



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ANTONIO HENRIQUE CORDEIRO RAMALHO

**ZONEAMENTO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE
FOMENTO FLORESTAL NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO POR
INTERMÉDIO DA LÓGICA *FUZZY***

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

ANTONIO HENRIQUE CORDEIRO RAMALHO

**ZONEAMENTO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE
FOMENTO FLORESTAL NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO POR
INTERMÉDIO DA LÓGICA *FUZZY***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Nilton Cesar Fiedler

Coorientador: Alexandre Rosa dos Santos

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

Dedico a Deus, aos meus pais e ao meu irmão, por serem meus alicerces, minhas inspirações e meus exemplos. A vocês, meu eterno amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por me dar suporte para vencer todos os obstáculos que encontrei no caminho, e por nunca me deixar de lado, nem mesmo quando eu o fiz.

Agradeço também, com toda a certeza do mundo à minha mãe, ao meu pai e ao meu irmão, que foram, continuam e continuarão sendo a minha principal fonte de força, inspiração, garra, vontade e paciência para os momentos de desespero e de glórias. Não consigo entender às vezes como pode, eu, ser premiado com uma mãe (Cida Ramalho), um pai (Antonio Cordeiro) e um irmão (Eduardo Cordeiro Ramalho) tão perfeitos. Qualquer oportunidade que eu tivesse para retornar para mais uma vida, só teria sentido se eles estivessem comigo, pois sinto um imenso orgulho de ser dessa família.

Durante os momentos mais difíceis da minha estadia em Jerônimo Monteiro, ela estava lá, e durante os momentos mais felizes, ela também estava lá, sendo assim, como posso eu, não agradecer à melhor companheira que uma pessoa poderia desejar? Muito obrigado à minha namorada Fernanda D. Maffioletti, por tudo que fez e vem fazendo por mim. Espero que, um dia, nossos filhos leiam esse agradecimento e se sintam tão orgulhosos da mãe quanto estou me sentindo agora.

Além da minha família de sangue, não posso deixar de agradecer aos meus amigos, que são a família que eu escolhi pra mim. Em especial à Paula Karen, Rodrigo Flávio, Riuller Batista, Alessandro Almeida, Ivan Edson, Everton Dias, Luiz Eduardo, Giovana Oliveira, Derek Ferreira, Lorena Mariara, Francielle Loyal, Izabella Chaves, Alice Soares, Emanuel França, Jeferson Martins, Taís Rizzo, Kaíse Barbosa, Rita de Cássia, Thiago Nunes, Evandro Ferreira, Jeangelis Silva, Leonardo Biazzi e Matheus Cordeiro.

Agradeço também ao meu orientador e grande amigo Nilton Cesar Fiedler, que sempre me tratou de igual pra igual, mostrando que carreira, profissão, status, entre outros, não significam nada quando comparados à simplicidade e humildade.

Ao meu coorientador Alexandre Rosa dos Santos, que no momento em que me acolheu em seu grupo de pesquisa me fez enxergar a Pós-Graduação como uma ótima oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Aos professores por todo o conhecimento passado ao longo dessa etapa da minha vida e à paciência em ensinar. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pelo apoio e concessão da bolsa.

Agradeço também aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler, Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos, Prof. Dr. Flavio Cipriano de Assis do Carmo e Prof^a. Dr^a. Telma Machado de Oliveira Peluzio, pela participação e contribuições com o meu trabalho.

E finalmente, agradeço imensamente Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao programa de Pós Graduação em Ciências Florestais do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, por me aceitar de portas abertas e me proporcionar a oportunidade de me qualificar ainda mais para o mercado de trabalho.

“Quando a vitória vem, dor é passado.”
(SANT, 2017).

RESUMO

RAMALHO, Antonio Henrique Cordeiro. **Zoneamento de áreas potenciais para implantação de fomento florestal no estado do Espírito Santo por intermédio da lógica *Fuzzy***. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Nilton Cesar Fiedler. Coorientador: Alexandre Rosa dos Santos.

O planejamento de áreas viáveis para a implantação de florestas sob regime de fomento possibilita a redução de custos de produção florestal, maximização de retornos financeiros e otimização do uso dos recursos, o que o torna crucial para a viabilidade técnica e financeira do empreendimento. Para isso, técnicas matemáticas têm-se mostrado eficientes. Assim, o objetivo com a pesquisa foi propor uma nova abordagem para a definição de áreas potenciais à implementação de programas de fomento florestal por empresas no estado do Espírito Santo, Brasil. As etapas metodológicas necessárias para atingir esse objetivo foram: 1) Zoneamento edafoclimático de diferentes materiais genéticos florestais; 2) Vetorização das variáveis; 3) Aplicação da distância euclidiana; 4) Aplicação da lógica *Fuzzy*; 5) Sobreposição nebulosa das áreas de prospecção para implementação dos programas de fomento florestal; e 6) Delimitação do raio de influência de transporte de cada um dos depósitos de madeira. Entre os materiais genéticos, o *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* apresentou os maiores valores percentuais para a classe ótima (37,84%), seguida pelo *Eucalyptus urophylla* (33,29%), o *Eucalyptus grandis* (31,80%) e o *Corymbia citriodora* (29,48%). O zoneamento *Fuzzy* possibilitou a prospecção de áreas adequadas para implementação dos programas de fomento florestal, auxiliando as empresas do setor no planejamento da definição de novas propriedades rurais, mediante redução de custos com deslocamento de funcionários e aumento do poder de negociação. Portanto, conclui-se que a alternativa de planejamento proposta é viável e pode ser adaptada a outras áreas, e culturas agrícolas.

Palavras-Chave: Manejo florestal; planejamento estratégico; zoneamento florestal; transporte florestal; colheita florestal; Geotecnologias

ABSTRACT

RAMALHO, Antonio Henrique Cordeiro. **Zoning of potential areas for implementing forestry development in the state of Espírito Santo using the Fuzzy logic**. 2020. Dissertation (Master of Forest Science) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler. Co-advisor: Prof. Dr. Alexandre Rosa dos Santos.

The planning of viable areas for the implantation of forests under a fostering regime makes it possible to reduce the costs of forest production, maximize financial returns and optimize the use of resources, which makes it crucial for the technical and financial viability of the enterprise. For this, mathematical techniques have been shown to be efficient. Thus, the aim with the research was to propose a new approach for the definition of potential areas for the implementation of forest development programs by companies in the Espírito Santo state, Brazil. The methodological steps necessary to achieve this objective were: 1) Edaphoclimatic zoning of different forest genetic materials; 2) Vectoring of the variables; 3) Application of the Euclidean distance; 4) Application of *Fuzzy logic*; 5) Fuzzy overlapping of the prospecting areas for the implementation of forest development programs; and 6) Delimitation of the radius of influence of transport for each of the wood deposits. Among genetic materials presented the highest percentage values for the optimal class (37.84%), followed by *Eucalyptus urophylla* (33.29%), *Eucalyptus grandis* (31.80%) and *Corymbia citriodora* (29.48%). *Fuzzyficate* zoning enabled the prospecting of suitable areas for implementing forestry promotion programs, assisting companies in the sector in planning the definition of new rural properties, by reducing costs with displacing employees and increasing negotiating power. Therefore, it is concluded that the proposed planning alternative is feasible and can be adapted to other areas, and agricultural crops.

Keywords: Precision forest management; strategic forest planning; forest zoning; forest transportation; forest harvest

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Algoritmo da distância euclidiana.	21
Figura 2. Microrregiões do estado do Espírito Santo, Brasil	23
Figura 3. Etapas metodológicas para elaboração do zoneamento edafoclimático das espécies estudadas.....	27
Figura 4. Diagramas das funções de pertinência Fuzzy.	32
Figura 5. Fluxograma metodológico para a prospecção de áreas para a implementação dos programas de fomento florestal no Espírito Santo, Brasil, para espécies e híbridos de eucalipto	34
Figura 6. Fluxograma metodológico para a delimitação dos raios de influência dos depósitos de madeira presentes no Espírito Santo, Brasil.....	37
Figura 7. Zoneamento edafoclimático para as espécies e híbrido avaliados ...	38
Figura 8. Distribuição geográfica das classes de estradas, uso e ocupação da terra, declividade e propriedades regularizadas	41
Figura 9. Distância euclidiana das variáveis vetoriais.....	46
Figura 10. Lógica Fuzzy e frequência de pixels das variáveis matriciais	48
Figura 11. Raio de influência dos depósitos de madeira do estado do Espírito Santo, Brasil.....	50
Figura 12. Zoneamento de aptidão ao fomento florestal no estado do Espírito Santo, Brasil.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de aptidão à mecanização da colheita de madeira	25
Tabela 2. Exigências climáticas das espécies e híbrido estudados	29
Tabela 3. Classes de aptidão edáfica para as espécies e híbrido estudados ..	29
Tabela 4. Exigências climáticas das espécies e híbrido estudados	30
Tabela 5. Localização geográfica dos depósitos de madeira no estado do Espírito Santo.	35
Tabela 6. Área, em quilômetros quadrados e porcentagem, por classe de aptidão edafoclimática, por microrregião do ES.	40
Tabela 7. Área, em quilômetros quadrados, por classe de aptidão ao uso e ocupação da terra, por microrregião do ES	42
Tabela 8. Área por classe de aptidão à mecanização, por microrregião do ES	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. <i>Objetivo geral</i>	15
2.2. <i>Objetivos específicos</i>	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1. <i>Setor de florestas plantadas do Espírito Santo</i>	16
3.2. <i>Programas de verticalização de produção</i>	16
3.3. <i>Fomento Florestal</i>	17
3.4. <i>Planejamento de implantação do fomento florestal</i>	18
3.5. <i>Geotecnologias</i>	20
3.6. <i>Distância Euclidiana</i>	21
3.7. <i>Modelagem de incertezas Fuzzy</i>	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1. <i>Caracterização da área de estudo</i>	23
4.2. <i>Elaboração da base de dados</i>	24
4.3. <i>Malha viária</i>	24
4.4. <i>Uso e ocupação da terra</i>	24
4.5. <i>Declividade</i>	25
4.6. <i>Limites das propriedades ambientalmente regularizadas</i>	25
4.7. <i>Etapas metodológicas</i>	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
6. CONCLUSÕES	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas do Brasil, atualmente representado por cerca de 80 mil quilômetros quadrados, desempenha importante papel social, econômico e ambiental no país. Dentre essa área, 36% são de posse das empresas do setor de papel e celulose, 29% pertencem aos pequenos e médios produtores e os outros 35% se dividem entre os segmentos de siderurgia, carvão, painéis, pisos laminados e produtos sólidos de madeira (IBÁ, 2019).

Devido à perceptível influência dos proprietários rurais no desempenho florestal do país, as empresas do ramo têm utilizado os sistemas de parceria florestal com esses produtores para garantir parte do suprimento da demanda por matéria prima (CANTO et al., 2009; FERREIRA et al., 2014; FISCHER, 2009; IBÁ, 2019). Os programas de parcerias florestais no Brasil se assemelham ao programa compartilhamento de custos utilizado na América do Norte e na Europa, onde busca-se, mediante a oferta de incentivos financeiros e/ou técnicos por parte das empresas privadas, aos pequenos/médios produtores, aumento da produção silvicultural e garantia do suprimento da demanda por matéria prima de origem madeireira (SONG; AGUILAR; BUTLER, 2014).

O fomento florestal é um exemplo de parceria que tem sido vantajoso tanto para as empresas fomentadoras quanto para os fomentados. Aos produtores, o programa confere a garantia de venda, assistência técnica, os incentivos via suprimentos, adiantamento financeiro, a liquidez do produto e a diversificação e aumento da renda (IBÁ, 2019; SOUZA et al., 2009). Às empresas, o fomento garante matéria prima sem elevados investimentos na aquisição de terras, salários e encargos além da minimização dos impactos sociais gerados pela concentração fundiária (CANTO et al., 2009; SOUZA et al., 2015).

Em 2018, o programa de fomento florestal, no Brasil, garantiu a ampliação e diversificação da renda de 25 mil proprietários de terra, que juntos somaram 4470 km² de áreas plantadas. Os 200 milhões de reais investidos nessas propriedades, evidenciam a importância dos programas de parceria florestal para o desenvolvimento financeiro do país (IBÁ, 2019).

O alto poder aquisitivo das empresas permite a introdução de sistemas de colheita e transporte florestal cada vez mais tecnológicos, afim de aumentar a eficiência operacional, melhorar a qualidade do produto final e as condições de trabalho (LACERDA et al., 2015). Porém, para que essas tecnologias sejam empregadas nas propriedades fomentadas é preciso que as variáveis físicas,

biológicas, ambientais e legais da área sejam favoráveis a essa implantação, como por exemplo as variáveis edafoclimáticas, a qualidade da malha viária, uso e cobertura do solo, a topografia do terreno, a distância dos depósitos de madeira e a regularização ambiental das propriedades (PEREIRA; LOPES; DIAS, 2015; REZENDE et al., 2006; SCORUPSKI et al., 2017; SOUZA et al., 2015).

Porém, nem sempre as propriedades rurais inscritas nos programas de fomento possuem características que permitam a implementação de sistemas mecanizados. Esse fato impulsiona a necessidade de conhecimento de informações prévias dessas propriedades para se ter base para estudos e pesquisas econômicas acerca da implantação, manutenção, colheita e transporte nesses locais (REZENDE et al., 2006; SOUZA et al., 2015; ŠTĚRBOVÁ et al., 2019).

As visitas e vistorias às propriedades rurais para a análise de viabilidade de implementação do fomento florestal envolve grande demanda de tempo e mão-de-obra, o que se desdobra em custos adicionais para a empresa. Estas adversidades podem ser amenizadas através da aplicação de metodologia de prospecção de áreas favoráveis, por meio da lógica *Fuzzy*.

A metodologia *Fuzzy* é empregada em diversas áreas do conhecimento e apresenta pontos satisfatórios, como no mapeamento de áreas susceptíveis à inundações (HONG et al., 2018), na prospecção de áreas para instalação de indústrias de painéis de madeira (SANTOS et al., 2017), zoneamento de alocação de usinas de biomassa florestal (TEIXEIRA et al., 2018), na determinação de locais de instalação de fazendas de energia solar (ASAKEREH; SOLEYMANI; SHEIKHDAVOODI, 2017), sítios de parques eólicos (AYODELE et al., 2018), no prognóstico de crescimento do eucalipto (VIEIRA et al., 2018), dentre outros.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Propor uma nova abordagem para a definição do potencial de áreas à implementação de programas de fomento florestal no estado do Espírito Santo, Brasil.

2.2. Objetivos específicos

- a) Determinar o potencial de áreas para implementação do programa de fomento florestal no estado do Espírito Santo por meio da lógica distância euclidiana e *Fuzzy*;
- b) Definir os raios de influência de transporte dos depósitos de madeira mediante aplicação das técnicas de análise de redes.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Setor de florestas plantadas do Espírito Santo

O setor silvicultural do estado do Espírito Santo possui área aproximada de 2.300 km² recobertos por florestas plantadas, ocupando a 6^a posição no ranking dos estados produtores de florestas no Brasil. Dentre as principais espécies cultivadas no estado, destacam-se as dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinnus*, com respectivamente 2.284,88 km² e 25,18 km² (CARMO et al., 2011; IBÁ, 2019).

Os principais segmentos detentores das áreas de florestas plantadas no estado do Espírito Santo (ES) são, respectivamente, o setor de celulose e papel, energia, madeira serrada e móveis. As áreas florestais presentes no ES são de posse de empresas do ramo, produtores rurais fomentados e/ou independentes (CARMO, 2016).

Apesar da disponibilidade de recursos produtivos do Espírito Santo, o crescimento da demanda e o aumento da pressão social sobre a produção latifundiária de florestas obrigam as empresas a buscarem alternativas economicamente viáveis para supri-la. Sendo assim, a verticalização da produção por meio de programas de associações com os pequenos produtores para a produção de matéria prima tem sido uma estratégia amplamente adotada pelas empresas do ramo (FISCHER; ZYLBERSZTAJN, 2012).

3.2. Programas de verticalização de produção

Uma eficiente alternativa utilizada pelas empresas de celulose, de painéis de madeira, de madeira serrada é a inserção dos programas de verticalização de produção no sistema de planejamento do empreendimento (FISCHER; ZYLBERSZTAJN, 2012; RODE et al., 2015). Esse tipo de programa visa principalmente o suprimento da demanda por matéria prima mediante a integração dos produtores rurais ao sistema produtivo (FISCHER, 2009; RODE et al., 2015).

Os principais tipos de modelos de programa de verticalização adotados no Brasil, de acordo com Fischer e Zylbersztajn (2012), são o arrendamento, onde a empresa interessada assume a posse e responsabilidade da propriedade de produtores terceiros, mediante pagamento acordado por tempo determinado, com a finalidade exclusiva de produção de florestas e o fomento que se resume

no fornecimento de mudas, insumos e a assistência técnica pela empresa fomentadora, em troca da mão de obra para o plantio, condução, manutenção e colheita do povoamento por parte do produtor.

3.3. Fomento Florestal

O fomento florestal, iniciado no ano de 1970, é um instrumento estratégico desenvolvido pelas empresas para aumentar a sua capacidade produtiva, por meio da inserção de pequenos e médios produtores na sua cadeia de produção (VALDETARO et al., 2011). Esse tipo de programa se baseia nos princípios de sustentabilidade, haja visto que engloba aspectos e interesses sociais, ambientais e econômicos (FERREIRA, 2016).

De acordo com Silva et al. (2009), existem dois modelos de contrato de fomento, sendo eles o comercial e o convencional. No contrato comercial a empresa fornece os insumos e a mão de obra necessários ao plantio e monitoramento até o segundo ano da floresta. Nesse caso, a responsabilidade do produtor é de manutenção do povoamento (combate a pragas, doenças, incêndio, etc.). O investimento realizado pela empresa é calculado em forma de volume de madeira e descontado durante a comercialização.

Já no contrato convencional o produtor se responsabiliza pelo plantio, manutenção e colheita da madeira produzida, e é obrigado a comercializar 97% da produção com a fomentadora. Já a empresa, é responsável pelo fornecimento dos insumos, ou parte deles, e assistência técnica necessários para a produção (VALDETARO et al., 2011). SOUZA et al. (2009), elucidam que, esse é o principal tipo de contrato utilizado pelas empresas do ramo de papel e celulose.

Essa associação apresenta vantagens para toda a comunidade da região, ou seja, tanto a empresa e os produtores são beneficiados quanto a sociedade. As empresas garantem o suprimento de boa parte da demanda por matéria prima redução do investimento econômico na aquisição e administração de terras (RODE et al., 2015). Os produtores, por sua vez, conseguem uma fonte adicional de renda mediante utilização de áreas pouco utilizadas e principalmente a garantia de escoamento da produção (CANTO et al., 2009). Para a sociedade, esse programa oferece a redução dos efeitos do êxodo rural, participação no mercado produtivo do estado e oportunidades de trabalho (RODE et al., 2015).

Para que as empresas alcancem resultados positivos, com esses programas, as mesmas devem elaborar um planejamento detalhado de seleção

de propriedades a serem contempladas com o programa de fomento florestal. Esse planejamento deve ser baseado, principalmente, em características predeterminadas, pela empresa, para as propriedades candidatas (SIQUEIRA et al., 2004).

3.4. Planejamento de implantação do fomento florestal

O planejamento é um conjunto de técnicas e abstrações de diferentes realidades e cenários produtivos, que tem por objetivo auxiliar na tomada de decisão de maneira a atingir os objetivos predeterminados (FERREIRA, 2016). Desta forma, para o sucesso econômico e produtivo de um empreendimento florestal, algumas variáveis são levadas em consideração durante o processo de planejamento, como por exemplo:

a) Condições edafoclimáticas: As condições edafoclimáticas refletem diretamente na produtividade das espécies florestais, haja visto que as condições do solo influenciam tanto no desenvolvimento do sistema radicular quanto na absorção de água e sais minerais. Já as variáveis climáticas como temperatura, precipitação e disponibilidade hídrica interferem nos processos fisiológicos (fotossíntese, respiração, transpiração e divisão celular) e bioquímicos das plantas (SOUZA et al., 2006).

Dessa forma, os estudos relacionados às condições edafoclimáticas tornam-se importantes ferramentas para o planejamento de implantação florestal. A partir dessas informações, o processo de tomada de decisão quanto à área de implantação dos empreendimentos silviculturais (SILVA, 2018), a espécie a ser utilizada e as técnicas de manejo mais eficientes (CARNEIRO et al., 2006; SOUZA; COLLICCHIO, 2015) torna-se menos complexo.

b) Distribuição da malha viária e distância de transporte: O transporte florestal é o processo de movimentação de madeira e derivados florestais da área de carregamento até a fábrica ou consumidor final. Essa é considerada uma das etapas mais onerosas do processo produtivo de uma floresta, sendo responsável por cerca de 60% dos custos logísticos do empreendimento (LOPES; VIEIRA; RODRIGUES, 2016; MACHADO et al., 2011).

A Confederação Nacional de Transportes (CNT) destaca o modal de transporte mais utilizado no Brasil é o rodoviário, atingindo a marca de 61,1% de

toda a carga transportada no país. A escolha pelo modal rodoviário deve-se à enorme extensão de malha viária existente no território nacional, à adaptabilidade e variedade de veículos, ao menor custo relativo de implantação e à flexibilidade de rotas de transporte (LOPES; VIEIRA; RODRIGUES, 2016). Porém, Eller, Sousa Junior e Curi (2011), destacam que as condições precárias das estradas nacionais influenciam diretamente no aumento dos custos de frete e manutenção de veículos. De acordo com Lopes, Vieira e Rodrigues (2016), além da qualidade da malha viária, outro fator de influência no custo de transporte é a distância percorrida pelos veículos das fazendas produtoras até a indústria.

c) Uso e Ocupação da Terra (UOT): O uso e ocupação da terra consiste em uma análise sobre as classes de cobertura do solo, sejam elas antrópicas ou naturais, bem como seus padrões, sua localização geográfica e suas dimensões. Desta forma, o UOT é um instrumento indispensável para o planejamento e administração da implantação de empreendimentos que dependem dessa variável, permitindo a alocação no melhor lugar possível (ASSIS et al., 2014; COELHO et al., 2014).

d) Declividade do terreno: De acordo com Leite et al. (2014), dentre as variáveis a serem consideradas na escolha de uma área para implantação de plantios florestais, destaca-se a declividade. Rodrigues et al. (2016) definem declividade como a variação de altitude entre dois pontos do terreno em relação à distância que os separa.

A importância da inclinação do terreno tem relação com a fase de colheita de madeira, pois segundo Machado et al. (2014) e Malinovski et al. (2014), a declividade influi diretamente no rendimento operacional das máquinas florestais.

e) Regularização ambiental: Devido às pressões políticas e sociais existentes sobre as organizações produtivas inseridas no mercado internacional, tem sido cada vez mais frequente a adoção de estratégias sustentáveis para atingir os pré-requisitos da certificação ambiental. Um dos mecanismos utilizados no Brasil, para assegurar a regularização ambiental das empresas, manter o controle de produção do país e promover a o engajamento social dos

empreendimentos no mercado internacional é o cadastramento no sistema do Cadastro Ambiental Rural (FARIAS et al., 2018; SILVA, 2003).

3.5. Geotecnologias

As indústrias florestais buscam sempre modernizar e otimizar seus processos produtivos afim de acompanhar os avanços e mudanças do mercado em que estão inseridas. Isso ocorre por que, com o aumento da competição nesse setor, para obter receitas positivas não basta aumentar os preços dos produtos, mas também reduzir os custos de produção (PEDROSO FILHO et al., 2018; SPONHOLZ; OLIVEIRA FILHO; OLIVEIRA, 2013).

Com esse novo conceito de trabalho, informações valiosas passam a ser muito melhor utilizadas nos processos de planejamento e tomada de decisão dessas empresas. Por isso as empresas que seguem os preceitos tecnológicos e os aplica em prol do seu sucesso, reconhecem que a habilidade de se conhecer e manejar os próprios recursos pode ser exponencialmente melhoradas com essas ferramentas (OLIVEIRA FILHO et al., 2003; OLIVEIRA FILHO; GOMES; DISPERATI, 2008)

No ambiente das pesquisas de otimização do setor agrícola e florestal, as novas tecnologias, quando empregadas, possibilitam o aumento da praticidade de aquisição de informações e da capacidade de observação do espaço, tanto no âmbito temporal quanto no espacial, permitindo então o monitoramento das variações na superfície terrestre, com as técnicas de geotecnologias (DIVINO; ZAIDAN; AFFONSO, 2009). Dentre as ferramentas tecnológicas utilizadas para a melhor gestão de produção florestal, o sistema de informações geográficas (SIG) se destaca como uma das mais eficientes por permitirem a integração de diferentes formatos e tipos de informação, além de proporcionar uma gama de operações de análise muito poderosa (OLIVEIRA FILHO et al., 2003; OLIVEIRA FILHO; GOMES; DISPERATI, 2008).

Diversas são as aplicações das geotecnologias no setor florestal e dentre elas a interpolação de informações acerca do uso e cobertura da terra, modelos digitais de elevação, condições de malha viária, tipos de solo e clima. E conseqüentemente, ao interpolar esses dados é possível que um tomador de decisões de uma empresa, sem mesmo se deslocar até o local, escolha dentro das áreas de interesse qual a mais propícia e segura para ser utilizada (EUGENIO et al., 2010; LYRA et al., 2011; SIQUEIRA et al., 2004).

Dentre as ferramentas de tomada de decisão presentes no universo das geotecnologias, a distância euclidiana e a modelagem *Fuzzy* se destacam pela versatilidade ao trabalhar com informações imprecisas, traduzindo valores qualitativos em quantitativos dentro de um intervalo de possibilidades (SIMOES; SHAW, 2007).

3.6. Distância Euclidiana

A distância euclidiana é um conjunto de técnicas que explicam o relacionamento de uma célula com outra com base na distância linear. Sendo assim, essa ferramenta permite a delimitação distância entre o centro de uma célula e o centro da célula mais próxima (ESRI, 2020; TORELLI, 2005).

Na prática, a distância euclidiana utiliza o teorema de Pitágoras para calcular a distância verdadeira entre as células, onde a distância de cada célula de origem é determinada calculando a hipotenusa com $x_{\text{máx}}$ e $y_{\text{máx}}$ como os catetos. A Figura 1 representa o algoritmo utilizado para a definição da distância euclidiana verdadeira a partir de uma imagem matricial (raster fonte) e das células de interesse (células fonte) (ESRI, 2020).

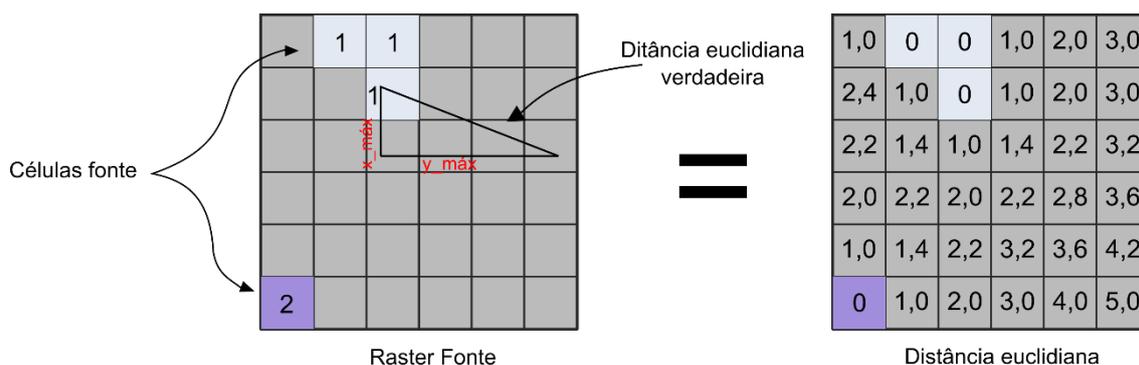


Figura 1. Algoritmo da distância euclidiana.
Fonte: Adaptado de ESRI (2020).

3.7. Modelagem de incertezas *Fuzzy*

A modelagem *Fuzzy* ou lógica nebulosa, tem o poder de tornar uma variável qualitativa, acerca do que está sendo pesquisado, em quantitativa, de maneira a permitir análises mais criteriosas e menos subjetivas aos resultados. Essa técnica de inteligência artificial, vem sendo utilizada em diversos estudos e documentos ambientais que auxiliam na tomada de decisões, devido a possibilidade de agregação precisa de dados inerentes a modelos matemáticos

clássicos e as imprecisões do mundo real (PELUZIO, 2017; SIMOES; SHAW, 2007).

De maneira mais clara, a modelagem *Fuzzy* tem o poder de atribuir um grau de pertinência $\mu_A(X)$ para cada elemento pertencente à um intervalo numérico entre 0 e 1. De maneira mais formal, pode-se expressar o conjunto *Fuzzy* como:

$$\mu_A (X) = U \rightarrow [0, 1]$$

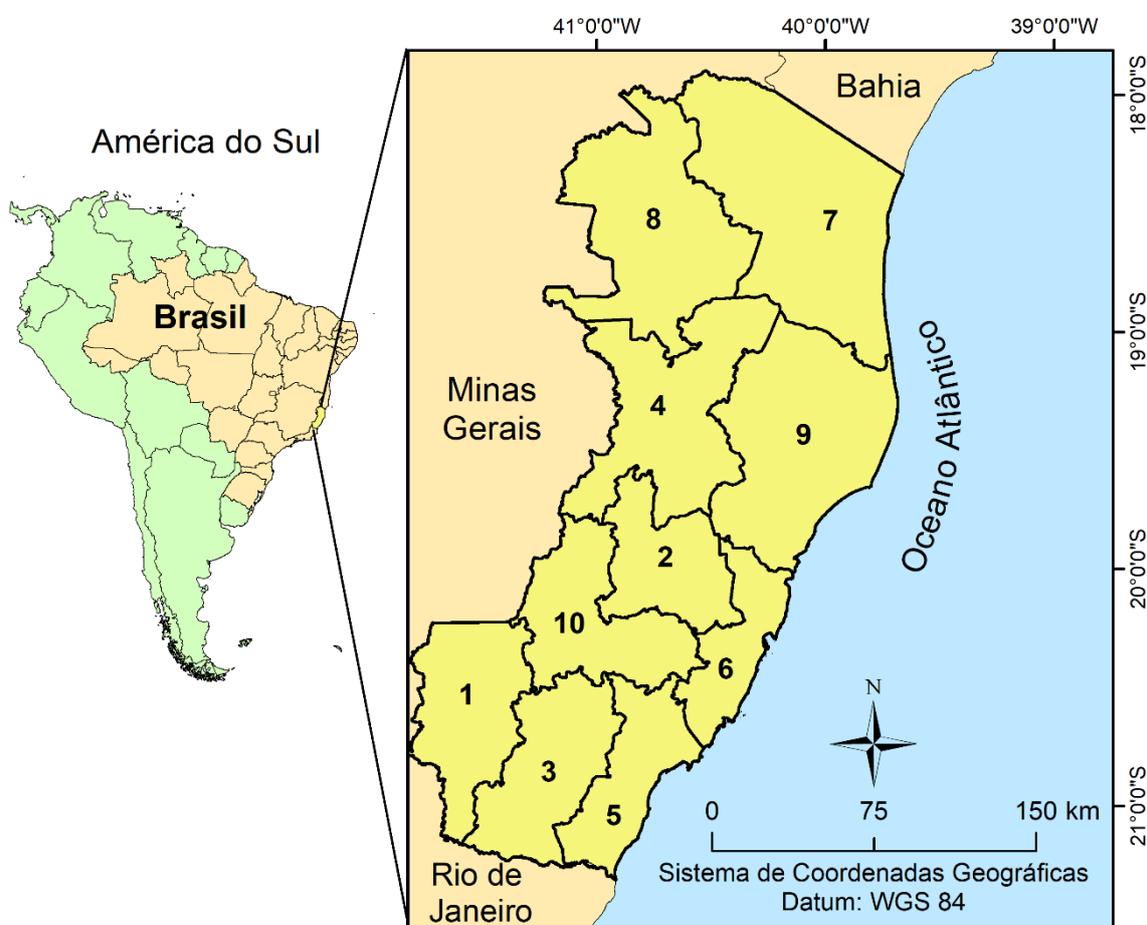
Sendo assim, essa técnica de inteligência artificial define que a incerteza completa do conjunto será simbolizada numericamente pelo valor “0” e a certeza absoluta pelo valor “1”.

Um exemplo dessa aplicação pode ser encontrado na modelagem de vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais elaborada por Juvanhol (2014), onde o autor definiu que nos momentos em que o valor “0” fosse encontrado no conjunto *Fuzzy*, o risco de ocorrência de incêndios seria considerada pouco provável e quando surgisse o valor “1”, considerava-se o risco de ocorrência de incêndios como muito provável.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

A região de estudo é o estado do Espírito Santo (ES), Brasil, o qual possui uma área de 46052,64 km² e se localiza entre os meridianos de 39° 41' 18" a 41° 52' 45" longitude Oeste de Greenwich e os paralelos de 17° 53' 29" a 21 °18' 03" de latitude Sul (IBGE, 2019) (Figura 2).



- | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 1 - Microrregião Caparaó | 5 - Microrregião Litoral Sul | 9 - Microrregião Rio Doce |
| 2 - Microrregião Central Serrana | 6 - Microrregião Metropolitana | 10 - Microrregião Sudoeste Serrana |
| 3 - Microrregião Central Sul | 7 - Microrregião Nordeste | ■ Microrregiões do Espírito Santo |
| 4 - Microrregião Centro Oeste | 8 - Microrregião Noroeste | |

Figura 2. Microrregiões do estado do Espírito Santo, Brasil

Fonte: O autor.

De acordo com a classificação de Köppen, o estado é composto por quatro tipos de clima: Cwb (subtropical com invernos secos e verões amenos), Cwa (subtropical com invernos secos e verões quentes), Am (tropical úmido ou sub-úmido) e Aw (tropical com invernos secos) (KOTTEK et al., 2006).

A partir do ano de 2011, o estado passou a ser subdividido em micro e macrorregiões de planejamento pela Lei nº 9.768 de 2011 (ESPÍRITO SANTO, 2011), com o objetivo de tornar a organização das ações do setor público mais eficientes e realizar as vocações produtivas de tais regiões atreladas com a rede urbana.

4.2. Elaboração da base de dados

Para o zoneamento das áreas potenciais para implementação dos programas de fomento florestal, foram utilizados dados, com projeção WGS 1984, referentes à malha viária do estado, ao uso e ocupação da terra, à declividade, aos limites das propriedades com situação ambiental regularizada e a localização espacial dos depósitos de madeira utilizados por uma empresa florestal situada no estado.

4.3. Malha viária

Os dados utilizados para a delimitação da distribuição e localização das vias aptas à livre circulação dos veículos de transporte de madeira, foram obtidos através do *software* OpenStreetMap (OSM). O OSM é um sistema de elaboração colaborativa de dados geo-espaciais gratuitos, licenciados e editáveis, referentes às características físicas e geográficas da malha viária de diversas partes do mundo.

Após a exportação dos dados vetoriais da malha viária do Brasil, pelo OSM, procedeu-se com a importação para o *software* ArcGis®, versão 10.3, para delimitação das classes potenciais para o transporte de madeira. As classes utilizadas no modelo foram as primárias (são as estradas mais importantes, a nível nacional), as secundárias (estradas de interior de cidades, que fazem a ligação entre bairros) e as terciárias (possibilitam a entrada ou saída das vias primárias para as vias secundárias e vice-versa)

4.4. Uso e ocupação da terra

Os arquivos vetoriais de representação do UOT do estado do Espírito Santo, foram obtidos junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA). Os dados utilizados são referentes aos anos de 2012 a 2015, em escala de 1:25.000 e resolução espacial de 25 cm.

Os arquivos de UOT auxiliaram na compreensão do espaço geográfico do estado do ES e conseqüentemente na elaboração das classes de aptidão à

implantação de sistemas de produção de base florestal. O arquivo original, possui as seguintes classes de UOT: afloramento Rochoso; área edificada; brejo; campo rupestre/altitude; cultivos agrícolas (abacaxi; banana; café; cana-de-açúcar; coco-da-baía; mamão e outros); extração mineral; macega; mangue; massa d'água; mata nativa (em estágio inicial de regeneração; e em estágio avançado de regeneração); outros; pastagem; reflorestamento (eucalipto; pinus; e seringueira); restinga; e solo exposto.

Para efeito de estudo, foram extraídos os seguintes polígonos de UOT com características potenciais para implantação de sistemas de produção florestal: macega, pastagem, reflorestamento com eucalipto e solo Exposto. Além disso, foram como impróprias à implementação do fomento florestal, as áreas de unidades de conservação (UC's) e as áreas de mancha urbana.

4.5. Declividade

Os arquivos matriciais referentes ao Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizadas no presente estudo são provenientes do radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução de 30 m, corrigida cartograficamente no sistema de coordenadas UTM, Datum WGS 1984, foram exportados do *software* Google Earth Engine. Para elaborar o mapa clinográfico, foi utilizada a ferramenta “*slope*” presente na extensão *Spatial Analyst Tools* do *software* ArcGis®, versão 10.3.

Em seguida foi aplicada uma reclassificação para criar as classes de aptidão da área de estudo. As classes criadas estão apresentadas na Tabela 1 e foram definidas com base nas constatações feitas por Holzfeind, Stampfer e Holzleitner (2018); Lopes et al. (2016); Robert, Brown e RUY (2018).

Tabela 1. Classes de aptidão à mecanização da colheita de madeira

Classe de aptidão	Classes de declividade
Apta	0 – 27°
Inapta	> 27°

Fonte: O autor.

4.6. Limites das propriedades ambientalmente regularizadas

Os limites das propriedades regularizadas ambientalmente, foram disponibilizados, em formato vetorial, pelo Sistema Nacional de Cadastro

Ambiental Rural (SICAR). Esse arquivo é referente ao ano de 2019 e contém todos os polígonos elaborados pelos profissionais da área desde a sanção da Lei 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012).

4.7. Etapas metodológicas

Para realizar a prospecção das áreas potenciais à implementação de programas de fomento florestal no estado do Espírito Santo, Brasil, foram realizadas as seguintes etapas metodológicas propostas por Santos et al. (2017):

1. Zoneamento edafoclimático dos diferentes materiais genéticos florestais;
2. Vetorização das variáveis;
3. Aplicação da distância euclidiana nas variáveis vetorizadas;
4. Aplicação da lógica nebulosa (*Fuzzy*) nas variáveis matriciais geradas pela distância euclidiana;
5. Sobreposição nebulosa das áreas de prospecção para implementação dos programas de fomento florestal;
6. Aplicação da análise de rede para delimitação do raio de influência de transporte de cada um dos depósitos de madeira;

Etapa 1) Zoneamento edafoclimático

O fluxograma com as etapas metodológicas necessárias para a elaboração do zoneamento edafoclimáticos está disposto na Figura 3.

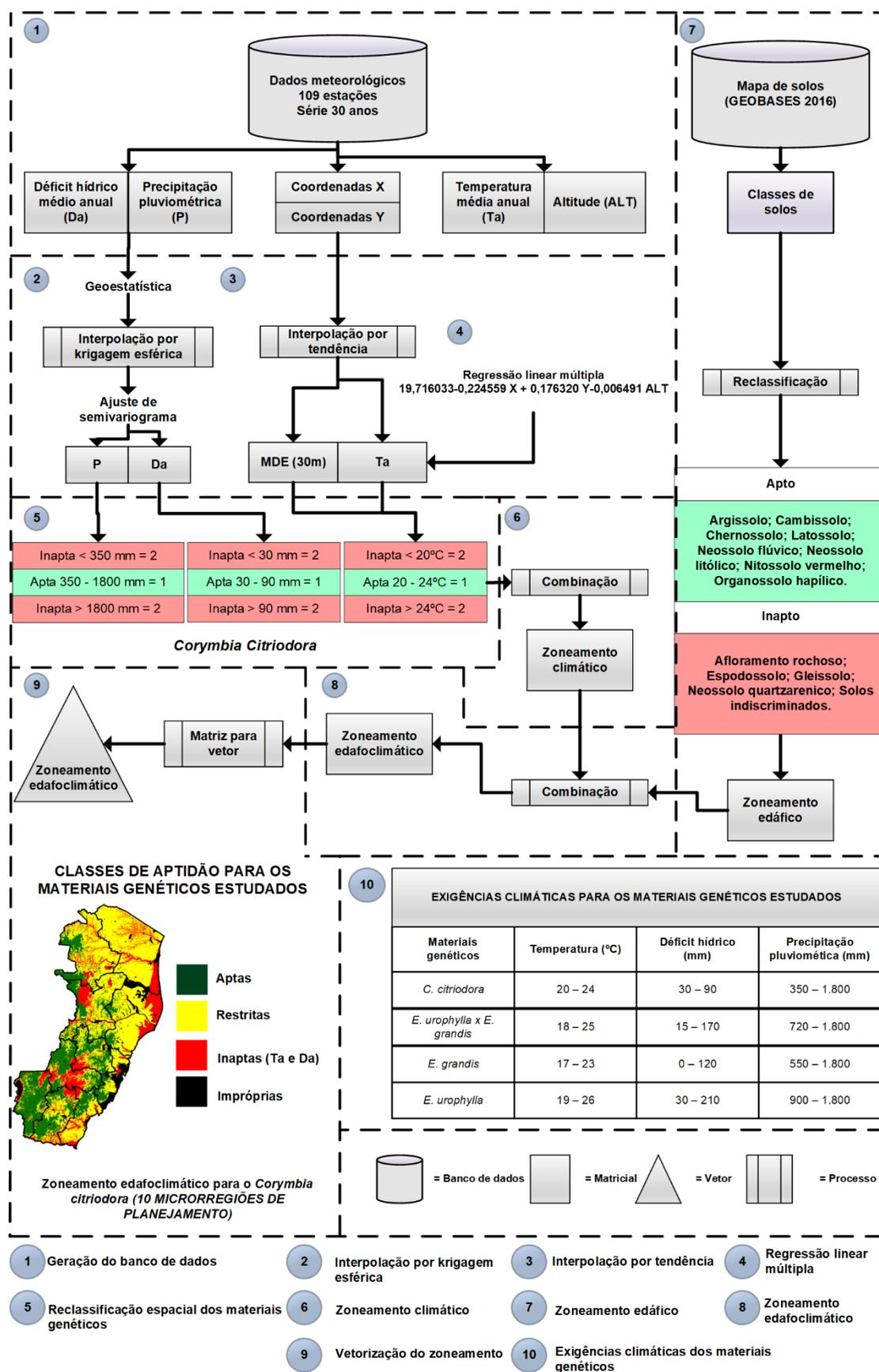


Figura 3. Etapas metodológicas para elaboração do zoneamento edafoclimático das espécies estudadas
Fonte: O autor.

Para o zoneamento edafoclimático das espécies de *Corymbia citriodora* (CC), *Eucalyptus urophylla* (EU), *Eucalyptus grandis* (EG) e do híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* (EE), foram utilizados os dados de uma série de 30 anos de 109 estações pluviométricas localizadas no Espírito Santo e estados adjacentes. Os dados foram submetidos ao processamento do balanço hídrico agroclimatológico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), através do *software* Microsoft Office Excel®, versão 2019. Com isso, gerou-se uma planilha eletrônica contendo: informações referentes a cada estação (identificador, código, órgão coordenador, nome, localização e altitude); ano de início e fim da coleta de dados; temperatura e precipitação média anual; evapotranspiração potencial e real; déficit e excedente hídrico anual; e geolocalização (latitude e longitude).

Após a importação das planilhas para o *software* ArcGis®, versão 10.3, realizou-se a vetorização espacial pontual das estações e aplicação da regressão linear múltipla. Para tal utilizaram-se os dados de altitude e de coordenadas (UTM) X e Y, como variáveis independentes, e de temperatura, como variável dependente, localizados na tabela de atributos, conforme demonstrado na Equação 1, proposta por Sperandio et al. (2010).

$$T = \beta_0 + \beta_1 \text{ALT} + \beta_2 X + \beta_3 Y \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde o T é a temperatura em graus Celsius (°C), o β_0 é a constante de regressão (adimensional), o β_1 , β_2 e β_3 são os coeficientes de regressão para as variáveis (adimensional); o ALT é a altitude em metros (m), o X e o Y são as coordenadas em metros (m).

Além disso, o MDE do SRTM, na escala 1:250.000, disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), foi utilizado, juntamente com as equações de regressões lineares múltiplas e suas respectivas variáveis independentes, para gerar as imagens matriciais de temperaturas médias mensais e temperatura média anual, por meio da álgebra de mapas.

Já as imagens matriciais de precipitação pluviométrica e déficit hídrico anual foram geradas a partir da interpolação espacial por Krigagem esférica, com ajuste do semivariograma. Com isso, foi aplicada uma reclassificação das imagens matriciais de temperatura média anual, precipitação pluviométrica e

déficit hídrico anual para representar as classes de aptidão para a espécie estudada.

A partir das imagens matriciais de classe de solos para o estado do Espírito Santo disponibilizadas pelo IEMA, na escala de 1:25.000, foi realizada uma reclassificação de aptidão edáfica para as espécies estudadas. As classes de aptidão agroclimática foram baseadas nas constatações de Sperandio et al. (2010), apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Exigências climáticas das espécies e híbrido estudados

Espécies	Classe de aptidão	Temperatura (°C)	Déficit hídrico (mm)	Precipitação (mm)
CC		20 – 24	30 - 90	350 – 1.800
EE	Aptas	18 - 25	15 -170	720 – 1.800
EG		17 – 23	0 – 120	550 – 1.800
EU		19 - 26	30 - 210	900 – 1.800

Fonte: Adaptado de Sperandio et al. (2010).

Já as classes de aptidão edáficas foram reclassificadas a partir das delimitações de Silva (2018) e estão expressas na Tabela 3.

Tabela 3. Classes de aptidão edáfica para as espécies e híbrido estudados

Classe de aptidão	Classes de solo
Aptas	Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Latossolos, Neossolos flúvicos, Neossolos litólicos, Nitossolos vermelhos, Organossolos háplicos

Fonte: Adaptado de Silva (2018).

Posteriormente procedeu-se com o cruzamento tabular das variáveis com o objetivo de gerar as imagens matriciais referentes ao zoneamento edafoclimático do *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*.

As classes de aptidão utilizadas são expressas na Tabela 4.

Tabela 4. Exigências climáticas das espécies e híbrido estudados

Classe de aptidão	Descrição
Aptas	Áreas com potencial produtivo para os materiais genéticos estudados, tanto em relação às variáveis climáticas quanto edáficas.
Restritas	Áreas parcialmente potenciais para o cultivo dos materiais genéticos estudados, possuindo restrições climáticas ou edáficas.
Inaptas	Áreas não indicadas para o cultivo dos materiais genéticos estudados, por possuírem limitações climáticas e edáficas.
Impróprias	Áreas impossíveis de serem utilizadas para o plantio dos materiais genéticos estudados (UC's ou Manchas urbanas).

Fonte: Adaptado de Sperandio et al. (2010).

Etapa 2) Vetorização das variáveis

Para o presente estudo, foi utilizado um modelo especial para prospecção das áreas aptas à implementação do fomento florestal. Sendo assim, para a tomada de decisões foram utilizadas cinco diferentes variáveis de influência: aptidão edafoclimática das diferentes espécies estudadas (V1i); proximidade de estradas (V2); classes de uso e ocupação da terra (V3); classes de declividade (V4); e regularização ambiental das propriedades rurais (V5).

Etapa 3) Aplicação da distância euclidiana

É interessante que as áreas para implementação dos programas de fomento florestal situem-se o mais próximo possível das zonas potenciais à implantação de plantios das espécies florestais e do híbrido estudados, das áreas com declividades potenciais à mecanização da colheita de madeira e dos limites das propriedades ambientalmente regularizadas. Para tal, foi aplicada a distância euclidiana às cinco variáveis, afim de representar a menor distância linear entre o centro de uma célula principal de uma imagem matriz até os centros de suas células vizinhas, com base no teorema de Pitágoras (SANTOS et al., 2017).

Etapa 4) Aplicação da lógica *Fuzzy*

A lógica *Fuzzy* é utilizada para realizar a tradução de um valor qualitativo em um valor numérico pertencente a um conjunto de valores do intervalo entre 0 e 1 (GAGLIONE et al., 2019). Assim, as imagens geradas pela distância euclidiana das variáveis V1_i, V3, V4 e V5 foram padronizadas pela função de pertinência *Fuzzy Linear*. O valor mínimo aprovisiona um grau de associação de 0 ($\min \mu_A(x) = 0$) e o valor máximo fornece um grau de associação de 1 ($\max \mu_A(x) = 1$) para $x \in U$ (Figuras 3a, 3b, 3c, 3d, 3f, 3g, 3h). Com isso, o valor real 1 representou as áreas com melhores condições, acerca de cada variável, para a implementação do fomento florestal e as piores áreas foram representadas pelo valor real 0.

Levando em consideração que uma propriedade potencial ao fomento florestal, não necessariamente estará localizada às margens das vias foi proposta uma distância de 10 km das estradas já existentes até a área considerada potencial. Sendo assim, para esta variável procedeu-se com a aplicação da função de pertinência *Fuzzy small*.

A partir dessa função foi possível representar a variação no grau de associação da imagem matricial, estabelecendo que as menores distâncias entre as variáveis seriam representadas pelo maior valor do conjunto *Fuzzy*, ou seja, o valor 1. A função ajustada de acordo com os parâmetros adaptados por Santos et al. (2017) e seus respectivos gráficos são apresentados na Figura 4e.

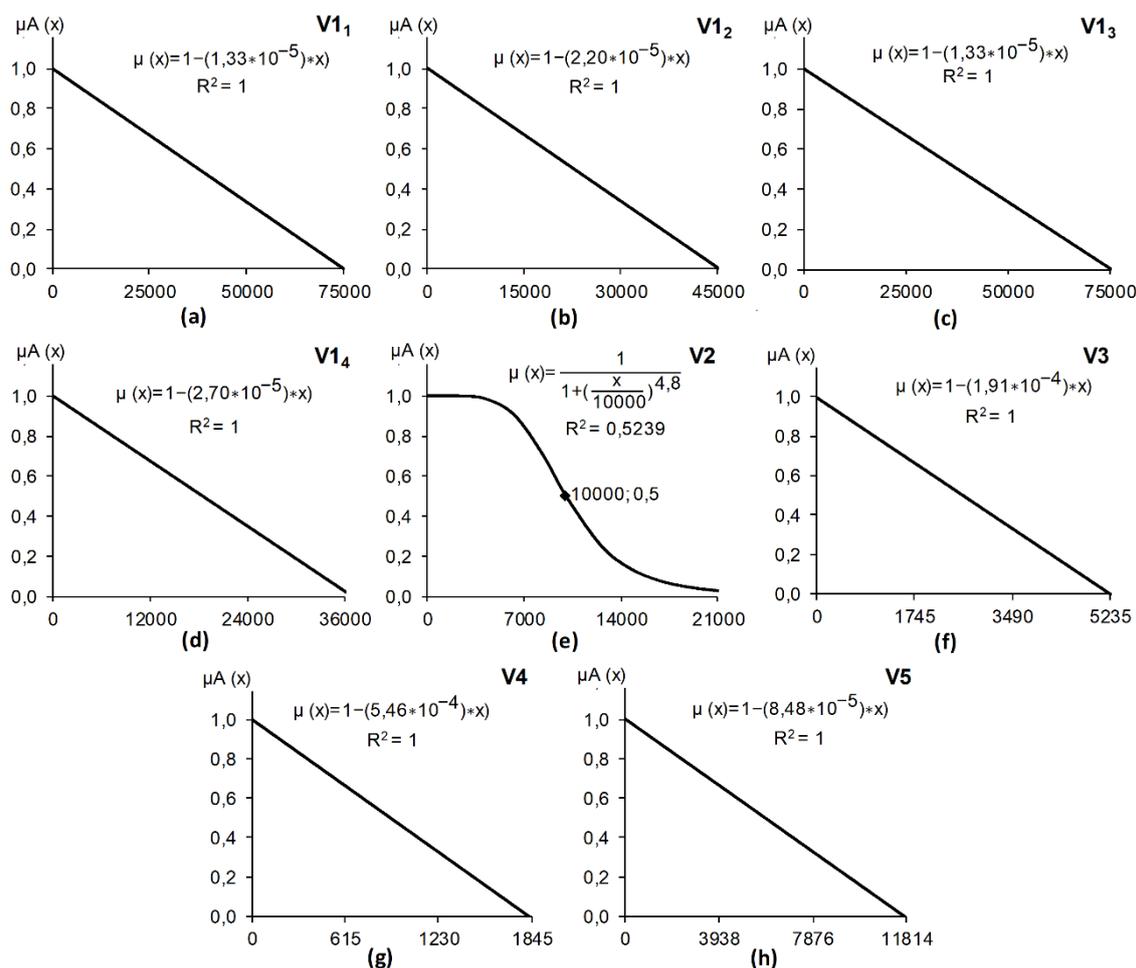


Figura 4. Diagramas das funções de pertinência *Fuzzy*.

a) Aptidão para plantio de *Corymbia citriodora* (m) - *Fuzzy* linear; b) Aptidão para plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (m) - *Fuzzy* linear; c) Aptidão para plantio de *Eucalyptus grandis* (m) - *Fuzzy* linear; d) Aptidão para plantio de *Eucalyptus urophylla* (m) - *Fuzzy* small; e) Estradas (m) - *Fuzzy* linear; f) Uso e ocupação da terra (m) - *Fuzzy* linear; g) Classes de declividade (m) - *Fuzzy* linear; h) Propriedades ambientalmente regulamentadas (m) - *Fuzzy* linear.

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2017).

Etapa 5) Sobreposição *Fuzzy* Gamma

Na modelagem para prospecção de áreas para a implementação de programas de fomento florestal no ambiente SIG, combinaram-se as variáveis pelo método de sobreposição *Fuzzy* Gamma com o intuito de apontar a possibilidade das células da imagem raster de uma das cinco variáveis do modelo estarem inclusas no conjunto *Fuzzy* das demais variáveis. Com isso, a técnica de sobreposição determina o método que possibilita a combinação dos dados com base na análise da teoria de conjuntos.

O método utilizado para a entrada da imagem rasterizada foi o *Fuzzy Gamma* que pode ser traduzido como o produto algébrico da soma e do produto *Fuzzy*, ambos elevados à potência *Fuzzy* (Equação 2).

$$\mu(x) = \{1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)\}^y * \{\prod_{i=1}^n \pi_i\}^{1-y} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde, o μ_i representa os valores de associação difusa para $i = 1, 2, \dots, 5$; o n é o número de variáveis no estudo e o y é valor de coeficiente entre 0 e 1.

Para o coeficiente “ y ” foi utilizado o valor padrão de 0,9 afim de alcançar o efeito combinado do produto total e soma. A *Fuzzy Gamma* admite a combinação entre o efeito crescente da soma *Fuzzy* e o decrescente do produto *Fuzzy*. Assim evita retornar ao valor de um único conjunto *Fuzzy*.

Por fim, foi aplicada a reclassificação espacial sobre as imagens matriciais geradas, para cada uma das espécies de eucalipto e híbridos utilizadas, de maneira a definir as classes de potencialidade em: ótimas; boas; regulares; ruins; e impróprias.

O fluxograma com as etapas metodológicas necessárias para prospecção das áreas potenciais à implementação dos programas de fomento florestal no estado do Espírito Santo, Brasil, está disposto na Figura 5.

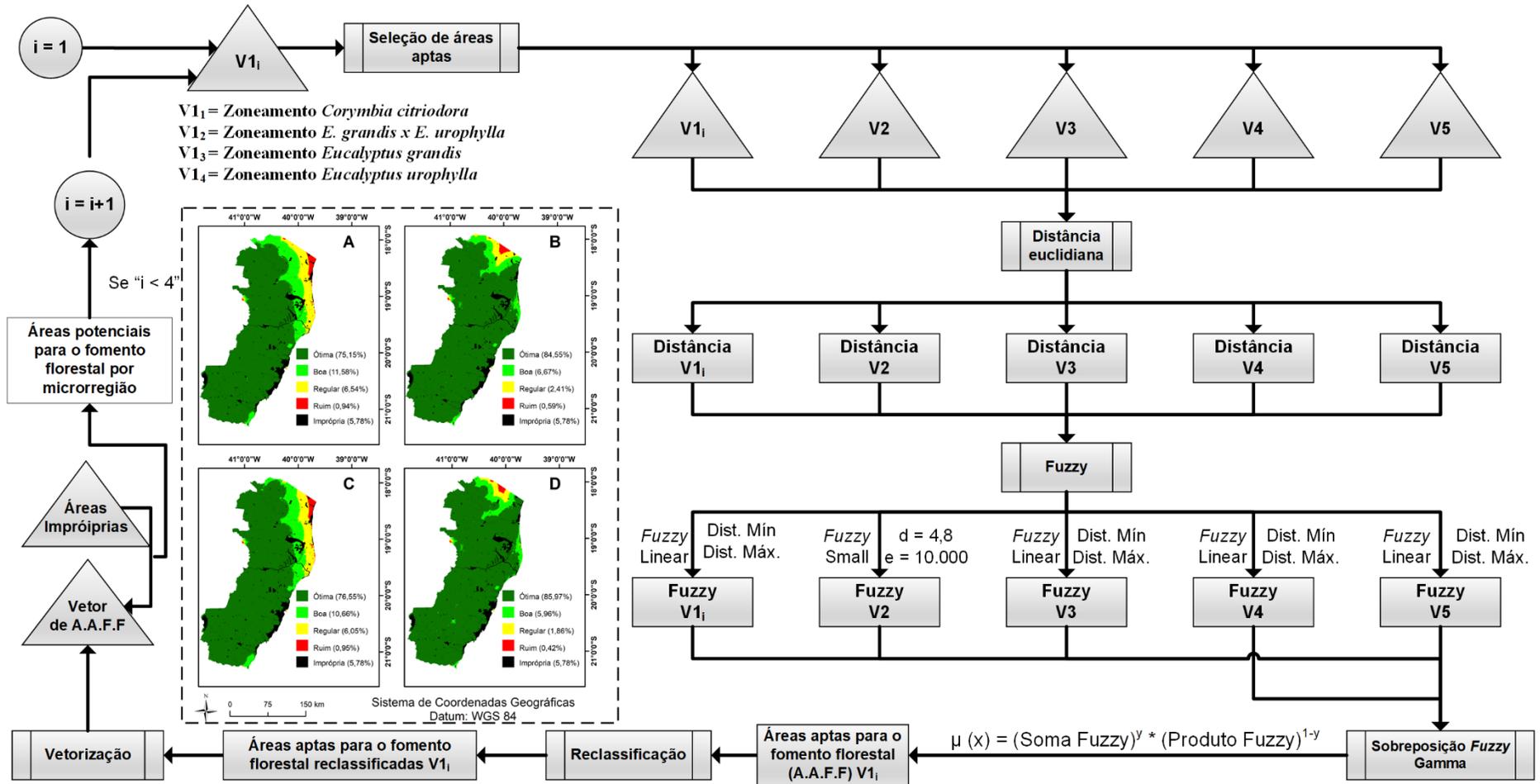


Figura 5. Fluxograma metodológico para a prospecção de áreas para a implementação dos programas de fomento florestal no Espírito Santo, Brasil, para espécies e híbridos de eucalipto
 Fonte: O autor.

Etapa 6) Raio de influência dos depósitos de madeira

No estado do Espírito Santo, existem 7 depósitos de madeira destinados ao abastecimento da empresa de celulose e papel situada no estado. A localização desses depósitos está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5. Localização geográfica dos depósitos de madeira no estado do Espírito Santo.

Identificação	Localidade	Latitude	Longitude
1	Aracruz (Sede)	19°50'29.37"S	40° 5'16.63"O
2	Araguaia	20°28'52.03"S	40°46'13.48"O
3	Cachoeiro de Itapemirim	20°51'30.04"S	41° 3'12.97"O
4	Conceição da Barra	18°35'9.13"S	39°53'43.33"O
5	Ibatiba	20°13'53.04"S	41°28'55.20"O
6	Pedra Azul	20°21'20.06"S	41° 5'2.81"O
7	Santa Teresa	19°57'16.19"S	40°32'59.32"O

Fonte: O autor.

É importante ressaltar que madeira advinda dos plantios florestais oriundos de programas de fomento florestal da empresa supracitada com os produtores de madeira capixabas são direcionados para um desses 7 depósitos. O depósito localizado no município de Aracruz, é na verdade a sede da fábrica, sendo assim, destino final da matéria prima.

Para delimitar o raio de influência desses depósitos sobre as áreas aptas à implementação dos programas de fomento florestal, foi utilizado o *software* Google Earth Pro, versão 7.3.2, para localizar os depósitos de madeira e coletar as coordenadas geográficas para elaborar a vetorização pontual dos referidos depósitos de madeira mediante importação para o ArcGis®, versão 10.3.

Assim, foi aplicada uma análise de redes para delimitar os raios de influência de cada um dos depósitos de madeira analisados. Para tal foram utilizados os arquivos vetoriais de estradas do OpenStreetMap e de localização dos depósitos de madeira. O primeiro passo foi configurar a tabela de atributos do arquivo de estradas, adicionando o campo de distância em quilômetros.

Com o novo conjunto de dados criado, procedeu-se com a elaboração da área de serviço, a partir da ferramenta “Network analyst” presente na caixa de ferramentas do *software*. O limite dos raios de influência foi definido com base nos resultados encontrados pelos autores Silva et al. (2007), que concluíram que 100 km é uma distância admissível para o transporte de madeira para a maioria dos veículos de carga, desse segmento, empregados no Brasil.

Com isso, foram gerados 7 polígonos representativos do raio de influência de cada um dos depósitos de madeira do estado. Porém, para evitar equívocos quanto à área de abrangência dos depósitos foi realizada a eliminação das áreas de sobreposição existentes entre eles. A Figura 6 ilustra todos os passos metodológicos necessários para a elaboração desses raios.

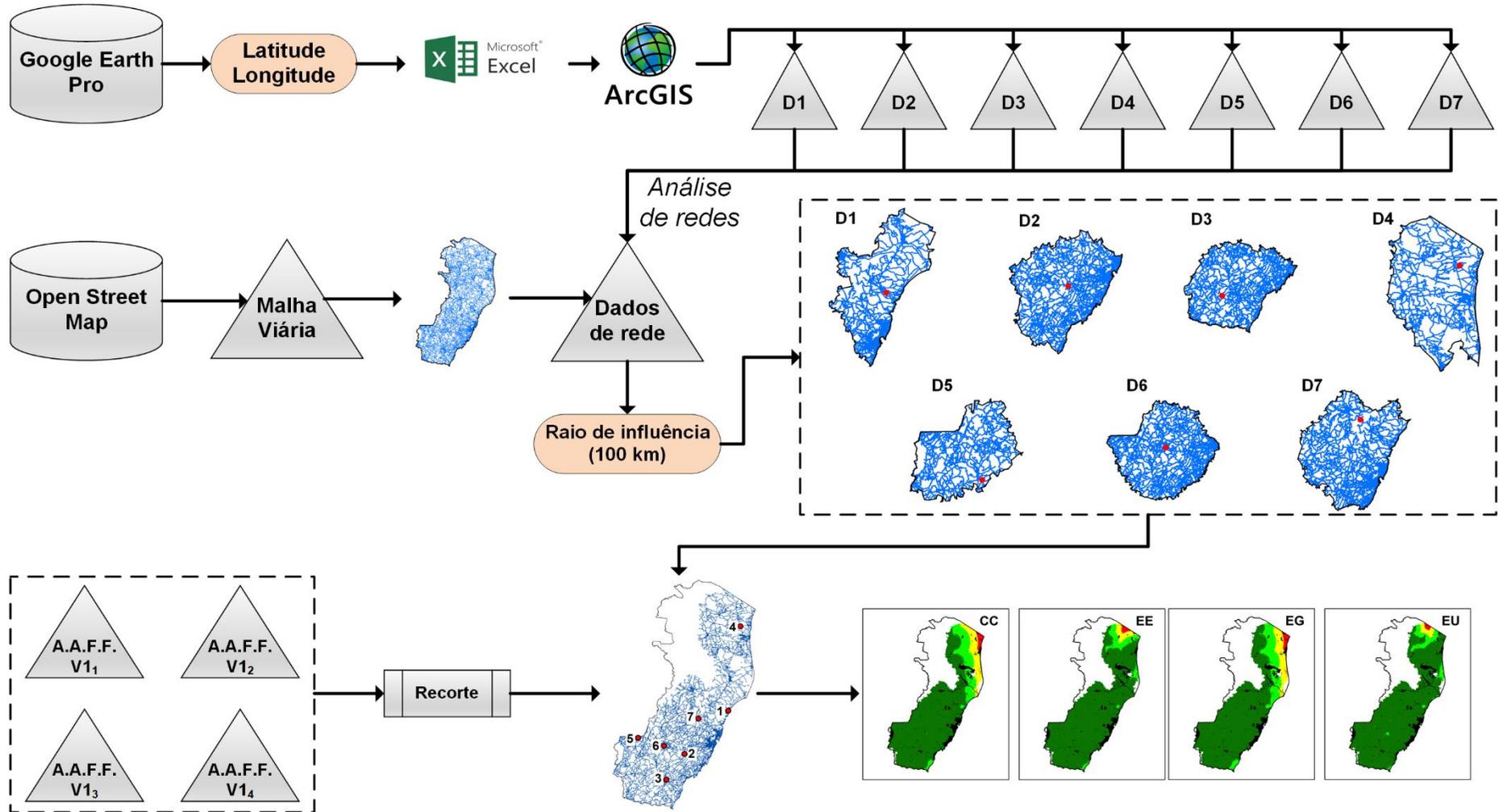


Figura 6. Fluxograma metodológico para a delimitação dos raios de influência dos depósitos de madeira presentes no Espírito Santo, Brasil
 Fonte: O autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O zoneamento edafoclimático configura-se em uma ótima ferramenta de apoio na tomada de decisão quanto ao local de implantação e às espécies que irão compor o novo povoamento florestal. A Figura 7 apresenta os resultados encontrados pelo zoneamento edafoclimático para os materiais genéticos estudados.

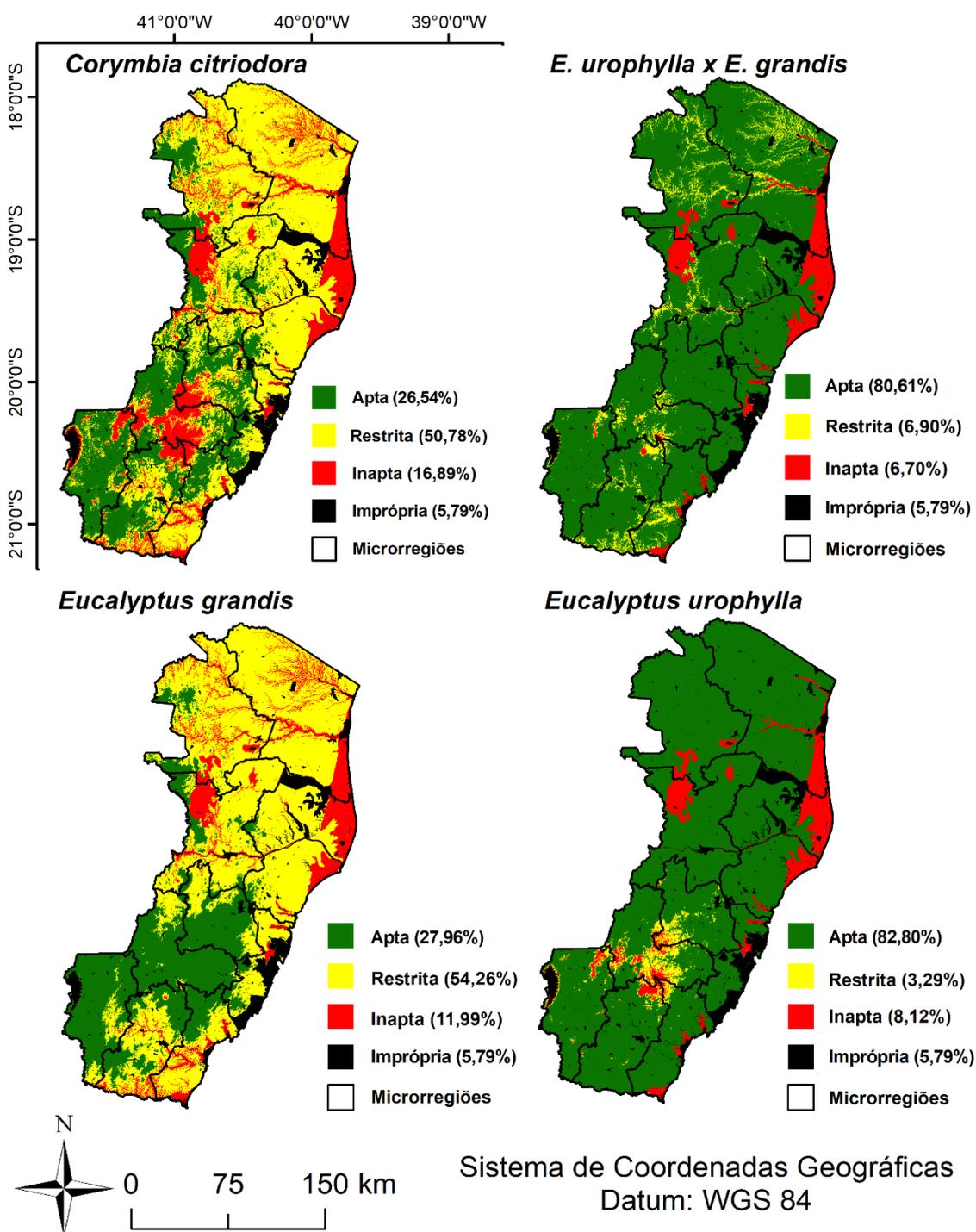


Figura 7. Zoneamento edafoclimático para as espécies e híbrido avaliados
Fonte: O autor.

De acordo com a Figura 7, nota-se que o *Eucalyptus urophylla* é a espécie com maiores proporções de áreas potenciais ao seu cultivo, sendo representada por 82,72% da área de estudo. Em seguida destaca-se o híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, com 80,60% de área potencial. Esses resultados são corroborados tanto por Sperandio et al. (2010) quanto por Santos et al. (2017).

Ainda que as espécies *C. citriodora* e *E. grandis* não tenham apresentado resultados expressivos quanto à classe potencial, as mesmas não devem ser ignoradas no planejamento florestal. Porém, é importante salientar que, para que estas atinjam seu pico produtivo nas áreas classificadas como restritas (50,78% e 54,26% da área do estado, respectivamente), deve-se considerar a adoção de práticas capazes de amenizar os efeitos adversos causados pelo possível estresse hídrico (OLIVEIRA et al., 2013), pelas características físico-químicas do solo (GAVA; GONÇALVES, 2008) e pelas condições de precipitação e temperatura da região (POERSCH et al., 2017).

As microrregiões com maiores áreas inaptas ao cultivo das espécies e híbrido estudados, são, respectivamente, a Rio Doce e a Nordeste (Tabela 6). O fato de que essas microrregiões detêm as maiores faixas litorâneas culminaram nos resultados adversos encontrados devido à não adaptação das espécies e híbrido em solos muito arenosos, como é o caso do litoral. Gava e Gonçalves (2008) encontraram resultados que corroboram com a inaptidão da região Nordeste.

Tabela 6. Área, em quilômetros quadrados e porcentagem, por classe de aptidão edafoclimática, por microrregião do ES.

Microrregião	Classes de aptidão							
	Apta		Restrita		Inapta		Imprópria	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Caparaó	2884,00	6,26	343,32	0,75	129,29	0,28	222,80	0,48
Central serrana	1881,94	4,09	619,97	1,35	146,54	0,32	60,89	0,13
Central sul	2412,64	5,24	935,35	2,03	307,22	0,67	86,13	0,19
Centro Oeste	2369,84	5,15	1772,81	3,85	728,34	1,58	113,97	0,25
Litoral Sul	1740,37	3,78	799,56	1,74	389,57	0,85	148,69	0,32
Metropolitana	1774,14	3,85	476,18	1,03	99,52	0,22	824,74	1,79
Nordeste	3330,28	7,23	3317,00	7,20	1195,78	2,60	298,01	0,65
Noroeste	3346,06	7,27	2314,89	5,03	703,96	1,53	58,11	0,13
Rio Doce	2509,47	5,45	2093,52	4,55	969,55	2,11	823,11	1,79
Sudoeste Serrana	2835,11	6,16	597,69	1,30	362,29	0,79	30,01	0,07
Total	25083,83	54,47	13270,30	28,82	5032,07	10,93	2666,45	5,79

Fonte: O autor.

A Figura 8 apresenta os resultados encontrados acerca da disposição da malha viária, uso e ocupação da terra, declividade e propriedades regularizadas.

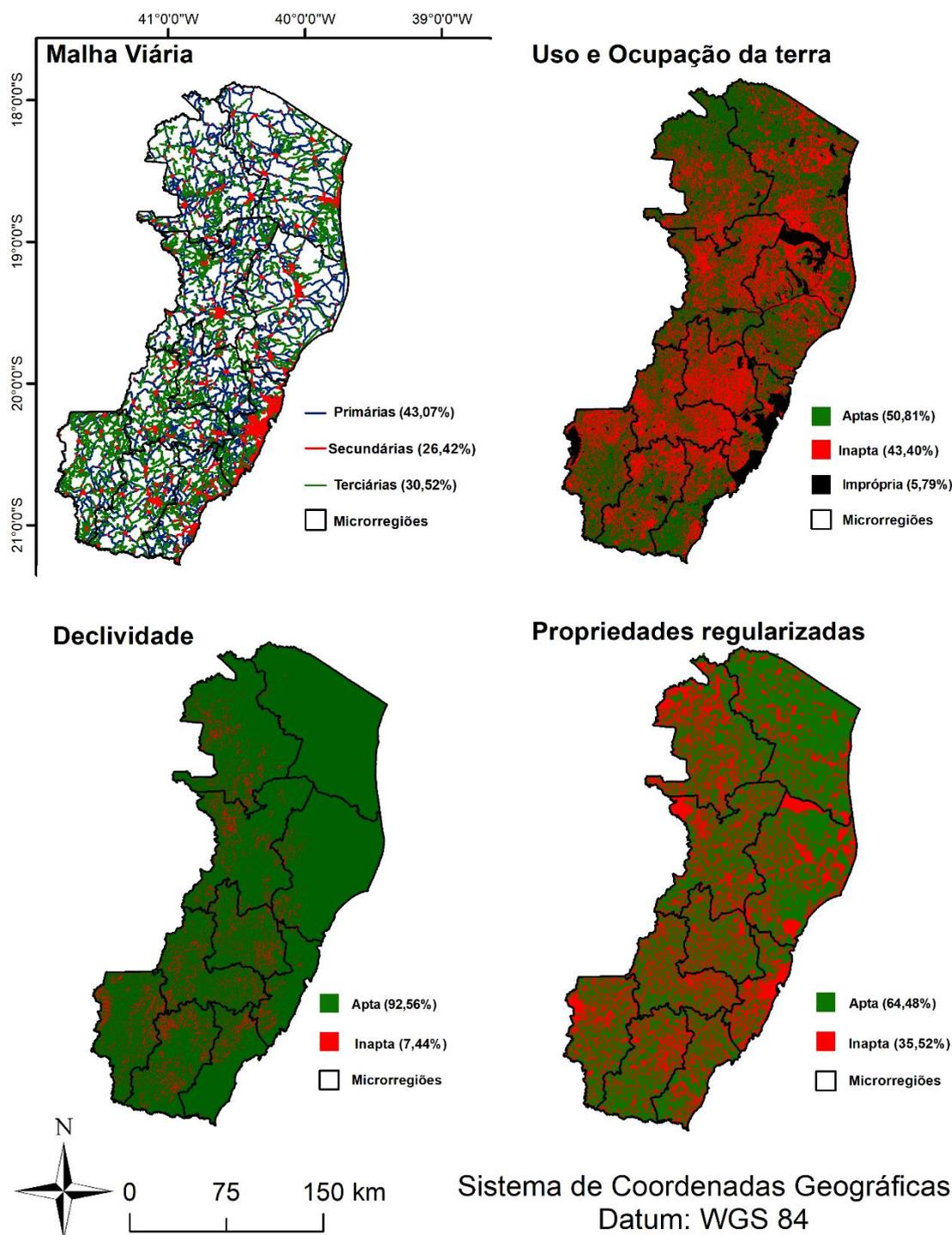


Figura 8. Distribuição geográfica das classes de estradas, uso e ocupação da terra, declividade e propriedades regularizadas

Fonte: O autor.

Os empreendimentos florestais que dependem de matéria prima advindas de plantios distantes da fábrica são fortemente dependentes da distância entre esses locais e da distribuição da malha viária para escolha dos melhores

caminhos, haja visto que o transporte é uma das etapas de maior custo dentro do ciclo produtivo (CANTO et al., 2007; ELLER; SOUSA JUNIOR; CURI, 2011; SANTOS et al., 2017).

As vias que permitem o transporte de madeira compõem a malha rodoviária pública no estado do Espírito Santo, possui extensão aproximada de 35.603 quilômetros, dos quais 43,07% são classificados como vias primárias, 26,42% como vias primária e 30,52% são vias terciárias (Figura 8). A extensão de malha viária existente nos estados brasileiros é um dos principais fatores que definem o modal rodoviário como o principal do país (OLIVEIRA FILHO et al., 2003). De acordo com Moreira, Freitas Júnior e Tolo (2018), 65% do transporte de cargas brasileiro, nos últimos anos, tem sido realizado pelo modal rodoviário, devido à sua flexibilidade operacional.

Além das características edafoclimáticas e de malha viária, as classes de uso e ocupação da terra (Figura 8), também influenciam na escolha pelas áreas de implantação dos programas de fomento florestal. Na Tabela 7, são apresentados os valores em quilômetros quadrados das classes de aptidão ao uso e ocupação da terra por microrregião de planejamento.

Tabela 7. Área, em quilômetros quadrados, por classe de aptidão ao uso e ocupação da terra, por microrregião do ES

Microrregião	Área por classe de potencialidade por UOT					
	Apta		Inapta		Imprópria	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Caparaó	2.065,38	54,04	1.534,71	40,15	222,80	5,81
C. Serrana	1.024,10	34,26	1.904,45	63,71	60,89	2,03
Central Sul	2.057,92	54,70	1.618,48	43,02	86,13	2,28
Centro Oeste	2.772,81	49,60	2.704,00	48,37	113,97	2,03
Litoral Sul	1.556,57	55,28	1.111,06	39,46	148,68	5,26
Metropolitana	663,85	29,07	797,80	34,94	824,74	35,99
Nordeste	4.681,58	58,45	3.031,48	37,85	298,01	3,71
Noroeste	4.158,89	65,80	2.103,97	33,29	58,11	0,92
Rio Doce	2.891,06	43,63	2.915,80	44,00	823,11	12,38
S. Serrana	1.536,93	40,21	2.255,36	59,01	30,00	0,78
Total	23.409,09	50,81	19.977,11	43,36	2.666,44	5,79

Fonte: O autor.

As extensas áreas de pastagem, monocultivos de eucalipto, solo exposto e macega, aliados à pequena proporção de áreas impróprias e à grande

extensão de terra da microrregião Nordeste, garantem à mesma a posição de maior destaque em relação à aptidão à implantação dos programas de fomento florestal por uso e ocupação da terra (4.681,58 km²).

Apesar dos valores expressivos de aptidão da microrregião Nordeste, o contrário faz-se verdadeiro também, devido às extensas áreas de agricultura, restinga, mangue e não classificadas. Essa microrregião, juntamente com a Rio Doce, são responsáveis por cerca de 5.950 km² inaptos ao cultivo florestal.

Analisando a Figura 8 e a Tabela 7, é possível perceber a grande influência das áreas impróprias nas regiões Metropolitana (824,74 km²) e Rio Doce (823,11 km²), sendo responsáveis por 61% da área imprópria do estado do Espírito Santo. Esses valores são corroborados pelo fato de que 49% (1.979.337) da população do Espírito Santo vivem na região Metropolitana do estado, propiciando então maiores extensões de manchas urbanas, e que as duas maiores unidades de conservação estão situadas nas microrregiões do Rio Doce e Metropolitana (APA – Costa das Algas e REBIO de Sooretama) (IBGE, 2019; ICMBIO, 2019).

Outra variável analisada nesse estudo para a delimitação das áreas potenciais à implementação dos programas de fomento florestal, foi a declividade. Lopes et al. (2016); Robert, Brown e Ruy (2018) nortearam suas pesquisas para a colheita mecanizada de madeira em regiões declivosas, e assim definiram quais as classes de declividade seriam viáveis, produtivamente e economicamente, à essa importante etapa do sistema de produção florestal.

Lopes et al. (2016), ao estudarem a produtividade de operações com *Forwarders* trabalhando em terrenos com relevo acidentado, concluíram que declividades mais acentuadas exigem maior esforço das máquinas que conseqüentemente reduzem a disponibilidade mecânica e eficiência operacional das mesmas. As classes de declividade criadas tiveram o intuito de garantir a produtividade das máquinas e segurança dos operadores durante a colheita nas áreas fomentadas. Sendo assim, observou-se que as regiões montanhosas do estado, que se concentram principalmente ao sul apresentaram menores valores de aptidão à mecanização (Tabela 8).

Tabela 8. Área por classe de aptidão à mecanização, por microrregião do ES

Microrregião	Área por classe de potencialidade por declividade					
	Aptas		Inaptas		Impróprias	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Caparaó	3.078,83	6,69	522,12	1,13	222,80	0,48
Central Serrana	2.469,18	5,36	344,65	0,75	60,89	0,13
Central Sul	3.044,28	6,61	497,68	1,08	86,13	0,19
Centro Oeste	4.816,78	10,46	451,18	0,98	113,97	0,25
Litoral Sul	2.454,61	5,33	203,67	0,44	148,68	0,32
Metropolitana	1.996,46	4,34	153,30	0,33	824,74	1,79
Nordeste	7.528,00	16,35	21,15	0,05	298,01	0,65
Noroeste	5.533,65	12,02	432,73	0,94	58,11	0,13
Rio Doce	6.095,63	13,24	143,46	0,31	823,11	1,79
Sudoeste Serrana	3.135,59	6,81	463,24	1,01	30,00	0,07
Total	40.153,01	87,19	3.233,19	7,02	2.666,44	5,79

Fonte: O autor.

De acordo com a Tabela 8, cerca de 87,19% do estado do Espírito Santo pertence à classe apta à implementação dos programas de fomento florestal, por declividade. Dentre as microrregiões do estado, a Nordeste foi a de maior área apta, sendo representada por 7.528 km². Já a microrregião do Caparaó foi a mais inapta à implementação do fomento, sendo responsável por 522,12 km².

Esses resultados podem ser explicados pelas variações de relevo que compõem o estado do Espírito Santo. Isso quer dizer que é plausível que as regiões litorâneas (Nordeste e Rio Doce) apresentem maior quantidade de áreas com declividades mais amenas que as regiões montanhosas (Caparaó e Central Sul).

Falcão (2019), corrobora com os resultados encontrados. O autor concluiu que as regiões Nordeste e Noroeste, por apresentarem relevos mais planos seriam mais propícias à mecanização da colheita de madeira. Além disso, definiu que em algumas partes das microrregiões Caparaó e Sudoeste Serrana, só seria possível a realização da colheita mecanizada de madeira, mediante utilização de guinchos de tração auxiliar.

Freire Júnior e Inacio, (2019) destacam que o cadastramento das propriedades no Sistema de Cadastro Ambiental Rural auxilia no planejamento econômico ambiental do imóvel, garante ao proprietário o direito aos benefícios gerados pelos programas de regularização ambiental, aquisição de crédito agrícola com juros menores e maiores prazos de pagamento.

Além disso, os requerimentos de licenças para exploração florestal, implantação silvicultural (áreas a partir de 100 ha), renovação das licenças de empreendimentos já estabelecidos ou até mesmo para realização queima controlada, junto ao Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF), são inviabilizados caso a propriedade não possua o cadastro ambiental rural.

De acordo com o SFB (2020), no Espírito Santo, cerca de 77% do total de áreas de propriedades passíveis de regularização ambiental estão cadastradas no SICAR. Porém, segundo os dados extraídos do próprio módulo SICAR, pelos autores do presente estudo, apenas 64,48% da área do estado estão cadastradas no sistema (Figura 8).

As imagens matriciais da distância euclidiana para as variáveis V1i representando a aptidão das diferentes espécies e híbrido de eucalipto, V2 (malha viária), V3 (UOT), V4 (Declividade) e V5 (Propriedades licenciadas) são apresentadas na Figura 9.

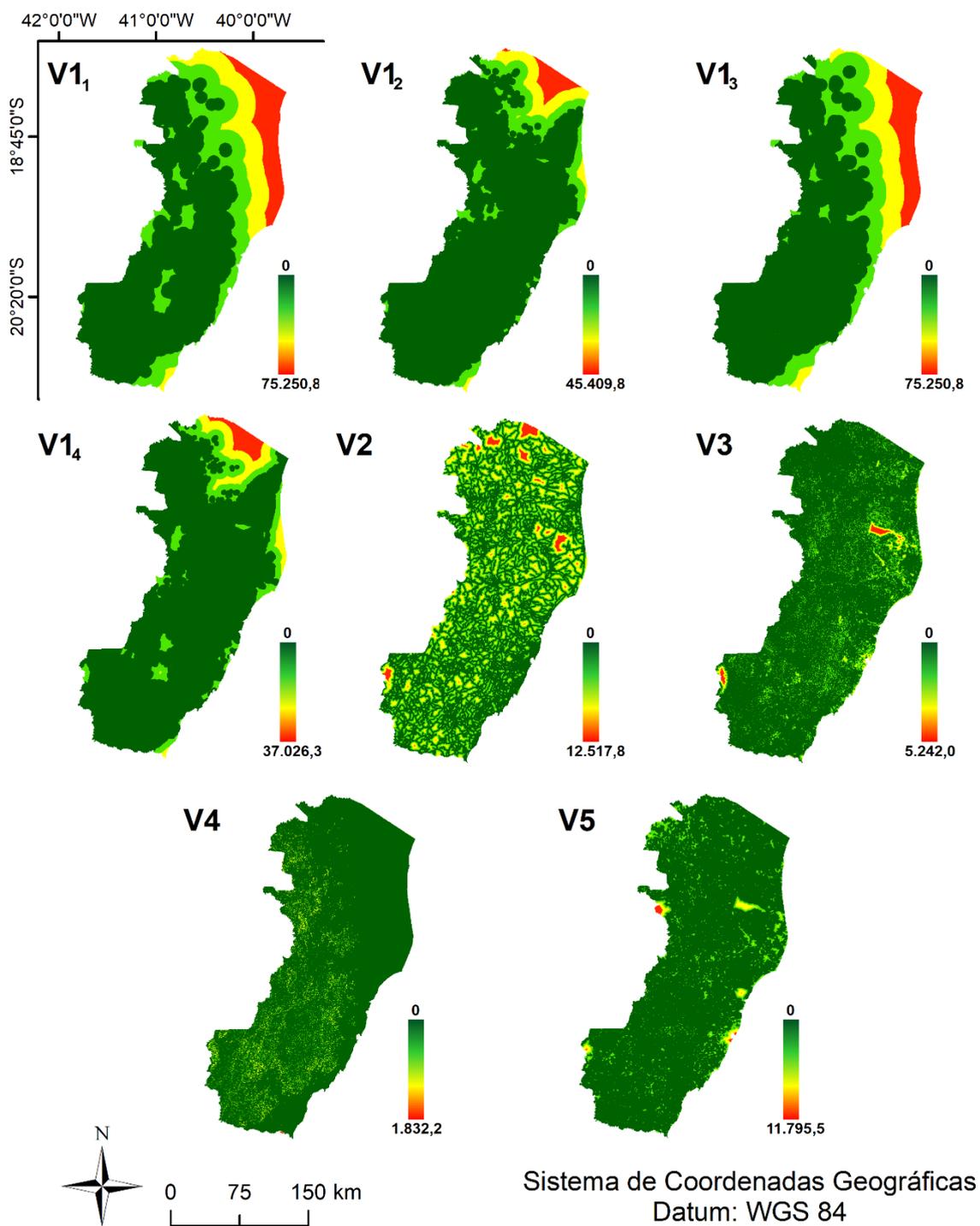


Figura 9. Distância euclidiana das variáveis vetoriais
 V1₁) Aptidão para o *Corymbia citriodora*; V1₂) Aptidão para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*; V1₃) Aptidão para o *Eucalyptus grandis*; V1₄) Aptidão para o *Eucalyptus urophylla*; V2) Malha viária; V3) Uso e ocupação da terra; V4) Declividade; V5) Propriedades regularizadas.

Fonte: O autor.

À medida que as características favoráveis à implementação dos programas de fomento florestal apresentam-se na extensão do estado do Espírito Santo, a distância euclidiana é menor (Figura 9) e conseqüentemente, os respectivos valores no conjunto *Fuzzy* são altos.

Os resultados da lógica *Fuzzy* e porcentagem de frequência de *pixel* para os intervalos do conjunto nebuloso de 0 a 0,25; 0,26 a 0,50; 0,51 a 0,75; e 0,76 a 1 para as variáveis V1_i, representando a aptidão para as diferentes espécies e híbrido de eucalipto, V2 (malha viária), V3 (Uso e ocupação da terra), V4 (Declividade) e V5 (Propriedades licenciadas) são apresentadas na Figura 10.

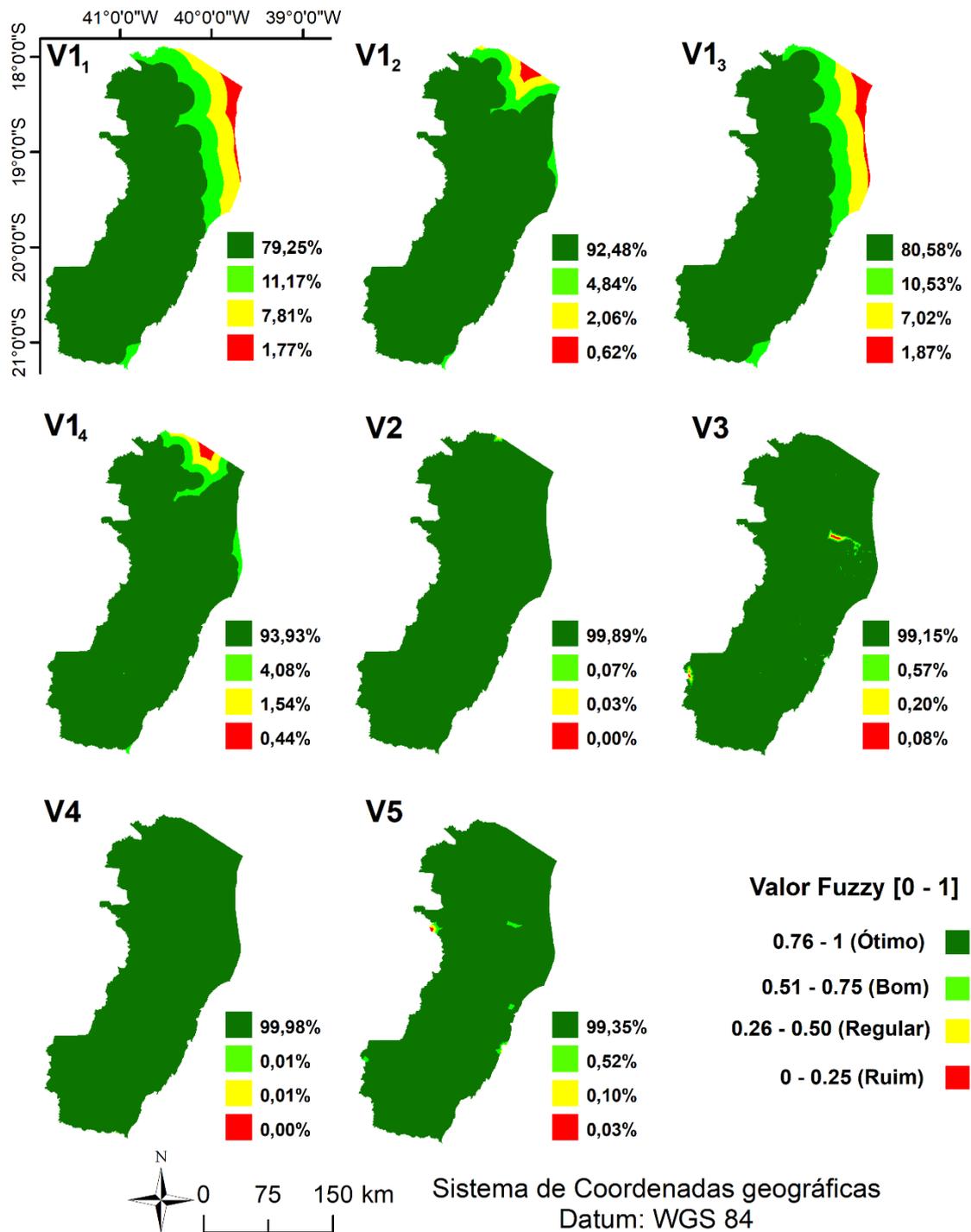


Figura 10. Lógica Fuzzy e frequência de pixels das variáveis matriciais V1₁) Aptidão para o *Corymbia citriodora*; V1₂) Aptidão para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*; V1₃) Aptidão para o *Eucalyptus grandis*; V1₄) Aptidão para o *Eucalyptus urophylla*; V2) Malha viária; V3) Uso e ocupação da terra; V4) Declividade; V5) Propriedades regularizadas.

Fonte: O autor.

De acordo com a Figura 9, dentre as espécies estudadas, as que apresentaram maiores porcentagens de frequência de *pixels* para a classe *Fuzzy* entre 0,76 e 1 (ótima), foram, respectivamente, o *E. urophylla* (93,93%), o híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (92,48%), o *E. grandis* (80,58%) e o *C. citriodora* (79,25%). Partindo do pressuposto de que as regiões dispostas ao norte do estado apresentam características edafoclimáticas menos favoráveis, são plausíveis os resultados dispostos nas Figuras 8 e 9, que apontam maiores distâncias euclidianas nessas áreas e conseqüentemente menores valores no conjunto *Fuzzy*. Resultados semelhantes para o conjunto *Fuzzy* dessas espécies foram encontrados por Santos et al. (2017).

A boa distribuição da malha viária do estado do Espírito Santo pode ser observada pelos 99,89% de *pixels* que compõe a classe ótima (0,76 – 1) do conjunto *Fuzzy* para a variável malha viária (V2), na Figura 9.

Assim como a malha viária, o uso e ocupação da terra apresentou uma frequência de *pixels* de classe ótima elevada (99,15%) mostrando que o estado do Espírito Santo possui uma grande quantidade de áreas influenciadas pelas classes de pastagens, plantios de eucaliptos, solo exposto e/ou macegas. As classes ruim, regular e boa, dispostas principalmente no interior e proximidades do Parque Nacional do Caparaó e do Reserva Biológica de Sooretama, foram responsáveis por 0,85% da frequência de *pixels* do conjunto *Fuzzy*.

Apesar de o Espírito Santo apresentar regiões com relevo ondulado, apenas 0,02% dos *pixels* do estado se encontram nas classes inferiores a 0,76 do conjunto *Fuzzy*. Isso mostra o potencial elevado do estado para a implementação dos programas de fomento florestal, devido à possibilidade de introdução de sistema de colheita mecanizado na maioria do seu território.

As propriedades regularizadas apresentaram frequência de *pixels* de classe ótima de 99,35%. Esses resultados mostram consciência e preocupação ambiental da população do estado do Espírito Santo. Já as classes ruim, regular e boa, dispostas principalmente no interior da região Centro Oeste, regiões próximas às UC's de Sooretama e do Caparaó e próximas aos principais centros populacionais do estado (Microrregião Metropolitana). Todas essas classes juntas somaram 0,65% dos *pixels* do conjunto *Fuzzy* da variável V5 do estado do Espírito Santo.

Os raios de influência dos depósitos estão apresentados na Figura 11.

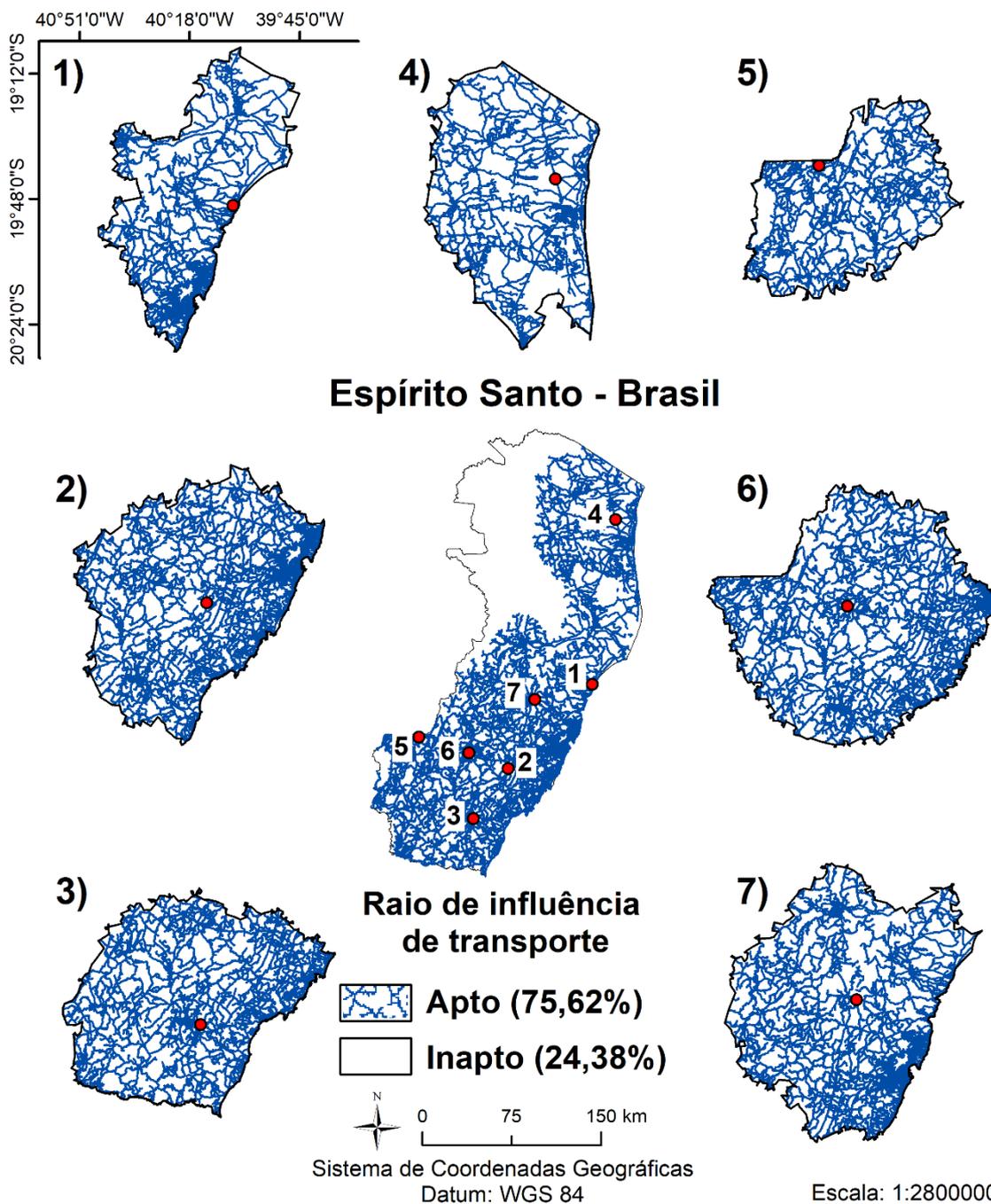


Figura 11. Raio de influência dos depósitos de madeira do estado do Espírito Santo, Brasil
Fonte: O autor.

Os depósitos de madeira do cobrem 75,62% (34.825 km²) da área do estado do Espírito Santo, apesar de ser uma área grande, a má localização desses depósitos inviabiliza a cobertura de 24,38% do estado, em área isso quer dizer que 11.227,63 km² não possuem cobertura dos depósitos.

A ausência de planejamento logístico no Sul do estado, em relação à disposição dos depósitos de madeira, torna-se nítida quando as sobreposições

existentes entre os raios de influência dos depósitos 2, 3, 5 e 6 são analisadas. Esse tipo de análise pode ser capaz de viabilizar a construção de depósitos em locais que atualmente não dispõe dessas instalações, como é o caso de parte da região Centro Oeste e da Noroeste.

Porém, é fato que, para que seja corroborada a declaração de que os depósitos podem ser melhor alocados no interior do estado, deve-se avaliar a capacidade de armazenamento de cada um a disponibilidade de madeira nessas regiões. Se existir madeira suficiente para abastecer todos os depósitos sem deixar nenhum ocioso, o desligamento de algum torna-se inviável, porém se a disponibilidade de madeiras não for capaz de abastecer por completo todos os depósitos, o indicado a se fazer é a avaliação dos raios de influência e definição do depósito que mais sofre sobreposição e avaliar seu desligamento.

Uma alternativa viável seria a elaboração de um modelo de alocação de depósitos de madeira no estado do Espírito Santo, de maneira que houvesse a menor quantidade possível de sobreposições de raios de influência e de áreas não cobertas. Com isso, seria possível otimizar a distribuição de madeiras entre os pátios no estado, garantindo que as regiões que não se enquadraram nas restrições do presente estudo pudessem ser englobadas no planejamento de implementação dos programas de fomento florestal.

Finalmente, foi aplicada a sobreposição de variáveis *Fuzzy* no interior do perímetro de abrangência dos depósitos de madeira no estado do Espírito Santo. Com isso, é possível observar na Figura 12 a distribuição espacial das classes de aptidão ao fomento florestal nas microrregiões do estado.

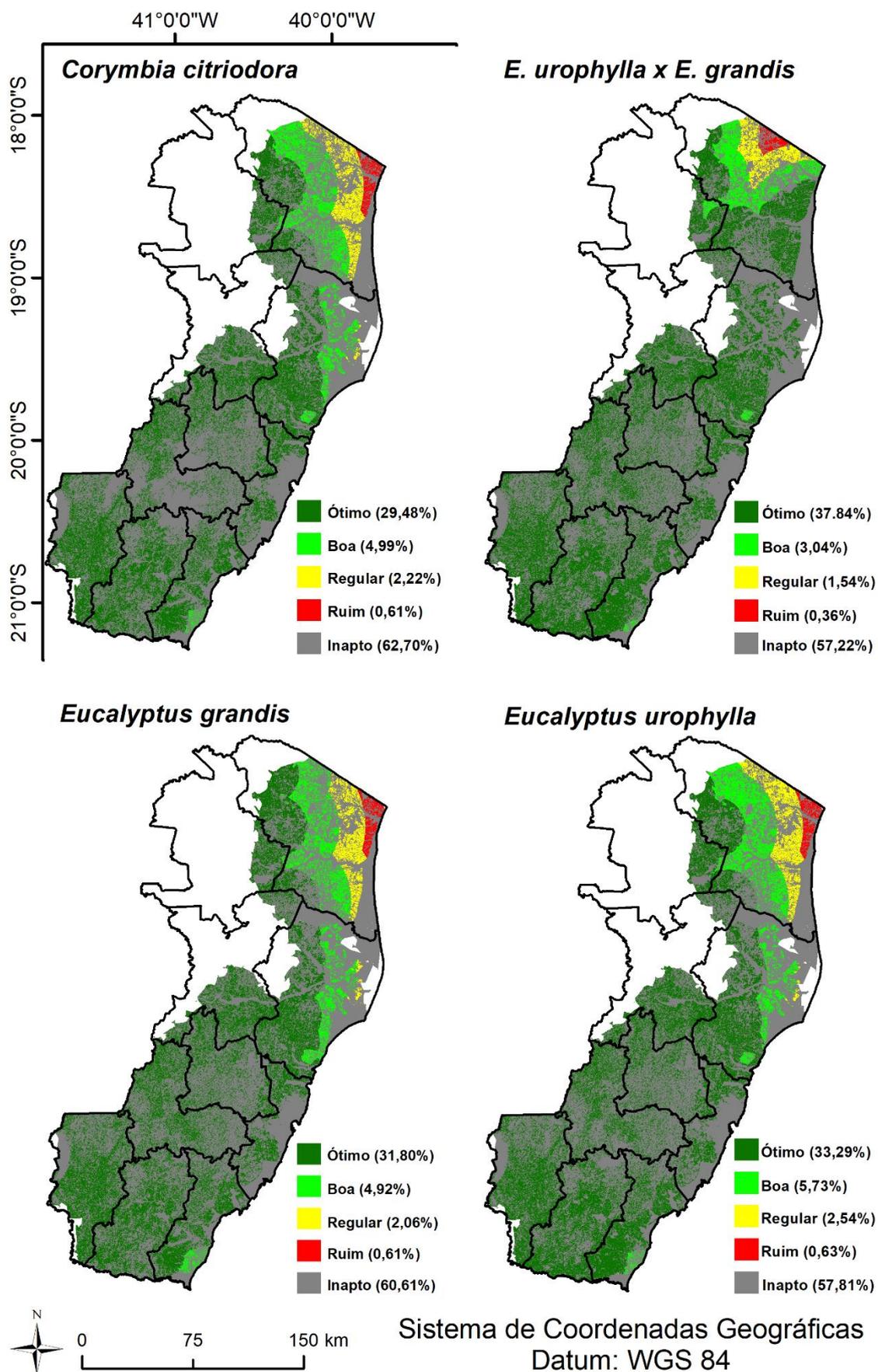


Figura 12. Zoneamento de aptidão ao fomento florestal no estado do Espírito Santo, Brasil.
Fonte: O autor.

De modo geral, a aptidão aos programas de fomento florestal, delimitados pela combinação de variáveis, apresentou áreas de maiores potencialidades nas microrregiões centrais e sul do estado. Os valores intermediários (boa e regular) são visualizados principalmente nas microrregiões localizadas à leste do Espírito Santo (Nordeste, Rio Doce e Litoral Sul) (Figura 12) (Apêndice A).

Dentre todas as espécies e híbrido estudadas, o *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* apresentou o maior valor percentual na classe ótima para a implementação dos programas de fomento florestal no Espírito Santo (37,84%), seguido pelo *Eucalyptus urophylla* (33,29%), *Eucalyptus grandis* (31,80%) e *Corymbia citriodora* (29,48%). Porém, apesar de as espécies *E. grandis* e *C. citriodora* não apresentarem os melhores valores da classe ótima, destacam-se na classe boa ao fomento florestal, com respectivamente 5,73% e 4,99% (Figura 12).

Apesar de os valores percentuais da classe boa para a implementação dos programas de fomento florestal no Espírito Santo estarem abaixo dos 10% para todas as espécies e híbrido, não deve-se desprezar esse valor em termos de área (km²), pois essas apresentam valores importantes para o cenário estadual e sobretudo, das principais microrregiões com o potencial implementação desses programas (Apêndice A).

Entre as 10 microrregiões do estado de ES, a Caparaó e Central Sul foram as que apresentaram os resultados mais expressivos na classe ótima na aptidão à implementação do fomento florestal. A microrregião do Caparaó destaca-se na aptidão à implementação do programa com o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* (1.768,55 km²) e a espécie *Eucalyptus grandis* (1752,49 km²). Já na microrregião Central Sul, foi o híbrido (1.880,88 km²) e *E. urophylla* (1845,58 km²) que se destacaram (Apêndice A).

De acordo com Baesso et al. (2010) as condições edafoclimáticas do Espírito Santo garantem o seu alto potencial aos cultivos florestais. Sendo assim, de acordo com Santos et al. (2017), as empresas do ramo, encontraram no ES ótimas oportunidades de suprimento de demanda por matéria prima florestal.

Devido às características favoráveis do estado do Espírito Santo, a cadeia de produção madeireira, desde o planejamento dos plantios florestais até o transporte final, em parceria com os produtores de madeira, torna-se economicamente, socialmente e ambientalmente viável às empresas do ramo

(FERREIRA, 2012). A partir dessas informações, é notável a potencialidade da implementação dos programas de fomento florestal na projeção de benefícios econômicos e sociais para a população capixaba, mediante geração de renda, empregos, receita tributária e aumento do Produto Interno Bruto das 10 microrregiões do estado do Espírito Santo.

A elaboração de trabalhos capazes de quantificar, qualificar e zonear as áreas potenciais ao fomento florestal podem estimular o setor florestal com o incremento de áreas de produção silvicultural para o suprimento da demanda dos grandes volumes de madeira gerados pelas empresas do setor. Por outro lado, as empresas que dependem da produção verticalizada, se beneficiarão com os menores custos de transporte devido à oferta de matéria prima mais próxima dos seus depósitos.

6. CONCLUSÕES

A utilização da metodologia *Fuzzy* proporciona flexibilidade na prospecção das áreas potenciais aos programas de fomento florestal e contribui para a redução dos custos com a locomoção de funcionários.

A presente pesquisa permitirá aos fomentadores melhorar as condições de negociação, devido ao conhecimento prévio das condições do possível fomentado.

A partir da aplicação da distância euclidiana e da lógica *Fuzzy* conclui-se que o estado do Espírito Santo, apresenta boa potencialidade à implementação do fomento florestal, destacando-se a microrregião do Caparaó como a mais potencial.

Apesar da alta potencialidade do estado, devido à sobreposição dos raios de influência, as empresas responsáveis pelos principais depósitos de madeira presentes no estado precisam buscar estratégias que sejam capazes de diminuir tal problema. Dentro dessas estratégias, indica-se alocação de depósitos de madeira que contemplem a microrregião Noroeste, haja visto os ótimos resultados apresentados para todas as variáveis avaliadas.

A metodologia proposta pode ser aplicada para outras culturas, outras regiões brasileiras, bem como em outros países.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAKEREH, A.; SOLEYMANI, M.; SHEIKHDAVOODI, M. J. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. **Solar Energy**, v. 155, p. 342–353, out. 2017.

ASSIS, J. M. O. DE et al. Mapeamento do uso e ocupação do solo no município de Belém de São Francisco – PE nos anos de 1985 e 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 859–870, 2014.

AYODELE, T. R. et al. A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria. **Applied Energy**, v. 228, p. 1853–1869, out. 2018.

BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. **Ciencia Florestal**, v. 20, n. 2, p. 335–344, 2010.

CANTO, J. L. DO et al. Avaliação das condições de segurança do trabalho na colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no Estado do Espírito Santo. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 513–520, 2007.

CANTO, J. L. DO et al. Aspectos sociais do fomento florestal no estado do Espírito Santo. **Cerne**, v. 15, n. 2, p. 123–132, 2009.

CARMO, F. C. DE A. DO. **Balanço da emissão de gases carbônicos nas operações florestais e sequestro de carbono em florestas plantadas no Espírito Santo**. 2016. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 68p. 2016.

CARMO, F. C. DE A. et al. Análise de custos da implantação de cultivos de eucalipto em áreas acidentadas no Sul do Espírito Santo. **Cerne**, v. 17, n. 4, p. 473–479, 2011.

CARNEIRO, M. A. et al. Aptidão Da Bacia Do Rio Dourados Para O Cultivo De Algumas Espécies De Eucaliptos. **Floresta**, v. 36, n. 3, p. 331–342, 2006.

COELHO, V. H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64–72, 2014.

DIVINO, A. C.; ZAIDAN, R. T.; AFFONSO, E. P. Geotecnologias Aplicadas ao Ensino de Geografia: uma proposta metodológica. **Revista Virtú – ICH**, n. 8, p. 1–13, 2009.

ELLER, R. D. A. G.; SOUSA JUNIOR, W. C. DE; CURI, M. L. C. Custos do transporte de carga no Brasil: rodoviário versus ferroviário. **Journal of Transport Literature**, v. 5, n. 1, p. 50–64, 2011.

ESPÍRITO, S. Lei estadual no 9.768, de 26 de Dezembro de 2011. **Dispõe sobre a definição das Microrregiões e Macrorregiões de Planejamento no Estado do Espírito Santo. Diário Oficial [do] Estado do Espírito Santo**, 2011.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **Understanding Euclidean distance analysis**. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst_toolbox/understanding-euclidean-distance-analysis.htm>. Acesso em Março de 2020.

EUGENIO, F. C. et al. Confronto do uso e cobertura da terra em áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do Rio Alegre no município de Alegre, Espírito Santo. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 110–126, 2010.

FALCÃO, R. S. **Zoneamento de aptidão para colheita mecanizada no estado do Espírito Santo**. 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 45p. 2016.

FARIAS, M. et al. Potencial do Cadastro Ambiental Rural (CAR) no controle do desmatamento em assentamentos no município de Novo Repartimento (PA). **GOT - Journal of Geography and Spatial Planning**, n. 14, p. 179–199, 2018.

FERREIRA, A. E. DE M. **A influência do fomento florestal nos aspectos ambientais e socioeconômicos em estabelecimentos rurais na Amazônia**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) Universidade Federal do Pará, Belém, PA. 142p. 2012.

FERREIRA, A. E. DE M. et al. Fomento florestal e sua função socioeconômica: estudo de caso no município de Almeirim (PA). **Novos Cadernos NAEA**, v. 17, n. 1, p. 75–98, 2014.

FERREIRA, M. A. **Planejamento otimizado da produção de madeira no fomento florestal**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 142p. 2016.

FISCHER, A. O Fomento Na Indústria De Base Florestal. **Informe GEPEC**, v. 13, n. 2, p. 6–19, 2009.

FISCHER, A.; ZYLBERSZTAJN, D. O fomento florestal como alternativa de suprimento de matéria-prima na indústria brasileira de celulose. **REAd**, v. 18, n. 2, p. 494–520, 2012.

FREIRE JÚNIOR, A. B.; INACIO, H. D. Auer Baptista Freire Júnior. **Âmbito jurídico**, v. 157, p. 1–21, 2019.

GAGLIONE, S. et al. Fuzzy logic applied to GNSS. Measurement: **Journal of the International Measurement Confederation**, v. 136, p. 314–322, 1 mar. 2019.

GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. D. M. Soil attributes and wood quality for pulp production in plantations of *Eucalyptus grandis* clone. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 3, p. 306–313, 2008.

HOLZFEIND, T.; STAMPFER, K.; HOLZLEITNER, F. Productivity, setup time and costs of a winch-assisted forwarder. **Journal of Forest Research**, v. 23, n. 4, p. 196–203, 2018.

HONG, H. et al. Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China. **Science of the Total Environment**, v. 625, p. 575–588, jun. 2018.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual 2019**. Brasília: DF.: Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2019.

IBGE. **Panorama, 2020**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/panorama>>. Acesso em: 9 out. 2019.

ICMBIO - INSTITUTO CHICO MENDES. **As Unidades de Conservação Federais do Espírito Santo**. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br>>. Acesso em: 9 out. 2019.

JUVANHOL, R. S. **Modelagem da vulnerabilidade à ocorrência e propagação de incêndios florestais**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 78p. 2014.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

LACERDA, L. C. et al. Análise Operacional da Extração Florestal Mecanizada em Módulos Próprios e Terceirizados. **Nativa**, v. 3, n. 1, p. 205–209, 2015.

LEITE, E. DA S. et al. Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Arvore**, v. 38, n. 1, p. 1–7, 2014.

LOPES, E. DA S. et al. Declividade do Terreno e Distância de Extração na Produtividade do Forwarder com Guincho de Tração Auxiliar. **Nativa**, v. 4, n. 6, p. 347–352, 2016.

LOPES, E. DA S.; VIEIRA, T. P.; RODRIGUES, C. K. Avaliação técnica e de custos do transporte rodoviário com diferentes espécies e sortimentos de madeira. **Floresta**, v. 46, n. 3, p. 297–305, 2016.

LYRA, G. B. et al. Espacialização da temperatura do ar anual no estado de alagoas com diferentes modelos digitais de elevação e resoluções espaciais. **Ciencia Florestal**, v. 21, n. 2, p. 275–288, 2011.

MACHADO, C. C. et al. **Transporte rodoviário florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011.

MACHADO, C. C. et al. O setor florestal Brasileiro e a colheita florestal. In: **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 15–45.

MALINOVSKI, J. R. et al. Sistemas. In: **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 178–202.

MOREIRA, M. A. L.; FREITAS JUNIOR, M. DE; TOLOI, R. C. O transporte rodoviário no brasil e suas deficiências. **Refas - Revista Fatec Zona Sul**, v. 4, n. 4, p. 1–13, 22 jun. 2018.

OLIVEIRA, G. Q. DE et al. Desenvolvimento inicial de dois híbridos de eucalipto submetidos à irrigação. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1099–1109, 2013.

OLIVEIRA FILHO, P. C. DE et al. Implementação de um sistema de informação geográfica para a gestão da empresa florestal. **Floresta**, v. 33, n. 1, p. 31–52, 2003.

OLIVEIRA FILHO, P. C. DE; GOMES, G. S.; DISPERATI, A. A. O geoprocessamento como suporte ao manejo sustentável da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. ST.-HIL.) em ambiente natural. **Floresta**, v. 38, n. 1, p. 173–182, 2008.

PEDROSO FILHO, J. I. et al. Avaliação econômica de projetos de florestamento com *Eucalyptus Grandis hill ex maiden* implantado sob diferentes espaçamentos. **Ciencia Florestal**, v. 28, n. 1, p. 240–248, 2018.

PELUZIO, T. M. DE O. **Lógica Fuzzy na determinação de fragmentos florestais para coleta de sementes**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 151p. 2017.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. DA S.; DIAS, A. N. Análise técnica e de custo do feller buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 981–989, 2015.

POERSCH, N. L. et al. Influence of climate variables in the initial growth of *Corymbia citriodora* and different species of eucalyptus. **Biosci. J.**, v. 33, n. 6, p. 1452–1464, 2017.

REZENDE, J. L. P. et al. Análise econômica de fomento florestal com eucalipto no estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras-MG, v. 12, n. 3, p. 221–231, 2006.

ROBERT, R. C. G.; OLIVEIRA BROWN, R.; CASTILLA RUY, C. Análisis económico de la cosecha mecanizada en repoblaciones de *Eucalyptus* spp. en sitios montañosos. **Madera y Bosques**, v. 24, n. 3, p. 1–12, 2018.

RODE, R. et al. Comparação da regulação florestal de projetos de fomento com áreas próprias de empresas florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 81, p. 11–19, 2015.

RODRIGUES, R. S. S. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do igarapé da Prata, Capitão Poço – Pará – Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 143, 2016.

SANTOS, A. R. et al. Fuzzy logic applied to prospecting for areas for installation of wood panel industries. **Journal of Environmental Management**, v. 193, p. 345–359, 2017.

SCORUPSKI, A. J. et al. Produtividade do processamento mecanizado da madeira de pinus nos sistemas full tree e cut to length em diferentes volumes individuais. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. Especial I MECFOR, p. 12–15, 22 nov. 2017.

SILVA, M. L. DA et al. Análise Do Custo E Do Raio Econômico De Transporte De veículos. **Árvore**, v. 31, n. 6, p. 1073–1079, 2007.

SILVA, S. F. DA. **Risco de lixiviação de agrotóxicos em áreas aptas para o cultivo do eucalipto no estado do Espírito Santo**. 2018. Relatório Final (Pós-Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. 69p. 2018.

SILVA, F. L. et al. Estudo da relação de confiança em programa de fomento florestal de indústria de celulose na visão dos produtores rurais. **Revista Arvore**, v. 33, n. 4, p. 723–732, 2009.

SILVA, Z. A. G. P. DA G. E. Análise econômica da concentração no uso de madeira tropical pelo setor de marcenarias de Rio Branco, Estado do Acre. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 48–58, 2003.

SIMOES, M. G.; SHAW, I. **Controle e Modelagem Fuzzy**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2007.

SIQUEIRA, J. D. P. et al. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do estado do Espírito Santo. **Floresta**, v. 34, n. 2, p. 3–67, 2004.

SONG, N.; AGUILAR, F. X.; BUTLER, B. J. Cost-share program participation and family forest owners' past and intended future management practices. **Forest Policy and Economics**, v. 46, p. 39–46, 2014.

SOUZA, M. J. H. et al. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. *Revista Arvore*, v. 30, n. 3, p. 399–410, 2006.

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E. Zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto (*Eucalyptus spp*) no estado do Tocantins. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 1, n. 2, p. 121–134, 2015.

SOUZA, U. R. et al. Determinantes dos novos contratos de fomento florestal na mesorregião do Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Arvore**, v. 33, n. 2, p. 377–386, 2009.

SOUZA, V. S. et al. Rentabilidade econômica do arrendamento de terra para cultivo de eucalipto em São Paulo. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 345–354, 2015.

SPERANDIO, H. V. et al. Zoneamento Agroecológico Para Espécies De Eucalipto No Estado Do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 34, p. 203–216, 2010.

SPONHOLZ, I. K.; OLIVEIRA FILHO, P. C. DE; OLIVEIRA, E. B. DE. Espacialização da produção florestal por sortimento de madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 76, p. 369–378, 2013.

ŠTĚRBOVÁ, M. et al. Innovating in a traditional sector: Innovation in forest harvesting in Slovakia and Macedonia. **Forest Policy and Economics**, v. 106, n. 9, p. 1–13, 2019.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Climatology**, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.

TORELLI, J. C. **Implementação paralela da transformada de distância euclidiana exata**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação e Matemática Computacional) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 99p. 2005.

VALDETARO, E. B. et al. Contribuição dos Créditos de Carbono na Viabilidade Econômica dos Contratos de Fomento Florestal no Sul da Bahia. *Revista Arvore*, v. 35, n. 6, p. 1307–1317, 2011.

VIEIRA, G. C. et al. Prognoses of diameter and height of trees of eucalyptus using artificial intelligence. **Science of the Total Environment**, v. 619–620, p. 1473–1481, abr. 2018.

APÊNDICES

Apêndice A. Área aptas ao fomento florestal por microrregião de planejamento do estado do Espírito Santo, Brasil.

Espécies	Microrregião	Classes de aptidão (km ²)				
		Ótimo	Boa	Regular	Ruim	Imprópria
<i>Corymbia citriodora</i>	Caparaó	1.659,02	0,03	-	0,00	1.969,92
	Central Serrana	811,22	-	-	-	2.175,75
	Central Sul	1.524,73	-	-	-	2.233,30
	Centro Oeste	1.062,34	-	-	-	1.366,42
	Litoral Sul	1.053,52	49,27	-	-	1.718,94
	Metropolitana	588,49	0,01	0,02	0,00	1.693,49
	Nordeste	738,28	1.222,17	749,17	212,05	3.882,89
	Noroeste	339,31	20,98	-	-	386,88
	Rio Doce	1.494,89	448,37	23,51	0,02	3.583,10
	Sudoeste Serrana	992,96	-	-	-	2.823,95
<i>E. urophylla x E. grandis</i>	Caparaó	1.768,55	0,12	-	0,00	1.860,29
	Central Serrana	950,81	-	-	-	2.036,18
	Central Sul	1.880,88	-	-	-	1.877,03
	Centro Oeste	1.175,40	-	-	-	1.253,38
	Litoral Sul	1.329,51	25,97	0,00	-	1.466,26
	Metropolitana	588,49	0,02	0,01	0,00	1.693,50
	Nordeste	1.780,08	938,55	537,01	126,96	3.422,00
	Noroeste	369,99	66,03	-	-	311,16
	Rio Doce	1.952,14	29,69	0,02	-	3.568,07
	Sudoeste Serrana	1.379,06	-	-	-	2.437,86

(Continua)

(Continuação)

Apêndice A. Área aptas ao fomento florestal por microrregião de planejamento do estado do Espírito Santo, Brasil.

Espécies	Microrregião	Classes de aptidão (km²)				
<i>Eucalyptus grandis</i>	Caparaó	1.752,49	0,03	-	0,00	1.876,44
	Central Serrana	942,59	-	-	-	2.044,38
	Central Sul	1.601,13	0,01	-	-	2.156,89
	Centro Oeste	1.062,77	-	-	-	1.366,00
	Litoral Sul	1.049,72	88,92	0,00	-	1.683,08
	Metropolitana	588,49	0,02	0,02	0,00	1.693,49
	Nordeste	949,61	1.085,39	674,79	211,88	3.882,89
	Noroeste	350,46	9,84	-	-	386,88
	Rio Doce	1.394,59	530,44	41,75	0,02	3.583,10
	Sudoeste Serrana	1.383,05	-	-	-	2.433,85
<i>Eucalyptus urophylla</i>	Caparaó	1.733,69	0,03	-	0,00	1.895,24
	Central Serrana	920,98	-	-	-	2.066,01
	Central Sul	1.845,58	-	-	-	1.912,34
	Centro Oeste	1.175,40	-	-	-	1.253,38
	Litoral Sul	1.295,03	50,48	-	-	1.476,23
	Metropolitana	588,49	0,01	0,02	0,00	1.693,50
	Nordeste	827,53	1.474,52	861,24	219,31	3.422,00
	Noroeste	413,89	22,13	-	-	311,16
	Rio Doce	1.509,71	448,61	23,51	0,02	3.568,07
	Sudoeste Serrana	1.281,92	-	-	-	2.535,01