gerais com base nas diversas restrições legais vigentes utilizando ferramentas de Sistemas de Informação Geográficas (SIG) e Análise Multicritério. Além disso, este estudo visa analisar a viabilidade da criação dos Consórcios Intermunicipais a partir da delimitação dos ATOs pela identificação quantitativa e qualitativa das áreas necessárias para atender a cada ATO.

Foram utilizados como parâmetros de restrição os critérios estabelecidos pelo Código Florestal Brasileiro para delimitação de Áreas de Preservação Permanente; pela Deliberação Normativa COPAM nº 118/2008, que estabelece diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos e define parâmetros para escolha da área a ser utilizada para a disposição adequada de resíduos sólidos urbanos; e, finalmente, pela Portaria nº 249/GCS/2011 do Ministério da Defesa que dispõe sobre o Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário - PBGRA, e define a Área de Gerenciamento de Risco Aviário, área restrita para a construção de depósitos de resíduos sólidos. Além disso, foram identificadas as Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável determinadas para a mesorregião, de acordo com a Lei nº 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

1.1. Justificativa do estudo

As administrações municipais da Zona da Mata, na maioria das vezes, não adotam modelos adequados de gestão de resíduos sólidos urbanos em seus municípios devido à escassez de recursos financeiros e técnicos necessários para tal fim. Além disso, outro agravante para a gestão de resíduos na mesorregião é a dificuldade de se obter áreas que se enquadram nas restrições impostas pelas normas legais para a disposição dos RSU.

A Zona da Mata apresenta relevo acidentado e uma rede hidrográfica densamente ramificada, caracterizando extensas áreas classificadas como Áreas de Preservação Permanente (APP). Estas áreas são definidas como áreas protegidas por lei que possuem função ambiental e não podem ser utilizadas para outros fins.

O que se observa, atualmente, é um grande número de depósitos de resíduos localizados nos limites ou proximidades de APPs ou outras áreas sócio e/ou ambientalmente frágeis, resultando na contaminação de recursos hídricos, do solo e na disseminação de doenças.

Neste contexto, o estudo visou, por meio de análise espacial via Sistemas de Informação Geográfica (SIG), obter as áreas efetivamente disponíveis nos municípios da Zona da Mata para a construção de Aterros Sanitários e Usinas de Triagem e Compostagem, considerando as diversas restrições legais existentes e os Arranjos Territoriais Ótimos (ATOs), propostos pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA).

O desenvolvimento deste estudo permitiu determinar e visualizar as áreas legalmente disponíveis para a disposição de resíduos na mesorregião da Zona da Mata e, assim, propor as melhores formas de gerir os resíduos municipais, por meio de agrupamentos ou pela gestão descentralizada pelos municípios.

1.2. Objetivos da pesquisa

Essa pesquisa teve por objetivo a identificação das áreas adequadas para a implantação de aterros sanitários e Usinas de Triagem e Compostagem na mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais, em respeito à legislação vigente no estado de Minas Gerais e aos Arranjos Territoriais Ótimos (ATOs) propostos pela Fundação Estadual do Meio Ambiente por meio do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA).

Como objetivo secundário pretendeu avaliar a viabilidade de se adotar os ATOs dos municípios da Zona da Mata mineira como unidade de planejamento para a gestão de resíduos sólidos urbanos municipais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Resíduos Sólidos Urbanos e seu Gerenciamento

De acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), resíduos sólidos são definidos como materiais, substâncias, objetos ou bens descartados que são resultantes de atividades humanas cuja destinação se procede nos estados sólidos ou semissólidos. A norma da ABNT NBR 10.004 (1987) define os resíduos como:

“aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível”.

A PNRS (2010) tem como um dos seus objetivos principais a “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. Destaca-se, neste objetivo, a necessidade de promover a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos, apenas. Os resíduos sólidos, após o seu descarte, ainda têm valor agregado e podem ser utilizados como matéria prima secundária, reduzindo a exploração de recursos naturais.

Os resíduos sólidos urbanos devem ser primeiramente, reutilizados, reciclados e tratados. A disposição no ambiente surge como a última alternativa para aqueles resíduos que não possuem mais fonte de energia e/ou matéria prima disponível para ser reprocessada. Essa visão é a base que fundamenta o gerenciamento integrado dos resíduos sólidos.

De acordo com Castilhos Junior (2003), o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos deve ser integrado, envolvendo ações que propiciem e estimulem a não geração de resíduos, mas, também, solucionem as dificuldades relacionadas à disposição final, para cada sistema de saneamento ambiental. E, para que essas ações tenham

sucesso, é fundamental a participação ativa de poder público, sociedade civil organizada e iniciativa privada.

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos é, constitucionalmente, responsabilidade do poder local. Assim, cabe às administrações públicas municipais tomarem as devidas medidas para aplicar, em suas áreas de influência, as diretrizes estabelecidas pela PNRS.

As formas de disposição de resíduos sólidos adotadas pelos municípios brasileiros são:

1. Disposição a céu aberto (lixão);
2. Aterros Controlados;
3. Aterros Sanitários;
4. Usinas de Triagem e Compostagem;
5. Usinas de Incineração.

A disposição a céu aberto ou “**lixão**” é uma forma de disposição sem controle de compactação ou cobertura dos resíduos, o que propicia a poluição do solo, do ar, das águas, além de promover a disseminação de doenças (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

O **aterro controlado** consiste na deposição de resíduos diretamente no solo, seguido do recobrimento com uma camada de terra após cada jornada diária de trabalho. A poluição é localizada e não é realizada impermeabilização de base, tratamento do lixiviado gerado ou queima dos gases gerados, resultando na perda de qualidade do solo, das águas subterrâneas e do ar.

O **aterro sanitário** corresponde à técnica controlada de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, na qual é realizada a impermeabilização da fundação de uma área superficial, para evitar a contaminação do solo pelos líquidos lixiviados. Os resíduos são dispostos sobre essas áreas, cobertos com camadas de terra e compactados para a redução do seu volume. O tratamento dos resíduos ocorre por meio da digestão anaeróbica a qual resulta na formação de efluentes líquidos e gasosos. Esses sistemas devem contar, ainda, com sistemas de coleta desses efluentes líquidos e gasosos: lixiviados e biogás, respectivamente, para o seu tratamento adequado (PARO et al., 2008).

Segundo Russo (2003) e Paro et al. (2008), a disposição de RSU em aterros sanitários apresenta as seguintes vantagens:

1. Flexibilidade para receber materiais de diversas composições;
2. Operação simplificada;
3. Baixo custo, quando comparada a outras alternativas;
4. Disponibilidade de conhecimento;
5. Não conflitante com formas avançadas de valorização dos resíduos;
6. Possibilidade de reaproveitamento da área após o encerramento das atividades;
7. Geram biogás que pode ser capturado e aproveitado.

Dentre as desvantagens, tem-se como principais a necessidade de grandes áreas para implantação com topografia adequada; a movimentação intensa de terra e resíduos; e a necessidade de controle de poluição e manutenção após o encerramento das atividades.

A **Usina de Triagem e Compostagem** consiste em um conjunto de instalações que têm como matéria prima os resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta urbana regular de resíduos sólidos domiciliares (IBGE, 2008). Nesses locais, é realizada a separação preliminar dos resíduos potencialmente recicláveis, dos resíduos orgânicos e dos rejeitos. A matéria orgânica é direcionada para pátios de compostagem, onde sofrem decomposição aeróbica pela ação de agentes biológicos em condições controladas de umidade e temperatura. A partir deste processo obtém-se um composto orgânico com elevados teores de húmus e nutrientes minerais (FEAM, 2006).

A **Usina de Incineração** é uma instalação especializada na qual é processada a combustão controlada dos resíduos a temperaturas elevadas (entre 800°C e 1200°C), com a finalidade de transformá-lo em material estável e que não ofereça riscos para a saúde humana ou para o meio ambiente, reduzindo seu peso e volume (IBGE, 2008).

A incineração de resíduos é uma alternativa muito comum em países europeus. Entretanto, no Brasil, a implantação de usinas de incineração ainda é uma questão polêmica uma vez que, para seu pleno funcionamento, é necessário que a coleta seletiva e triagem dos resíduos recicláveis sejam eficientes, já que resíduos compostos por metais, vidros e resíduos orgânicos com elevada umidade não podem ser incinerados. Além disso, as emissões de gases tóxicos como dioxinas e furanos no

processo de incineração requer um controle de emissões eficiente no processo para não oferecer risco à saúde da população.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a destinação final ambientalmente adequada inclui reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético dos resíduos ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, como a disposição final aplicada, de forma a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Neste contexto, a disposição final ambientalmente adequada é definida, pela mesma lei, como a distribuição ordenada de **rejeitos** em aterros de acordo com as normas operacionais específicas definidas para preservar a saúde pública e reduzir os impactos ambientais.

Sendo assim, após ser aplicado todo o processo supracitado (reutilização, reciclagem, compostagem etc.), a disposição ambientalmente adequada só será aplicada caso o material disposto consista de um material que não possa de nenhuma maneira ser reutilizado em nenhum destes processos. Com isso, as áreas requeridas para tal atividade são reduzidas consideravelmente quando a gestão integrada de resíduos sólidos é aplicada em toda sua essência.

2.1.1. Panorama nacional da disposição de RSU

Segundo as últimas publicações do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2009 - 2013), o Brasil tem reduzido o percentual referente ao crescimento da geração de resíduos a cada ano, como se observa na Tabela 1.

Tabela 1 - Evolução da geração e disposição de resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Período	Crescimento Populacional	Aumento da geração de RSU no Brasil	Aumento na geração de RSU per capita	Disposição adequada dos RSU no início do período	Disposição adequada dos RSU no final do período
2008 a 2009	1,0%	7,7%	6,6%	55%	57%
2009 a 2010	1,0%	6,8%	5,3%	56,8%	57,6%
2010 a 2011	0,9%	1,8%	0,8%	57,56%	58,06%
2011 a 2012	0,9%	1,3%	0,4%	58,06%	57,98%
2012 a 2013	3,7%	4,1%	0,4%	57,98%	58,26%

Fonte: ABRELPE, 2009-2013.

Observa-se uma queda abrupta de 5% no crescimento da geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil entre os anos de 2009 e 2011, mantendo-se na mesma ordem de grandeza nos anos de 2011 e 2012. Depois de quatro períodos com o crescimento populacional em torno de 1,0%, no ano de 2013 a população voltou a crescer em quase 3%. O crescimento da geração de resíduos, em todos os períodos citados, apresentou-se maior do que o crescimento populacional referente ao mesmo período.

A destinação adequada de RSU (aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem), em contrapartida, tem sofrido acréscimos não muito expressivos. Entre os anos de 2011 e 2012, a destinação inadequada sofreu aumento de 0,08% e entre 2012 e 2013 diminuiu em 0,3%. Os resíduos sólidos urbanos dispostos em lixões ou aterros controlados no final de 2013 correspondiam a 110.232 t/dia, totalizando 5 mil toneladas a mais do que a taxa identificada no final do ano de 2012 (ABRELPE, 2013). Em 2013, o índice de geração de RSU por habitante por dia era de 1,04 (kg/hab./dia).

De acordo com o Panorama de Resíduos Sólidos elaborado pela ABRELPE em 2013, de um total de 5.570 municípios brasileiros, 2.226 utilizavam os aterros sanitários como forma de disposição de seus resíduos. Os restantes 3.344 municípios, que representam 60% do total, dispunham seus resíduos de maneira inadequada, em aterros controlados ou lixões.

Com relação à coleta seletiva de RSU, os resultados da pesquisa da ABRELPE, indicam que 62% dos municípios brasileiros apresentavam alguma iniciativa referente à implantação da coleta seletiva no ano de 2013. Contudo, as iniciativas de alguns municípios se resumem à disponibilização de pontos de entrega voluntária ou

convênios com cooperativas de catadores, sendo, assim, iniciativas restritas a pequenas regiões do município.

A coleta seletiva é destacada como instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) e as ações relacionadas a ela são consideradas conteúdo mínimo dos planos estaduais e municipais de resíduos sólidos para o acesso a recursos da União para o gerenciamento de resíduos sólidos nos municípios. Afinal, a coleta seletiva proporciona o atingimento do objetivo II da Política Nacional de Resíduos Sólidos (art 7º):

II – não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, (...).

2.1.2. A disposição de resíduos no estado de Minas Gerais e na mesorregião da Zona da Mata

A disposição de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais não difere muito da realidade brasileira. Os dados do Panorama da ABRELPE (2013) para o estado são ligeiramente mais favoráveis, como se observa na Figura 1.

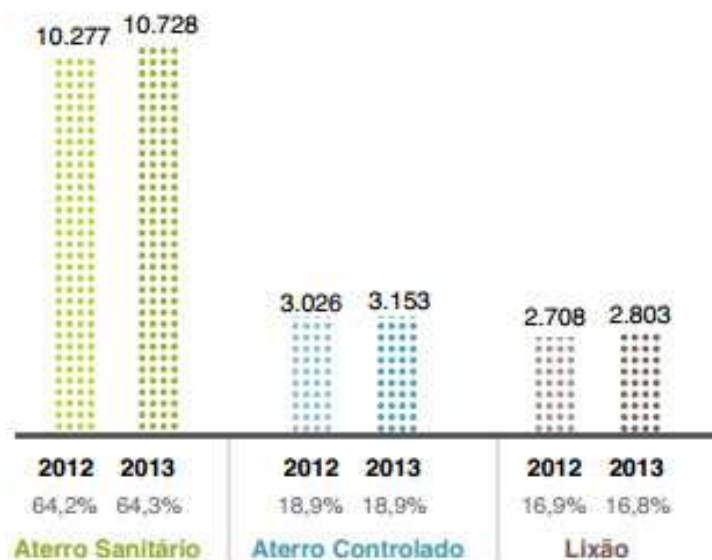


Figura 1 – Destinação de resíduos sólidos urbanos em MG (t/dia)

Apesar de não se observar evolução de 2012 para 2013, o percentual de resíduos dispostos em aterros sanitários no estado de Minas Gerais representa 64% do total de resíduos gerados diariamente. Entretanto, quase seis mil toneladas de resíduos ainda são dispostos diariamente de forma inadequada no estado.

O índice de RSU coletado no estado de Minas Gerais em 2013 foi inferior à média nacional e à média da região sudeste. Enquanto no estado o índice foi de 0,810 kg/hab./dia, os índices nacional e regional corresponderam a, respectivamente, 0,941 e 1,173 kg/hab./dia. Entretanto, o menor índice da região Sudeste foi do estado do Espírito Santo, cabendo a Minas Gerais o segundo lugar. Ressalta-se, entretanto, que esses índices podem conter imprecisões em função de deficiência no sistema de coleta.

De acordo com os dados da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), em 2013, 59,14% da população urbana do estado eram atendidos por sistemas de disposição de RSU regularizados (Figura 2), sendo eles aterros sanitários, usinas de triagem e compostagem ou ambos. Entretanto, quase um quarto da população mineira ainda é atendido por lixões.

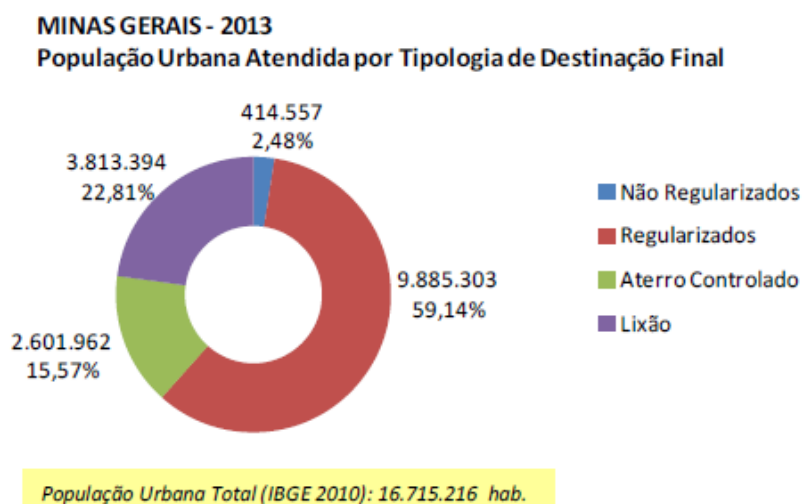


Figura 2 – Panorama da Destinação dos RSU em Minas Gerais – 2013 (Fonte: FEAM, 2014).

A mesorregião da Zona da Mata é composta por 142 municípios mineiros que, conforme censo do IBGE (2010), abrigam uma população de cerca de 2 milhões de habitantes. A região apresenta um percentual de população atendida por sistemas de destinação adequada melhor do que a média do estado, correspondendo a 68,4%. O percentual referente à população atendida por lixões, de 21,2%, é próximo à média do estado.

Entretanto, este percentual não representa a realidade dos municípios da mesorregião em termos de disposição adequada por município. Alguns municípios têm sua situação

regularizada quanto à disposição final de resíduos, graças ao investimento direcionado pelos municípios à disposição compartilhada em depósitos regulares em municípios de grande porte, como é o caso do aterro sanitário de Juiz de Fora que recebe, atualmente, os resíduos de diversos municípios (Carandaí, Santos Dumont, Ubá e Matias Barbosa, por exemplo). Alguns municípios transportam seus resíduos a distâncias relativamente grandes, como Ubá, por exemplo, já que os referidos municípios não possuem um local adequado para sua disposição.

2.1.2.1. O Projeto Minas Sem Lixões

O Projeto Minas sem Lixões foi criado em 2003 pela Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM) com o intuito de apoiar os municípios no atendimento às normas de gestão adequada de resíduos sólidos urbanos definidas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).

2.1.2.2. Histórico

A partir de 2001, quando foi publicada a Deliberação Normativa (DN) do COPAM n° 52/2001, iniciou-se um processo de mudanças no cenário vigente no estado acerca da gestão de resíduos sólidos urbanos. Esta DN convocou, pela primeira vez, os municípios para o licenciamento ambiental de sistemas adequados de disposição final de lixo além de dar outras providências.

Em 2003, foi criado pela FEAM o Projeto Minas sem Lixões para apoiar os municípios no atendimento às normas de gestão adequada de resíduos sólidos urbanos definidas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).

Em seguida, foi publicada a DN COPAM n° 74/2004 de 09/09/2004 que estabeleceu critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou licenciamento ambiental.

No mesmo ano, a DN COPAM n° 75/2004 estabeleceu novos prazos para atendimento às medidas para encerramento dos lixões, abril de 2005 para o cadastro do responsável técnico e Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) dos depósitos de RSU e outubro de 2005 para o atendimento das medidas e encaminhamento de relatório técnico contendo as medidas adotadas. Neste momento, os municípios entre

30 e 50 mil habitantes foram, também, convocados ao licenciamento ambiental de sistemas de disposição de RSU adequados.

Em 2005, por meio da DN COPAM n° 81/2005, os prazos para o licenciamento dos sistemas adequados de disposição de RSU para municípios com população inferior a 50 mil habitantes foram prorrogados para outubro de 2005 (obtenção da Licença de Instalação) e setembro de 2006 (obtenção da Licença de Operação). Esses prazos foram novamente prorrogados, em 2006, pela DN COPAM n°105/2006 para, respectivamente, abril de 2006 e abril de 2007.

Finalmente, em 2008, publicou-se a DN COPAM n° 118/2008 que estabeleceu novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no estado de Minas Gerais.

2.2. Seleção de áreas para a disposição de RSU

No Brasil, as formas adequadas de disposição de resíduos adotadas são os aterros sanitários em associação com um sistema de coleta seletiva eficiente e as usinas de triagem e compostagem geridas por cooperativas de catadores de resíduos recicláveis. Os aterros sanitários requerem a seleção de extensas áreas que atendam a diversos critérios legais para garantir o funcionamento adequado do sistema garantindo a manutenção da integridade do meio ambiente sem oferecer riscos à saúde da população.

Para tanto, os critérios para a seleção dessas áreas devem levar em consideração aspectos do meio físico, biótico e socioeconômico, de forma que sejam garantidos, além da integridade ambiental e saúde da população, o menor custo com transporte de resíduos e solo, a facilidade operacional e o menor impacto social nas comunidades circunvizinhas.

Para a seleção dessas áreas têm-se utilizado ferramentas dos sistemas de informações geográficas (SIGs) que permitem a análise espacial considerando as características do meio ambiente físico, questões sociais e econômicas.

2.2.1. Legislação brasileira

Em 1997 foi criada a norma técnica da ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) que, dentre outros aspectos, estabelece os critérios para seleção de áreas para a implantação de

aterros sanitários. As normas técnicas não tem caráter legal, mas são utilizadas como referência por técnicos qualificados da área e, muitas vezes, são consideradas na elaboração das restrições legais.

Dentre as normas legais relevantes para a seleção de áreas para a construção de aterros sanitários, tem-se:

- Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal Brasileiro).

O Código Florestal define Áreas de Preservação Permanente (APPs) como áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade; facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012). As APPS são áreas que não podem ser utilizadas para nenhum tipo de empreendimento, incluindo a implantação de aterros sanitários.

- Portaria nº 249/GCS/2011 do Ministério da Defesa

A Portaria nº 249/GCS/2011 do Ministério da Defesa (Comando da Aeronáutica) aprova a edição do PCA 3-2 que dispõe sobre o Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário – PBGRA nos aeródromos brasileiros. Este plano visa definir critérios para a avaliação da implantação de empreendimentos e/ou atividades que possam resultar na presença de aves na chamada Área de Gerenciamento de Risco Aviário.

Esta delimitação corresponde à área circular com centro no ponto médio da pista do aeródromo e raio de 20 km. Esta área é dividida em um setor interno que abrange um raio de 9 km e um setor externo. A Portaria nº 249 estabelece que os Serviços Regionais de Investigação e Proteção de Aeródromos (SERIPA) são responsáveis por não permitir a implantação de empreendimentos que possuem potencial de atração de aves dentro do setor interno.

- Lei nº 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

Unidades de Conservação (UC) são espaços territoriais com características naturais relevantes com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000). A

lei nº 9985/2000 classifica as UCs quanto ao uso permitido das áreas em Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. Na primeira modalidade é permitido, apenas, o uso indireto dos recursos naturais. As Unidades de Uso Sustentável, por outro lado, têm como objetivo aliar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos recursos naturais. Sendo assim, ambas são restritas para a implantação de empreendimentos de risco à preservação dos recursos naturais, como são os aterros sanitários.

- Deliberação Normativa do COPAM Nº118/2008.

No âmbito estadual, a DN COPAM Nº118/2008 estabelece diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais.

2.2.2. Consórcios Intermunicipais de tratamento de RSU

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) estabelece como um de seus instrumentos, “o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação da escala de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos” e como um dos seus objetivos “priorizar, no acesso aos recursos da união, os municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão de resíduos sólidos”.

Segundo o Panorama Estadual de RSU publicado pela FEAM em 2012, 85% dos municípios mineiros possuíam menos de 20.000 habitantes e apenas 3,2% possuíam mais de 100 mil habitantes. Assim, considerando a dificuldade da gestão de resíduos por parte dos municípios de pequeno porte, o consórcio intermunicipal para tratamento de resíduos surge como uma oportunidade de possibilitar a disposição adequada de resíduos por meio da gestão compartilhada dos resíduos de municípios vizinhos.

De acordo com um estudo realizado por Schneider et al. (2013) (Figura 3), o custo per capita de implantação de um aterro sanitário em MG só possui economicidade quando a população atendida pelo aterro é superior a 100 mil habitantes, aplicando-se, conforme supracitado, a apenas 3,2% dos casos dos municípios mineiros.

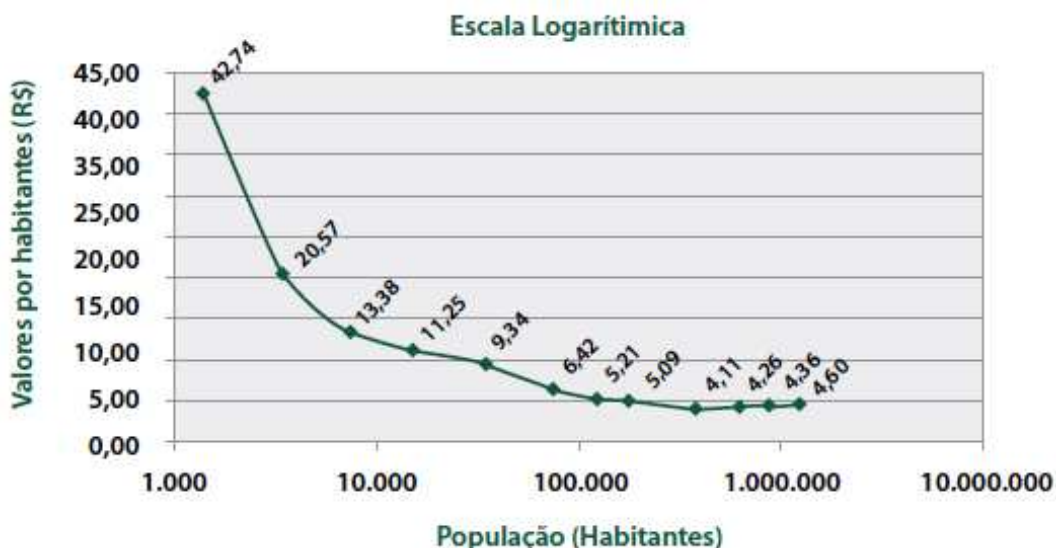


Figura 3 – Custo de implantação de aterro sanitário em MG – 2002 (R\$ por habitante). Fonte: Schneider et. al (2013).

Segundo Schneider et. al (2013), a capacidade de lidar com a questão relacionada à destinação final dos resíduos é definida não só pela situação socioeconômica do município, mas também pela capacidade de gestão dos municípios e à escala populacional adequada. O autor reforça que “o âmbito territorialmente ótimo da política pública de destinação final de resíduos sólidos nem sempre corresponde ao território do município”.

Dessa forma, os órgãos públicos como um todo são defensores da política de consórcios intermunicipais para solucionar os problemas vigentes referentes à destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

2.2.3. Arranjos Territoriais Ótimos – ATOs

Mesmo antes da Política Nacional de Resíduos Sólidos ser instituída incentivando a adoção de consórcios intermunicipais para a gestão compartilhada de resíduos, o estado de Minas Gerais realizou um estudo com o intuito de balizar a implantação dos consórcios intermunicipais. O resultado foi a proposição da divisão do estado de Minas Gerais em Arranjos Territoriais Ótimos - ATOs (FEAM, 2014).

A delimitação dos Arranjos Territoriais Ótimos (ATOs) é uma proposta do Governo de Minas Gerais por meio do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA) para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos. Para a formação de cada ATO foram utilizados diferentes critérios e objetivos de acordo com a realidade de cada região. No total foram formados 51 ATOs para o estado de Minas Gerais,

seguindo os seguintes critérios: para cada ATO foi escolhida ao menos uma cidade-pólo, os agrupamentos devem ter população mínima de 100 mil habitantes e as sedes dos municípios distantes em até 30 km. Além disso, municípios de dinâmica econômica frágil devem ser agrupados com municípios de dinâmicas econômicas fortes.

Na Figura 4, tem-se a delimitação dos ATOs no estado de Minas Gerais.

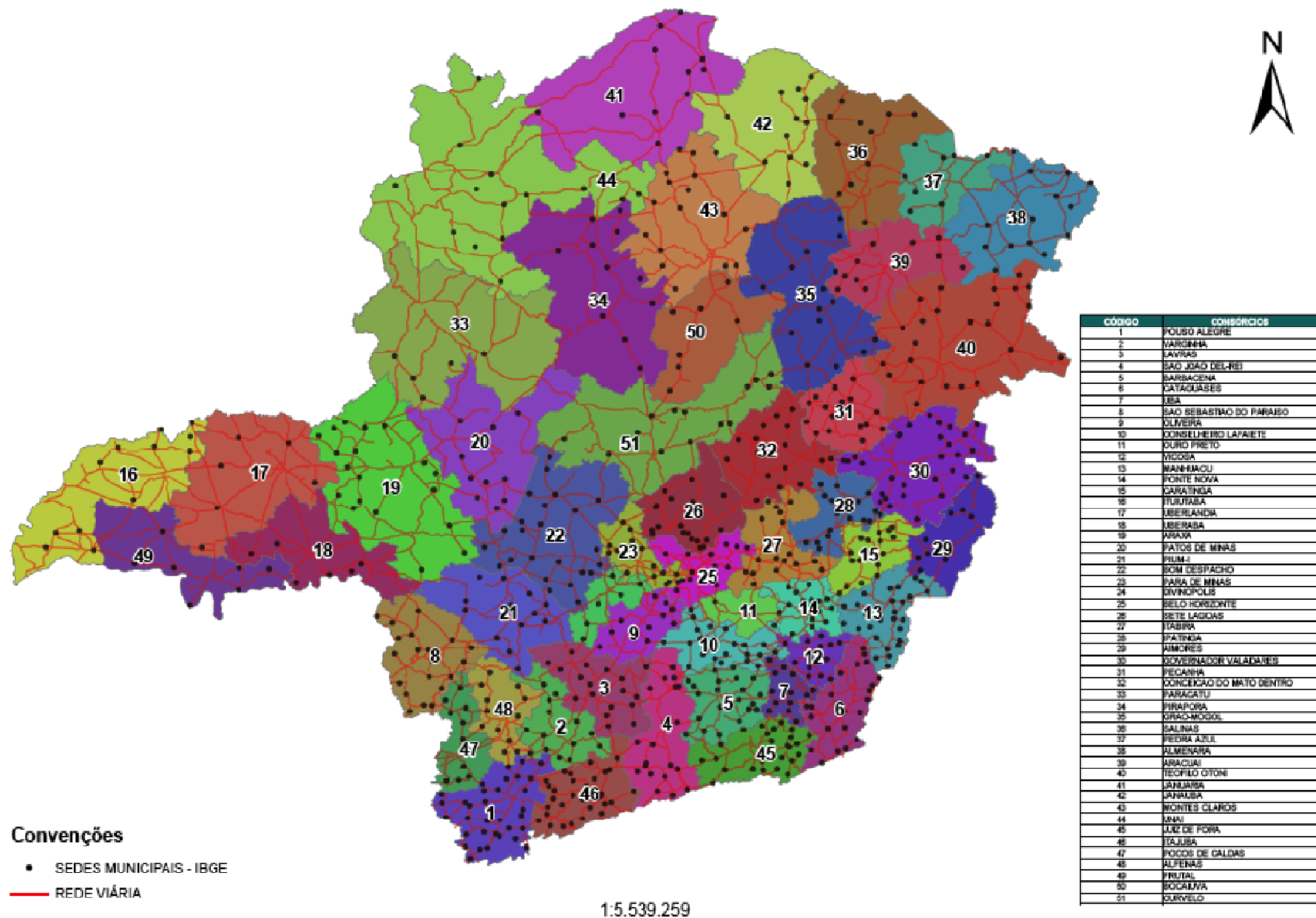


Figura 4 – Delimitação dos Arranjos Territoriais Ótimos em Minas Gerais. Fonte: FEAM, 2014.

2.3. Análise de decisão multicritério

Com o avanço da tecnologia SIG (Sistemas de Informações Geográficas), desde os anos 50, os métodos de análise de decisão multicritério têm se tornado uma importante ferramenta para auxiliar a tomada de decisão nas análises e soluções de problemas de decisão multicritério. Estes métodos têm se desenvolvido para auxiliar os tomadores de decisão a hierarquizar uma série de alternativas conhecidas ou fazer escolhas dentre elas considerando critérios conflituosos (SUMATHI et al, 2008).

Uma vez que a disposição de resíduos sólidos urbanos é uma questão multidisciplinar que envolve aspectos ambientais, sociais, técnicos e econômicos, estudos em países diversos utilizaram as metodologias desenvolvidas para se aplicar a análise multicritério para selecionar áreas para a disposição de resíduos sólidos urbanos.

Na década de 90, um estudo na Tailândia, desenvolvido por Charnpratheap et al. (1996) utilizou a metodologia Fuzzy para a identificação preliminar de áreas para a construção de aterros sanitários.

A partir do século XXI, os estudos ficaram cada vez mais frequentes. Delgado *et al.* (2008) desenvolveram um estudo na Bacia do Lago Cuitzeo, México, comparando três modelos de análises espaciais para a tomada de decisão para avaliar áreas adequadas para aterros sanitários. A bacia analisada compreendia uma área territorial de 4.000km².

Chang (2008) estudou áreas para a disposição de resíduos em um município do Texas, Estados Unidos. No mesmo ano, Zamorano et al. (2008) desenvolveram um estudo semelhante no sul da Espanha. Sumathi et al. (2008) utilizaram a análise multicritério para identificar a melhor área para a instalação de um aterro sanitário para o município de Pondicherry no sul da Índia (492km²).

Na Turquia, Sener et. al (2010) desenvolveram um estudo para selecionar uma área adequada para a construção de um aterro sanitário na região do Lago Beysehir, um dos maiores reservatórios de água para abastecimento humano do país. A seleção de uma área adequada teve como principal objetivo proteger o Lago Beysehir da contaminação proveniente da disposição de resíduos sólidos a céu aberto. No mesmo ano, também na Turquia, Ekmekçioğlu et. al (2010) utilizaram a metodologia Fuzzy para a seleção de áreas para aterros sanitários.

Gorsevski et. al. (2012) integraram técnicas de análise multicritério - *Fuzzy, Analytical Hierarchy Process (AHP)* e *Ordered Weighted Average (OWA)* - com Sistemas de Informação Geográfica para avaliar a adequabilidade na seleção de áreas para disposição de resíduos na Região Polog, que abrange uma área de 2.417 km², que representa 9,7% do território da República da Macedônia. Neste estudo os fatores ambientais e econômicos considerados foram padronizados pela lógica Fuzzy, combinados e comparados por meio da técnica AHP e, utilizando o OWA, foram gerados cenários diversos considerando diferentes níveis de risco considerados nas análises (análises otimistas, pessimistas e neutras).

Demesouka et. al na Grécia (2013), e Gbanie et al (2013), em Serra Leoa utilizaram a análise multicritério para a seleção de áreas para aterros sanitários. Na Grécia o estudo foi desenvolvido para a região Thrace que apresenta uma área total de 8.577 km² e em Serra Leoa, o estudo de caso foi realizado para o segundo maior município do país.

No Brasil, Samizava et. al (2008) desenvolveram um estudo no município de Presidente Prudente, no estado de São Paulo, para avaliar as áreas potenciais para a instalação de aterro sanitário no município utilizando metodologias baseadas em SIG para a análise multicritério. Outros estudos semelhantes foram desenvolvidos por outros autores para diferentes municípios, como Massunari (2000), para Ilhéus, na Bahia; Melo (2001), para Cachoeiro de Itapemirim (ES); Weber & Hasenack (2000) para Osório no Rio Grande do Sul; Moraes et. al (2010) para a região metropolitana de Belém-PA; Porto & Bravin (2013) para Muriaé-MG; Chrystello & Silva (2013) para Ubá-MG, dentre outros.

Lino (2007) realizou um estudo comparativo entre métodos para a seleção de áreas para a construção de aterros sanitários em Campinas (SP).

O que se observa é que, de forma geral, os estudos são mais comumente desenvolvidos para unidades de planejamento mais restritas geograficamente, como áreas municipais, principalmente.

O estudo regional para identificação de áreas para instalação de aterros sanitários com o objetivo de estabelecer consórcios entre dois ou mais municípios não foi identificado nas referências bibliográficas. As maiores áreas abrangidas por estudos de análise multicritério com este objetivo foram identificadas nos estudos de Demesouka et. al

(2013) na Grécia, que abrangeu uma área de 8.577 km², Delgado et. al (2008) na Bacia do Lago Cuitzeo no México, que compreende uma extensão territorial de 4.000km² e Gorsevski et. al, em 2010, na Macedônia, que estudou uma área de 2.417 km².

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa descritiva e pesquisa qualitativa. A pesquisa descritiva tem como objetivo principal a descrição das características de uma população ou de um fenômeno ou, também, o estabelecimento de relação entre variáveis. A pesquisa qualitativa, por sua vez, caracteriza-se por não estar vinculada à utilização de estudos estatísticos, mas sim, pela interpretação de fenômenos e proposição de análises dos significados (GIL, 1991). Quanto aos meios de investigação, de acordo com Vergara (1997), o estudo pode ser classificado como pesquisa documental, bibliográfica e estudo de caso.

A proposta metodológica de pesquisa para a identificação e avaliação de áreas para implantação de aterro sanitário e UTC compreende a aquisição, armazenamento, descrição e, posteriormente, análise, em nível espacial, de dados georreferenciados a partir da definição de condicionantes operacionais, legais, ambientais e socioeconômicos. A pesquisa foi desenvolvida a partir da realização das seguintes etapas:

- a) Levantamento dos dados necessários para a análise, junto a órgãos públicos e laboratórios de análises espaciais;
- b) Edição e adequação dos dados para o processamento na análise espacial;
- c) Elaboração de planos de informação de restrição;
- d) Análise espacial nos *softwares* ArcGIS 10.0 e IDRISI Taiga; e
- e) Análise e proposição de formas eficientes e aplicáveis de gestão municipal de resíduos sólidos urbanos a partir da identificação quantitativa e qualitativa das áreas obtidas.

3.1. Caracterização da Área de Estudo

A mesorregião da Zona da Mata está situada na porção sudeste do Estado de Minas Gerais (Figura 5) e é formada por sete microrregiões (Juiz de Fora, Cataguases, Ubá, Viçosa, Ponte Nova, Manhuaçu e Muriaé) constituídas por 142 municípios e que ocupam uma área total de 35.726 km² (6,1% da área total do estado de Minas Gerais). A população é estimada em 2.172.374 habitantes (IBGE, 2010). As principais rodovias federais que cortam a região são BR-040, BR-116, BR-120, BR-262, BR-265, BR-267, BR-393, BR-356 e BR-482.

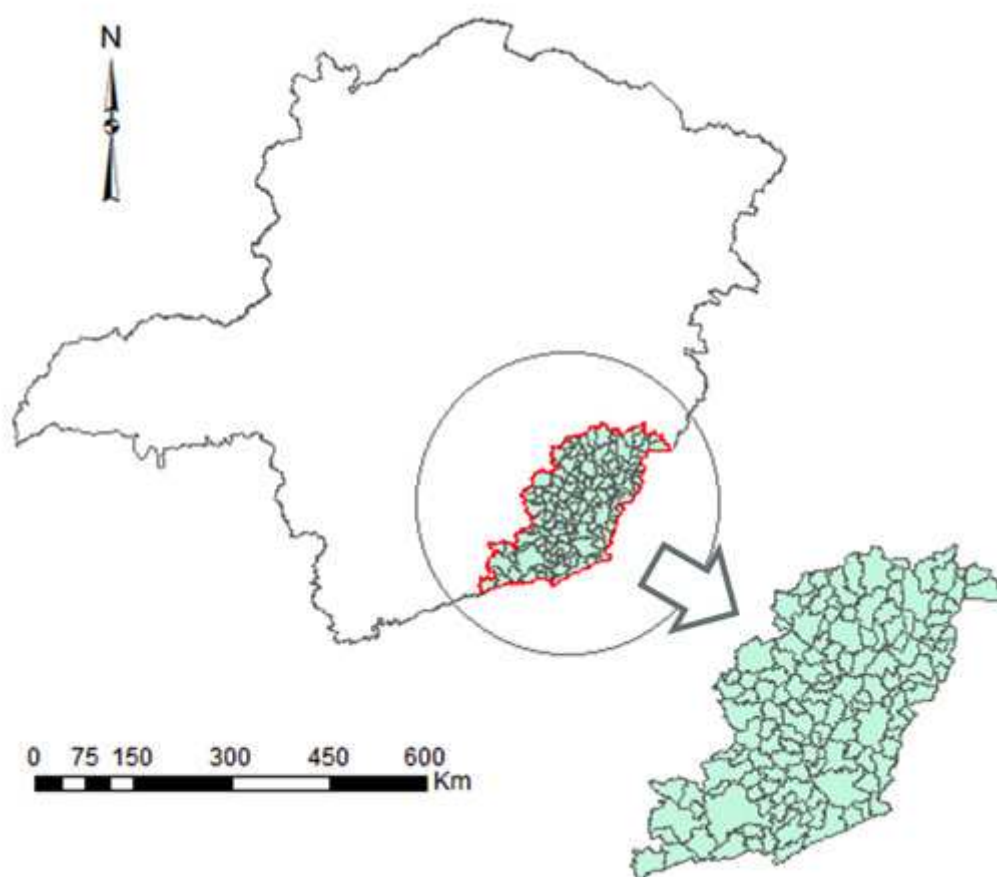


Figura 5 – Localização da zona da mata no estado de Minas Gerais.

Segundo a delimitação dos Arranjos Territoriais Ótimos (ATOs), a Zona da Mata mineira abrange 10 ATOs, dos quais quatro encontram-se inteiramente inseridos no limite político da mesorregião enquanto os demais possuem pequena ou grande porção de sua área inserida na Zona da Mata, como se observa na Figura 6. Na Tabela 2 têm-se os ATOs e as respectivas cidades-sede que compõem a mesorregião da Zona da Mata.

Tabela 2 – Arranjos Territoriais Ótimos (ATOs) que compõem a Zona da Mata. Fonte: FEAM, 2014.

ATO	Cidade-sede
ATO 4	São João Del-Rei
ATO 5	Barbacena
ATO 6	Cataguases
ATO 7	Ubá
ATO 10	Conselheiro Lafaiete
ATO 12	Viçosa
ATO 13	Manhuaçu
ATO 14	Ponte Nova
ATO 15	Caratinga
ATO 45	Juiz de Fora

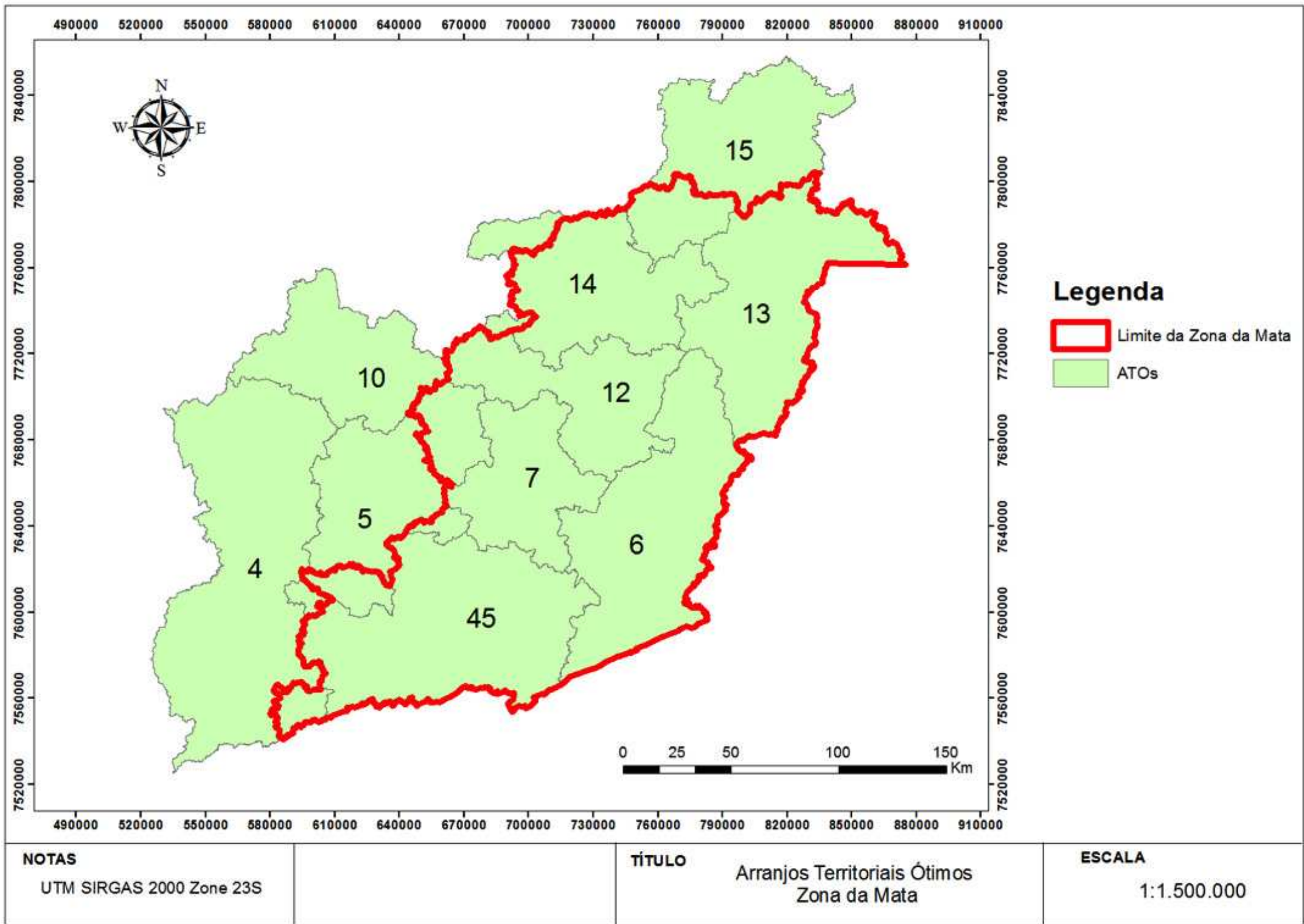


Figura 6 – Arranjos Territoriais Ótimos referentes à Zona da Mata.

3.1.1. Hidrografia

A região abrange áreas de atuação dos Comitês de Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH Rio Piranga e CBH do Rio Manhuaçu) e do Rio Paraíba do Sul (CBH Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna e CBH do Rio Pomba e Muriaé).

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce possui uma área de drenagem de cerca de 83 mil km² e possui cerca de 86% do seu território localizado na região centro-leste do estado de Minas Gerais e cerca de 14% na região centro-norte do Espírito Santo.

O rio Doce nasce no município de Ressaquinha (MG), onde recebe o nome de rio Piranga, e deságua no oceano Atlântico, no povoado de Regência, no município de Linhares (ES). São 853 km da nascente até a foz, passando por 230 municípios (202 situados no estado de Minas Gerais) (IGAM, 2012).

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul se estende por territórios pertencentes a três Estados da Região Sudeste, em uma área de drenagem total de 57.000 km²: São Paulo (13.605 km²), Rio de Janeiro (22.600 km²) e Minas Gerais (20.500 km²) passando por um total de 184 municípios, sendo 88 deles pertencentes à Zona da Mata mineira (IGAM, 2012).

3.1.2. Relevo

A Zona da Mata se insere no domínio dos Mares de Morros (AB'SABER, 1996). O relevo apresenta formas diversificadas, destacando-se áreas planas, onduladas e montanhosas, elevações de topos arredondados com vertentes convexas terminando em vales planos (VALVERDE, 1958). Inserida no domínio morfoestrutural dos planaltos Cristalinos Rebaixados, a Zona da Mata sofreu arqueamentos que deram origem a fraturas e falhas responsáveis pelo abaixamento dos planaltos e pelo levantamento do Maciço do Caparaó, parte mais elevada da região (MOREIRA & CAMELIER, 1977). A evolução do relevo dessa região permitiu que nela se desenvolvessem superfícies de erosão bem regulares, caracterizadas por alinhamentos de cristas e uma superfície deprimida no seu interior.

3.1.3. Clima

O relevo é o fator geográfico que exerce forte influência sobre o clima da Zona da Mata, refletindo em sítios climáticos diversificados. O inverno (seco) e o verão (chuvoso) são as estações mais bem definidas. As temperaturas máximas e mínimas durante essas estações do ano são condicionadas pelo tipo de tempo atuante, associada à variação altimétrica, localização do sítio, posição e orientação dos vales por onde se desenvolveu o processo de ocupação da área (IGAM, 2012). A pluviosidade média anual oscila entre 1.000 e 1.500 mm.

3.1.4. Geologia

A constituição geológica é composta, em maior proporção, pelo Complexo Cristalino, constituídas por gnaisses diversos e migmatitos. Em menor proporção ocorrem metassedimentos, compreendendo quartzitos e mica xistos e, de forma mais esparsa, por rochas ígneas intrusivas metamorfozadas. De forma restrita aparecem formações sedimentares recentes, datadas dos períodos Terciário e Quaternário. Os depósitos quaternários ocorrem ao longo dos vales e vias fluviais formando os terraços e leitos maiores, e são constituídos por cascalhos, areias, siltes e argilas (BRASIL,1970; BARUQUI, 1982; BRASIL, 1983).

3.1.5. Bioma

A Zona da Mata está inserida no domínio da Mata Atlântica, formado por florestas ombrófilas (densa, aberta e mista) e florestas estacionais semidecíduais e decíduais (IBGE, 2004). O Bioma Mata Atlântica teve a cobertura vegetal original reduzida a 22% (MMA, 2010), e abriga vasta maioria dos animais e plantas ameaçados de extinção, tendo sido definido como área prioritária para a conservação mundial, denominada *hotspot*. Os *hotspots* são áreas que perderam pelo menos 70% de sua cobertura vegetal original, mas que, juntas, abrigam mais de 60% de todas as espécies terrestres do planeta (GALINDO-LEAL & CÂMARA, 2005).

3.2. Análise multicritério

De um modo geral, os processos de decisão pretendem satisfazer objetivos e são desenvolvidos com base na avaliação de vários critérios. Trata-se, essencialmente, de um processo de decisão de natureza *multicritério*, no qual diversos atributos do problema são considerados na avaliação.

Os critérios podem ser classificados em restrições ou fatores. As restrições são determinadas de acordo com a lógica booleana (valores de 1 ou 0 que representam, respectivamente, sim ou não) para identificar as áreas aptas e remover as áreas inaptas da análise. Os fatores, por outro lado, são de natureza contínua e representam uma variação de aptidão; qualificando as áreas de acordo com as características relevantes ao estudo.

A combinação desses critérios, de acordo com a metodologia descrita a seguir, auxilia no processo de decisão que consiste na avaliação das áreas com maior adequabilidade para o uso em estudo, dentro de um determinado espaço geográfico.

A realização do estudo consiste, resumidamente, de um extenso processo de coleta e manipulação de dados utilizando o *software* ArcGIS® 10.0 para serem processados posteriormente em análise multicritério em um segundo *software* - IDRISI Taiga. A descrição das etapas requeridas no desenvolvimento do estudo é detalhada a seguir.

3.3. Levantamento da base de dados

A seguir são apresentadas as atividades envolvidas na realização do presente estudo.

3.3.1. Obtenção dos dados georreferenciados

A principal fonte de dados deste trabalho foram as cartas topográficas vetoriais do mapeamento sistemático do IBGE contendo:

- Hidrografia;
- Hipsografia;
- Localidades;
- Sistema viário;
- Limites;
- Obras e edificações;
- Pontos de referência; e

- Vegetação.

A região da Zona da Mata abrange três cartas na escala 1:100.000 e 67 cartas na escala 1:50.000. As cartas não disponíveis pelo IBGE foram obtidas junto ao Instituto de Geociências Aplicadas (IGA/MG). O Modelo Digital de Elevação utilizado foi fornecido pelo Laboratório de Geoprocessamento da UFV (LABGEO) e é proveniente do sensor ASTER com resolução espacial de 30 metros.

Também foram fornecidas pelo LABGEO-UFV as APPs de topo de morro da Zona da Mata, obtidas por meio de funções matemáticas no SIG ArcGIS10 de acordo com a metodologia desenvolvida por OLIVEIRA & FERNANDES FILHO (2013) para atender às novas restrições do Novo Código Florestal Brasileiro.

3.3.2. Obtenção da imagem de satélite

A imagem utilizada no estudo foi fornecida pelo Instituto de Geociências Aplicadas/MG, e foi obtida pelo satélite RapidEYE no ano de 2010. A imagem possui resolução espacial de 5 metros.

3.3.3. Padronização do sistema de referência horizontal (datum) das cartas

As cartas obtidas no IBGE e IGA apresentam diferenças quanto ao sistema de referência horizontal (Datum) padrão de cada uma. Algumas cartas apresentam o Sistema Geodésico de Referência Horizontal SAD69 e outras o Sistema Córrego Alegre. Para compatibilizá-las em uma base cartográfica contínua, foram feitas transformações para o Datum oficial do Brasil: SIRGAS 2000. As transformações foram realizadas utilizando o *software* da ESRI ArcGIS® versão 10.0, tanto para as cartas do IBGE quanto para as cartas do IGA. O sistema de projeção adotado foi o UTM (Universal Transversa de Mercator).

3.3.4. Edição das cartas

i. Hidrografia

Para as cartas de hidrografia foram realizadas as seguintes edições:

- Junção das bordas das cartas organizadas originalmente na forma de articulação para criação da base contínua.
- Unifilarização da rede hidrográfica.
- Geração de polígonos para lagos e rios principais.

- Correção de erros e inconsistências.
- Correção das redes hidrográficas incompletas com base na imagem RapidEye.

ii. Sistema viário

Para as cartas do sistema viário foram realizadas as seguintes edições:

- Junção das bordas das cartas organizadas originalmente na forma de articulação para criação da base contínua.
- Correção de erros e inconsistências.
- Correção das vias incompletas com base na análise da imagem dos satélites RapidEye.

iii. Curvas de Nível

A declividade foi obtida a partir do MDE ASTER pelo processamento do mesmo no *software* ArcGIS 10.0.

3.3.5. Delimitação das áreas urbanas e núcleos populacionais

Para a delimitação das áreas urbanas foi utilizada a técnica de classificação supervisionada de imagens usando o algoritmo da máxima verossimilhança no *software* ArcGIS 10.0. Em seguida, as vilas e comunidades não demarcadas pelo algoritmo foram delimitadas manualmente pela criação de polígonos por análise das imagens RapidEYE e das imagens de satélite fornecidas pelo *software* Google Earth.

3.3.6. Obtenção do MDEHC

O MDEHC (Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente) foi gerado com o intuito de obter um modelo de elevação condizente com a realidade e de acordo com a hidrografia do IBGE.

3.3.7. Obtenção das Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação foram obtidas por meio do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, que corresponde a um sistema integrado de banco de dados, mantido pelo Ministério do Meio Ambiente, com informações oficiais sobre as unidades de conservação.

3.4. Análise estratégica de decisão – Estabelecimento de critérios

i. Critérios restritivos (áreas de restrição)

Os planos de informação correspondentes às áreas de restrição foram obtidos de acordo com a lógica booleana na qual as áreas inaptas para o objetivo do estudo são classificadas com o valor 0 e as áreas aptas, recebem a valoração 1, de acordo com as normas legais relevantes para a escolha de áreas a serem utilizadas para a disposição de resíduos sólidos urbanos, conforme detalhamento a seguir.

- Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal Brasileiro).

Dentre as APPs estabelecidas pelo Código Florestal, aquelas que são relevantes para este estudo são:

- a) Faixas marginais de cursos d'água dependendo da largura do seu leito regular;
- b) Encostas com declividade acima de 45º ou 100%; e
- c) Topos de morro.

- Deliberação Normativa do COPAM Nº118/2008.

Os requisitos mínimos para a escolha da localização da área, implantação e operação do depósito de RSU são:

- a) Distância mínima de 300 m de cursos d'água;
- b) Distância mínima de 500m dos núcleos populacionais;
- c) Distância mínima de 100m de estradas e rodovias;
- d) Declividade média inferior a 30%.

- Portaria nº 249/GCS/2011 do Ministério da Defesa

Com base no estabelecido pela Portaria, as áreas localizadas a um raio inferior a 9 km de distância dos aeródromos da Zona da Mata serão consideradas, neste estudo, como áreas restritas.

- Lei n° 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

As Unidades de Conservação são espaços territoriais que possuem restrições quanto ao uso. Com isso, essas áreas se tornam inviáveis para a implantação de aterros sanitários. As UCs inseridas na mesorregião da Zona da Mata foram identificadas e estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Unidades de Conservação inseridas na Zona da Mata mineira (Fonte: Cadastro de Unidades de Conservação, MMA, 2014).

ID	Nome da Unidade de Conservação	Categoria	Grupo
1	Área de Proteção Ambiental Água Santa de Minas	Área de Preservação Ambiental	Uso Sustentável
2	Área de Proteção Ambiental Alto Taboão	Área de Preservação Ambiental	Uso Sustentável
3	Área de Proteção Ambiental Serra da Mantiqueira	Área de Preservação Ambiental	Uso Sustentável
4	Área de Proteção Ambiental Serra da Vargem Alegre	Área de Preservação Ambiental	Proteção Integral
5	Estação Ecológica de Água Limpa	Estação Ecológica	Proteção Integral
6	Estação Ecológica Mar de Espanha	Estação Ecológica	Proteção Integral
7	Parque Estadual Serra do Brigadeiro	Parque	Proteção Integral
8	Parque Nacional do Caparaó	Parque	Proteção Integral

Na Tabela 4, têm-se as restrições a serem consideradas na Análise Multicritério, considerando os valores mais restritivos dentre as normas legais avaliadas.

Tabela 4 - Restrições legais para a escolha de áreas para a disposição de RSU.

ID	Restrição	Norma mais restritiva
R1	Distância mínima de 300 m de cursos d'água	DN COPAM N°118/2008
R2	Distância mínima de 100 m do sistema viário	DN COPAM N°118/2008
R3	Declividade inferior a 30%	DN COPAM N°118/2008
R4	Distância mínima de 500 m de núcleos populacionais	DN COPAM N°118/2008
R5	APPs de Topo de morro	Lei N° 12.651/2012
R6	Distância de 9 km de aeroportos	Portaria n° 249/GCS/2011 do Ministério da Defesa
R7	Unidades de Conservação	Lei n° 9.985/2000
R8	Limite ATO	

ii. Critérios escalonados (fatores)

Os fatores são critérios utilizados de acordo com a aptidão com o uso desejado, no caso, áreas adequadas para a disposição de resíduos. Para tanto, os diferentes fatores serão classificados de acordo com a lógica *fuzzy*, por meio da qual são obtidos planos de informação de adequabilidade padronizados com valores de 0 (adequabilidade mínima) a 255 (adequabilidade máxima).

Esta padronização é obtida a partir da aplicação de funções de pertinência *fuzzy* para a definição de uma superfície de aptidão para os diferentes critérios (WEBER & HASENACK, 2000). As funções mais comumente usadas são: Sigmoidal, Linear, J-Shaped e complexa (ZADEH, 1965). Neste trabalho, serão utilizadas as funções Linear e Sigmoidal que são controladas por quatro pontos de controle de acordo com os gráficos da Figura 7 e da Figura 8.

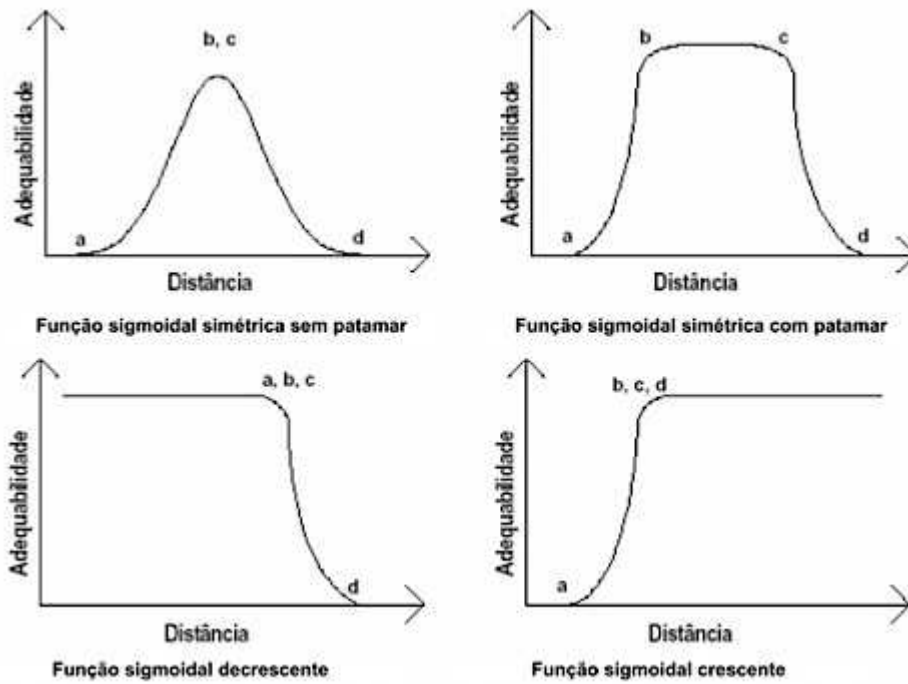


Figura 7 – Exemplos de Função Sigmoidal (LEITE, 2005).

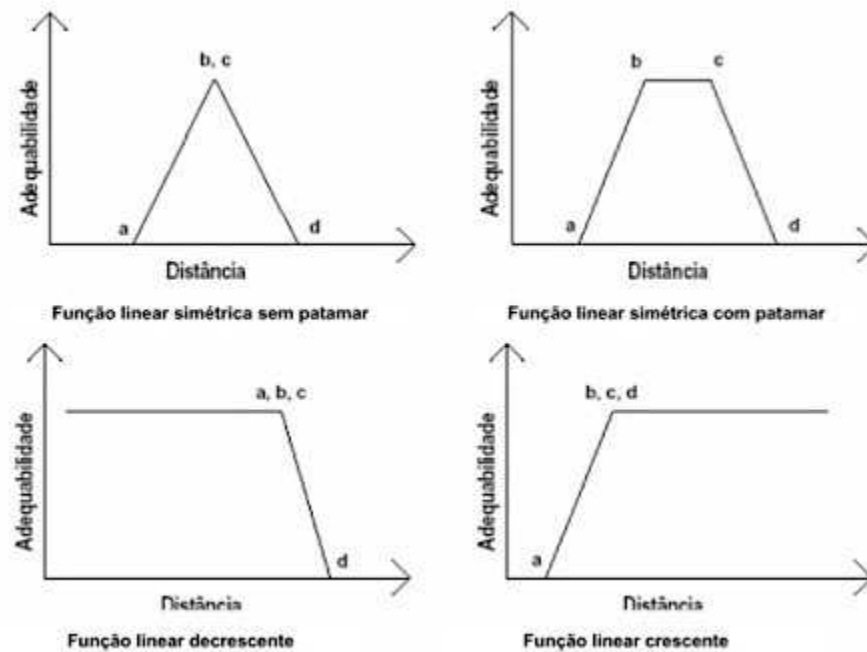


Figura 8 – Exemplos de Função Linear (LEITE, 2005).

Para a escolha dos fatores utilizou-se como referência as restrições presentes na DN COPAM N°118/2008, referências bibliográficas e os impactos socioambientais negativos causados, muitas vezes, pela utilização de áreas impróprias ou selecionadas sem critério para receberem os RSU, bem como as principais dificuldades enfrentadas pelas administrações municipais.

Os fatores, as funções aplicadas a cada um deles, bem como seus respectivos pontos de controle, estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Fatores utilizados para a obtenção de cartas de adequabilidade e seus respectivos arquivos e pontos de controle.

ID	Fator	Pontos de controle				Função	Referências Bibliográficas
		A	B	C	D		
F1	Distância mínima de 300 m da hidrografia	300	700	700	700	Sigmoidal crescente	- Samizava, 2008 - Gorsevski, 2012 - Marques, 2001 - Melo, 2001
F2	Distância mínima de 100 m das estradas vicinais	100	100	100	1000	Linear decrescente	- Leite, 2005
F3	Distância mínima de 100 m das rodovias principais	100	1000	4000	10000	Sigmoidal simétrica	Samizava, 2008
F4	Declividade inferior a 30%	0	5	25	30	Linear simétrica	- Melo, 2001
F5	Distância mínima de 500 m dos núcleos populacionais urbanos	500	2000	8000	10000	Linear simétrica	- Gorsevski, 2012 - Marques, 2001 - Melo, 2001 - NBR 13.896/1997
F6	Distância mínima de 500 m dos núcleos populacionais rurais	500	700	700	700	Linear crescente	- Melo, 2001

a. Fator distância de cursos d'água

Considerando o elevado teor impactante da disposição de resíduos sólidos sobre os cursos d'água, devido à possibilidade de contaminação dos rios por escoamento superficial ou do lençol freático por infiltração de lixiviado no solo, além da distância mínima de 300 m estabelecida pela DN COPAM Nº118/2008, considerou-se, ainda, um aumento da aptidão com o aumento da distância da hidrografia utilizando-se, para isso, a função *fuzzy* Sigmoidal crescente. Os valores máximos de aptidão para este fator são atingidos a partir da distância de 700 metros.

b. Fator distância de estradas vicinais

A DN COPAM Nº118/2008 determina que o acesso para a área de disposição de resíduos deve ser adequado para que o transporte dos mesmos e a operação do aterro sejam funcionais. Neste caso, este fator visa estabelecer uma elevada aptidão para as áreas mais próximas das estradas vicinais, a partir da distância mínima de 100 m estabelecida pela legislação supracitada. A padronização deste fator foi gerada então pela função *fuzzy* Linear decrescente.

c. Fator distância de estradas principais

A partir da distância mínima de 100 m (DN COPAM Nº118/2008), tem-se, neste caso, uma elevada aptidão à medida que se distancia das estradas principais, uma vez que a proximidade excessiva pode prejudicar o tráfego de veículos devido à possível presença de resíduos mais leves como sacolas plásticas. Assim, utilizou-se a função *fuzzy* Sigmoidal simétrica para se obter as maiores aptidões entre as distâncias de 1000 e 4000 m. A redução da aptidão ocorre a partir de 4000 m, uma vez que a presença de rodovias principais na rota de acesso entre o depósito e o município aumenta a eficiência do transporte de resíduos.

d. Fator declividade

Considerando a declividade máxima de 30%, permitida pela DN COPAM nº118/2008, têm-se os valores mais elevados de aptidão entre as declividades de 5 e 25% já que alguma declividade pode indicar a presença de material de empréstimo. Para este fator foi utilizada a função *fuzzy* linear simétrica para padronização dos dados de declividade em escala de aptidão, com os pontos de controle supracitados (0-5-25-30%).

e. Fator distância de núcleo populacional urbano

Para os núcleos urbanos, considerou-se um aumento da adequabilidade das áreas à medida que se distancia das cidades no intervalo de 500m (DN COPAM Nº118/2008) a 2 km, utilizando a função *fuzzy* linear simétrica. No intervalo de 2km a 8km foi atribuído o valor de adequabilidade máxima e a partir de 8 km a aptidão decresce, uma vez que os custos com transporte ficam elevados. Neste caso, os valores mínimos de aptidão são observados para distâncias inferiores a 500 m e superiores a 10 km e máximos entre as distâncias de 2 a 8 km.

f. Fator distância de núcleo populacional rural

Neste caso, as maiores aptidões foram consideradas para as áreas mais distantes dos núcleos populacionais rurais. Afinal, a proximidade prejudica as atividades rurais e não favorece o transporte, uma vez que o volume de resíduos na zona rural é reduzido. Sendo assim, para este fator considerou-se a função *fuzzy* linear crescente com valores máximos de adequabilidade obtidos a partir de 700 metros.

3.5. Comparação par a par para ponderação das variáveis

As variáveis apresentam importâncias relativas para a escolha da área. Portanto, para a determinação de pesos diferentes para cada fator, as condicionantes foram comparadas duas a duas para se obter um peso final para cada variável. Esta comparação foi realizada por meio do método AHP (*Analytical Hierarchy Process* ou Processo de Hierarquização Analítica) proposto por Saaty (1990), e executado por meio da Matriz WEIGHT do *software* IDRISI TAIGA.

A análise AHP foi utilizada para multiplicar os planos de informação, padronizados pelo módulo FUZZY (escala 0 – 255), pelo seu peso obtido na matriz WEIGHT (Tabela 6). A consistência dos pesos é verificada a partir do índice de consistência (IC) calculado pelo *software* e que, segundo Saaty (1990) deve apresentar valor inferior a 0,1. Neste caso, obteve-se IC igual a 0,05 indicando a consistência da matriz apresentada na Figura 9 que representa a análise realizada para o ATO 4, como exemplo.

Tabela 6– Pesos ponderados dos fatores obtidos pela Matriz WEIGHT.

ID	Nome do arquivo <i>fuzzy</i>	Fator	Pesos ponderados
F1	fuzzy_hidro	Fator distância de cursos d'água	0,3154
F2	fuzzy_svv	Fator distância das estradas vicinais	0,1290
F3	fuzzy_svp	Fator distância de rodovias principais	0,0449
F4	fuzzy_decliv	Fator declividade	0,1290
F5	fuzzy_npu	Fator distância dos núcleos populacionais urbanos	0,0664
F6	fuzzy_npr	Fator distância dos núcleos populacionais rurais	0,3154

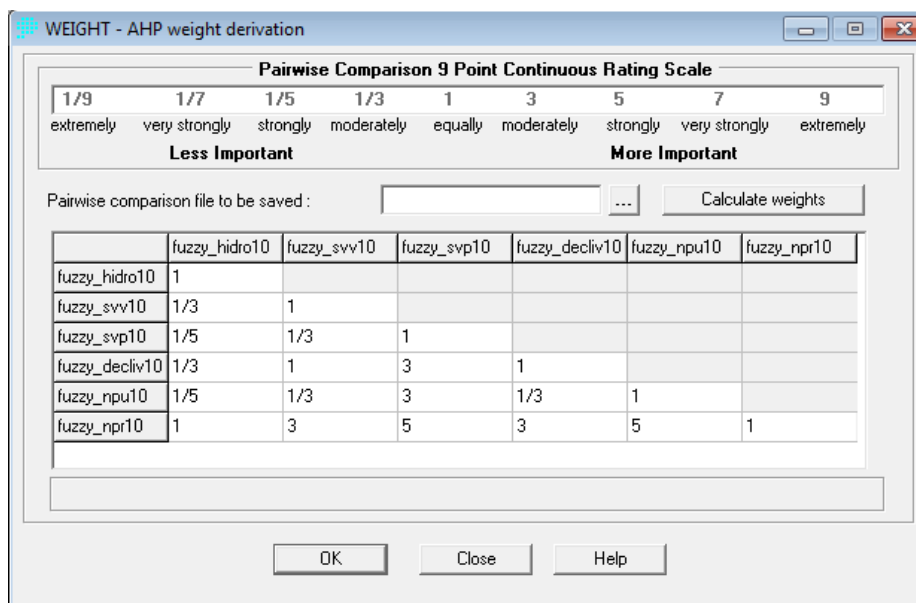


Figura 9 – Matriz WEIGHT 6x6 gerada para a ponderação

3.6. Análise Multicritério - Métodos

Neste trabalho utilizou-se o método da Combinação Linear Ponderada (WLC), conforme Voogd (1983), para a integração dos fatores após a padronização dos mesmos a uma escala contínua pela lógica *Fuzzy*.

3.7. Estimativa das áreas de disposição de RSU para cada ATO

A estimativa do valor de área para os diferentes ATOs foi feita com base no cálculo do volume total de resíduos gerados em um período de 20 anos, reduzido da porção de materiais recicláveis e da matéria orgânica a serem triados e compostados, respectivamente, na Usina de Triagem e Compostagem.

Para elevados volumes de resíduos, recomenda-se a disposição em plataformas. Considerando uma altura máxima de 20 m de resíduos aterrados e solo, obtém-se o valor da área requerida. Como exemplo, tem-se o cálculo para o ATO 6 (cidade-sede: Cataguases). Os valores de referência (produção de resíduos diária por habitante e densidade dos resíduos) foram retirados do relatório da ABRELPE (2013).

Para o cálculo do volume de resíduos a ser disposto em solo, foi considerada uma taxa de 25,25% de materiais recicláveis que serão triados nas Usinas de Triagem e Reciclagem e 58,79% de matéria orgânica que poderá ser submetida ao processo de compostagem nessas unidades e que, assim, não serão dispostos nos aterros sanitários. Estes valores foram obtidos a partir do Relatório Final do Convênio N° 2091012000609 – SUPRAM/FEAM/UFV (2013).

Entretanto, acerca da capacidade de compostagem das unidades, destaca-se que, de acordo com o Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos (MMA, 2010), as unidades para compostagem devem ser dimensionadas para o processamento máximo de 100 toneladas por dia. Sendo assim, o percentual de matéria orgânica passível de ser compostado para cada ATO foi obtido para o cálculo da área necessária para dispor os rejeitos e parte da matéria orgânica, quando a produção de matéria orgânica diária for superior a 100 toneladas.

Em seguida, tem-se o cálculo da área realizado para o ATO 6:

RSU coletado por habitante por dia = 0,810 kg/(hab.d)

Densidade média dos resíduos compactados = 700 kg/m³

População total do ATO 6 = 393.038 hab

Percentual dos resíduos a serem dispostos em solo (rejeitos e parte da matéria orgânica) = 100% - 25,25% (recicláveis) - 27,21% (matéria orgânica a ser compostada) = 47,54%

Volume total de resíduos = 393.038 hab * (0,81kg/hab.d / 700 kg /m³) * 47,54% * 365 d/a * 20 anos

Volume total de resíduos = 1.578.298m³

Altura da plataforma = 5m Plataformas = 4 Altura total = 20m

Assim, para a estimativa da área requerida foi utilizada a altura total de 20 m correspondente ao aterro. O valor obtido foi então multiplicado por dois, uma vez que além da área para disposição de resíduos, é necessário considerar áreas para as instalações, para lagoas de tratamento de lixiviado, área de manobra, dentre outros. Além disso, este cálculo considera uma seção retangular da plataforma o que, também, não condiz com a realidade, pois as plataformas são feitas com taludes inclinados (3:1) com bermas de 3 m entre eles. O volume recebido pelo aterro dependerá então, principalmente, das condições do terreno. Dessa forma, a área requerida é estimada.

Área requerida = (Volume total de resíduos / Altura) * 2 = 1.578.298m³ / 20m * 2 = 157.829,8m² = 15,8ha

3.8. Validação em campo

Devido à extensão espacial da Zona da Mata e à quantidade elevada de ATOs que a compõe, a validação em campo foi realizada em três municípios inseridos em ATOs diferentes, na tentativa de validar áreas capazes de representar os diferentes aspectos físicos e cidades com populações representativas das existentes na Zona da Mata.

A validação tem como objetivo comprovar a eficiência da metodologia utilizada, por meio da verificação, *in loco*, da qualidade das áreas para fins de utilização para implantação de aterros sanitários e UTCs.

3.9. Análises Multicritérios – AM1, AM2 e AM3

Após a obtenção dos resultados da análise multicritério 1 (AM1), que considerou como parâmetros de análise as normas legais vigentes aplicadas aos ATOs, duas novas análises foram geradas (AM2 e AM3):

- I. Análise AM2: tem como intuito verificar o impacto da alteração de parâmetros na obtenção de áreas aptas.
- II. Análise AM3: visa comparar os resultados obtidos para os ATOs por meio de análises realizadas utilizando o município como unidade de planejamento para a gestão de resíduos.

Assim, com esses resultados foi realizada uma análise geral do panorama da mesorregião com relação ao tamanho das áreas requeridas para os ATOs e para os municípios e quanto à disponibilidade dessas áreas para a construção de aterros sanitários.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como descrito no item 0 (Metodologia), foram realizadas 3 diferentes análises: AM1 (análise geral), AM2 (considerando novos valores-limite para os parâmetros Hidrografia e Sistema Viário) e AM3 (considerando o município de forma individualizada para a disposição de resíduos). Os resultados das análises e de seus respectivos objetivos são apresentados neste item e comparados ao final dele.

4.1. Análise Multicritério 1 – AM1

4.1.1. Planos de informação de restrição

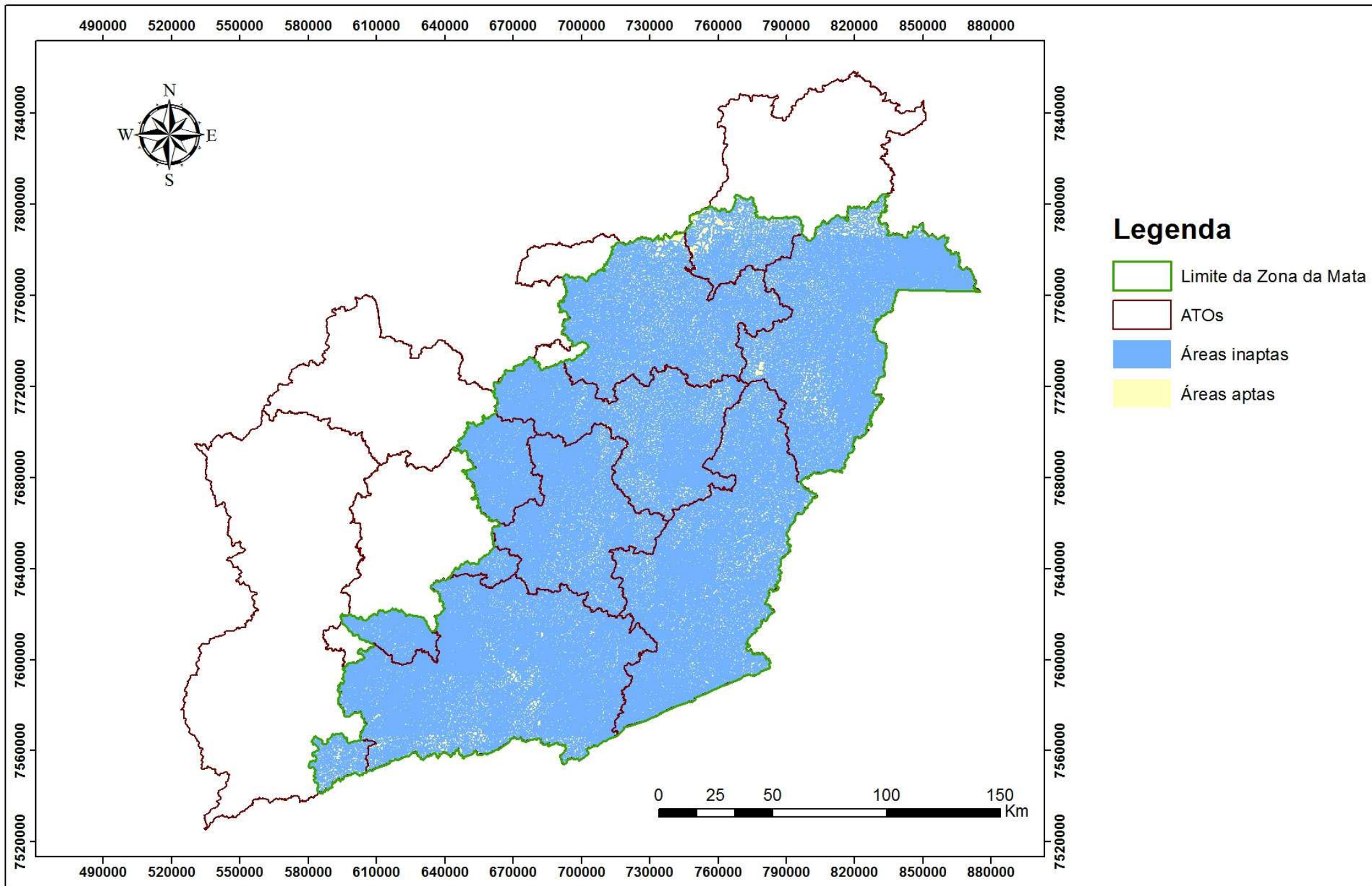
Na Tabela 7, têm-se os percentuais referentes às áreas aptas e inaptas para cada critério de restrição, considerando toda a Zona da Mata. Na Figura 10 à Figura 16 podem ser verificadas as áreas aptas e inaptas obtidas com base na metodologia descrita pela lógica booleana, e apresentada no item 3.4.

Observa-se que as restrições: hidrografia, sistema viário e declividade apresentam extensas áreas inaptas com percentuais de 93,5; 27,9 e 14,3, respectivamente. Os resultados quanto aos critérios restritivos relacionados às questões naturais como hidrografia e declividade já eram esperados, devido às conhecidas características ambientais da mesorregião da Zona da Mata mineira.

A restrição aeroportos, apesar de representar um percentual reduzido se comparada às restrições supracitadas, causa um impacto local considerável para os municípios que possuem aeroportos dentro de seus limites, pois representam uma perda de área correspondente a 254 km². Destaca-se que esta perda pode impactar mais de um município, pois dependendo da localização do aeroporto a circunferência de área referente ao raio de 9 km pode abranger outros municípios.

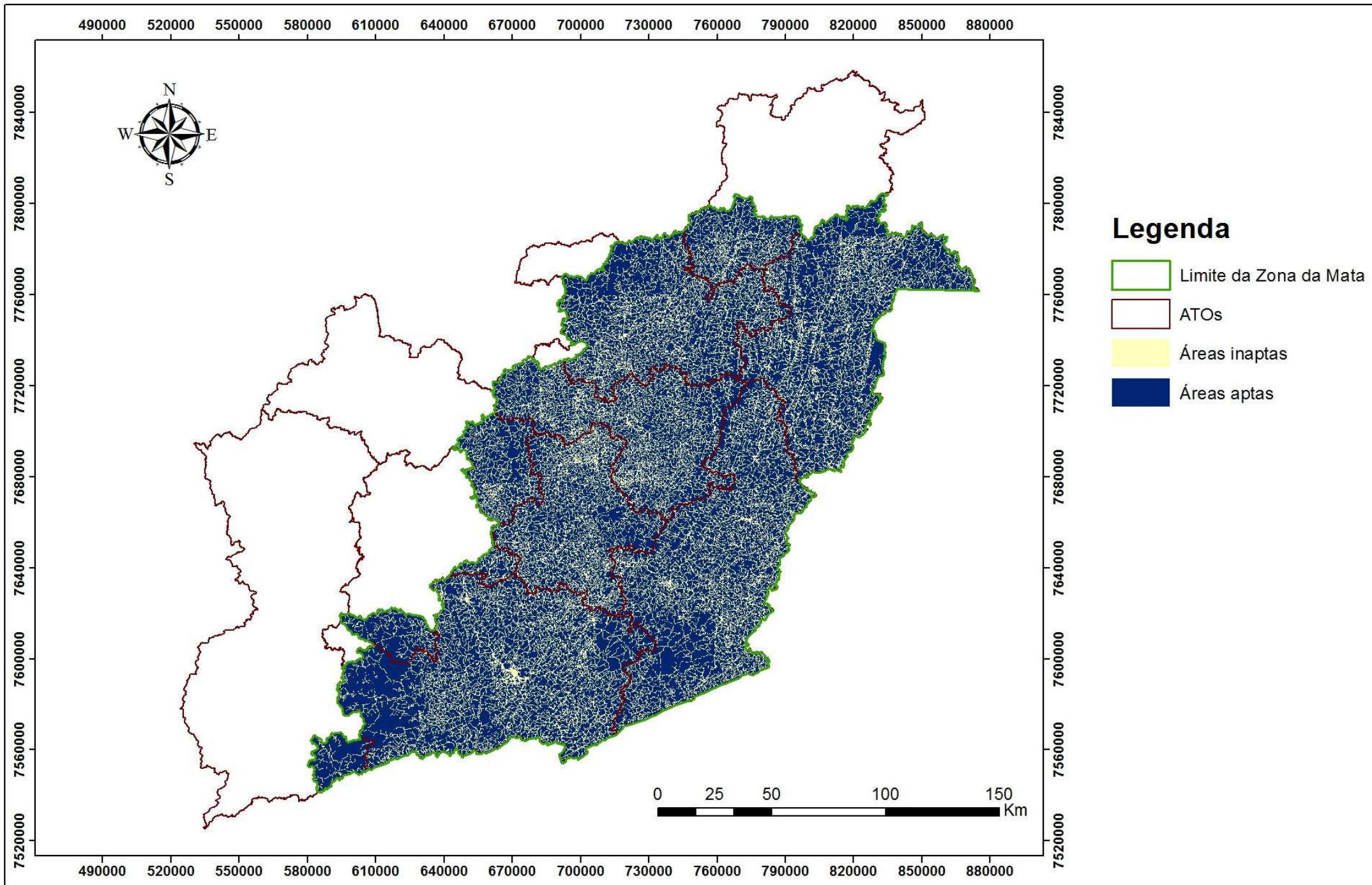
Tabela 7 – Percentual de áreas aptas e inaptas para cada restrição.

ID	Restrição	Áreas aptas (%)	Áreas inaptas (%)
R1	Hidrografia	6,5	93,5
R2	Sistema viário	72,1	27,9
R3	Declividade	85,7	14,3
R4	Núcleos populacionais	93,7	6,3
R5	APPs de Topo de morro	99,9	0,1
R6	Aeroportos	92,9	7,1
R7	Unidades de Unidades de Conservação	98,56	1,5
R8	Limite ATO	-	-



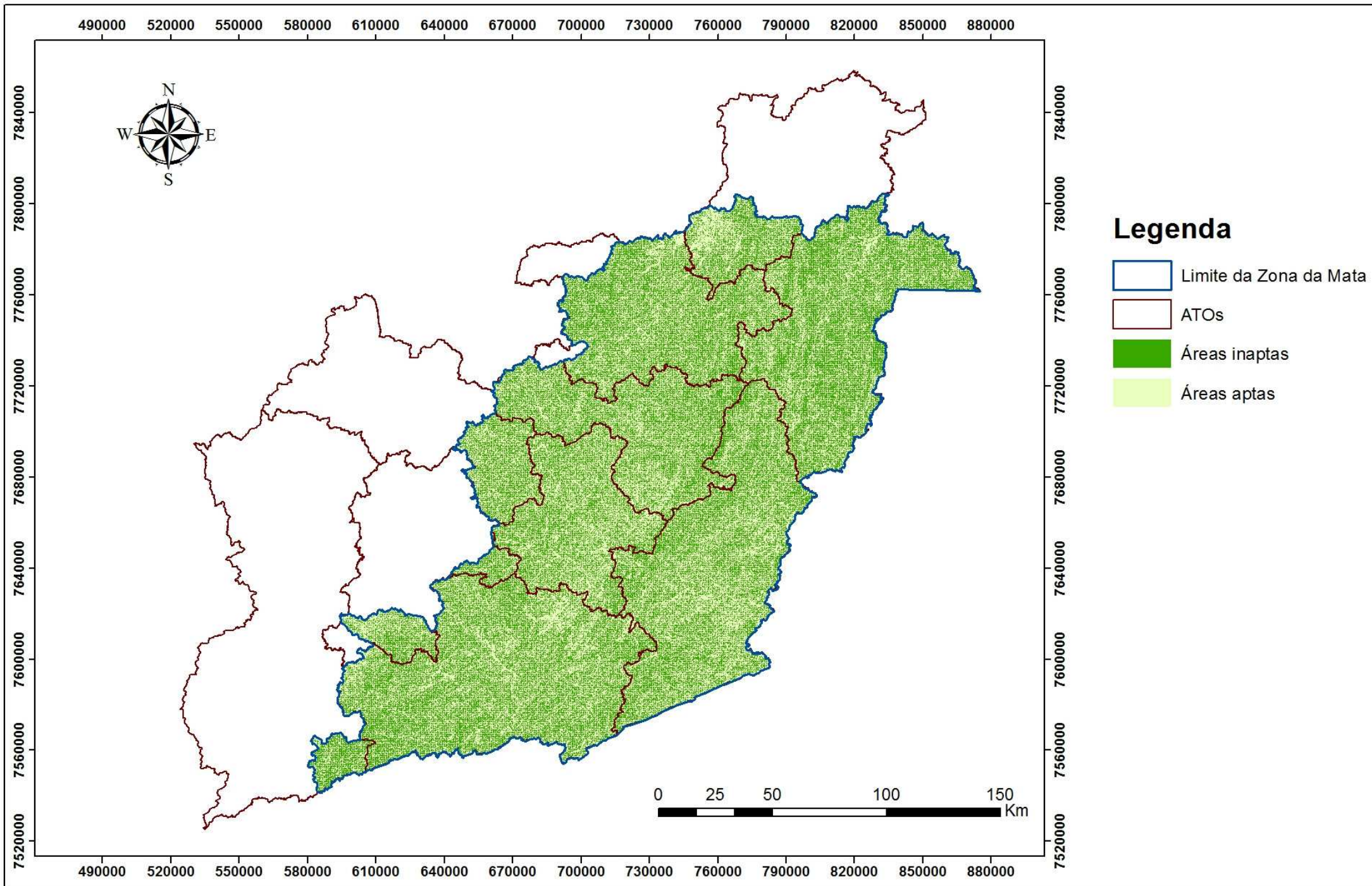
<p>NOTAS</p> <p>UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO</p> <p>Restrição R1: Hidrografia - 300 m</p>	<p>ESCALA</p> <p>1:1.500.000</p>
---	---	---	---

Figura 10 – Plano de informação de restrição quanto à hidrografia.



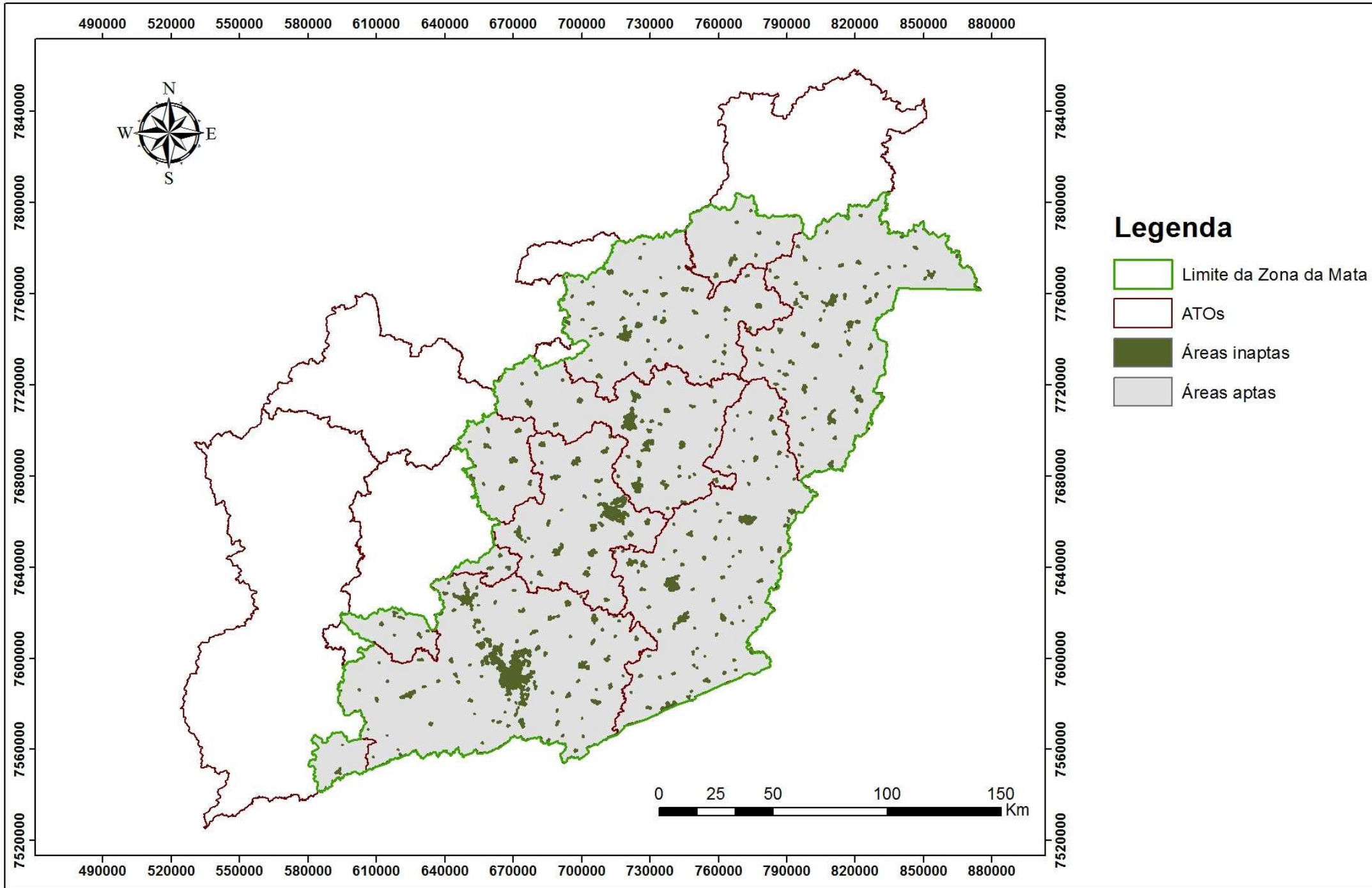
<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Restrição R2: Sistema Viário - 100 m</p>	<p>ESCALA 1:1.500.000</p>
--	---	---	--------------------------------------

Figura 11 – Plano de informação de restrição quanto ao sistema viário.



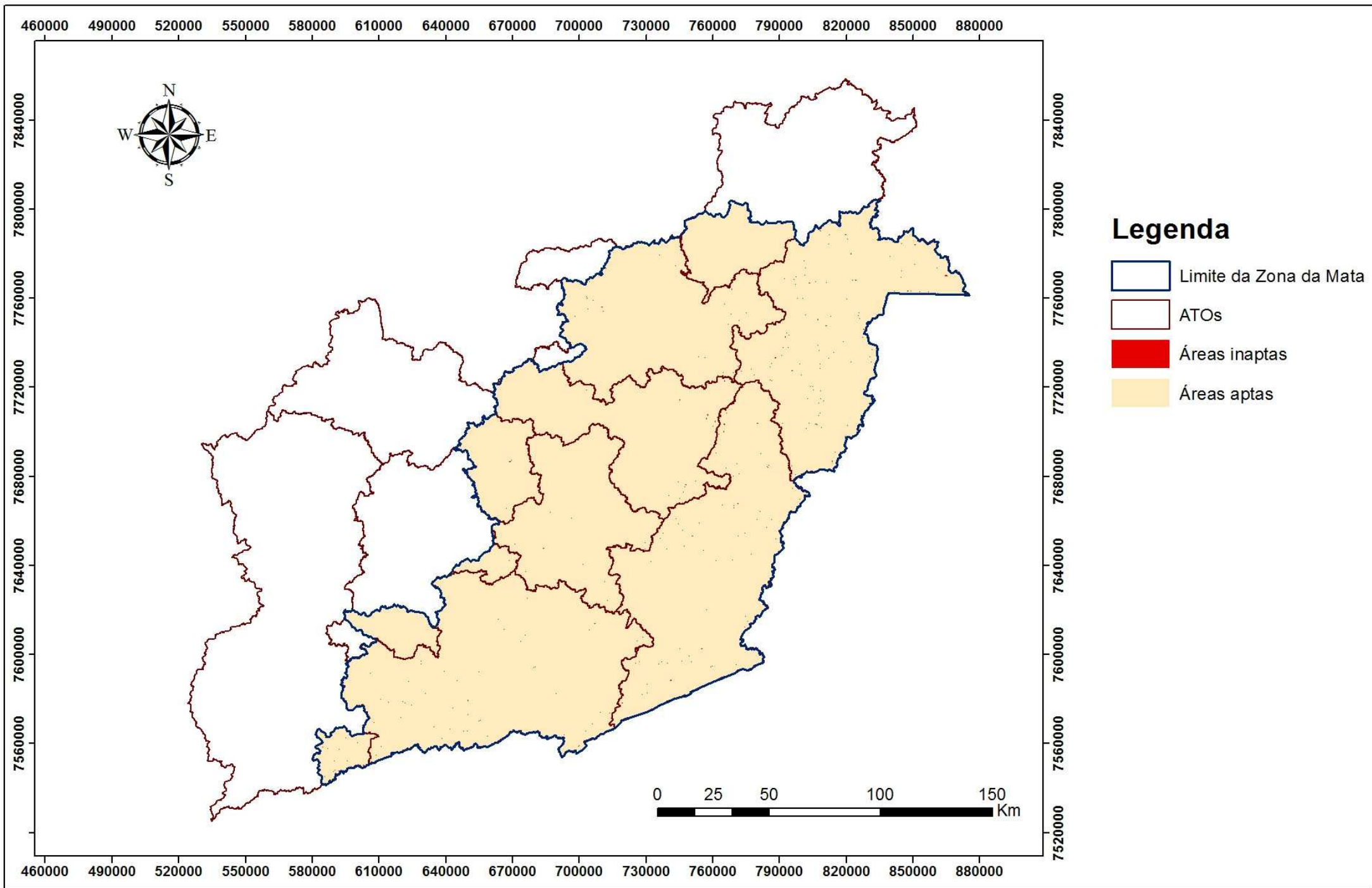
<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Restrição R3: Declividade</p>	<p>ESCALA 1:1.500.000</p>
--	---	--	--------------------------------------

Figura 12 – Plano de informação de restrição quanto à declividade.



<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Restrição R4: Núcleos Populacionais - 500 m</p>	<p>ESCALA 1:1.500.000</p>
--	--	--	--------------------------------------

Figura 13 – Plano de informação de restrição quanto aos núcleos populacionais.



Legenda

- Limite da Zona da Mata
- ATOs
- Áreas inaptas
- Áreas aptas

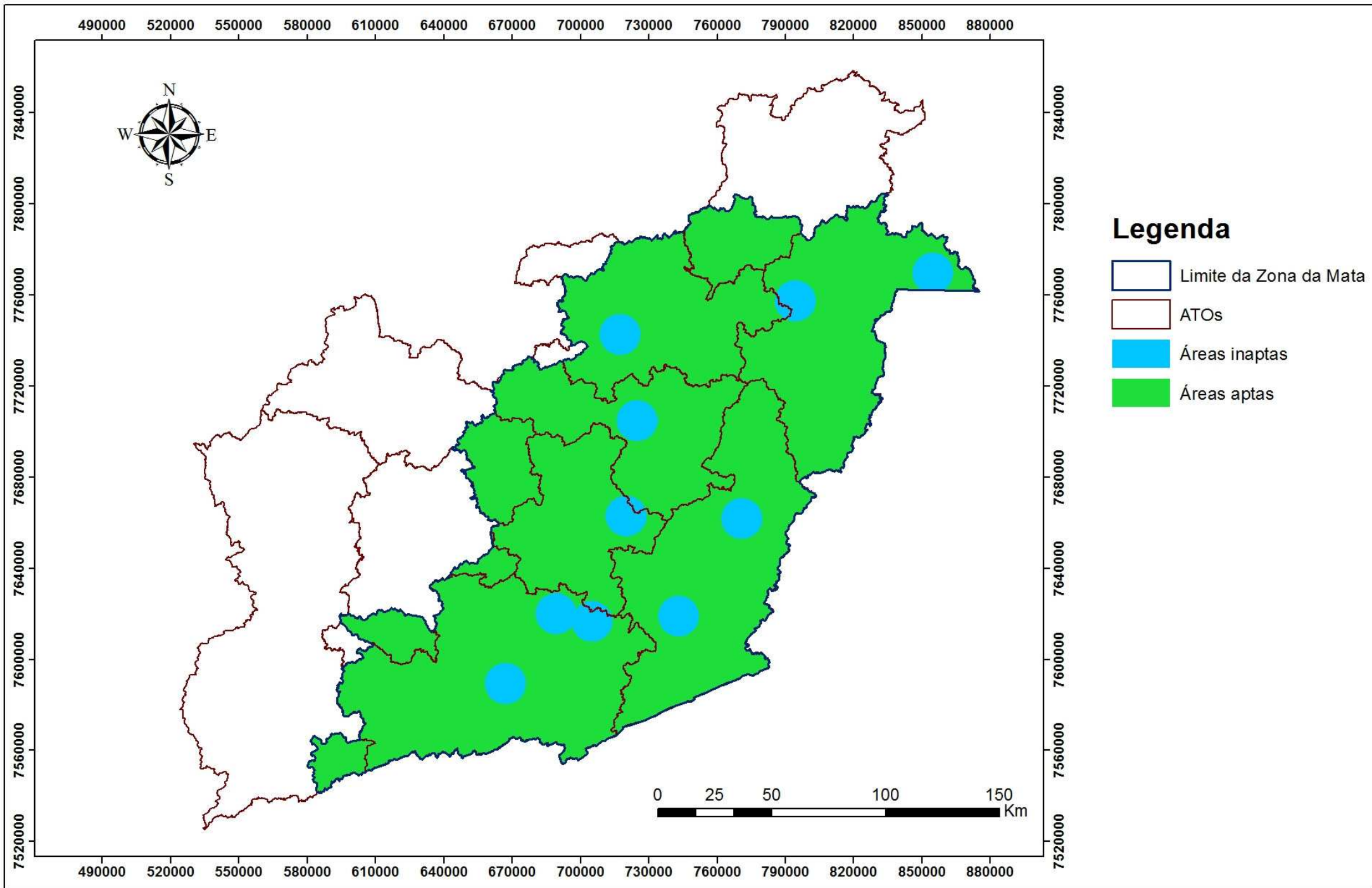
NOTAS
UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO
Restrição R5:
APPs de topo de morro

ESCALA
1:1.500.000

Figura 14 – Plano de informação de restrição quanto às APPs de Topo de Morro.



NOTAS

UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

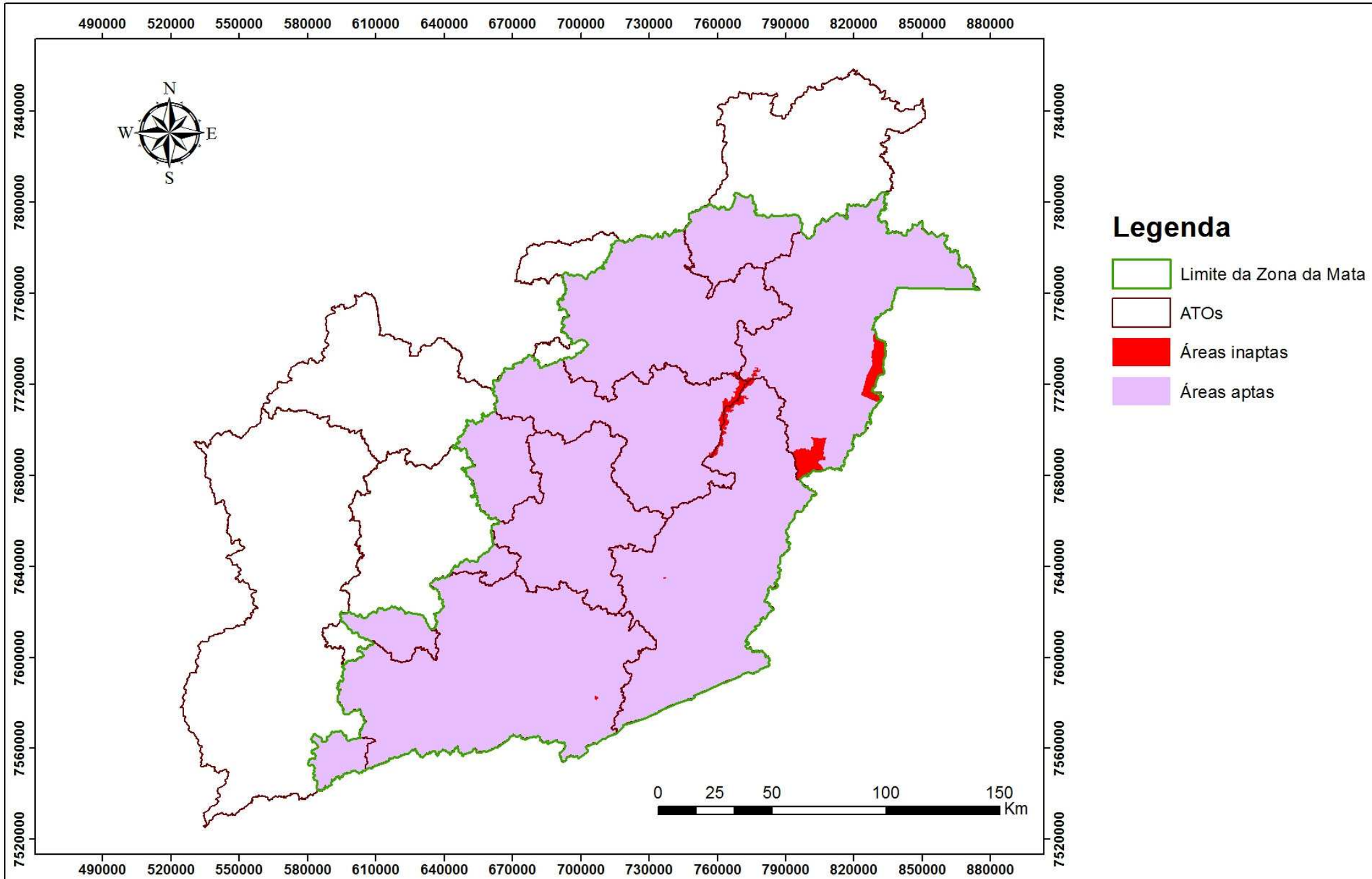
TÍTULO

Restrição R6:
Aeroportos - 9 km

ESCALA

1:1.500.000

Figura 15 – Plano de informação de restrição quanto à presença de aeroportos.



<p>NOTAS</p> <p>UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO</p> <p>Restrição R7: Unidades de Conservação</p>	<p>ESCALA</p> <p>1:1.500.000</p>
---	---	---	---

Figura 16 – Plano de informação de restrição quanto às unidades de conservação.

4.1.2. Planos de informação finais - ATOs

Os mapas contendo as áreas finais resultantes da análise multicritério 1 (AM1) que atendem aos requisitos descritos na metodologia e que apresentam área igual ou maior ao valor requerido calculado para cada ATO (conforme metodologia descrita no item 3.7) são apresentados ao final da dissertação (ANEXO 1). Na Tabela 8 têm-se os valores de área necessários para receber o volume de resíduos gerado em cada ATO, para um período de 20 anos, bem como a quantidade de áreas obtidas para cada ATO. As áreas obtidas não foram restritas quanto à adequabilidade.

Tabela 8 - Áreas mínimas requeridas calculadas por ATO.

ATO	Área mínima requerida (ha)	Número de áreas encontradas	Faixa de adequabilidade
4	0,06	4.242	16 - 239
5	0,2	815	57 - 235
6	15,8	16	45 - 226
7	4,8	210	40 - 250
10	0,45	465	33 - 218
12	5,7	219	33 - 242
13	12,7	68	30 - 240
14	2,7	975	26 - 253
15	0,5	2.408	32 - 239
45	35,7	2	81 - 255

Cabe ressaltar que os ATOs 4, 5, 10, 14 e 15 não estão inteiramente inseridos na Zona da Mata (ver Figura 18). Sendo assim, foi considerada, no cálculo da geração de resíduos, apenas a população dos municípios pertencentes à mesorregião e, por isso, o valor de área requerida foi menor e resultou em um número de áreas finais bastante elevado, se comparado ao número de áreas obtidas para os ATOs totalmente inseridos na Zona da Mata (ATOs 6, 7, 12, 13, 45). No caso do ATO 4, por exemplo, apenas o município de Santa Rita de Jacutinga está inserido na Zona da Mata.

4.1.3. Validação em campo

Para avaliar a eficácia da metodologia de Análise Multicritério na determinação das áreas adequadas para a disposição de resíduos na Zona da Mata de acordo com os critérios restritivos legais, foram realizadas validações em campo nos municípios de Muriaé, Tocantins e Rio Casca, situados, respectivamente, nos ATOs 6, 7 e 14. Na

Figura 18 tem-se a delimitação da Zona da Mata mineira, bem como os ATOs que a compõem e, em destaque, tem-se os municípios, e seus respectivos ATOS, nos quais foram realizadas as visitas em campo para verificação da qualidade das áreas obtidas nas análises realizadas. Destaca-se que as áreas indicadas como 'áreas aptas' na Figura 19, na Figura 23 e na Figura 29 são todas as áreas resultantes da análise multicritério sem restrição quanto ao seu tamanho ou adequabilidade.

A validação em campo tem como objetivo a validação da metodologia e, para isso, o tamanho da área não é relevante para esta verificação.

4.1.3.1. Muriaé

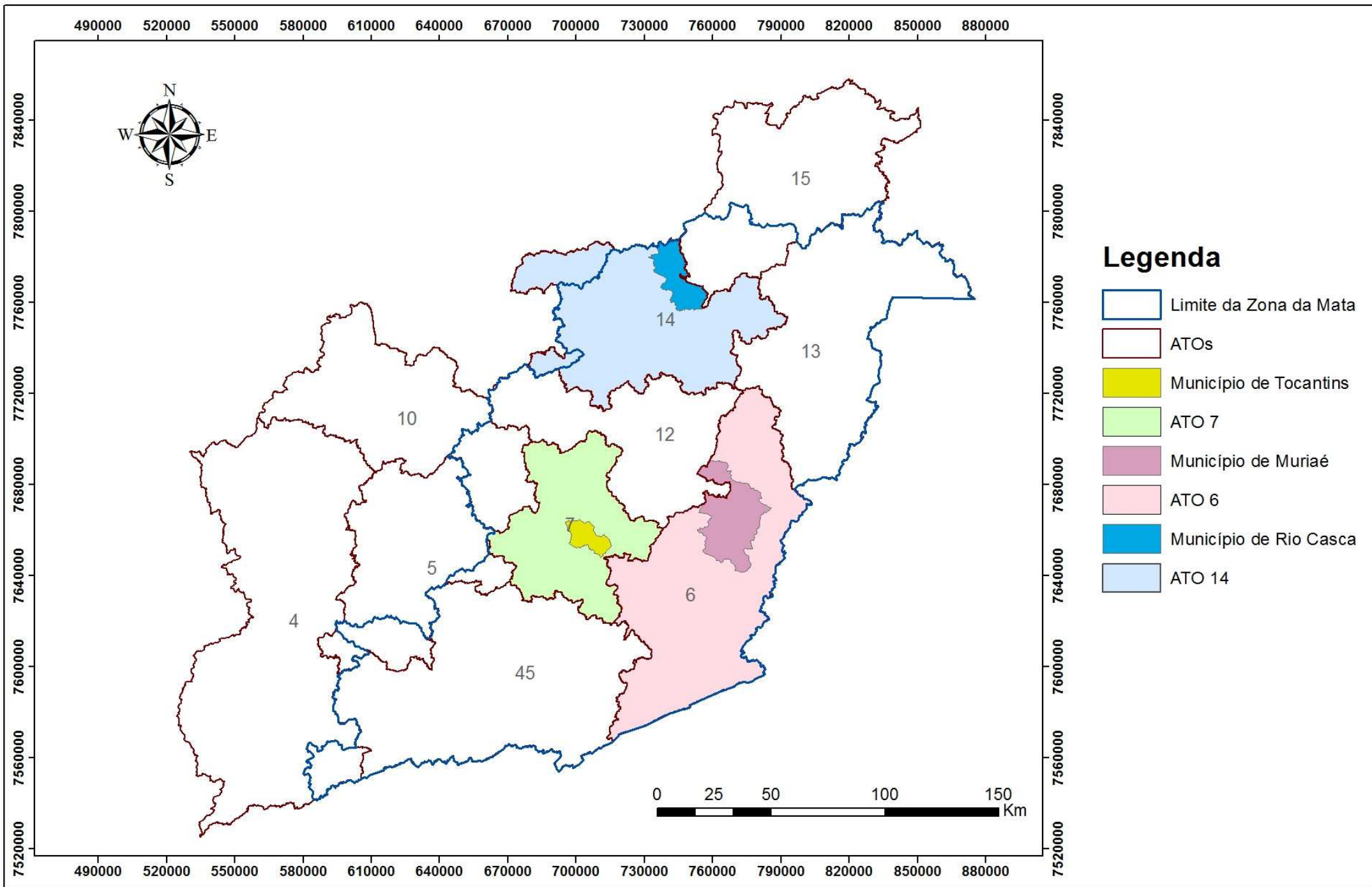
A validação foi realizada na zona rural do município na qual foram selecionadas três áreas a noroeste da zona urbana (Figura 19), próximas ao distrito de Belisário e à comunidade de São Domingos. O município de Muriaé está localizado na porção leste da Zona da Mata.

Devido às condições adversas do campo no momento da validação, com ocorrência de chuva intensa, o acesso às áreas se deu de forma bastante dificultada (Figura 17).



Figura 17 - Condições do acesso no momento da validação em campo.

A área M1 poderia ter sido alcançada a pé se as condições meteorológicas fossem favoráveis. Para a área M2 a validação não pôde ser realizada devido à inexistência de uma estrada que permitisse o acesso à mesma. A área M3, finalmente, pôde ser visitada com sucesso e apresentou condições adequadas para o objetivo da análise (Figura 20 e Figura 21).



<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Validação em campo - Município Validados</p>	<p>ESCALA 1:1.500.000</p>
--	---	---	--------------------------------------

Figura 18- Plano de informação referente aos ATOs que compõe a Zona da mata com destaque para os municípios validados em campo e seus ATOs correspondentes.

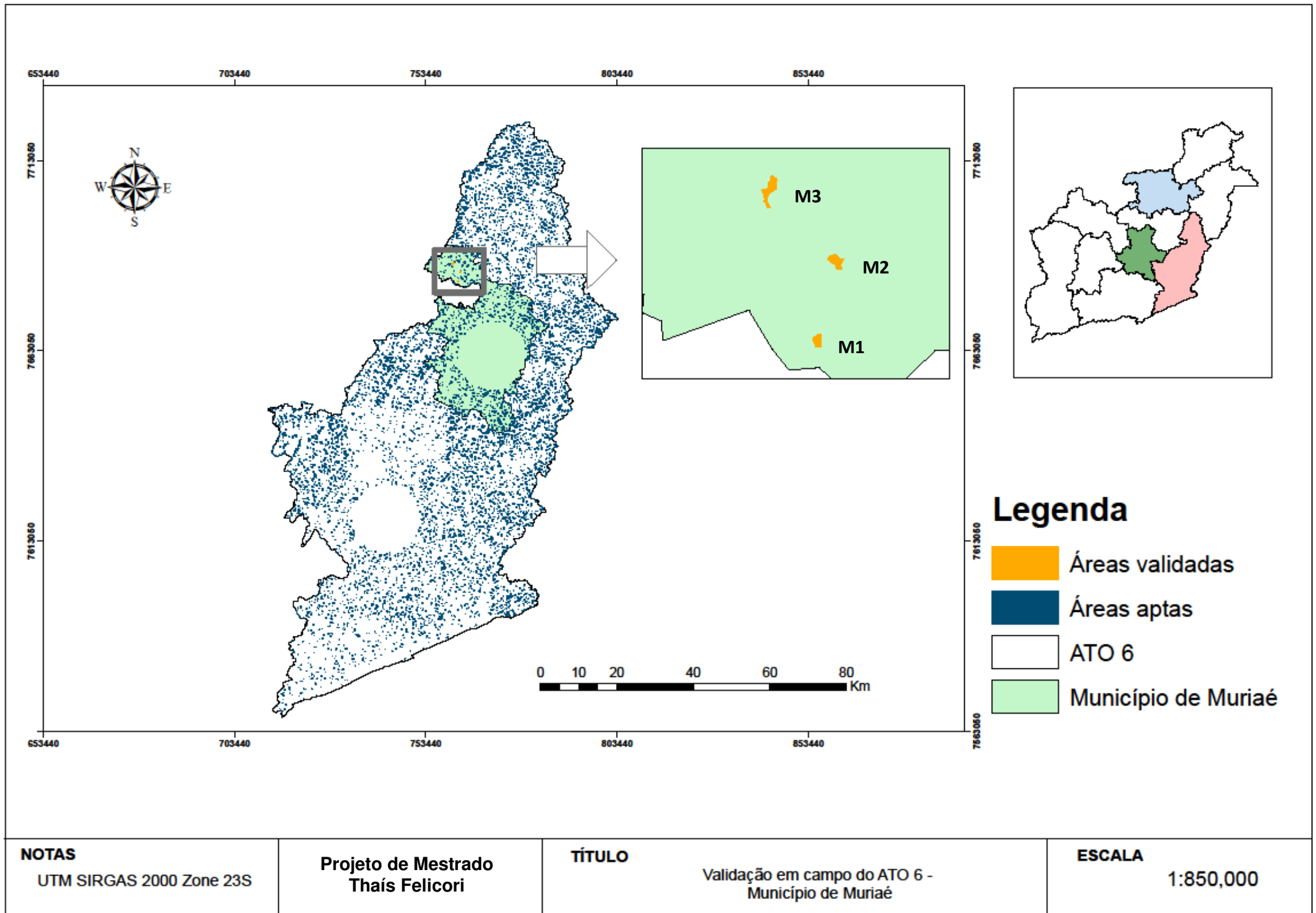


Figura 19 – Áreas aptas validadas no município de Muriaé.



Figura 20 - Vista panorâmica do entorno da área M3, validada em campo.



Figura 21 - Vista panorâmica da área M3.

O acesso à área se deu por estradas não pavimentadas mal conservadas, estreitas e declivosas, características que seriam desfavoráveis para o transporte de resíduos até o local. Por outro lado, a área encontrada mostrava-se, aparentemente, dentro das restrições impostas na metodologia como distância mínima de 300m dos cursos d'água, de 500m dos núcleos populacionais e 100m de estradas e rodovias, além de declividade média inferior a 30%. Verificou-se, também, que a área atende às características correspondentes aos fatores considerados na Análise Multicritério, como: declividade, distância de núcleos populacionais e rurais, distância de rodovias principais e distância das estradas vicinais.

Entretanto, para a seleção de áreas por parte das prefeituras a partir do estudo, observou-se, na validação em campo, a necessidade de se avaliar outros critérios complementares para a seleção de áreas, como identificação do nível d'água no local, as condições do acesso em período chuvoso, presença de mata nativa, dentre outros.

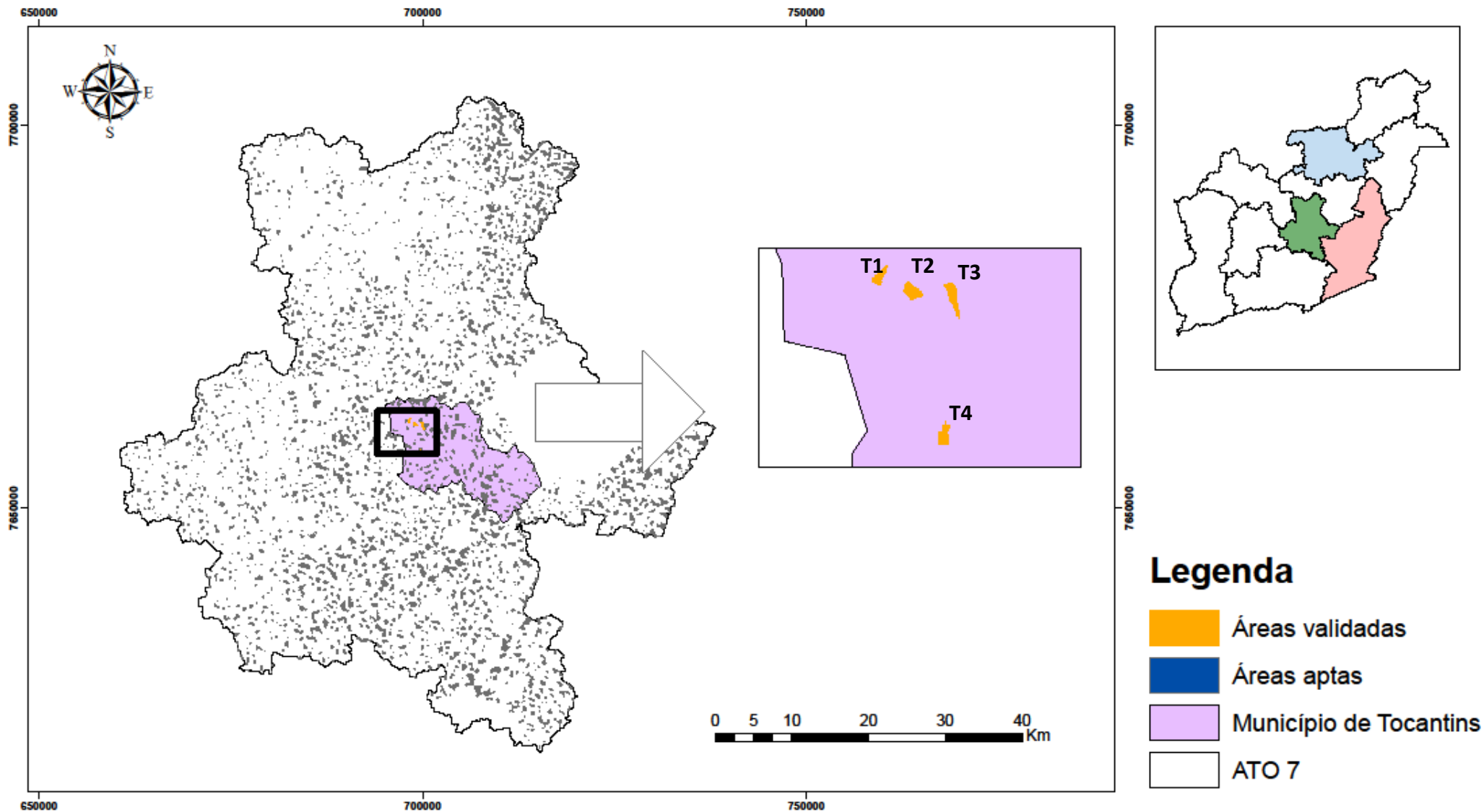
4.1.3.2. Tocantins

O município de Tocantins fica localizado próximo à cidade de Ubá na porção central da Zona da Mata (Figura 23). Neste município foram selecionadas quatro áreas a serem validadas.

Na visita às três primeiras áreas, foram observados aspectos positivos que são requisitos fundamentais para a implantação de um aterro sanitário, como declividade adequada, boas condições de acesso com estradas não pavimentadas em bom estado de conservação, ausência de cursos d'água nas proximidades, distância de núcleos populacionais, dos núcleos urbanos e das estradas principais e vicinais de acordo com as restrições estabelecidas pela legislação (Figura 22, Figura 24, Figura 25 e Figura 26).



Figura 22(a)(b)(c) –Acessos às áreas selecionadas.



NOTAS

UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

**Projeto de Mestrado
Thaís Felicori**

TÍTULO

Validação em campo do ATO 7-
Município de Tocantins

ESCALA

1:500,000

Figura 23 – Áreas aptas validadas no município de Tocantins.



Figura 24 - Vistas da área T1 selecionada.



Figura 25 - Vistas da área T2 selecionada.



Figura 26 - Vista panorâmica da área T3.

A visita à quarta área selecionada, entretanto, não foi possível devido à ausência de estradas vicinais para o acesso à mesma. Apesar disso, foi possível avaliar as suas principais características a uma distância adequada. A delimitação da área fornecida como resultado da análise mostra uma área descontínua e estreita acompanhando a linha de cumeada do relevo observado na Figura 27. Sendo assim, por motivos de inviabilidade operacional, a área foi considerada inadequada.

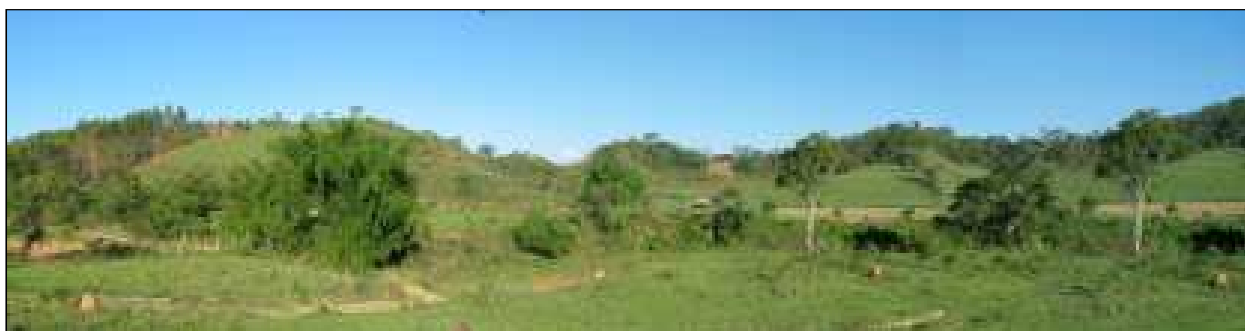


Figura 27 - Vista panorâmica da área T4.

4.1.3.3. Rio Casca

A validação foi realizada na zona rural do município de Rio Casca, cidade situada na região noroeste da Zona da Mata, próxima à cidade de Ponte Nova. As três áreas visitadas estão situadas próximas ao trevo da MG-329 com a BR-262, sentido Raul Soares (Figura 29).

Quatro áreas foram visitadas a fim de se verificar as condições determinadas pela metodologia. A primeira área (RC1) localiza-se relativamente próxima à rodovia estadual MG-329 e apresenta boa acessibilidade, devido, não somente à presença da rodovia, mas também pela presença de estrada não pavimentada em bom estado de conservação, como mostrado na Figura 28. Observou-se que a área atende às restrições impostas pela legislação utilizada na metodologia aplicada, como distância mínima de cursos d'água e rodovias e declividade.

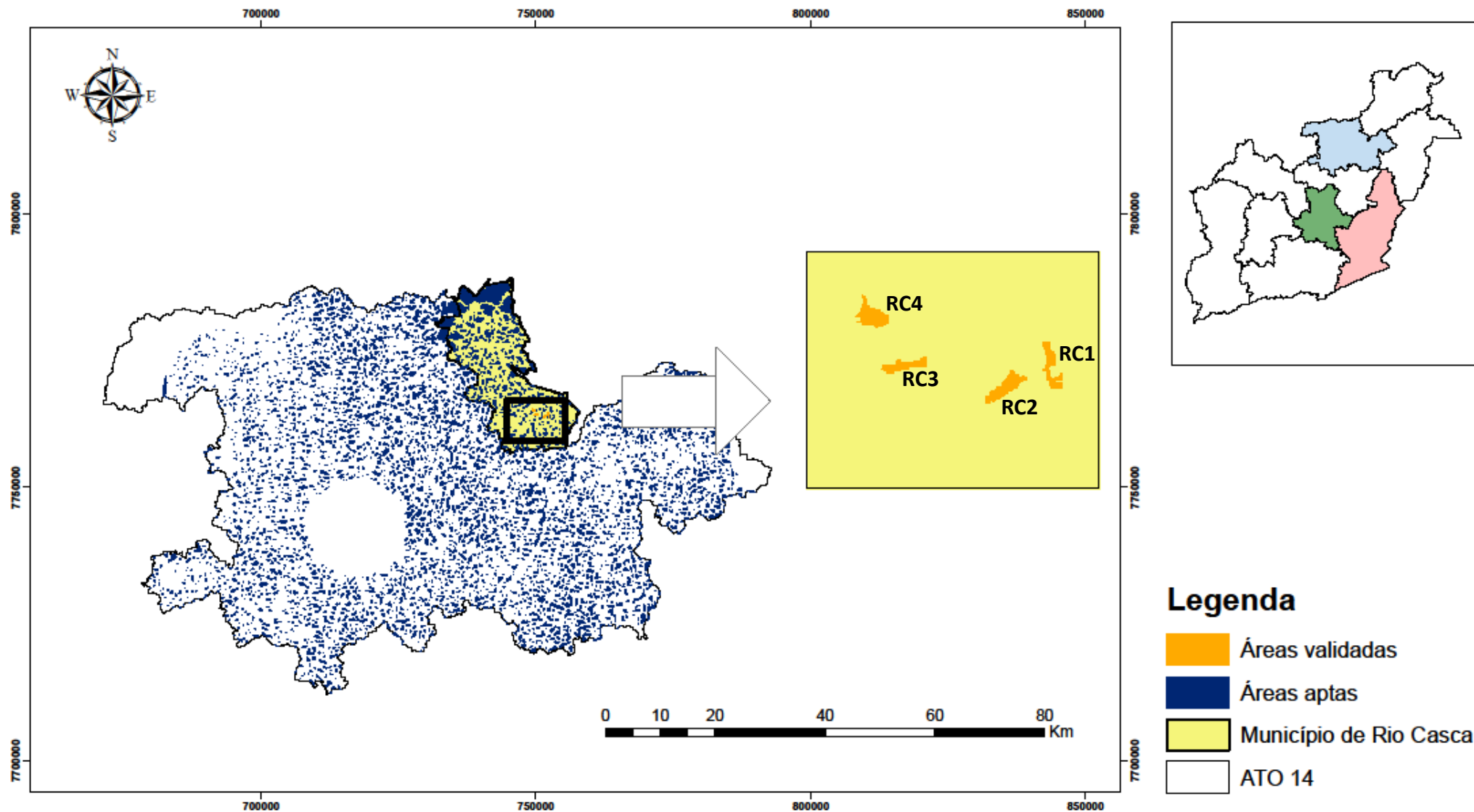


(a)



(b)

Figura 28 – (a) (b) Estrada não pavimentada de acesso à área RC1.



NOTAS

UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO

Validação em campo do ATO 14 -
Município de Rio Casca

ESCALA

1:700,000

Figura 29 – Áreas aptas validadas no município de Rio Casca.

Adicionalmente, como mostrado na imagem panorâmica da área validada (Figura 30) e nas observações em campo, além de atender às restrições legais, constatou-se que a área também atende aos fatores analisados para sua adequabilidade, encontrando-se aparentemente em uma faixa ideal de declividade, boa distância de núcleos populacionais e rurais, distância de rodovias principais e distância reduzida das estradas vicinais.

Entretanto, observa-se na Figura 30 a presença de mata nativa. É importante destacar que, para a escolha da área por parte das prefeituras, estas características devem ser observadas em campo e levadas em consideração para que a utilização de áreas previamente desmatadas ou degradadas seja preferencial. O uso e ocupação do solo não foram considerados na Análise Multicritério por falta de dados suficientes em escalas relevantes para um estudo desse porte e, por isso, tal avaliação deve ser feita em campo.

Assim como observado na área RC1, as duas demais áreas (Figura 32 e Figura 33) às quais foi possível o acesso (RC2 e RC3, respectivamente) apresentavam boas condições de acesso, com exceção de um trecho de acesso à área RC2 representado pela Figura 31b.



Figura 30 - Vista panorâmica da área RC1.

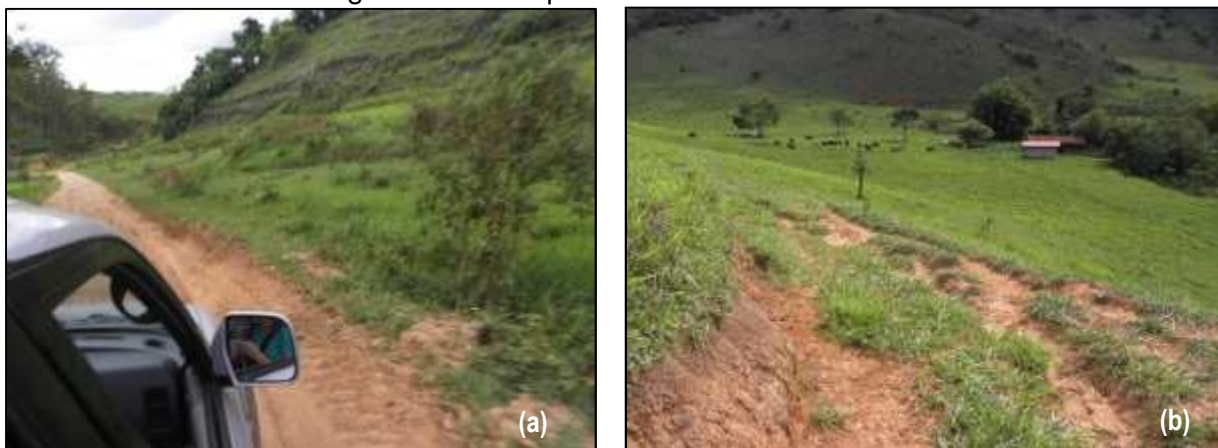


Figura 31 - Acesso à área RC2 (a) Estrada em bom estado; (b) Estrada já deteriorada devido ao uso do solo como pastagem.

Verificou-se que, assim como para a primeira área visitada, as restrições foram atendidas, bem como os fatores que indicaram a faixa de maior adequabilidade para cada item exigido em legislação, já descritos anteriormente.



Figura 32 - Vista panorâmica da área RC2.

Para a área RC3 também se verificou facilidade de acesso por meio de rodovia, até um ponto onde foi possível visualizar toda a área. Não se verificou, entretanto, estrada de acesso direto ao local, sendo este limitado a cerca de 600m de distância da área selecionada.

A área (Figura 33) apresentou-se dentro das faixas de maior adequabilidade para construção de aterros sanitários possuindo declividade, distância de núcleos populacionais e rurais, distância de rodovias principais e distância das estradas vicinais, aparentemente, ideais.



Figura 33 - Vista panorâmica da área RC3.

A área RC4 não pode ser visitada devido à inexistência de acesso à mesma.

4.2. Análise Multicritério 2 – AM2

4.2.1. Proposição de novos valores para os parâmetros Hidrografia e Sistema Viário

4.2.1.1. Planos de informação de restrição

Analisando os resultados obtidos quanto ao percentual de áreas aptas e inaptas referentes aos critérios de restrição estabelecidos pelas normas vigentes, verificou-se a disponibilidade reduzida de áreas, em função do caráter restritivo de algumas restrições.

Para avaliar a magnitude do impacto que estas restrições trazem para a seleção de áreas passíveis de serem utilizadas para a disposição de resíduos, foram realizadas novas análises considerando limites menos restritivos para os dois critérios que apresentam menor percentual de áreas aptas: hidrografia e sistemas viários (Tabela 7).

Para cada um deles foram considerados dois novos limites indicados na Tabela 9.

Tabela 9 – Novos parâmetros analisados para hidrografia e sistema viário.

Restrição	ID	Limite de restrição
Hidrografia R1	R1-100	Distância mínima de <u>100 m</u> de cursos d'água
	R1-200	Distância mínima de <u>200 m</u> de cursos d'água
Sistema Viário R2	R2-50	Distância mínima de <u>50 m</u> de sistemas viários
	R2-75	Distância mínima de <u>75 m</u> de sistemas viários

A partir dos novos limites considerados, foram obtidos os percentuais de áreas aptas e inaptas indicados na Tabela 10, para a restrição hidrografia, e na Tabela 11, para sistemas viários.

Para a realização de uma comparação direta, foram destacados na Tabela 10 e na Tabela 11, também, os percentuais de áreas aptas e inaptas referentes aos limites adotados no item 0 para hidrografia e sistemas viários, respectivamente.

Tabela 10 – Áreas aptas e inaptas para o limite legal vigente e para os parâmetros adotados – Hidrografia.

ID	Restrição	Áreas aptas (ha)	Áreas inaptas (ha)	Áreas aptas (%)	Áreas inaptas (%)
R1 (300)	Hidrografia	233.532,0	3.342.766,4	6,5	93,5
R1.A-200	Hidrografia	815.260,1	2.761.038,3	22,8	77,2

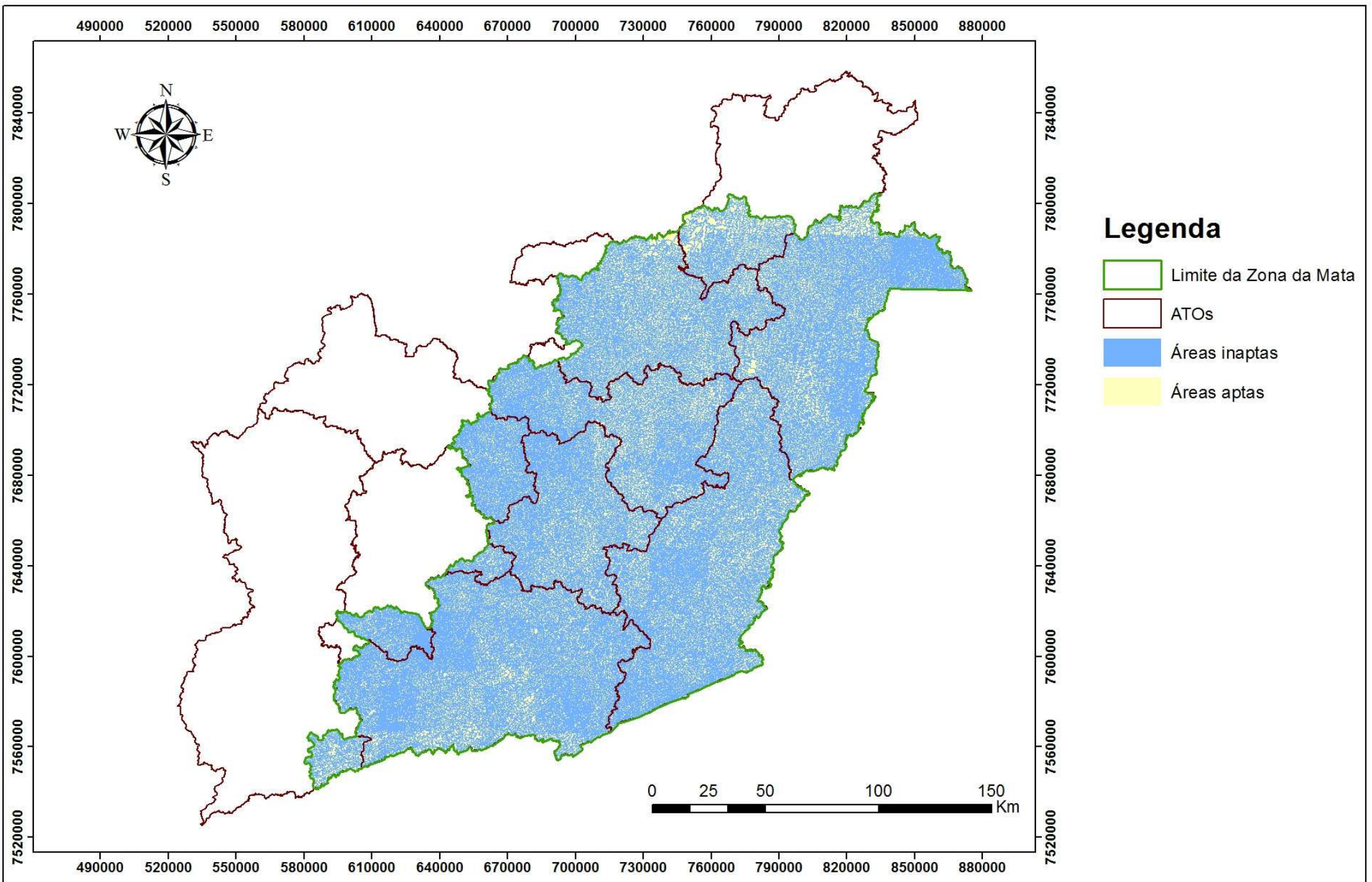
R1.B-100	Hidrografia	2.012.760,4	1.563.537,9	56,3	43,7
----------	-------------	-------------	-------------	------	------

Tabela 11 - Áreas aptas e inaptas para o limite legal vigente e para os parâmetros adotados – Sistema Viário.

ID	Restrição	Áreas aptas (ha)	Áreas inaptas (ha)	Áreas aptas (%)	Áreas inaptas (%)
R2 (100)	Sistema viário	2.577.293,1	999.005,2	72,1	27,9
R2.A-75	Sistema viário	2.800.468,0	775.830,4	78,3	21,7
R2.B-50	Sistema viário	3.042.352,0	533.946,4	85,1	14,9

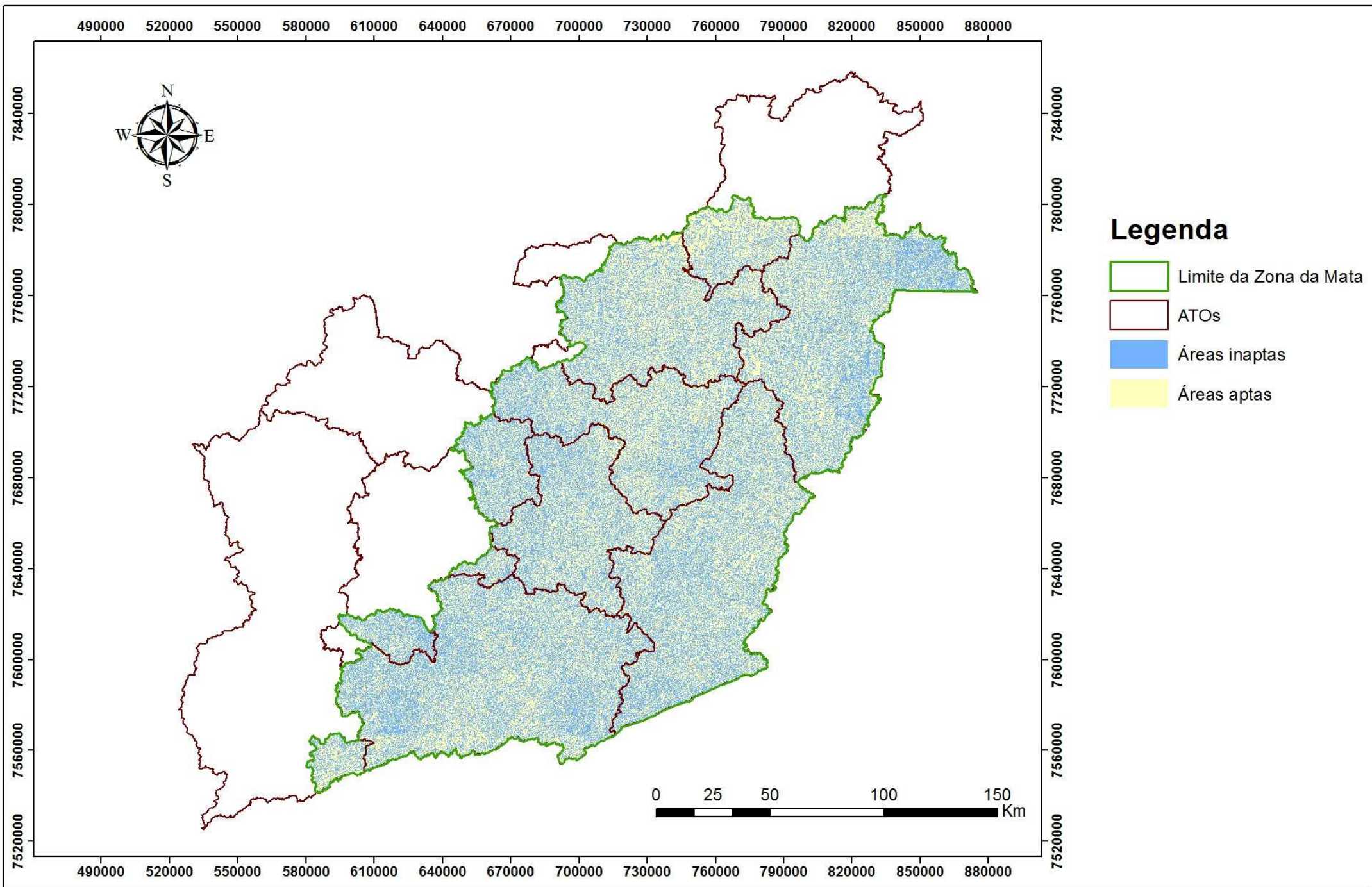
Como se observa, o impacto da alteração dos limites de restrição é muito maior para a hidrografia. Tal fato pode ser decorrente da menor diferença entre os limites alterados para sistemas viários que correspondem a 25 metros, enquanto a alteração do limite para a hidrografia é de 100 metros de aumento para cada parâmetro R2, ou seja, quatro vezes maior. Além disso, como se observa na Figura 10, a densidade hidrográfica da mesorregião é bastante elevada.

Na Figura 34 à Figura 37, têm-se os planos de informação para as restrições hidrografia e sistema viário considerando os novos limites adotados.



<p>NOTAS</p> <p>UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO</p> <p>Restrição R1.A: Hidrografia - 200 m</p>	<p>ESCALA</p> <p>1:1.500.000</p>
---	---	---	---

Figura 34 – Plano de informação da restrição R1.A – 200m – Hidrografia.



Legenda

- Limite da Zona da Mata
- ATOs
- Áreas inaptas
- Áreas aptas

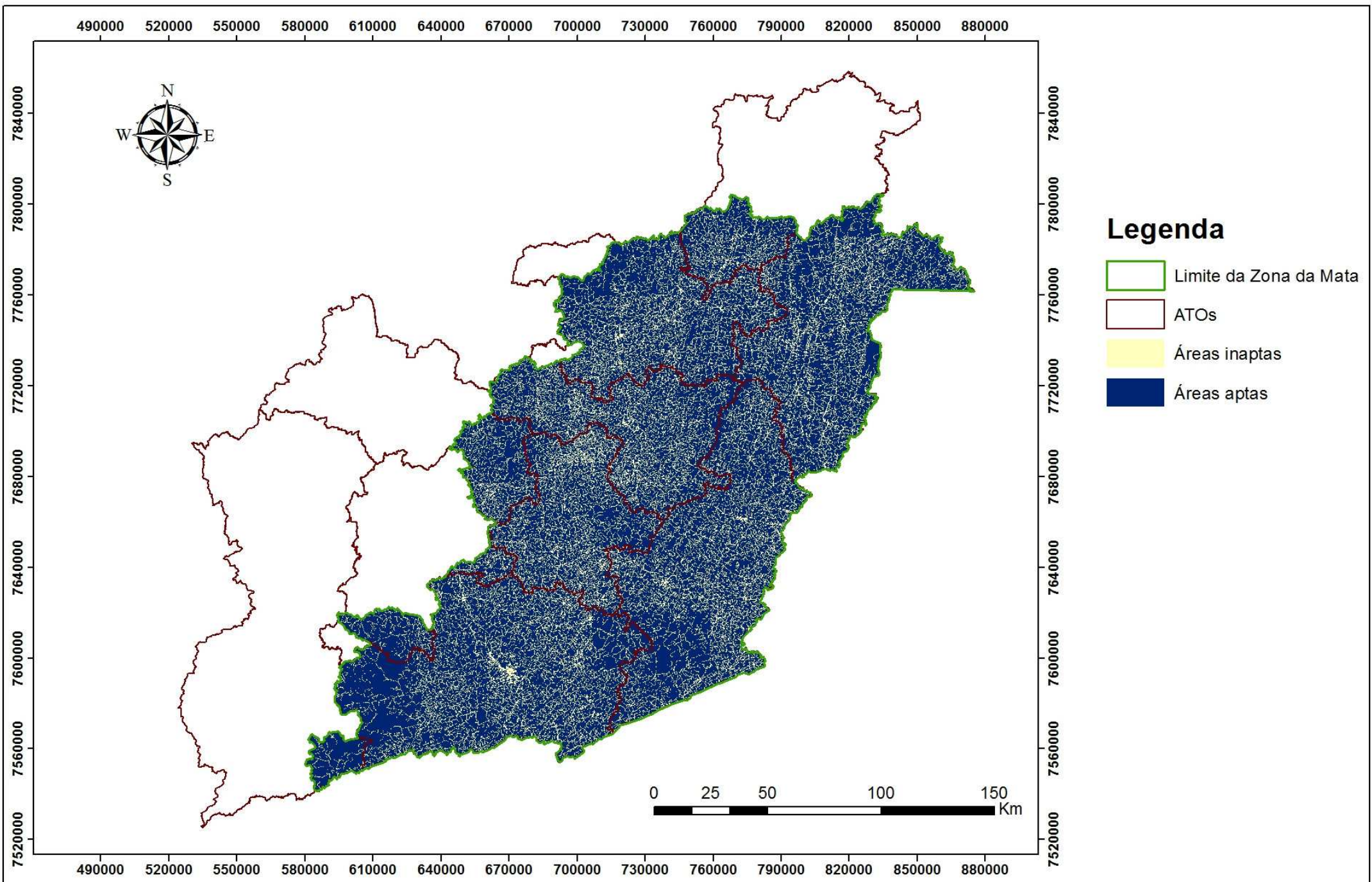
NOTAS
UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO
Restrição R1.B:
Hidrografia - 100 m

ESCALA
1:1.500.000

Figura 35 – Plano de informação da restrição R1.B – 100m - Hidrografia.



Legenda

- Limite da Zona da Mata
- ATOs
- Áreas inaptas
- Áreas aptas

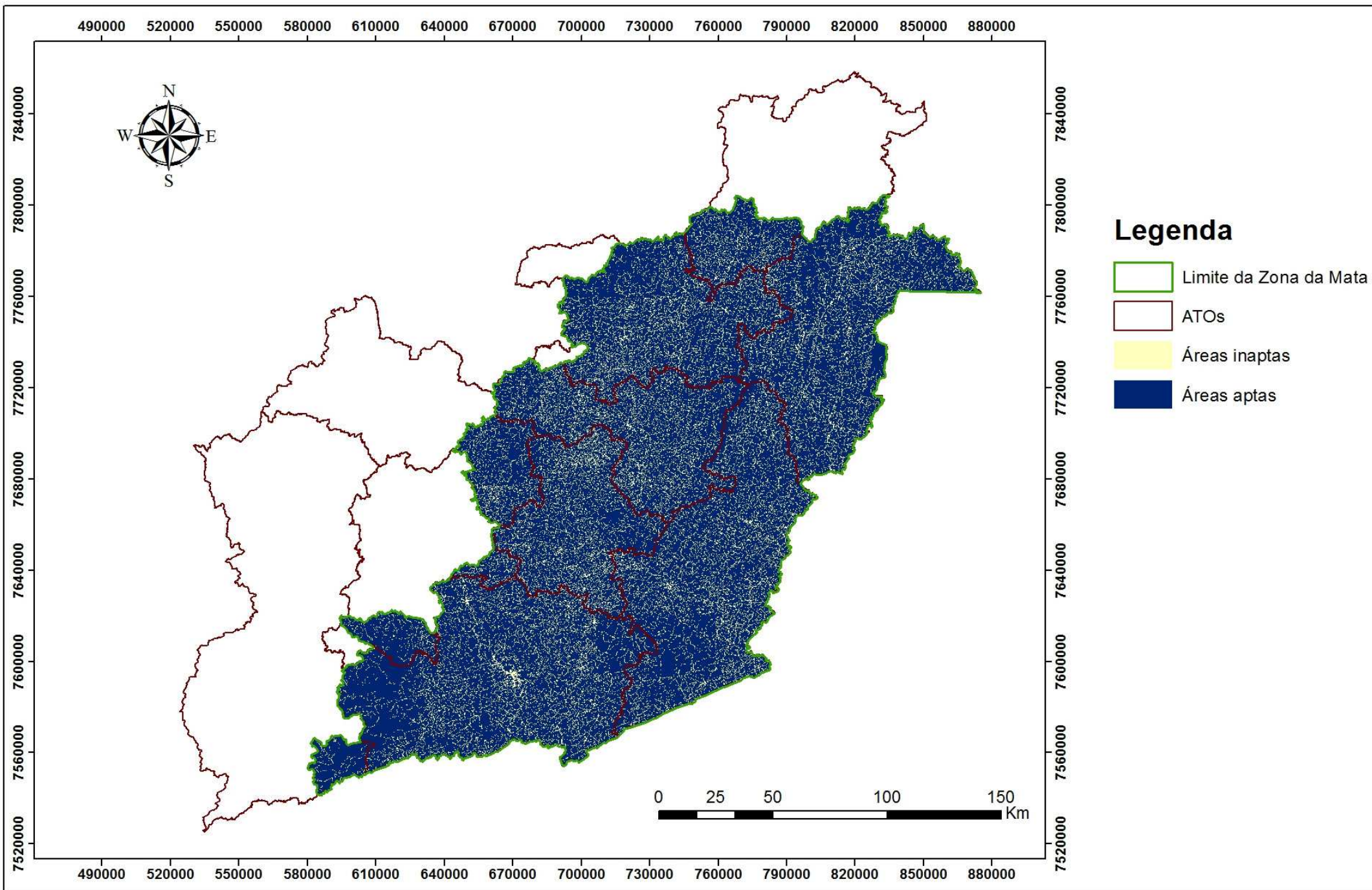
NOTAS
UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO
Restrição R2.A:
Sistema Viário - 75 m

ESCALA
1:1.500.000

Figura 36 – Plano de informação da restrição R2.A – 75m – Sistema Viário.



Legenda

- Limite da Zona da Mata
- ATOs
- Áreas inaptas
- Áreas aptas

<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Restrição R2.B: Sistema Viário - 50 m</p>	<p>ESCALA 1:1.500.000</p>
--	---	--	--------------------------------------

Figura 37 – Plano de informação da restrição R2.B – 50m – Sistema Viário.

4.2.1.2. Planos de informação finais – ATOs – AM2

Neste item foram realizadas novas análises multicritério (AM2) para cada ATO para analisar a influência da alteração dos parâmetros hidrografia e sistema viário no aumento do número de áreas passíveis de serem utilizadas para a construção de aterros sanitários. Para tanto, foram adotados os valores dos parâmetros referentes aos critérios R1.A (distância mínima de 200m da hidrografia) e R2.A (distância mínima de 75m dos sistemas viários), que representam os parâmetros intermediários mencionados no item 4.2.1.1.

Os mapas contendo as áreas finais resultado da AM2 e que apresentam área igual ou maior ao valor requerido calculado para cada ATO (conforme metodologia descrita no item 3.7) são apresentados ao final da dissertação (ANEXO 2). Na Tabela 12 têm-se o número de áreas obtidas na análise realizada inicialmente (AM1) e o número de áreas obtidas na análise multicritério 2 (AM2) realizada utilizando os parâmetros menos restritivos para hidrografia e sistema viário. As áreas obtidas não foram restritas quanto à adequabilidade.

Tabela 12 – Comparativo do número de áreas obtidas nas análises AM1 e AM2.

ATO	Número de áreas encontradas – AM1	Número de áreas encontradas – AM2
4	4.242	10.727
5	815	3.935
6	16	212
7	210	1.078
10	465	3.182
12	219	951
13	68	265
14	975	3.354
15	2.408	5.166
45	2	5

Observa-se que, o aumento na quantidade de áreas obtidas na AM2 em relação à AM1 é grande e pode ser representado numericamente por uma média de cerca de 400%.

4.3. Análise Multicritério 3 – AM3

Considerando os resultados obtidos para cada ATO e a quantidade reduzida de áreas obtidas, foi realizada a análise multicritério 3 (AM3) considerando os municípios como unidades de planejamento para verificar a viabilidade da regionalização da disposição de resíduos que demanda áreas bastante extensas.

Sendo assim, esta análise foi realizada para três municípios: um município de pequeno porte (até 49.999 habitantes), um de médio porte (de 50.000 a 99.999 habitantes) e o terceiro de grande porte (de 100.000 a 999.999 habitantes); são eles, respectivamente: Rio Casca, Leopoldina e Ubá.

Na Tabela 13, têm-se as áreas requeridas para cada um dos municípios e o número de áreas obtidas em cada um deles que são passíveis de serem utilizadas para a implantação de aterros sanitários.

Tabela 13 - Áreas mínimas requeridas calculadas por municípios.

Município	Área mínima requerida (ha)	População (hab.)	Número de áreas encontradas
Rio Casca	0,2	14.201	1.150
Leopoldina	0,7	51.130	310
Ubá	1,4	101.519	1.023

Os resultados das análises realizadas para os três municípios mostram que Rio Casca, que representa as cidades de pequeno porte, possui uma boa disponibilidade de áreas que atendem aos critérios necessários. O município de Ubá, que requer áreas sete vezes maiores do que Rio Casca, apresenta disponibilidade de áreas semelhante à do município de pequeno porte. Leopoldina, por outro lado, apresentou um número reduzido de áreas disponíveis, se comparado às demais cidades analisadas. Tal fato mostra que a análise para cada município pode apresentar peculiaridades que independem do tamanho da área necessária. Ou seja, alguns municípios podem, como é de se esperar, apresentar características físicas mais favoráveis do que outros para a disposição de resíduos sólidos.

Assim, para os três municípios foram obtidas quantidades de áreas que podem atender às necessidades dos mesmos. Ressalta-se que se deve realizar avaliação em campo das outras características necessárias para a escolha da área para implantação do

aterro sanitário e que não são passíveis de avaliação através de SIGs, conforme já destacado anteriormente.

Dessa forma, destaca-se que, a adoção de consórcios intermunicipais para a construção de aterros sanitários e UTCs, seja utilizando os ATOs como referência ou delimitações menores, deve ser uma medida a ser tomada com cautela e cuja adoção deve ser objeto de reflexão pelas autoridades responsáveis. Cada caso deve ser analisado considerando as características da respectiva mesorregião, microrregião ou ATO para se obter a viabilidade da utilização de um depósito para grandes volumes de resíduos e muitos municípios envolvidos. Caso se verifique que a adoção de consórcios baseados nos ATOs inviabilize a seleção de áreas adequadas, apenas três opções são passíveis de adoção:

1. Adota-se um consórcio com um menor número de municípios dentro de um ATO;
2. Deixa-se de utilizar os ATOs como critério para o consorciamento e realiza-se análise específica para cada consórcio; ou
3. Modificam-se os critérios ambientais existentes na legislação atual, tornando-os menos restritivos, como, por exemplo, para os dois critérios avaliados no presente estudo – distância dos cursos de água e distância do sistema viário.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de trabalhos com áreas de estudo muito extensas tem como principal dificuldade a obtenção de dados. Foi necessário um contato intensivo com órgãos públicos diversos e com outros pesquisadores para a construção de uma base sólida para a realização das análises espaciais. A obtenção, edição e adequação dos dados demandaram grande parte do tempo necessário para a conclusão do estudo.

Dessa forma, recomenda-se a criação de um banco de dados dinâmico e acessível aos pesquisadores, por parte de órgãos públicos, institutos de pesquisa e universidades, para que as informações e dados trabalhados possam ser compartilhados. Com isso, a eficiência da pesquisa em geoprocessamento poderá ser aumentada em diversas áreas que requeiram dados do meio físico em Minas Gerais e em outros estados.

Acerca dos resultados obtidos nas análises, verificou-se que, para a metodologia utilizada, a construção de um depósito de resíduos para cada ATO implica na seleção de áreas extensas cuja disponibilidade, na Zona da Mata é restrita, devido às características físicas limitantes.

Em situações extraordinárias, em função de condicionantes não considerados na metodologia adotada, tais como utilização de uma área já degradada por antigos lixões, ou em municípios nos quais não existam mais áreas com declividades que atendam à legislação, pode ser possível a seleção de áreas que não atendam a todos os requisitos legais, desde que com anuência do órgão ambiental e com projetos de engenharia que proponham soluções para correção desses aspectos, mantendo a segurança da área.

Os resultados obtidos para os ATOs que não estão inteiramente inseridos dentro do limite da Zona da Mata, apresentaram um grande número de áreas para a construção de aterros sanitários. Entretanto, este número não representa a necessidade do ATO, pois, a área mínima requerida não atende a todos os municípios do agrupamento, apenas os municípios que fazem parte da Zona da Mata. Sendo assim, as análises mais representativas foram para os ATOs que estão totalmente inseridos na Zona da Mata. São eles: ATO 6, ATO 7, ATO 12, ATO 13, e ATO 45.

É importante destacar que o estudo representa uma identificação preliminar de áreas para a construção de aterros sanitários. A partir da validação em campo, observou-se

que as áreas selecionadas como aptas podem apresentar outras características que podem inviabilizar a sua utilização para a disposição de resíduos, como: dificuldade de acesso, presença de mata nativa, uso e ocupação do solo, além do fluxo de água subterrânea, permeabilidade do solo e características do terreno que também devem ser analisados. Tais características podem reduzir o número de áreas obtidas.

Além disso, nesta análise não foi estabelecido um valor mínimo de adequabilidade para a seleção de áreas, assim, a restrição quanto a esta questão também poderia reduzir ainda mais o número de áreas.

O reduzido número de áreas obtidas para os ATOs representa um impasse na realização de consórcios intermunicipais que atendam estes arranjos territoriais considerando as normas legais vigentes. Além disso, os custos com o transporte dos resíduos, principalmente para municípios menores, pode inviabilizar a realização de um consórcio em tal escala.

Assim, considerando a metodologia utilizada, para atender a legislação atual, propõe-se:

- Municípios de médio e grande porte: considerar o limite do município como unidade de planejamento para a seleção de áreas para a construção de aterros sanitários;
- Municípios de pequeno porte: implantação de consórcio por meio de agrupamentos menores com número reduzido de municípios com distância reduzida entre eles.

A revisão de alguns parâmetros de restrição representa um aumento no número de áreas e poderia viabilizar a implementação dos consórcios.

Outra situação que pode também ser estudada é a possibilidade de se implementar um sistema de triagem municipal para os resíduos e a seleção de uma área central no ATO para a disposição dos rejeitos, apenas. Com isso, o volume de resíduos transportado seria menor, bem como a área requerida. Para isso acontecer, a coleta seletiva deve ser implementada em todos os municípios envolvidos.

Dessa forma, conclui-se que, a adoção de consórcio intermunicipal para a disposição de resíduos, seja utilizando os ATOs como referência ou delimitações menores, deve

ser uma medida a ser tomada com cautela. Cada caso deve ser analisado considerando as características da respectiva mesorregião, microrregião ou ATO para se obter a viabilidade da utilização de um depósito para grandes volumes de resíduos e muitos municípios envolvidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**. ABRELPE, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**. Edição especial 10 anos. ABRELPE, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**. ABRELPE, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**. ABRELPE, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**. ABRELPE, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13896**: Aterros de resíduos não-perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BARUQUI, F. M. **Inter-relações solo-pastagens nas regiões Mata e Rio Doce do estado Minas Gerais**. (Dissertação de Mestrado) Solos e Nutrição de Plantas, 1982. Viçosa: UFV, 1982. 119p.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Institui o novo Código Florestal Brasileiro; altera a lei nos 6.938, de 31 de agosto de 1981.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório dos Solos da região sob influencia da CIA. Vale do Rio Doce**. Boletim Técnico n 13. Rio de Janeiro, 1970. 154p.

BRASIL. Ministério da Defesa (Comando da Aeronáutica). **Portaria nº 249/GCS/2011**, de 06 de maio de 2011. Aprova a edição do PCA 3-2 que dispõe sobre o Plano Básico de Gerenciamento do Risco Aviário – PBGRA nos aeródromos brasileiros. Disponível em: <http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/Anexos/article/205/PCA_3-2_PBGRA.pdf>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF). **Cadastro nacional de unidades de conservação (CNUC)**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-consolidados>>. Acesso em: 10 set. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. 2010. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf. Acesso em 30 jan. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite/ Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA - Monitoramento do Bioma Mata Atlântica – 2002 A 2008**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/182/arquivos/12_dezembro_relatorio_182.pdf> Acesso em: 08 nov. 2012.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. **Projeto RADAMBRASIL: levantamento de recursos naturais**. Folhas SF. 23/24. Rio de Janeiro/Vitória. Geologia. Rio de Janeiro, v. 32. 1983. 775p.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coordenador). **Resíduos Sólidos Urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003, 294 p. : il. Projeto PROSAB.

CHANG, N. B; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN J. B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. **Journal of Environmental Management**. v. 87 p. 139-153, 2007.

CHARNPRATHEEP, K. & GANER, B. Z. Q. Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. **Waste Management & Research**. V15, p. 197-215, 1996.

CHRYSTELLO A. C.; SILVA, T. Q. **Seleção de áreas para implantação de aterro sanitário em Ubá - MG utilizando lógica fuzzy e análise multicritério**. Viçosa-MG, 2013.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa nº 52, de 14 de dezembro de 2001**. Convoca os municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 15 dez. 2001.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa nº 74, de 9 de setembro de 2004**. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual; determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental; e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 9 set. 2004.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa nº 75, de 20 de outubro de 2004**. Convoca os municípios com população entre trinta e cinquenta mil habitantes ao licenciamento ambiental de sistema adequado de destinação final de resíduos sólidos urbanos e altera prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa Copam 52, de 14 de dezembro de 2001. Minas Gerais, Belo Horizonte, 20 out. 2004.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa nº 81, de 11 de maio de 2005**. Prorroga os prazos da Deliberação Normativa Copam 52, de 14 de dezembro de 2001. Minas Gerais, Belo Horizonte, 11 mai. 2005.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa nº 105, de 18 de novembro de 2006**. Altera prazos estabelecidos pelas Deliberações Normativas COPAM n.º 75, de 20 de outubro de 2004 e n.º 92, de 5 e janeiro de 2006, e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 18 nov. 2006.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL DE MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa nº 118**, de 27 de junho de 2008. Alteram os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 28 jun. COPAM, 2008.

DALMAS, F. B. **Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos na UGRHI-11 – Ribeira de Iguape e Litoral Sul**. Dissertação (mestrado). USP. 177p. São Paulo, 2008.

DELGADO, O.; MENDOZA, M.; GRANADOS, E.; GENELETTI, D.). Analysis of land suitability for the siting of inter-municipal landfills in the Cuitzeo Lake Basin, Mexico. **Waste Management**, v. 28 p. 1137-1146, 2008.

DEMESOUKA, O. E.; VAVATSIKOS, A. P.; ANAGNOSTOPOULOS K. P. Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. **Waste Management**. v. 33, p 1190 – 1206. 2013.

EKMEKÇIOĞLU, M.; KAYA, T.; KAHRAMAN, C. Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste. **Waste Management**. v.30 p.1729–1736, 2010.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para a operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte. FEAM, 2006. p. 36.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos**. Disponível em: <http://www.feam.br/minas-sem-lixoes/gestao-compartilhada-de-sru>. Acesso em: 01 mai. 2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Panorama da destinação de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais em 2013**. Belo Horizonte: FEAM, 2014. p. 45.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. de G. **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Belo Horizonte: Conservação Internacional. 2005. p.3-65.

GBANIE, S. P.; TENGBE, P. B.; MOMOH, J. S.; MEDO, J.; KABBA, V. T. S.. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and MultiCriteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. **Applied Geography** 36, 3-12. 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GORSEVSKI, P. V.; DONEVSKA, K. R.; MITROVSKI, C.; FRIZADO, J. P. Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: a case study using ordered weighted average. **Waste Management** 32(2):287–296. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados>>. Acesso em: 15 out. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cartas Topográficas Vetoriais do Mapeamento Sistemático (escalas: 1:50.000 e 1:100.000)** Disponível em: <<http://ibge.gov.br/home/geociencias/download/arquivos/index1.shtm>> Acesso em: 10 nov. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 13 dez. 2012, 09:35.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2004. **Mapa de Biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 20 out. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Comitês Estaduais: Bacia do Rio Paraíba do Sul. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br>>. Acesso em: 11 dez. 2012.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Comitês Estaduais: Bacia do Rio Doce. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br>>. Acesso em: 11 dez. 2012.

LEITE, N. B. F. **Associação da Análise Booleana e Lógica Fuzzy ao sistema de informação geográfica aplicados a Planos Diretores**. Estudo de caso: Ponte Nova, MG (2005).

LINO, I. C. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: análise comparativa de métodos**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciência Exatas. Rio Claro, 2007.

MASSUNARI, I. S.; BOAVENTURA, M. A.; FONTES, U. P.; NASCIMENTO, M. C. B.; KARMANN, I.; HAMANA, J.; FARIAS, R. L.. (2000a). Seleção de áreas para aterro sanitário: implantação de um aterro sanitário em Ilhéus-BA. **Revista Limpeza Pública**. Associação Brasileira de Limpeza Pública (ABLP). Edição 54. São Paulo, SP, Brasil. p. 17-22;

MASSUNARI, I. S.; BOAVENTURA, M. A.; FONTES, U. P.; NASCIMENTO, M. C. B.; KARMANN, I.; HAMANA, J.; FARIAS, R. L.. (2000b). Seleção de áreas para aterro sanitário: implantação de um aterro sanitário em Ilhéus-BA (continuação). **Revista Limpeza Pública**. Associação Brasileira de Limpeza Pública (ABLP). Edição 55. São Paulo, SP, Brasil. p. 21-23;

MARQUES, E. T. **Identificação de áreas potenciais para a disposição de resíduos de mármore e granitos em Cachoeiro de Itapemirim - ES**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). DEC/UFV. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 103p; 2001.

MELO, A. L. O.; **Avaliação e Seleção de áreas para implantação de Aterro Sanitário utilizando Lógica Fuzzy e Análise Multicritério: Uma proposta metodológica. Aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim- ES**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – DEC/UFV, Viçosa, Minas Gerais, 2001.

MORAES, I. S.; FERREIRA, H. S.; OLIVEIRA, S. F. C.. A Utilização do SIG como ferramenta para indicação de áreas possíveis a implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Belém-PA. In: **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 2010. Recife. Anais... Recife: 2000. Artigos, p. 001-004 Disponível em: Acesso em: 24 out. 2012.

MOREIRA, A. A. N.; CAMELIER, C. Relevô. In: **IBGE, Geografia do Brasil: região Sudeste**. vol. 3. Rio de Janeiro: IBGE, 1977, p.1-50.

OLIVEIRA, G. C; FERNANDES FILHO, E. I. Metodologia para delimitação de APPs em topos de morros segundo o novo Código Florestal brasileiro utilizando sistemas de informação geográfica. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR)**, 16. 2013. Foz do Iguaçu. Anais...São José dos Campos: INPE, 2013.

PARO, A. C., COSTA, F. C., COELHO, S. T. **Estudo comparativo para o tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários x incineração**. Revista Brasileira de Energia, v.14, n 2, p. 113-125, 2008.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Universidade de Coimbra Faculdade de Ciências e Tecnologia Departamento de Engenharia Civil. 2003. Disponível em:<<http://homepage.ufp.pt/madinis/RSol/Web/TARS.pdf>> Acesso em 10 de Out. de 2013.

SAATY, T.L. **Decision Making for Leaders**. RWS Publications, Pittsburgh, 1990.

SAMIZAVA, T. M.; KAIDA, R. H.; IMAI, N. N.; NUNES, J. O. R. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente - SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, p. 43-55, 2008.

SEMAD/FEAM/UFV. Relatório Final do Convênio Nº. 2091012000609, intitulado Desenvolvimento de trabalhos técnicos especializados de saneamento ambiental nos municípios da área de abrangência da Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SUPRAM Zona da Mata", 2013.

SCHNEIDER, D. M.; RIBEIRO, W. A.; SALOMONI, D. **Orientações básicas para a gestão consorciada de resíduos sólidos**. Inovação na gestão pública Cooperação Brasil-Espanha. Ed. IABS. p.12. Brasília. 2013.

SENER, S.; SENER, E.; NAS, B.; KARAGÜZEL, R. Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beysehir catchment area (Konya, Turkey). **Waste Management**, 2010; v. 30 p. 2037-46.

SUMATHI, V.R., NATESAN, U., SARKAR, C., 2008. GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. **Waste Management**. 28, 2146–2160.

VALVERDE, O. Estudo regional da Zona da Mata, de Minas Gerais. **Revista brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, v, 20, n.1, p. 3-82, jan-mar, 1958.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 1997

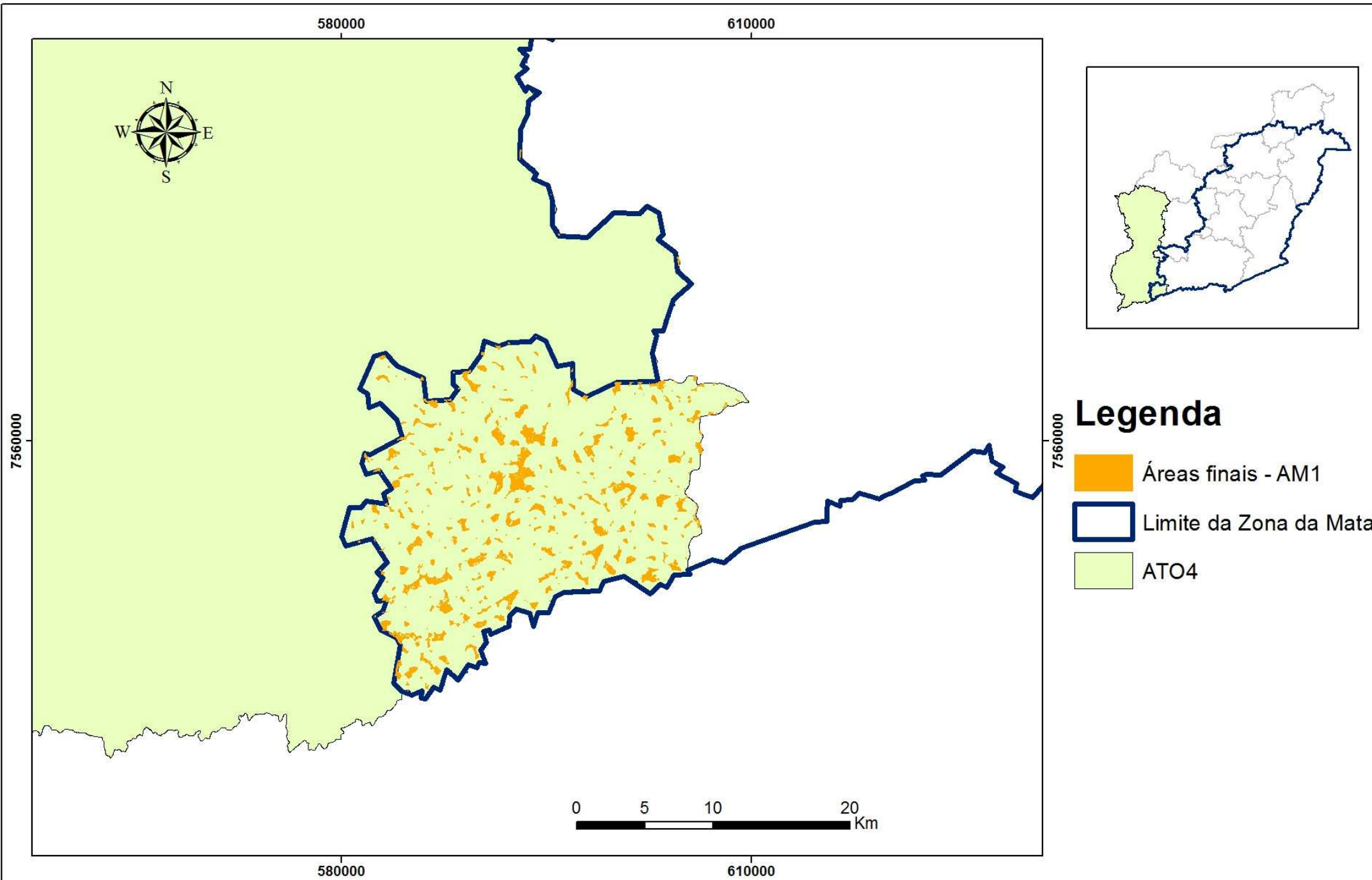
VOOGD, H., (1983). **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. Pion Ltd. London, UK.

WEBER, E.; HASENACK, H.. **Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados**. Porto Alegre: UFRS, 2000. Disponível em: <http://www.gisbrasil.com.br/indices_anais.asp?edicao=2000>. Acesso em: dez. 2013.

ZADEH, L. A., (1965). **Fuzzy sets. Information and control**. V8. p. 338-353, 1965.

ZAMORANO, M.; MOLERO, E.; HURTADO, A.; GRINDLAY, A.; RAMOS, A. Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology. **Journal of Hazardous Materials**, Vol. 160, No. 30, December 2008, pp. 473-481. ISSN: 0304-3894, 2008.

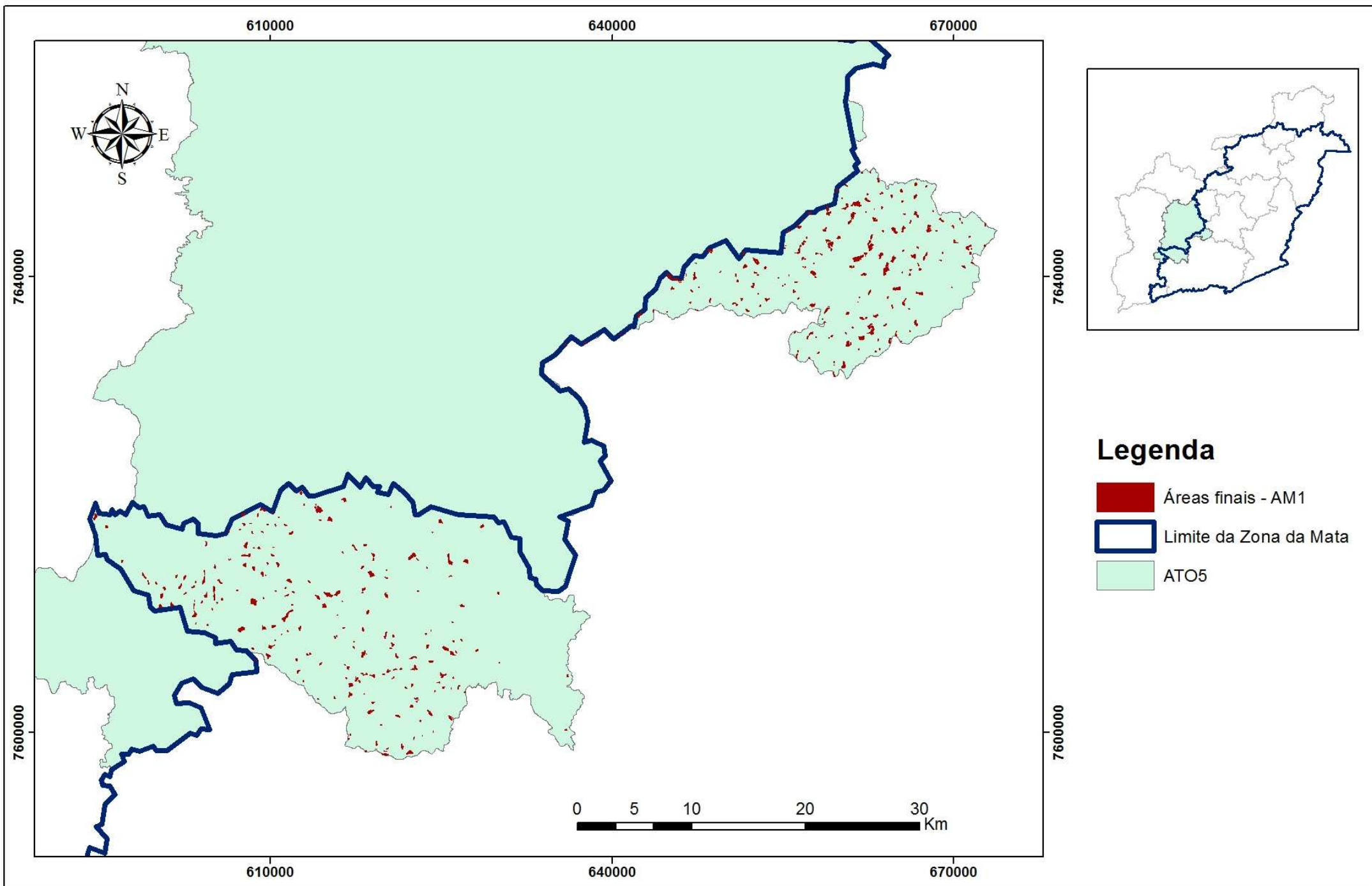
ANEXO 1



Legenda

- Áreas finais - AM1
- Limite da Zona da Mata
- ATO4

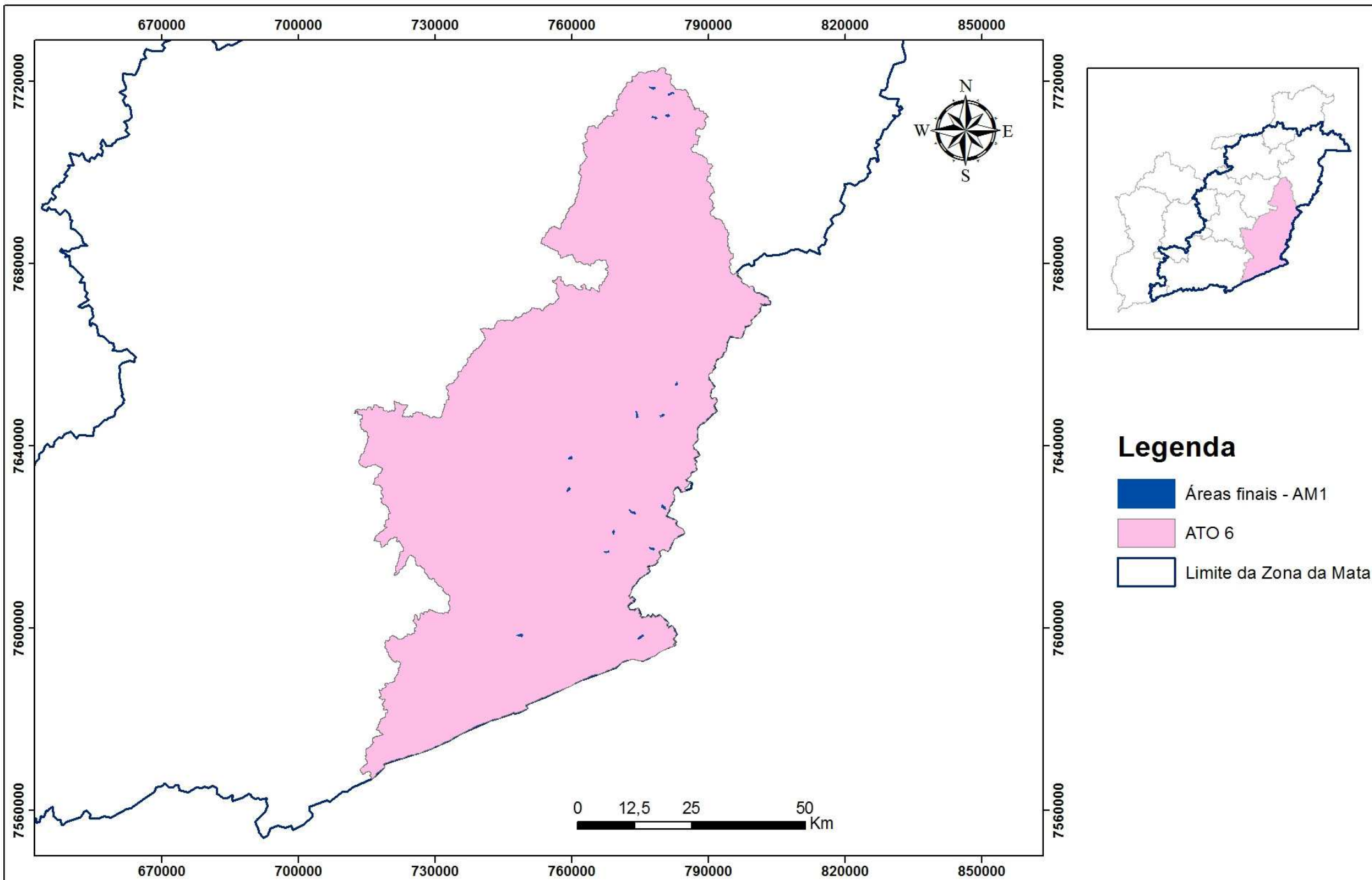
NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S	Projeto de Mestrado Thaís Felicori	TÍTULO Áreas finais - ATO 4 Análise Multicritério - AM1 Cidade-sede: São João Del Rei	ESCALA 1:200.000
--	---------------------------------------	---	----------------------------



Legenda

- Áreas finais - AM1
- Limite da Zona da Mata
- ATO5

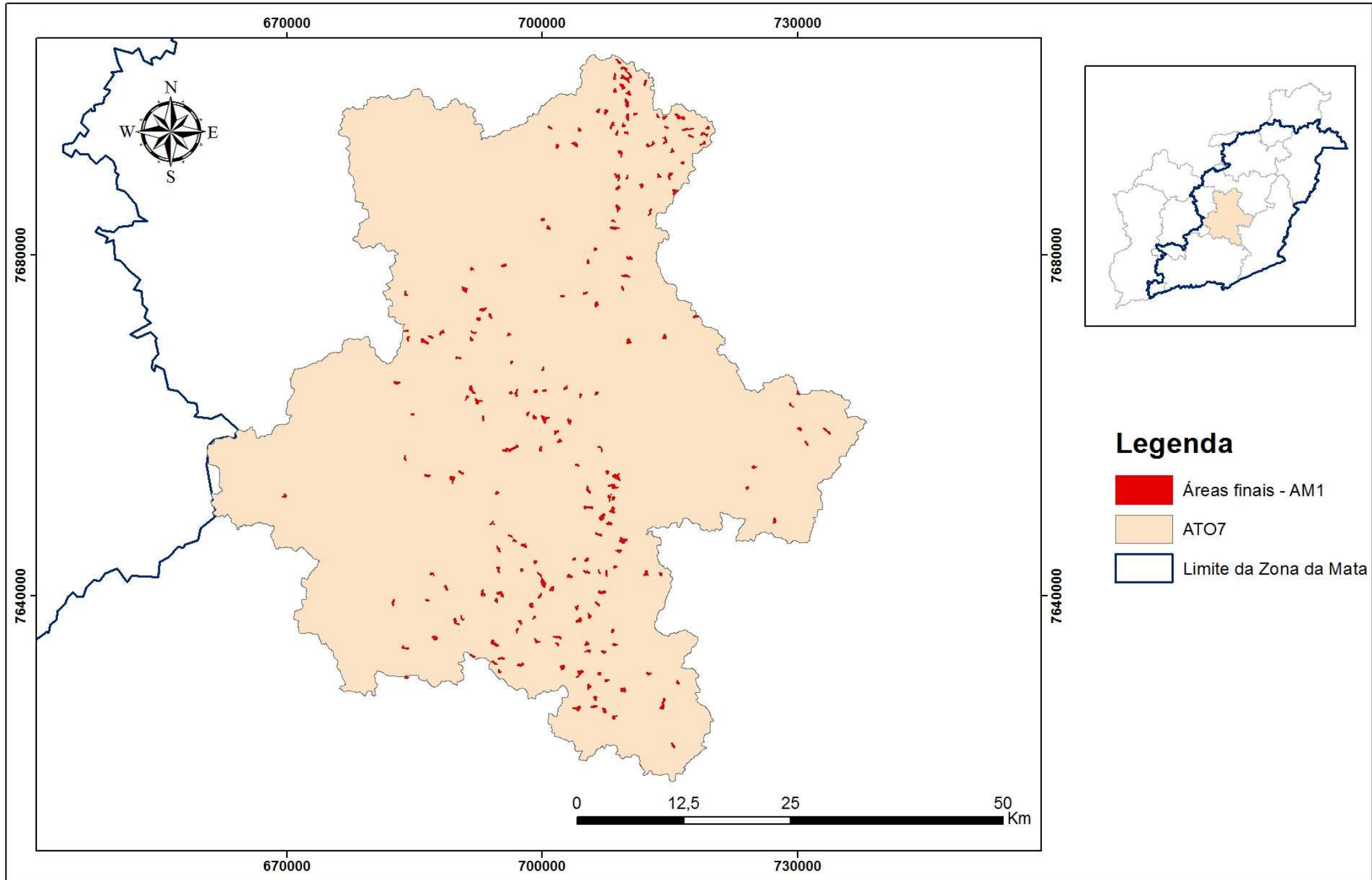
<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Áreas finais - ATO 5 Análise Multicritério - AM1 Cidade-sede: Barbacena</p>	<p>ESCALA 1:300.000</p>
--	---	--	------------------------------------



Legenda

- Áreas finais - AM1
- ATO 6
- Limite da Zona da Mata

<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Áreas finais - ATO 6 Análise Multicritério - AM1 Cidade-sede: Cataguases</p>	<p>ESCALA 1:750.000</p>
--	---	---	------------------------------------

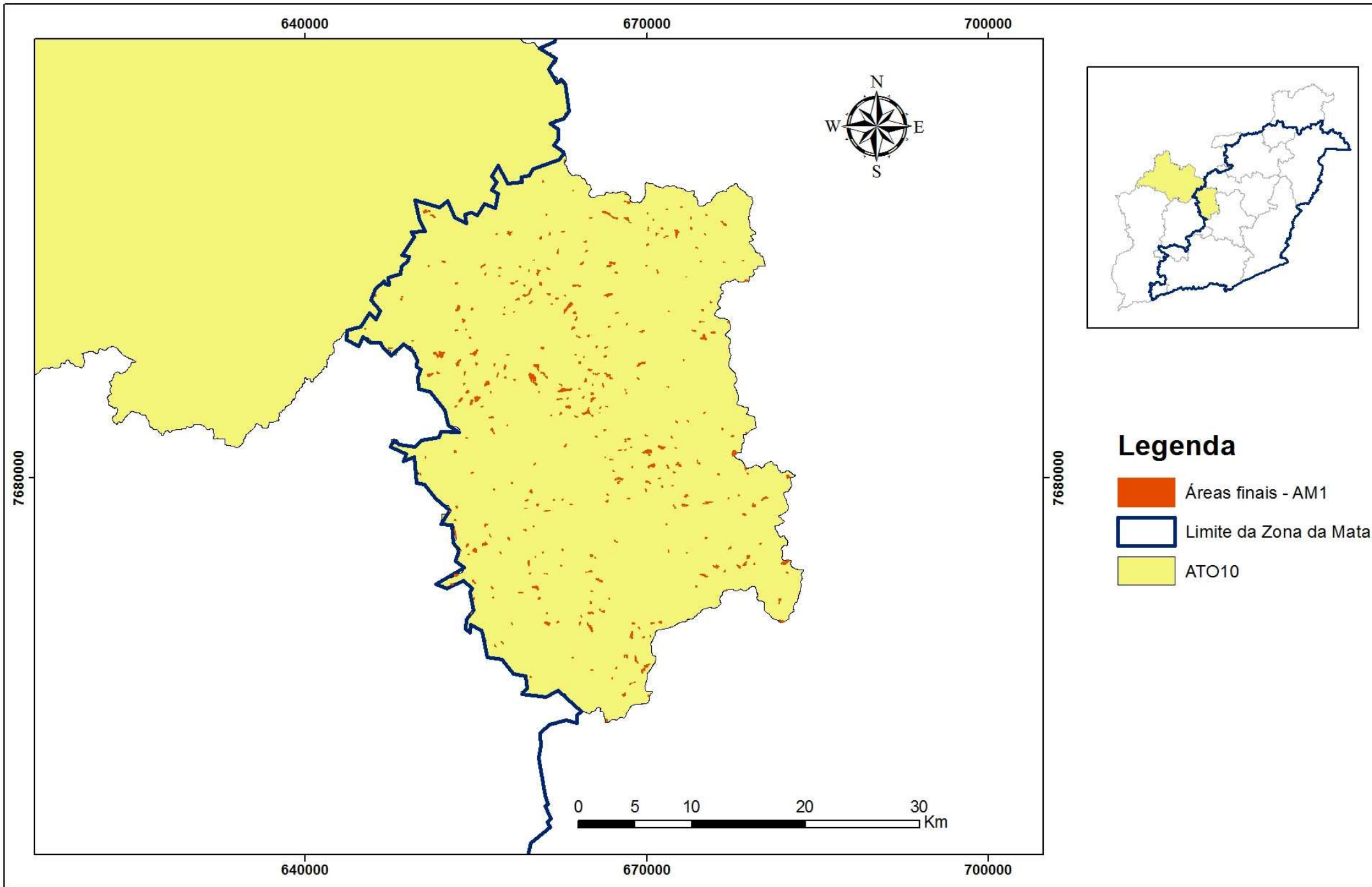


NOTAS
UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO Áreas finais - ATO 7
Análise Multicritério - AM1
Cidade-sede: Ubá

ESCALA
1:400.000



Legenda

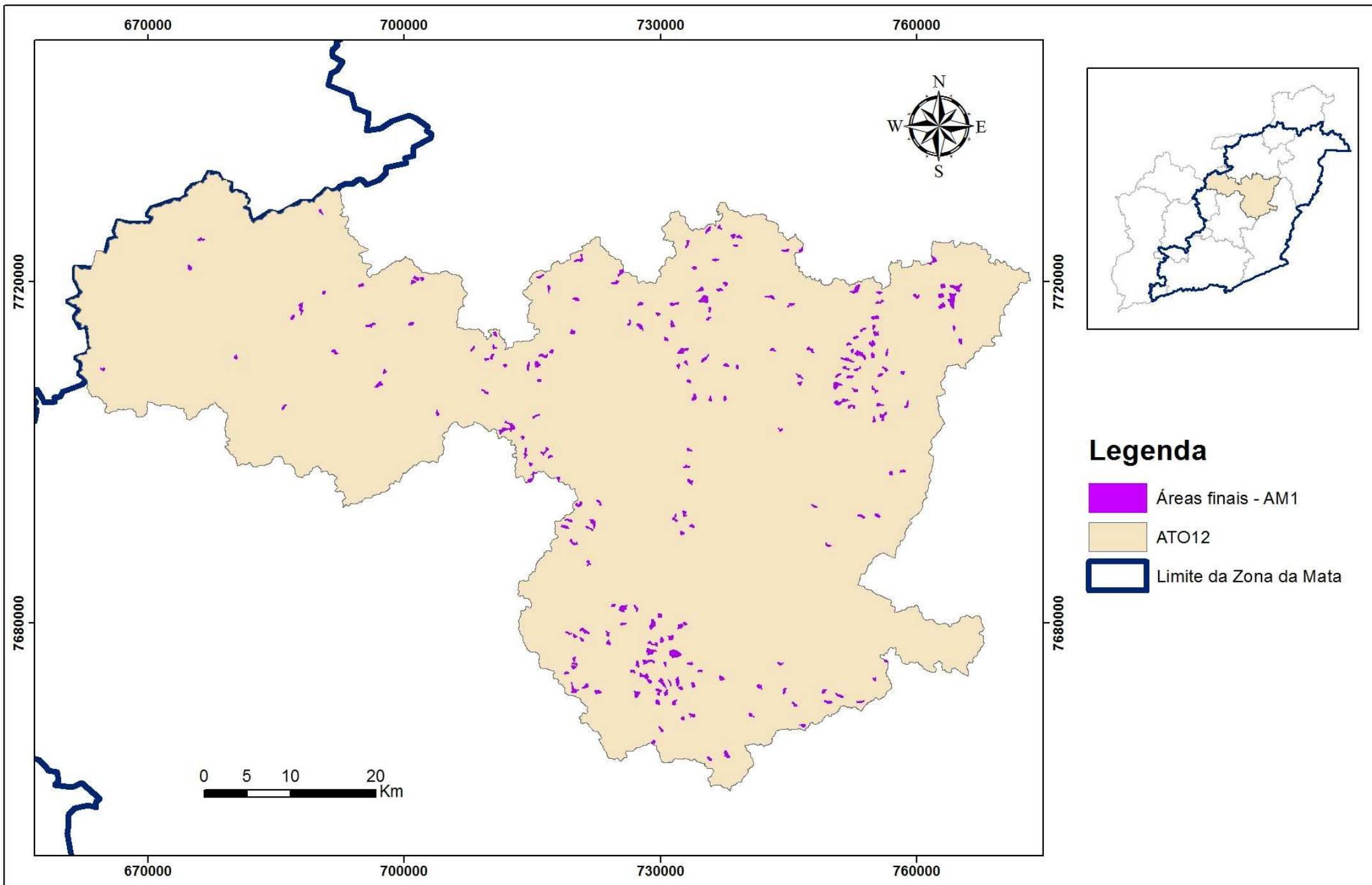
- Áreas finais - AM1
- Limite da Zona da Mata
- ATO10

NOTAS
UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO Áreas finais - ATO 10
Análise Multicritério - AM1
Cidade-sede: Conselheiro Lafaiete

ESCALA
1:300.000



Legenda

- Áreas finais - AM1
- ATO12
- Limite da Zona da Mata

NOTAS

UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

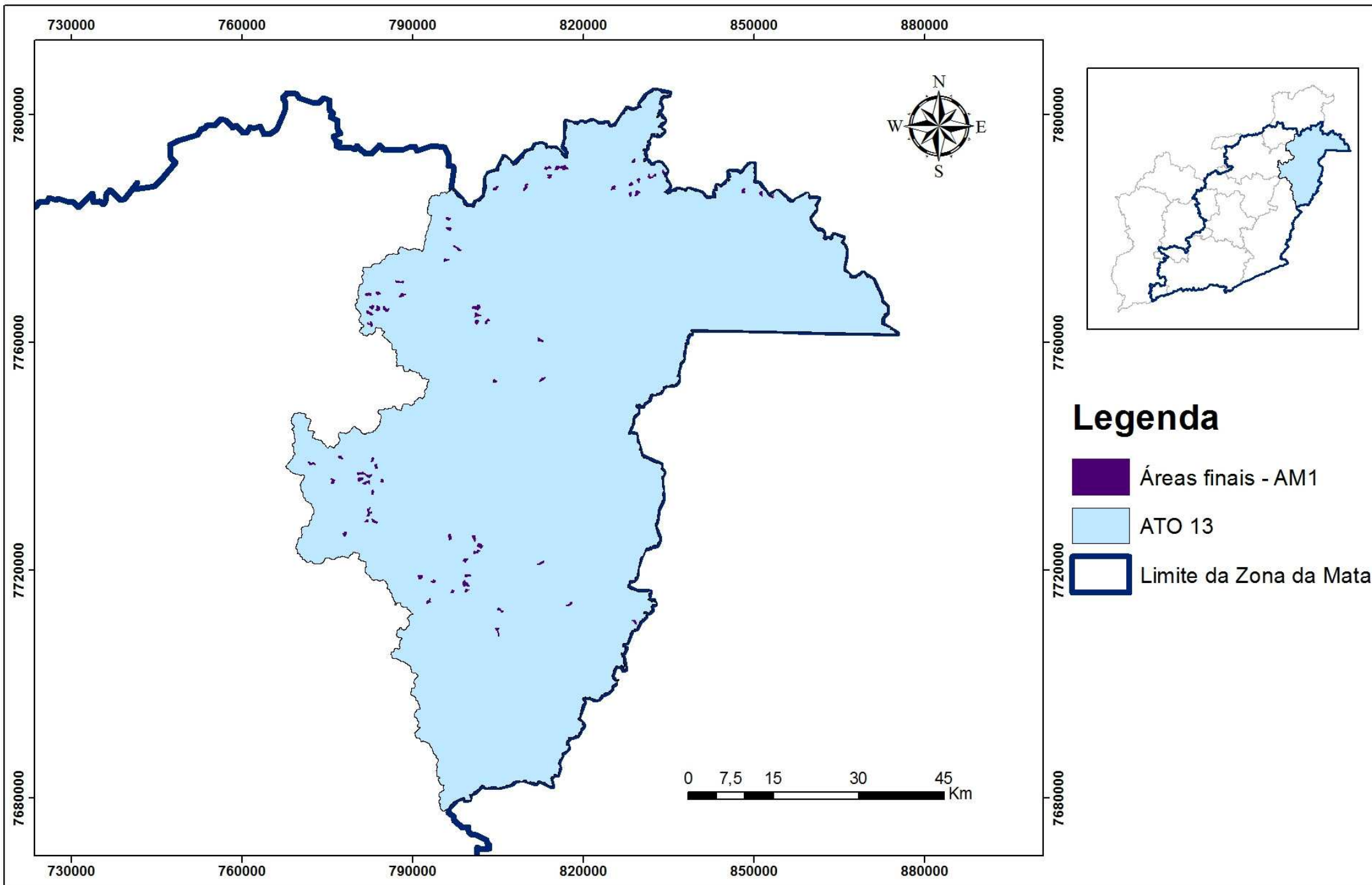
Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO

Áreas finais - ATO 12
Análise Multicritério - AM1
Cidade-sede: Viçosa

ESCALA

1:400.000



NOTAS

UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

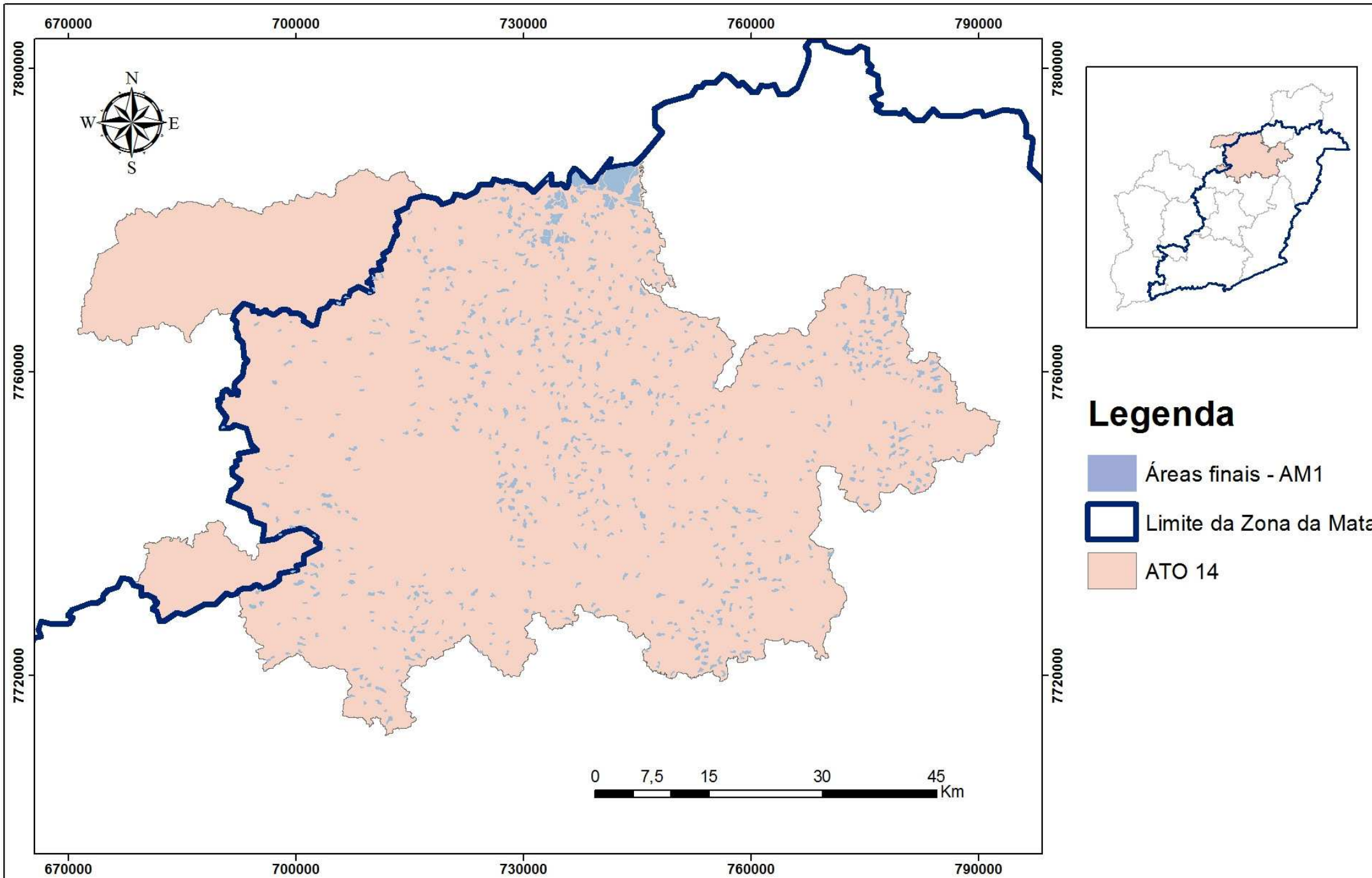
Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO

Áreas finais - ATO 13
Análise Multicritério - AM1
Cidade-sede: Manhuaçu

ESCALA

1:600.000



Legenda

- Áreas finais - AM1
- Limite da Zona da Mata
- ATO 14

NOTAS

UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

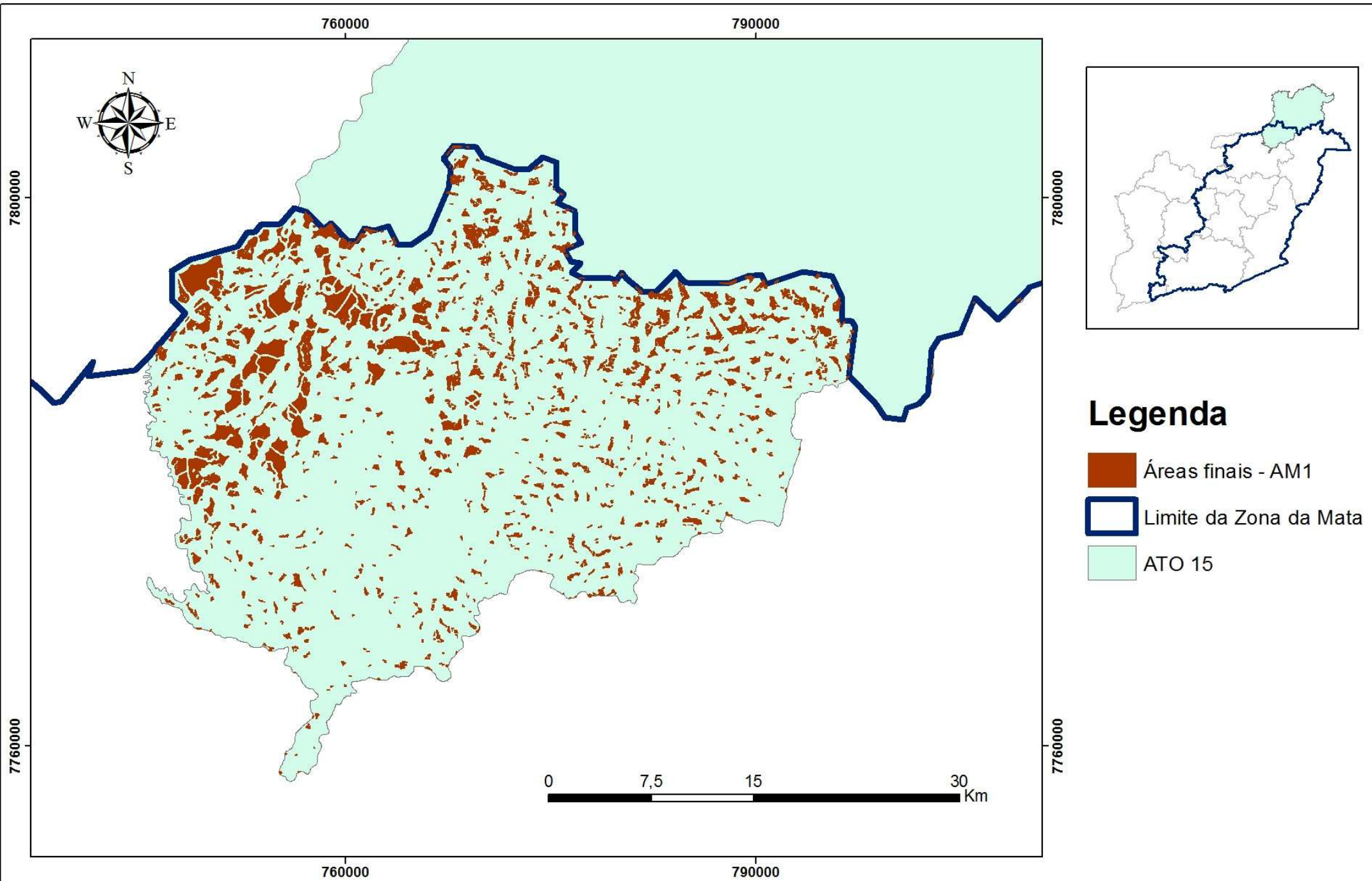
Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO

Áreas finais - ATO 14
Análise Multicritério - AM1
Cidade-sede: Ponte Nova

ESCALA

1:450.000



Legenda

- Áreas finais - AM1
- Limite da Zona da Mata
- ATO 15

NOTAS

UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

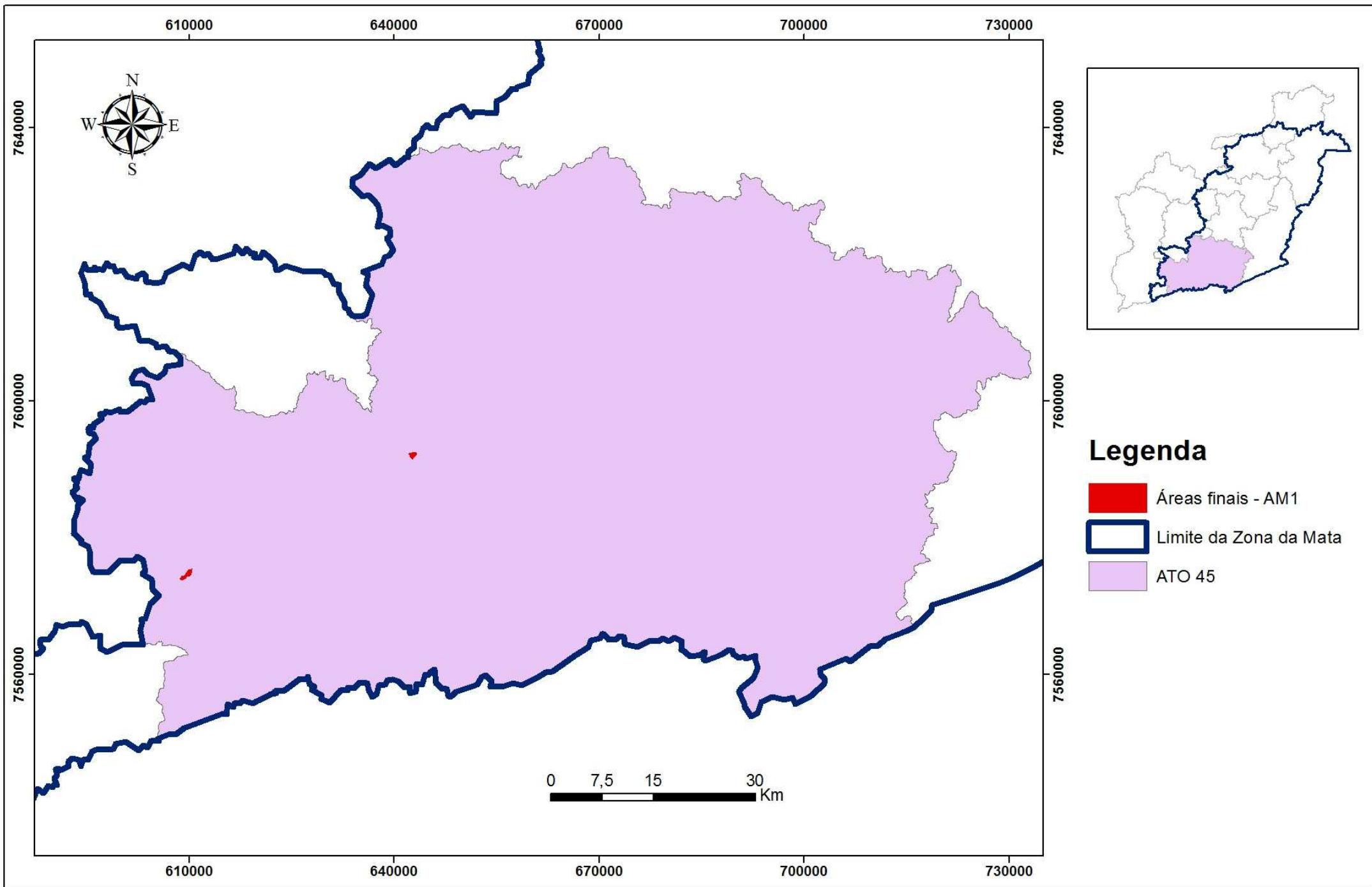
Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO

Áreas finais - ATO 15
Análise Multicritério - AM1
Cidade-sede: Caratinga

ESCALA

1:250.000



Legenda

- Áreas finais - AM1
- Limite da Zona da Mata
- ATO 45

NOTAS

UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

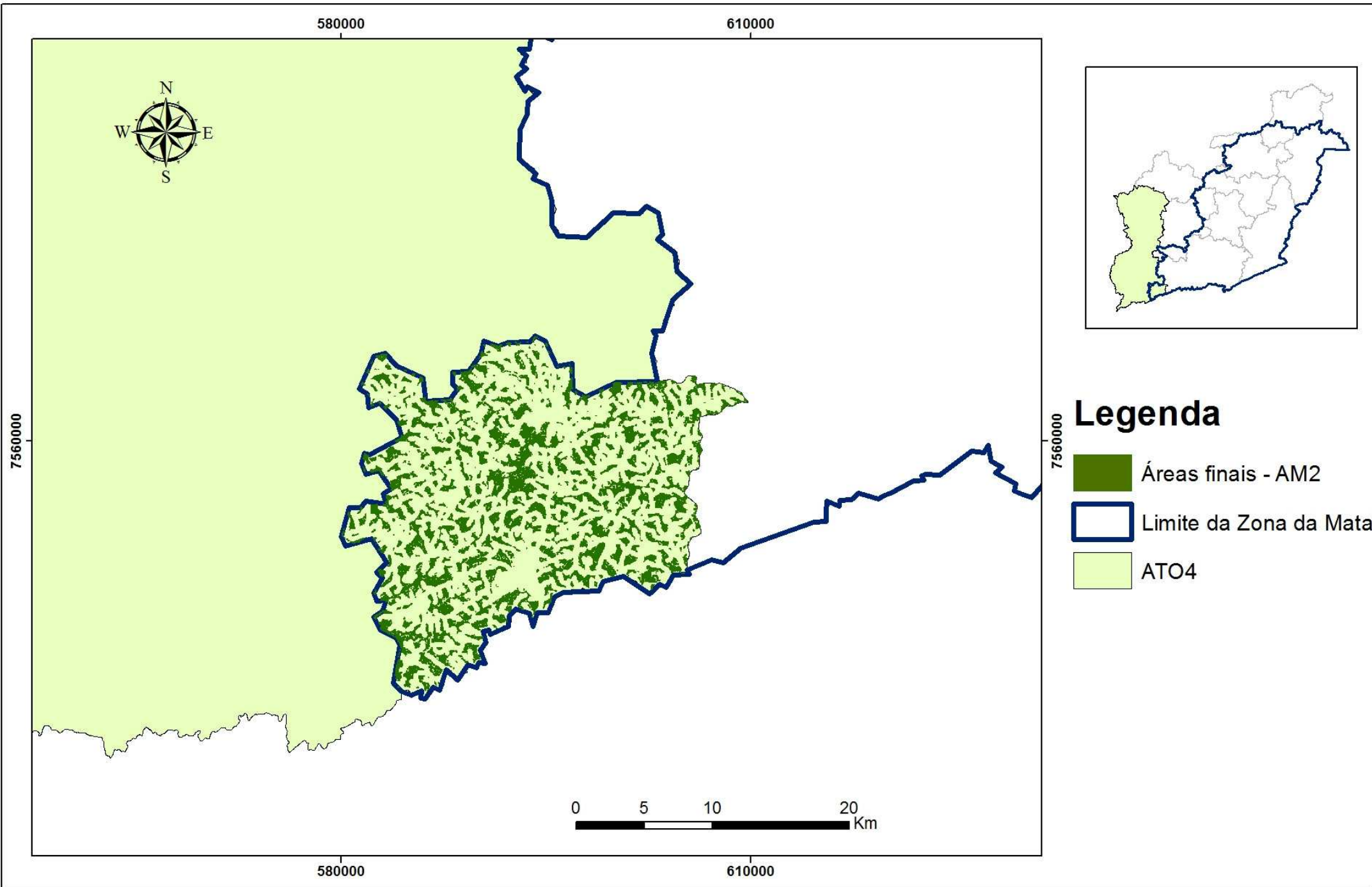
TÍTULO

Áreas finais - ATO 45
Análise Multicritério - AM1
Cidade-sede: Juiz de Fora

ESCALA

1:500.000

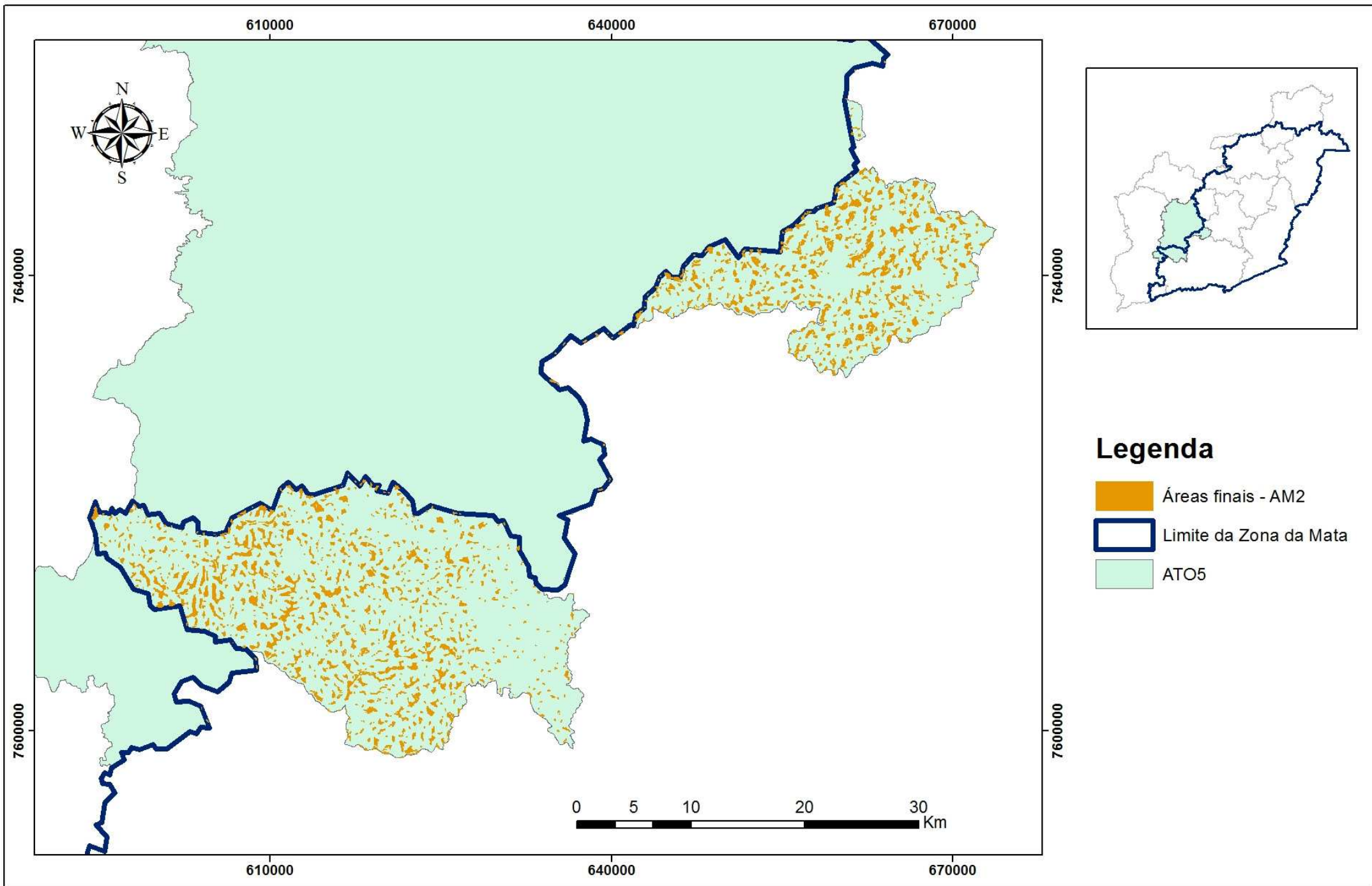
ANEXO 2



Legenda

- Áreas finais - AM2
- Limite da Zona da Mata
- ATO4

<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Áreas finais - ATO 4 Análise Multicritério - AM2 Cidade-sede: São João Del Rei</p>	<p>ESCALA 1:200.000</p>
--	---	---	------------------------------------

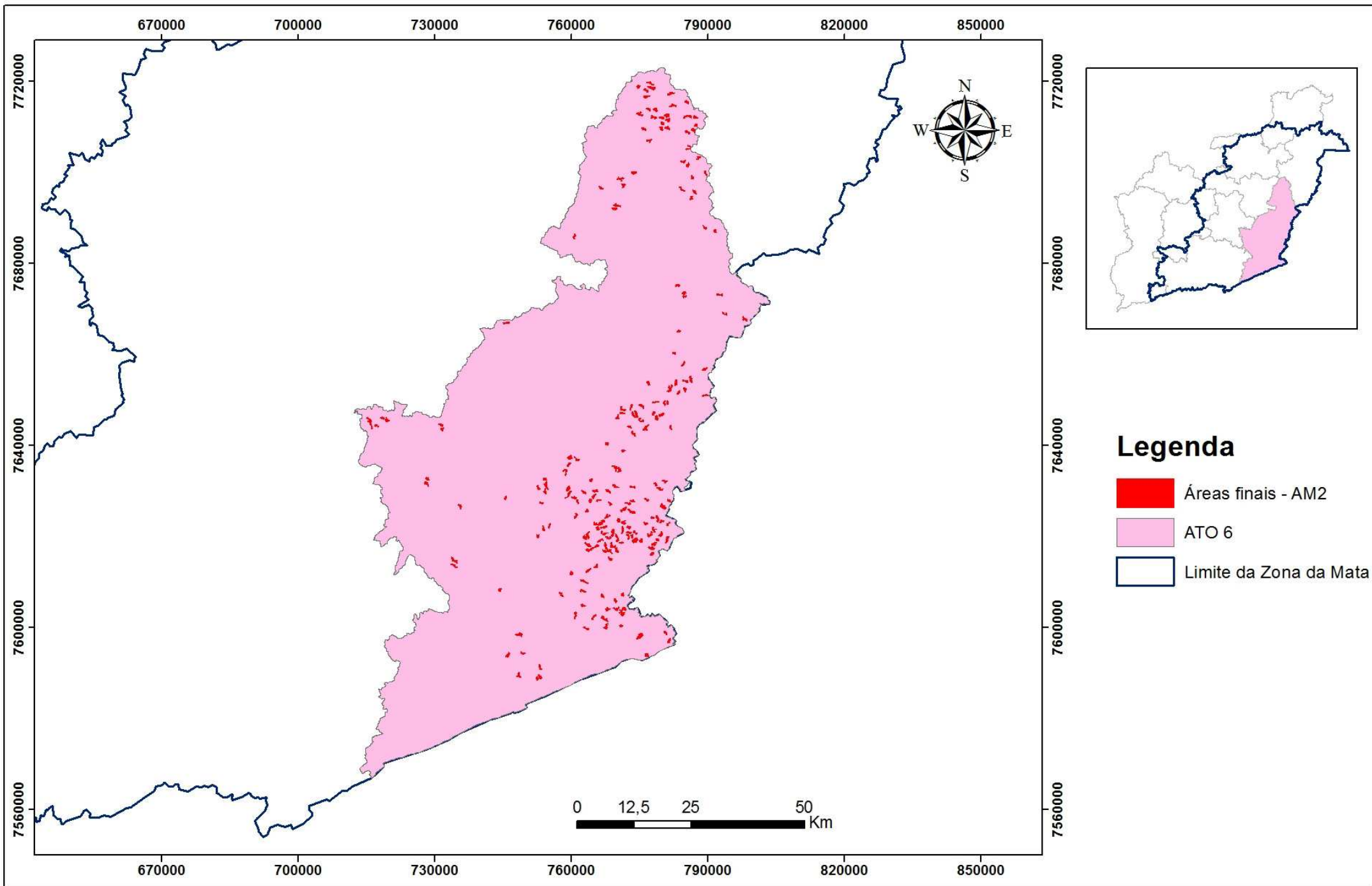


NOTAS
UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

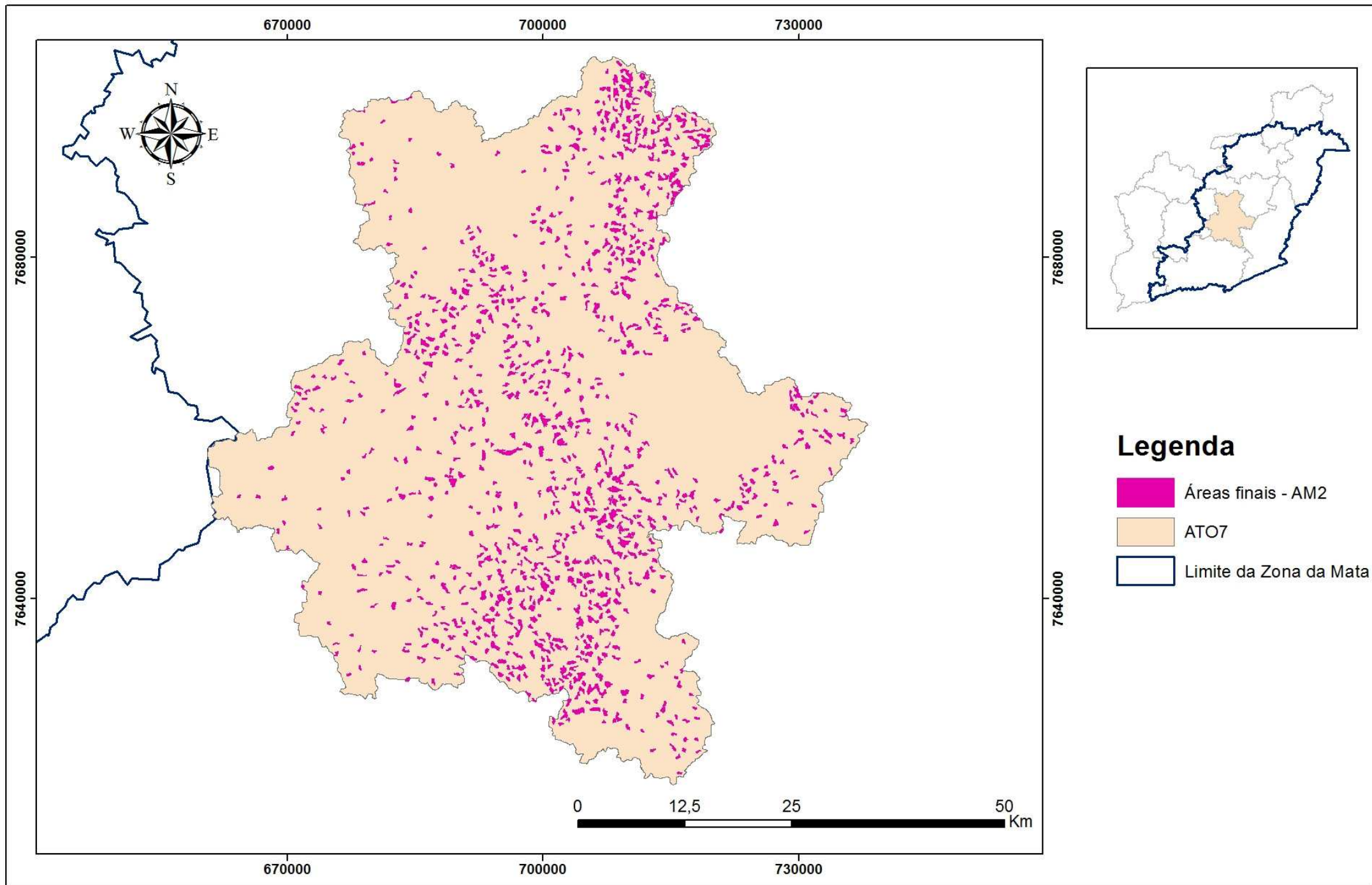
Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO Áreas finais - ATO 5
Análise Multicritério - AM2
Cidade-sede: Barbacena

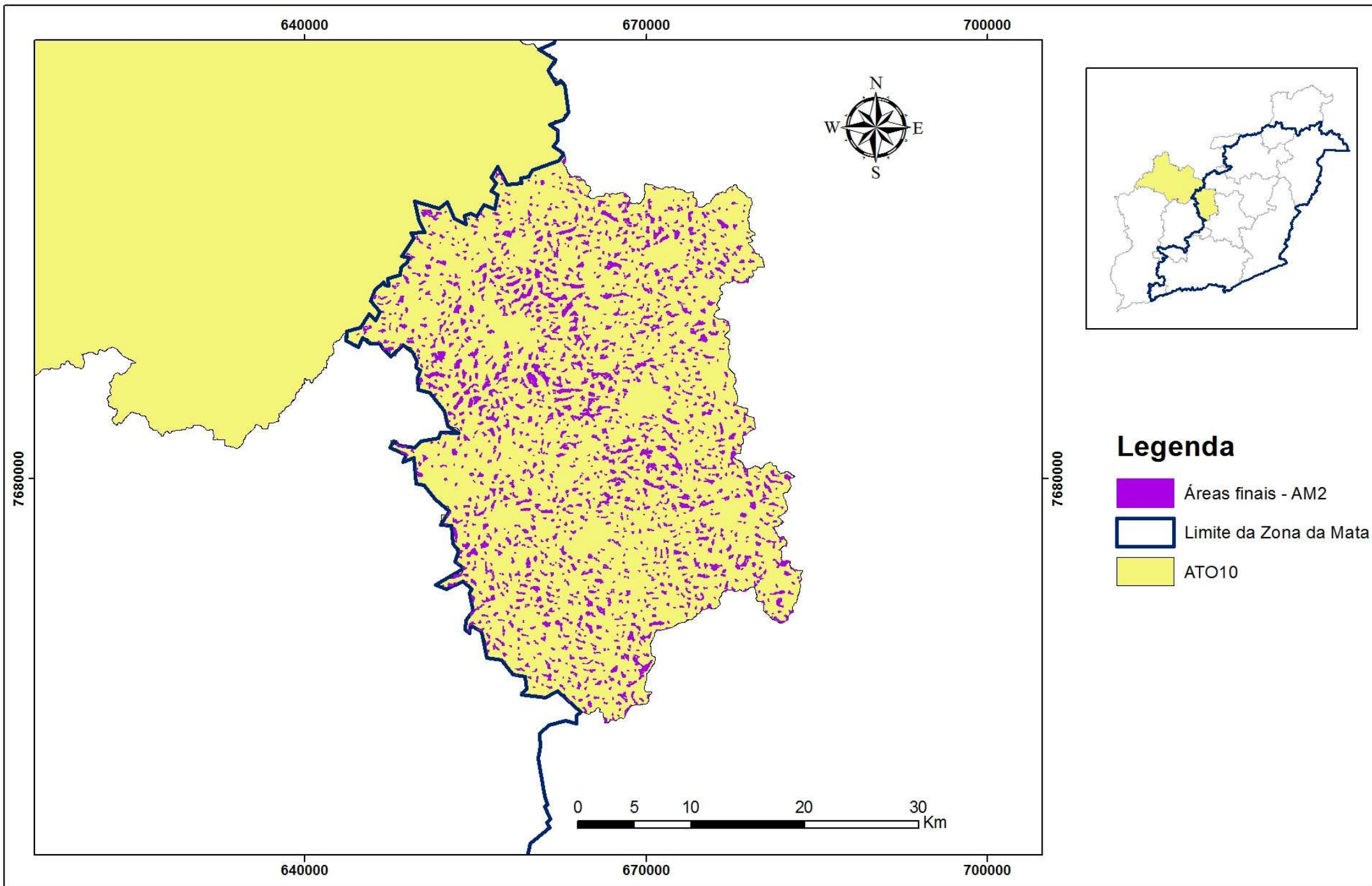
ESCALA
1:300.000



<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Áreas finais - ATO 6 Análise Multicritério - AM2 Cidade-sede: Cataguases</p>	<p>ESCALA 1:750.000</p>
--	---	--	------------------------------------



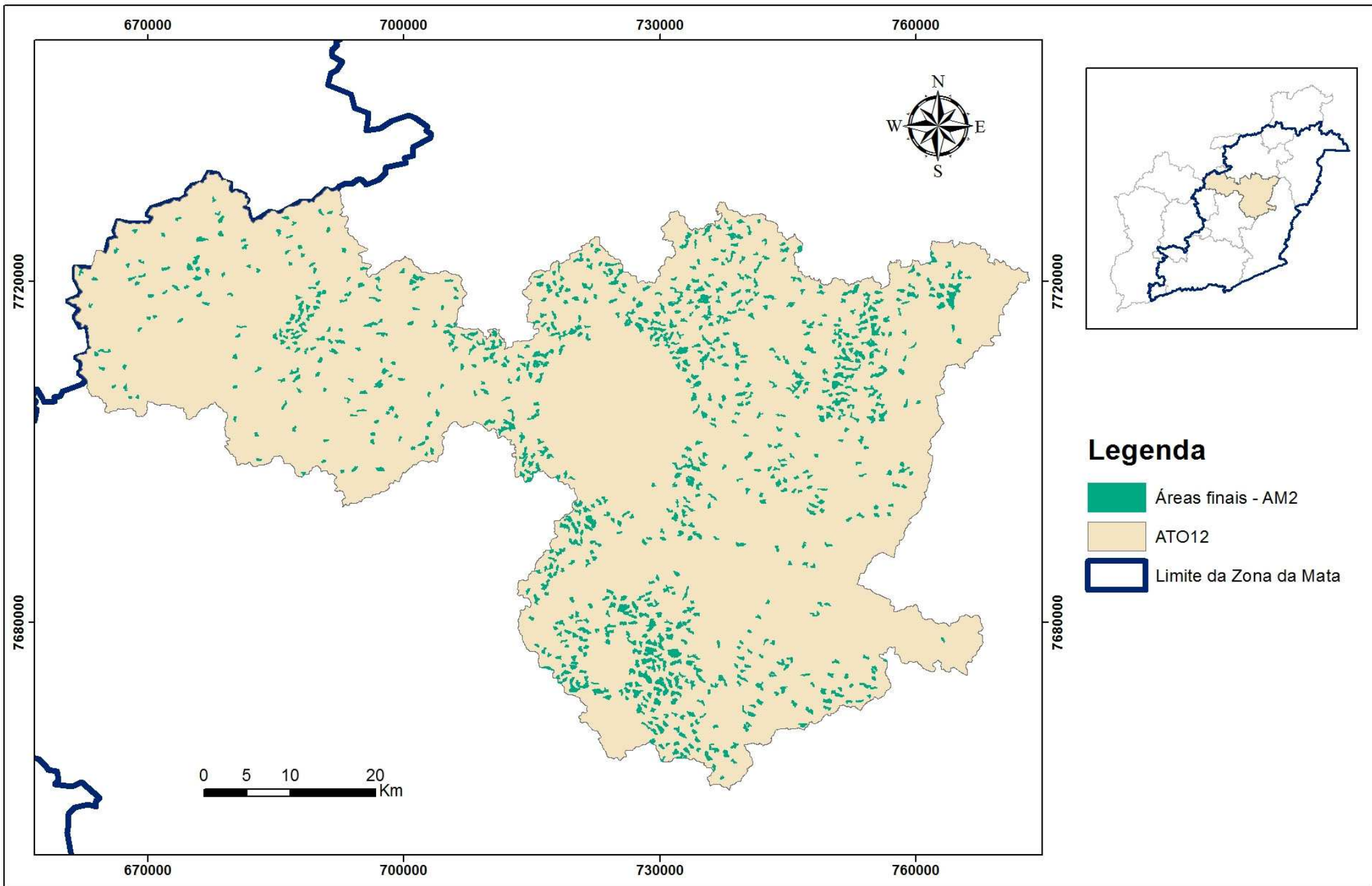
<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Áreas finais - ATO 7 Análise Multicritério - AM2 Cidade-sede: Ubá</p>	<p>ESCALA 1:400.000</p>
--	---	--	------------------------------------



Legenda

- Áreas finais - AM2
- Limite da Zona da Mata
- ATO10

<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Áreas finais - ATO 10 Análise Multicritério - AM2 Cidade-sede: Conselheiro Lafaiete</p>	<p>ESCALA 1:300.000</p>
--	---	--	------------------------------------

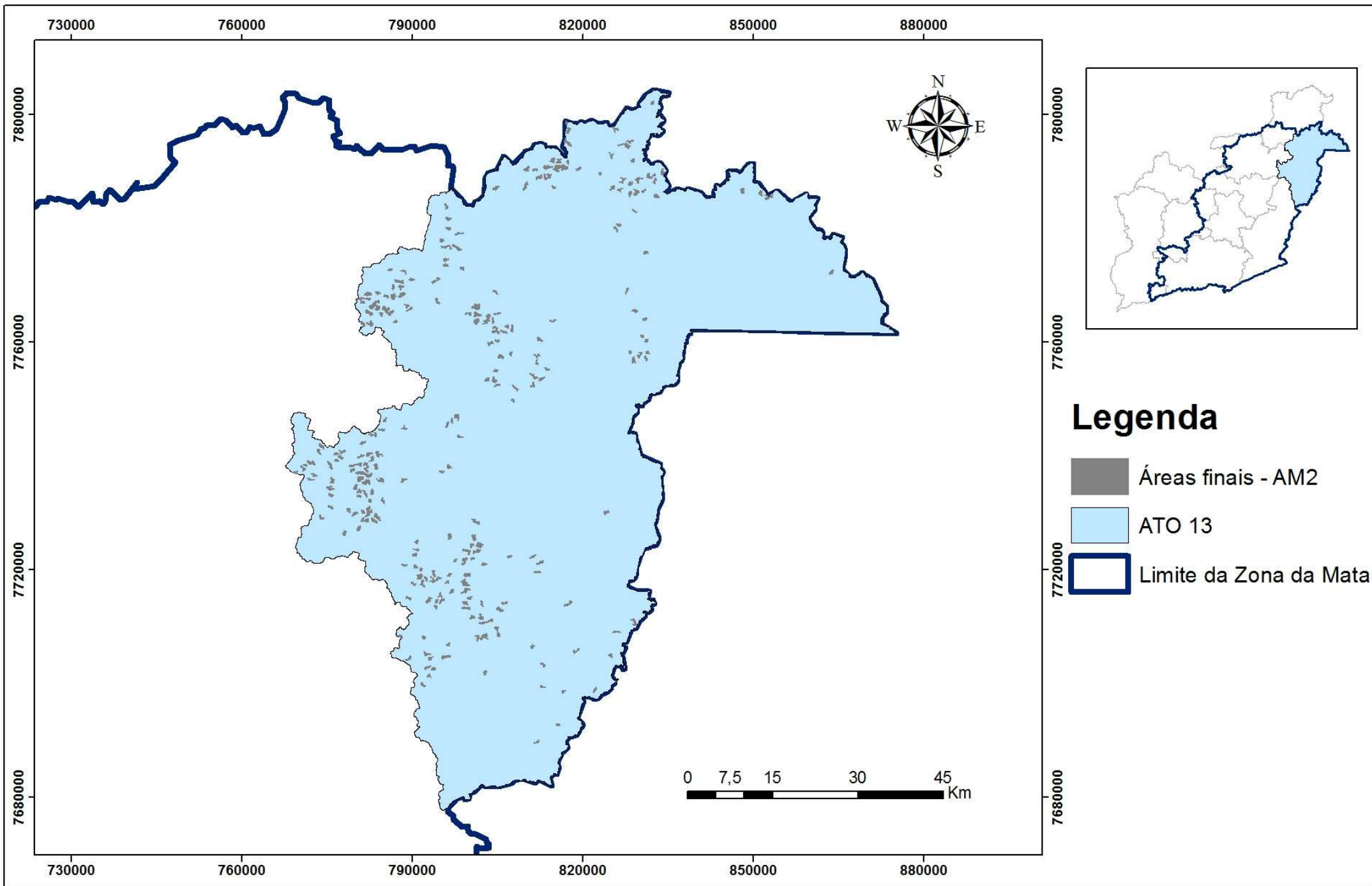


NOTAS
UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO Áreas finais - ATO 12
Análise Multicritério - AM2
Cidade-sede: Viçosa

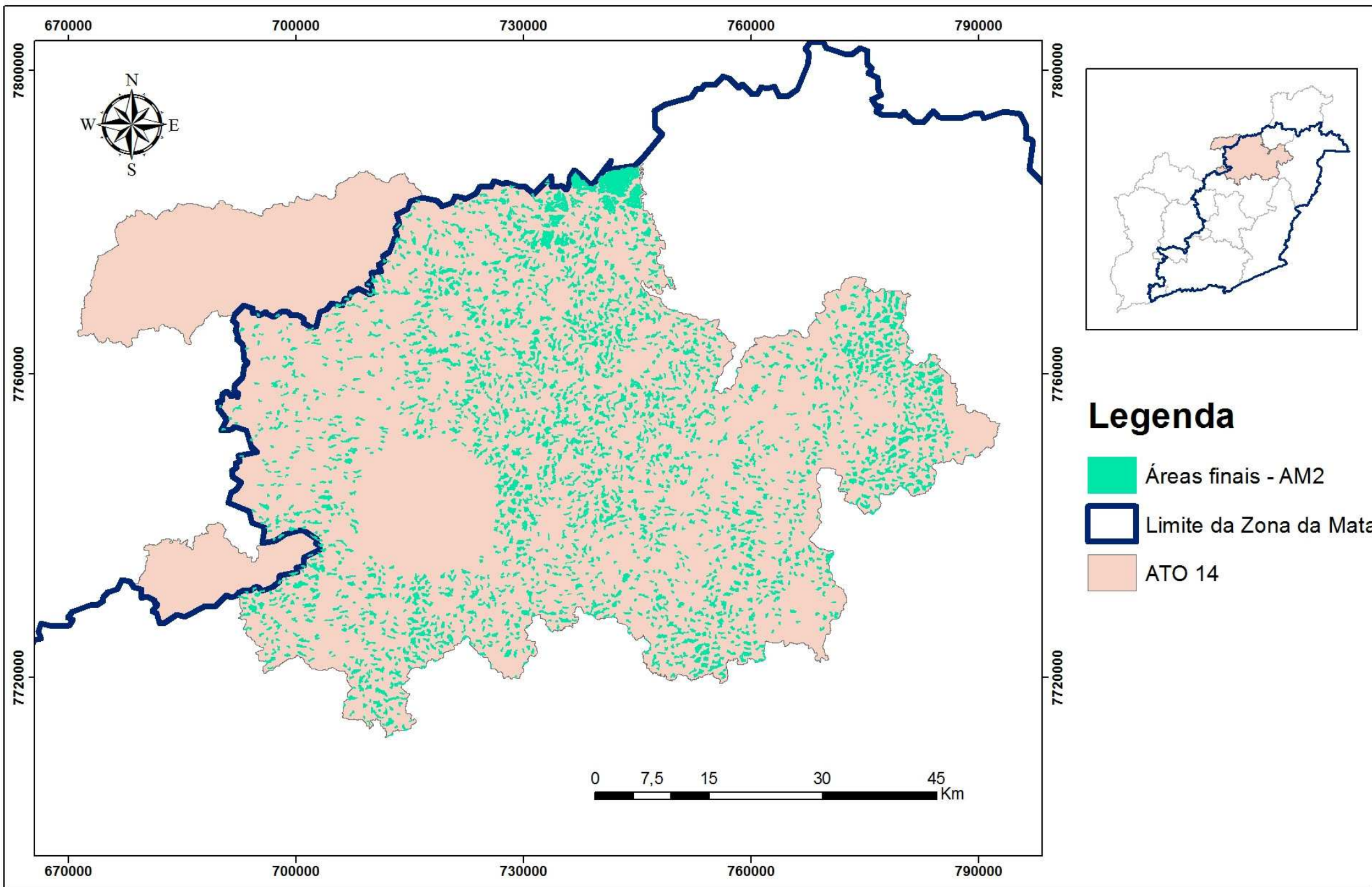
ESCALA
1:400.000



Legenda

- Áreas finais - AM2
- ATO 13
- Limite da Zona da Mata

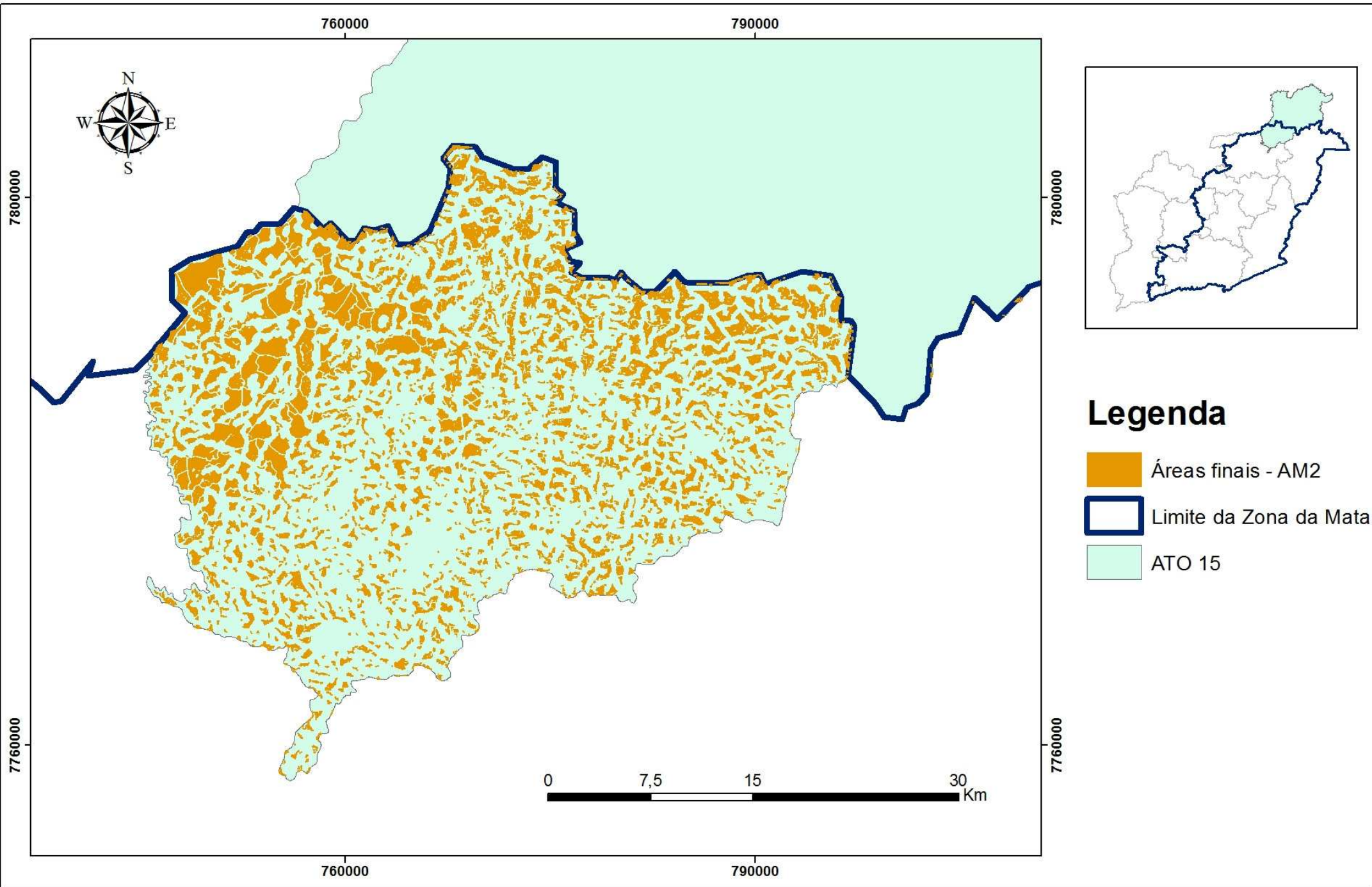
<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Áreas finais - ATO 13 Análise Multicritério - AM2 Cidade-sede: Manhuaçu</p>	<p>ESCALA 1:600.000</p>
--	---	--	------------------------------------



Legenda

- Áreas finais - AM2
- Limite da Zona da Mata
- ATO 14

<p>NOTAS UTM SIRGAS 2000 Zone 23S</p>	<p>Projeto de Mestrado Thaís Felicori</p>	<p>TÍTULO Áreas finais - ATO 14 Análise Multicritério - AM2 Cidade-sede: Ponte Nova</p>	<p>ESCALA 1:450.000</p>
--	---	--	------------------------------------

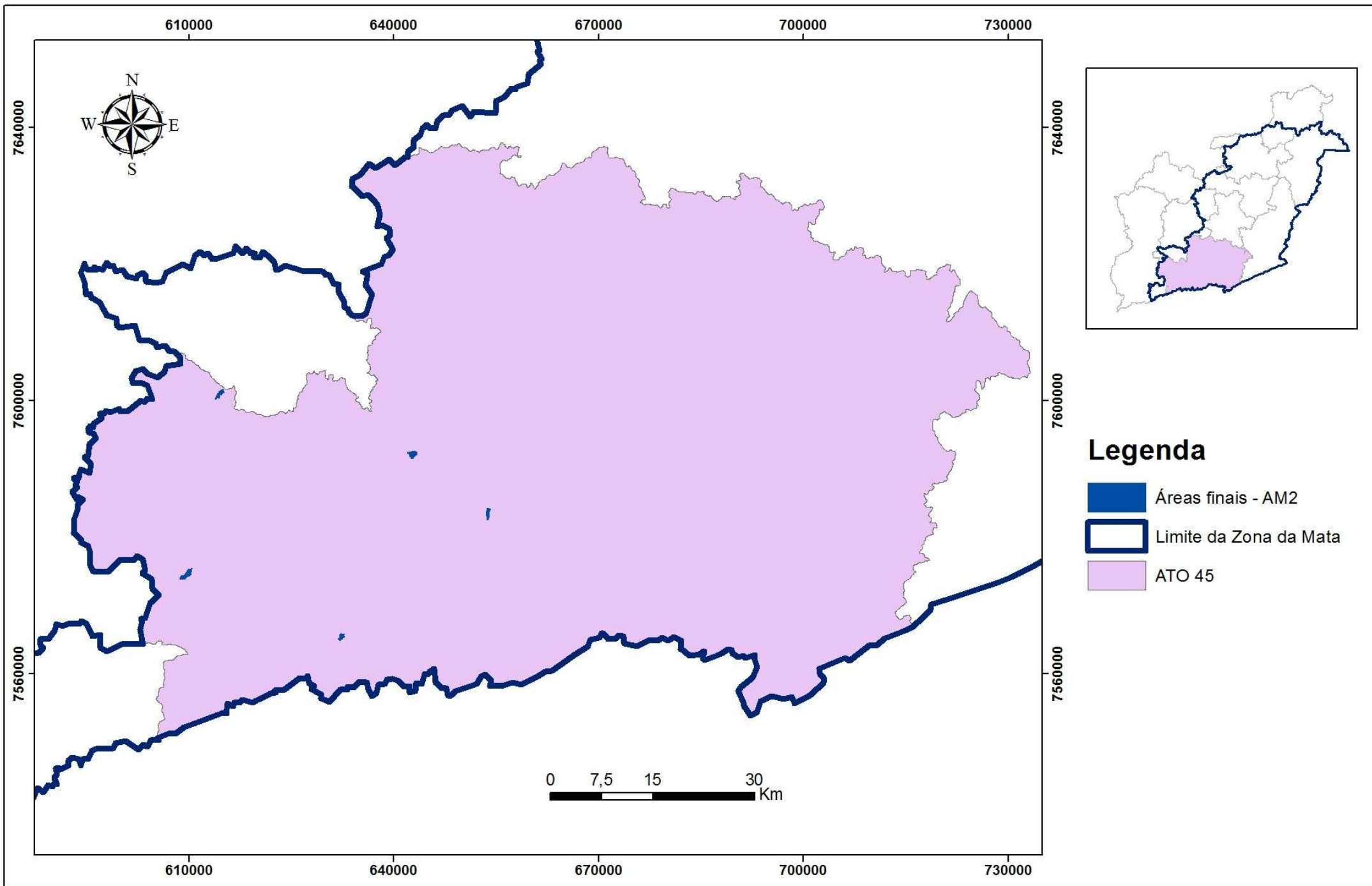


NOTAS
UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO Áreas finais - ATO 15
Análise Multicritério - AM2
Cidade-sede: Caratinga

ESCALA
1:250.000



NOTAS
UTM SIRGAS 2000 Zone 23S

Projeto de Mestrado
Thaís Felicori

TÍTULO Áreas finais - ATO 45
Análise Multicritério - AM2
Cidade-sede: Juiz de Fora

ESCALA
1:500.000