

## ZONEAMENTO DE ÁREAS PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA VISANDO METAS CLIMATICAS. ESTUDO EM MONTE CARMELO (MG)

Walysson Pereira Delfino<sup>1</sup>, Vicente Toledo Machado de Moraes Júnior<sup>1</sup>, Jéssica Campos Araújo<sup>2</sup> Jacqueline Bonfim e Cândido<sup>1</sup>, Danielle Piuzana Mucida<sup>2</sup>, Luciano Cavalcante de Jesus França<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Curso de Engenharia Florestal (ICIAG), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte Carmelo, MG ([walysson.delfino@ufu.br](mailto:walysson.delfino@ufu.br)); <sup>2</sup> Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM, Diamantina, MG

**RESUMO:** Entre os compromissos assumidos pelo Brasil na Conferência das Partes (COP-21), no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima (UNFCCC), está o de reflorestar 12 milhões de hectares de florestas nativas até 2030. Muitas abordagens de pesquisa podem auxiliar nesta ação, como a Análise Multicritério (AMC) voltado à da seleção de áreas para restauração no planejamento ambiental. A AMC permite a análise de diferentes indicadores e da estrutura biofísica da paisagem. Com base no exposto, o objetivo deste estudo foi identificar as áreas prioritárias para restauração florestal em Monte Carmelo no estado de Minas Gerais, utilizando vetores de degradação, como (i) uso e cobertura da terra, (ii) vulnerabilidade à erosão, (iii) tipos de solo, (iv) declividade e (v) conflito de uso nas áreas de preservação permanentes (APP's) e reservas legais (RL's), a partir de um arcabouço metodológico AMC e Combinação Linear Ponderada (CLP), realizados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). Posteriormente, cada camada recebeu coeficientes referentes a prioridade de restauração: (I) muito baixa, (II) baixa, (III) média, (IV) alta e (V) muito alta. Com os resultados obtidos foi possível identificar as áreas de maior urgência para ações de restauração visto que 20% do território de Monte Carmelo apresenta prioridades Alta e Muito Alta, que, se somados à prioridade média, essa porcentagem atinge 45% de áreas em grau de atenção para projetos de restauração. Os resultados obtidos podem ser úteis para Monte Carmelo e a proposta metodológica pode ser também replicada para outros municípios do Brasil.

**Palavras-chave:** mudança do Clima; manejo da Paisagem; acordo de Paris.

### 1 INTRODUÇÃO

A restauração da vegetação nativa é crucial para mitigar os efeitos das mudanças climáticas, melhorar a qualidade do solo e da água, aumentar a biodiversidade e contribuir para a absorção de carbono na atmosfera. Nesta realidade, o Brasil tem se comprometido, desde a Conferência das Partes (COP) no ano de 2015, reafirmado nas edições seguintes da conferência a adotar medidas para restauração de áreas degradadas, com a meta de reflorestar 12 milhões de hectares até 2030 (Brasil, 2017). O estado de Minas Gerais também se comprometeu a restaurar 3,7 milhões de hectares de áreas rurais até 2030 (Morais Junior, 2024), destacando-se como um dos principais responsáveis pela recuperação de ecossistemas no país. Para que a restauração florestal seja efetiva, a identificação das áreas prioritárias é uma etapa essencial. Nesse contexto, a seleção criteriosa dessas áreas torna-se um instrumento estratégico para a efetivação das metas nacionais e estaduais. O município de Monte Carmelo, em Minas Gerais, possui características ambientais que tornam sua análise particularmente relevante devido à crescente pressão sobre seus ecossistemas naturais e à necessidade de implementação de estratégias para recuperação da vegetação nativa, visto que Santos *et al.* (2024), constataram que no município há 14.242 hectares que estão em sobreposição no cadastro ambiental rural (CAR), o equivalente a 10,76% da área total.

Com base no exposto, o objetivo deste estudo foi identificar as áreas prioritárias para restauração florestal em Monte Carmelo no estado de Minas Gerais utilizando vetores de degradação, como (i) uso e cobertura da terra, (ii) vulnerabilidade à erosão, (iii) tipos de solo, (iv) declividade e (v) conflito de uso nas áreas de preservação permanentes (APP's) e reservas legais (RL's).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no município de Monte Carmelo, localizado na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais. A área total do município é de aproximadamente 1.343,035 km<sup>2</sup>, inserida majoritariamente no domínio fitogeográfico do Cerrado, caracterizado por formações vegetais savânicas e florestais, além de apresentar relevância ecológica e socioeconômica para região (Castro *et al.*, 2023).

Para a análise de prioridade para restauração florestal no território municipal adotou-se a metodologia de Análise de Decisão Multicritério (ADMC), com base na integração de diferentes camadas temáticas de dados geográficos. Essa abordagem possibilita a ponderação de múltiplos critérios ambientais, permitindo a construção de um modelo espacial que representa as áreas mais propensas à degradação da vegetação nativa (Silveira., 2020).

Os vetores utilizados na construção do mapa temático foram obtidos a partir de duas principais fontes: o projeto MapBiomias e a plataforma Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema). Sua interface no *Google Earth Engine* (GEE) foi utilizada tanto para acesso quanto para processamento preliminar dos dados *raster*.

As análises espaciais, bem como a aplicação do modelo multicritério, foram realizadas no software ArcGIS versão 10.8, que permitiu a sobreposição e reclassificação das camadas temáticas, bem como o cálculo de áreas e a produção cartográfica final. Os intervalos de classificação para os níveis de susceptibilidade à degradação foram definidos com base nas particularidades ambientais do município, respeitando a flexibilidade metodológica proporcionada pelas ferramentas do MapBiomias e IDE-Sisema.

Para a atribuição dos pesos utilizados na análise multicritério, foi adotada uma escala de valores entre 1 e 5, com base em estudos que empregam abordagens metodológicas similares para avaliação ambiental integrada (Plano Diretor Florestal., 2020).

As áreas classificadas com peso 1 correspondem aquelas de muito baixa prioridade para restauração, sendo menos preocupante para implementação de projetos restaurativos. As áreas com peso 2 apresentam baixa prioridade de restauração, embora sejam de menor preocupação, ainda requerem atenção e adoção de medidas de conservação para garantir a manutenção de sua estabilidade ecológica natural. As áreas com peso 3 possuem prioridade média, indicando a presença de fatores de alerta quanto ao risco degradação. As áreas de peso 4 apresentam alta prioridade de restauração, caracterizando-se como zonas críticas e de elevada susceptibilidade a degradação. Por fim as de peso 5 correspondem a regiões de extremamente alta prioridade de restauração. Essas classes foram essenciais para orientar a classificação temática das camadas *raster*, contribuindo para representação espacial das zonas de atenção prioritária.

A etapa final consistiu na aplicação da ferramenta *RasterCalculator*, com a qual foi possível integrar as variáveis previamente classificadas segundo a equação abaixo:

$$PR_{rest} = \frac{[(U.C.T)+(V.E)+(T.S)+(D)+(APPs e RLS)]}{5} \quad (\text{Eq.1})$$

**Em que:**  $PR_{rest}$  = Prioridade a Restauração;  $U.C.T$  = Uso e Cobertura da Terra;  $V.E$  = Vulnerabilidade a Erosão;  $T.S$  = Tipos de Solo;  $D$  = Declividade;  $APP e RLS$  = conflitos em APPs e RLs

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise espacial integrada modelou os atributos geofísicos do ambiente e o uso atual da terra, apontando zonas ambientalmente críticas e conflito com a legislação ambiental

brasileira, gerando as áreas de menores ou maiores prioridades para projetos de restauração florestal

Ao realizar o mapa de tipos de solo, foi possível observar a predominância de Latossolos Vermelhos-Amarelos distróficos (baixa prioridade), além de presença significativa de Cambissolos Háplicos (alta prioridade) e Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (muito baixa prioridade). Embora Latossolos geralmente apresentem boa drenagem e estabilidade estrutural, sua suscetibilidade à erosão aumenta em terrenos com declividade, especialmente sob uso agrícola intensivo (Xavier et al., 2005). Os Cambissolos, por sua vez, são mais rasos e menos desenvolvidos, o que os torna particularmente frágeis em termos de conservação do solo (Santos et al., 2015).

No mapa de declividade foi possível evidenciar um relevo majoritariamente plano a suavemente ondulado, mas com regiões localizadas de alta declividade (ondulado). Essa condição, quando combinada a solos frágeis e à remoção da cobertura vegetal, resulta em elevada vulnerabilidade à erosão hídrica, conforme identificado no mapa. As classes “alta” e “muito alta” de vulnerabilidade à erosão estão espacialmente associadas a regiões com declive acentuado e solos menos coesos corroborando papel do relevo e do tipo de solo na suscetibilidade à perda de solo (Melo et al. 2023).

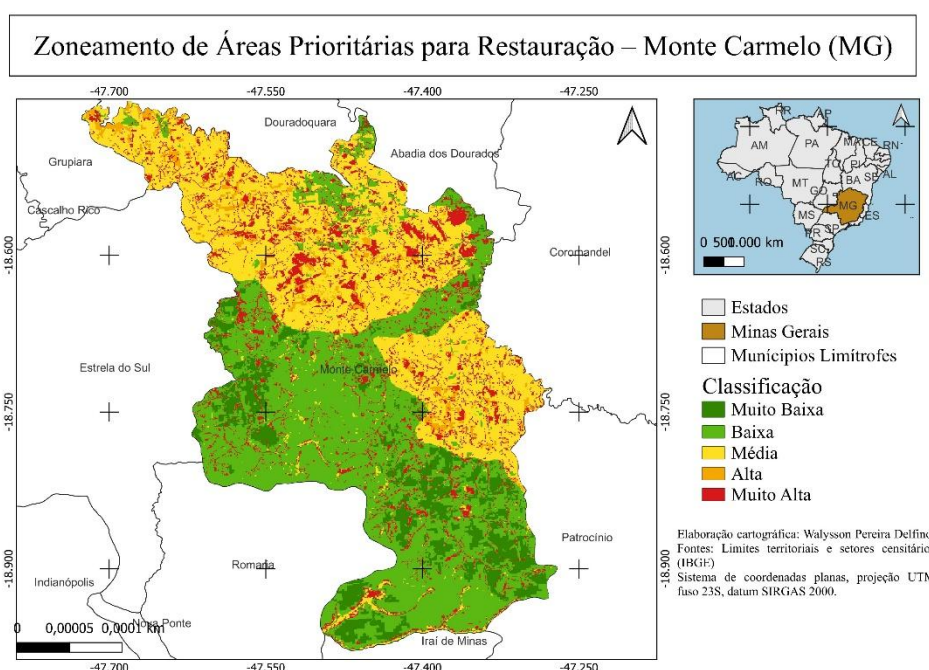
No mapa de uso da terra mostrou a predominância de pastagens, lavouras temporárias como soja, milho e algodão, além de cana-de-açúcar e café, cobrindo a maior parte da área. A vegetação nativa (formações florestais e savânicas) ocorre em pequenas porções, principalmente no norte da área. Esse padrão de uso indica pressão antrópica intensa, geralmente associada à degradação do solo e ao aumento dos processos erosivos. Estudos como o de Alves et al. (2023) demonstram que o uso intensivo, sem práticas conservacionistas, eleva significativamente a perda de solo e compromete a produtividade de médio e longo prazo.

O mapa de conflitos com Áreas de Preservação Permanente (APPs), cujo vetor é de suma importância para a realização desse trabalho, pois de acordo com o Código Florestal, no artigo 3º, uma das funções das APPs é preservar a biodiversidade, facilitando o fluxo gênico da fauna. Por essa razão, torna-se imprescindível considerar, nos processos de restauração indicadores relacionados à conservação da biodiversidade (Silva; Nunes, 2017).

Foi possível observar que 20% do território de Monte Carmelo apresenta prioridades Alta e Muito Alta, que, se somados à prioridade média, essa porcentagem atinge 45% de áreas em grau de atenção para projetos de restauração. Observa-se nas porções sul e sudoeste de Monte Carmelo o domínio de áreas verdes (muito baixa e baixa prioridade) (Figura 1), o que sugere presença de outras formas de cobertura, neste caso agricultura ativa. Na porção centro-

norte e nordeste observa-se presença maior de áreas em vermelho, laranja e amarelo, indicando zonas críticas para ações de restauração. Isto se deve, possivelmente, à maior ocupação agropecuária ou áreas antropizadas, além da combinação de solos mais frágeis, áreas com maior declividade e maior conflito no uso da terra em áreas de APPs e RL.

**Figura 1** – Mapa de Classes de Prioridade para Restauração Florestal no Município de Monte Carmelo (MG).



Estes resultados indicam que apesar da maior porcentagem de áreas classificadas com baixa prioridade para restauração, observou-se mosaicos compostos por diferentes níveis de prioridade em áreas vizinhas, evidenciando uma heterogeneidade espacial que demanda atenção no planejamento. A delimitação dessas áreas prioritárias não apenas subsidia políticas públicas e ações mais eficiente de restauração florestal, como também contribui diretamente para o cumprimento das metas estabelecidas no acordo de Paris ao promover sequestro de carbono, conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Assim, a restauração extrapola os objetivos legais do código florestal, assumindo papel essencial na mitigação das mudanças climáticas e na sustentabilidade do uso do solo.

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos possibilitam orientar ações de restauração e conservação com base em critérios técnicos e espaciais, promovendo a conectividade da paisagem e contribuindo para a mitigação da degradação ambiental. Dessa forma, o método de aplicação da análise

multicritérios e da combinação linear ponderada em ambiente sig, gerou um mapa temático que classifica o território em diferentes níveis de propriedade na utilização dos vetores de degradação (Uso e Cobertura da Terra, Vulnerabilidade a Erosão, Tipos de Solo, Declividade e Conflitos de Uso em APPs) que oferece suporte direto aos cumprimentos das metas o acordo de Paris, ao fornecer dados quem embasam decisões territoriais voltadas à recuperação ambiental e a adaptação climática. Além disso, por sua adaptabilidade, a metodologia pode ser aplicada em outras regiões do país, servindo como base técnica para a formulação de políticas públicas em escala local e nacional, especialmente no contexto daCOP-30, que ocorrerá em novembro, no Brasil.

## REFERÊNCIAS

AYER, J. E. B. *et al.* Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 180-191, 2015.

ALVES, M. A. B. *et al.* Effects of land use and cropping on soil erosion in agricultural frontier areas in the Cerrado-Amazon Ecotone, Brazil, using a rainfall simulator experiment. **Sustainability**, v. 15, n. 6, p. 4954, 2023.

CASTRO, L. L. P. da S. *et al.* Mapeamento da vegetação nativa do município de Monte Carmelo-MG. 2023.

DE MORAIS JUNIOR, V. T. M. *et al.* Monitoring of areas in conflict with the Legislation for the Protection of Native Vegetation in Brazil: opportunity for large-scale forest restoration and for the Brazilian global agenda. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 11, p. 1113, 2024.

DOS SANTOS, R. M. *et al.* Diagnóstico do conflito do uso e ocupação da terra em áreas protegidas por lei em imóveis rurais no município de Monte Carmelo-MG. **Revista Espinhaço**, 2024.

MELO, A. C. A. *et al.* Susceptibilidade à erosão, perda de solos e vulnerabilidade natural na bacia do Médio Rio Araguaia-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 6, p. 3103-3124, 2023.

CARTOLANO, R. T. *et al.* Definição de áreas prioritárias para restauração ecológica: análise de decisão multicritério como instrumento para o planejamento ambiental.

SILVA, D.; NUNES, S. Restauração Florestal. **Avaliação e modelagem econômica da restauração florestal no Estado do Pará**. Belém, PA: Imazon, 2017.

SILVEIRA, E. Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do Rio Doce, em Minas Gerais. **Nativa**, 2020.

SILVA, A. M. da. *et al.* Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 1223-1230, 2005.