



ESTIMATIVA DO ESTOQUE DE CARBONO DAS ÁREAS FLORESTAIS E DE PASTAGEM DO MUNICÍPIO DE CACOAL, RO

Julia Alves **Pennachin**¹; Lauro Rodrigues **Nogueira Jr**²; Cristina Aparecida Gonçalves **Rodrigues**²; Fabiana da Silva **Soares**³; Carlos Cesar **Ronquim**⁴

Nº 24503

RESUMO – A emissão de gases de efeito estufa (GEE) nas áreas ambientais e agrárias tem sido cada vez mais discutida, em decorrência da conversão de florestas naturais em áreas de produção agropecuária. Com cerca de 55% de cobertura florestal em 2022, o estado de Rondônia ocupou a 7ª posição entre os estados com maiores taxas de desmatamento dentro do bioma Amazônia. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi estimar o estoque de carbono em florestas e pastagens no município de Cacoal, em Rondônia, usando o modelo Carbon Storage and Sequestration do software Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST). Os valores de estoque de carbono foram calculados para áreas florestais e áreas de pastagem do município, onde 98,5% do estoque é oriundo das áreas florestais em 2024. Os resultados obtidos reforçam a importância das áreas florestais para o ecossistema, reafirmando a necessidade de sistemas de produção sustentáveis, além de políticas públicas para a manutenção e o reflorestamento de florestas nativas, visando à mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chaves: Amazônia, mudanças climáticas, software InVEST, uso e cobertura da terra.

1 Autora, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia Florestal e Licenciatura em Ciências Agrárias, ESALQ-USP, Piracicaba-SP; julia.pennachin@colaborador.embrapa.br.

2 Colaboradores: Pesquisadores da Embrapa Territorial, Campinas-SP.

3 Bolsista CNPq (DTI B): Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, UFSCAR, São Carlos-SP.

4 Orientador: Pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas-SP; carlos.ronquim@embrapa.br.



ABSTRACT – *The emission of greenhouse gases (GHG) in environmental and agricultural areas has been increasingly discussed, due to the conversion of natural forests into agricultural production areas. With around 55% of forest coverage in 2022, the state of Rondônia ranked 7th among the states with the highest deforestation rates within the Amazon biome. In this context, the objective of this work was to estimate the carbon stock in forests and pastures in the municipality of Cacoal, in Rondônia, using the Carbon Storage and Sequestration model in the Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) software. Carbon stock values were calculated for forest areas and pasture areas in the municipality, where 98.5% of the stock comes from forest areas in 2024. The results obtained reinforce the importance of forest areas for the ecosystem, reaffirming the need for sustainable production systems, in addition to public policies to mitigate climate change.*

Keywords: Amazon, climate change, InVEST software, land use change.

1. INTRODUÇÃO

O estado de Rondônia apresentou quase 140 mil hectares de áreas desmatadas e foi objeto de alerta de desmatamento no ano de 2022, quando ocupou a 7ª posição no ranking do *Relatório Anual de Desmatamento* (MapBiomas, 2023). O relatório também reporta que o desmatamento no Brasil acontece em decorrência de agropecuária, garimpo e mineração, e que o desmatamento por pressão da agropecuária corresponde a quase 96% de todos os desmatamentos validados pelo MapBiomas Alerta¹ em 2022.

Os resultados do Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa, realizado por unidade federativa e lançado em 2021, demonstram que as emissões de gases de efeito estufa da área de uso da terra, mudança do uso da terra e florestas (LULUCF) estão relacionadas com a dinâmica de conversão do uso da terra, principalmente com o desmatamento (Brasil, 2024).

O relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) traz as florestas tropicais entre os mais importantes reguladores do clima em escala global e regional. Segundo o IPCC (2022), elas são importantes sumidouros de carbono e os mais significativos repositórios de biomassa terrestre, o que as torna fundamentais para a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos, as identidades sociais e culturais, os meios de subsistência e a adaptação e mitigação das mudanças climáticas.

Segundo o Sistema de Registro Nacional de Emissões (Sirene), em 2016, o estado de Rondônia apresentou emissões de 105.958 Gg de CO₂, com destaque para a conversão de floresta para pastagem e agropecuária representando 74% e 22% das emissões, respectivamente.

¹ Disponível em: <https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/>.

As emissões do estado representaram 7% no âmbito nacional e 34% para a região Norte (Brasil, 2024).

O presente estudo teve como objetivo estimar o estoque de carbono nas áreas florestais e de pastagem do município de Cacoal, localizado no estado de Rondônia, no ano de 2024.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O município de Cacoal está localizado na porção centro-leste do estado de Rondônia (Figura 1). Com área territorial de 379 mil hectares, o município localiza-se na latitude $11^{\circ}26'19''S$ e longitude $61^{\circ}26'50''O$ (IBGE, 2022). O clima da região, segundo Köppen, é classificado como Aw, correspondente às florestas tropicais com chuvas do tipo monção. Além disso, a região apresenta temperatura média de $26^{\circ}C$, com índice pluviométrico superior a 2.000 mm/ano, e com períodos de seca de junho a agosto.

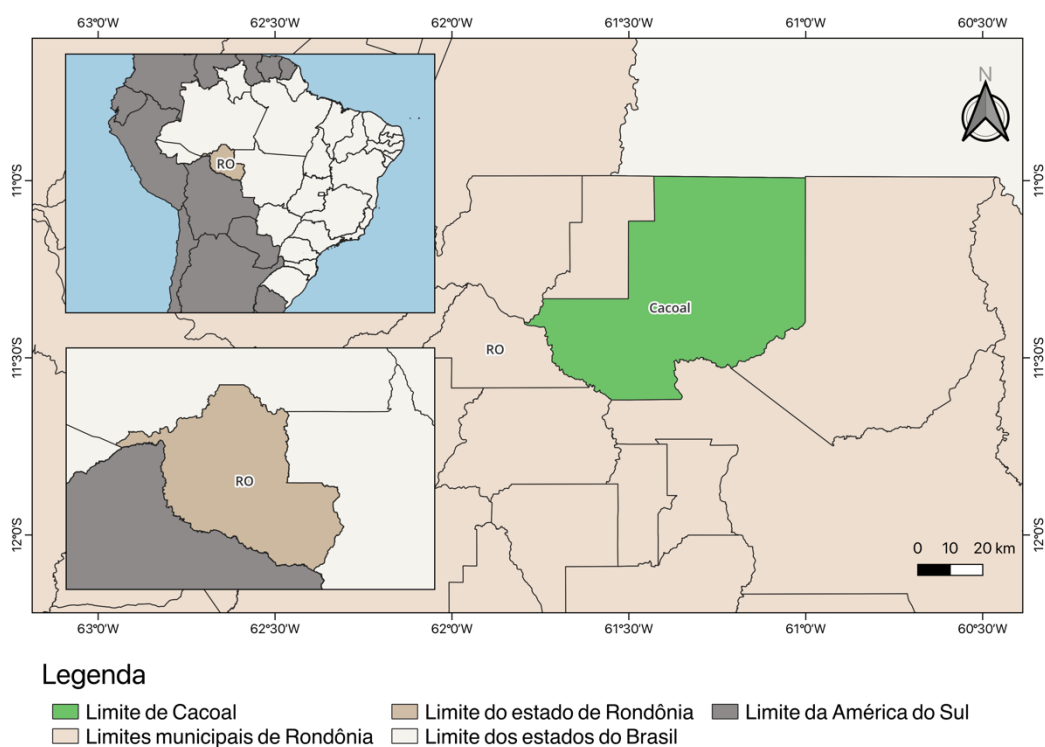


Figura 1. Mapa com a localização do município de Cacoal inserido no estado de Rondônia.

2.2 Mapas da vegetação e do solo

O mapa de classes de vegetação (Figura 2) foi elaborado usando informações do Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA). As fitofisionomias predominantes fazem parte do bioma Amazônia (Brasil, 2015) e variam entre Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta.

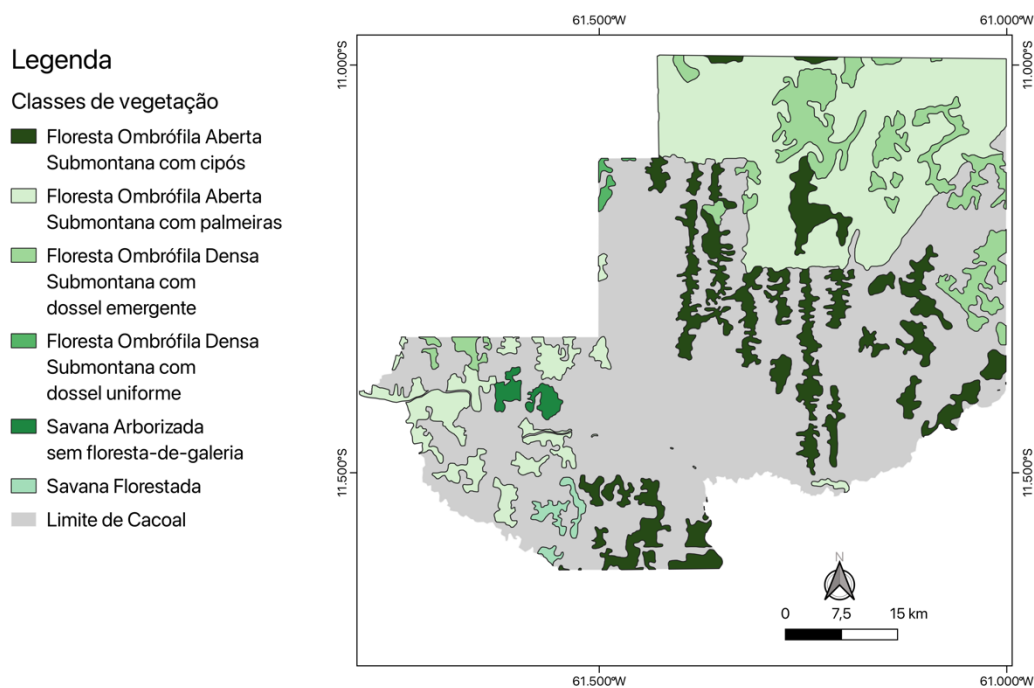


Figura 2. Mapa de classes de vegetação do município de Cacoal com base nas informações do Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA).

Fonte: IBGE (2024).

As classes de solo presentes no município foram determinadas com base nas informações do IBGE (2022), e demonstram que Cacoal está inserida em uma área com predominância de Cambissolos e Argissolos (Figura 3).

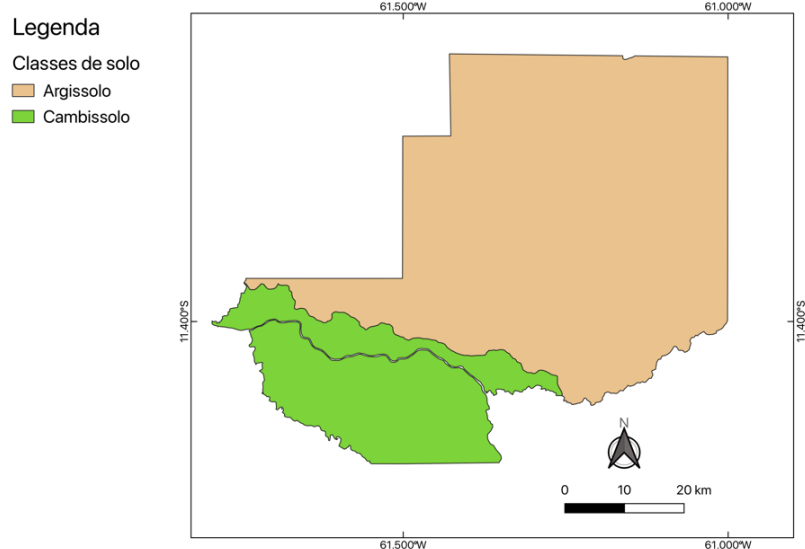


Figura 3. Mapa de classes de solo do município de Cacoal com base nas informações do Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA).
Fonte: IBGE (2024).

2.3 Mapa de uso e cobertura da terra

O mapa de uso e cobertura da terra do município de Cacoal (Figura 4) foi elaborado a partir do estudo desenvolvido por Ronquim et al. (2024), que delimitou áreas de florestas, pastagens e outros usos, como área urbana, café e rede hidrográfica, com o objetivo de obter um levantamento do uso e cobertura da terra na região das Matas de Rondônia.

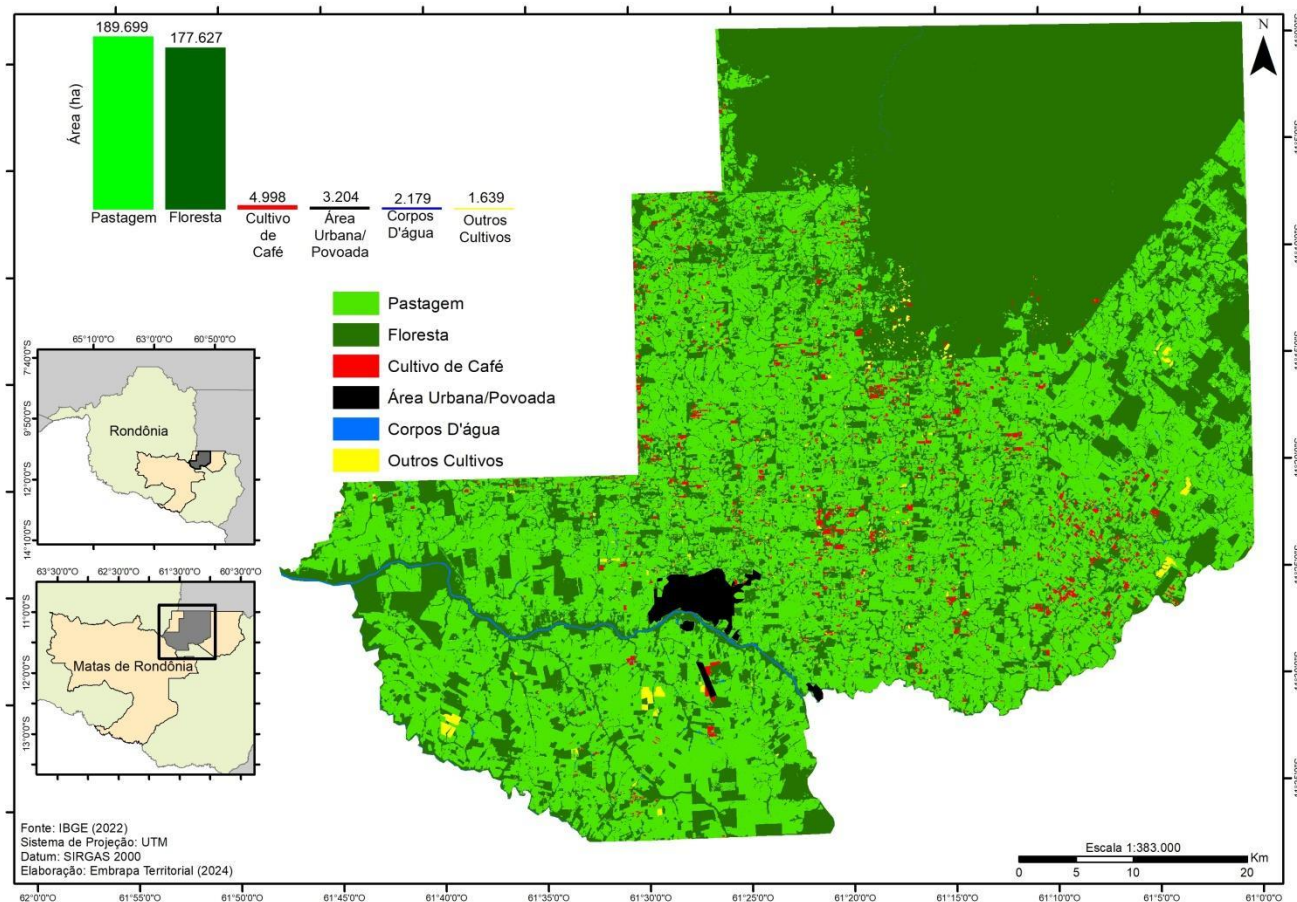


Figura 4. Mapa de uso e cobertura da terra do município de Cacoal, com os valores, em hectares, de cada um dos usos.

Fonte: Ronquim et al. (2024).

Esse mapa no formato *shapefile* foi transformado em formato *raster*, com pixels de 30x30 m, para entrar no modelo *Carbon Storage and Sequestration*.

2.4 Valores do estoque de carbono da biomassa e do solo das áreas florestais e de pastagem

Para calcular o estoque de carbono em cada classe de uso e cobertura do solo (áreas florestais e de pastagens), foram considerados quatro compartimentos: i) biomassa viva acima do solo; ii) biomassa viva abaixo do solo; iii) matéria orgânica; iv) camada do solo de 0-30 cm.

Os dados de carbono para cada compartimento da vegetação e do solo foram selecionados e extraídos do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa de 2015 (Brasil, 2015) e do mapa de carbono orgânico da camada de 0-30 cm do solo, a partir dos dados disponíveis em Vasques et al. (2017), e em mapa em formato *raster* com pixel de 1 x 1 m.

Como as áreas florestais do município de Cacoal são compostas por diferentes tipos de vegetação (Figura 2), foi obtida uma média ponderada dos estoques de carbono por hectare,

levando em consideração as porcentagens (%) desses tipos de vegetação presentes no município para o ano de 2024.

Com o mapa de uso e cobertura da terra no formato *raster* com pixels de 30 x 30 m e uma planilha com os dados de estoque de carbono para as áreas florestais e pastagens do município de Cacoal (Brasil, 2015), foi possível obter valores estimados do estoque de carbono para as áreas de floresta e pastagem com o uso do modelo *Carbon Storage and Sequestration* do software InVEST.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As florestas nativas e as pastagens são os dois principais usos da terra em Cacoal (Figura 4). As pastagens são o uso agropecuário que mais ocupa espaço em Cacoal e representam perto de 189,7 mil hectares ou 50,1% do município (Figura 4). Apesar de as pastagens serem o principal vetor de desflorestamento, tanto em Cacoal como em toda a Amazônia Brasileira, as áreas florestais de Cacoal ainda representam 46,9% do uso das terras ou 177,6 mil hectares (Figura 4). Este fato se deve muito à presença de grandes reservas indígenas que preservam e conservam os remanescentes florestais primários, formando enormes “blocos” florestais.

Os dados de carbono na biomassa para as áreas florestais presentes na Tabela 1 são resultados de uma média ponderada feita com base nas informações presentes no Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa de 2015 (Brasil, 2015). Esse valor abrange dados da biomassa acima e abaixo do solo e serapilheira, considerando a matéria orgânica do solo. Já os valores de carbono na camada de solo de 0-30 cm foram obtidos a partir do mapa de carbono orgânico disponível em Vasques et al. (2017).

Tabela 1. Valores de estoque de carbono (Mg/ha) para cada classe de uso do solo, de acordo com a pesquisa de revisão bibliográfica.

Classe de uso e cobertura	Carbono (Mg/ha)		
	Biomassa	Solo (0-30cm)	Total
Floresta	137,26	35,69	187,92
Pastagem	7,57	35,25	42,82

Os valores obtidos para o estoque de carbono na biomassa das áreas florestais e da pastagem (Tabela 1) para o ano de 2024 são compatíveis com os valores obtidos por Soares et al. (2023) em Rondônia, de 115,77 Mg/ha de C para formação florestal e de 8,2 Mg/ha de C para pastagem. Para os valores do estoque de carbono no solo, na profundidade de 0-30 cm, Soares et al. (2023) também encontraram valores semelhantes de 37,74 Mg/ha de C para áreas florestais e de 36,68 Mg/ha de C para estoque de carbono no solo em pastagens. O estudo de Rodrigues et al. (1999) comparou valores de estoque de carbono presentes na biomassa de pastagens e áreas

florestais no estado de Rondônia e encontrou valor de 148 Mg/ha de C para áreas florestais e 6,0 Mg/ha de C para áreas de pastagem.

Com os dados de estoque de carbono total da Tabela 1 e com a quantidade de área de uso e cobertura do solo (Figura 4), foi possível obter a quantidade de carbono total das áreas florestais e de pastagem de Cacoal usando o software InVEST. Os valores informados pelo mapa (Figura 5) elaborado a partir do InVEST mostram que o total de carbono estocado na biomassa e no solo das áreas de floresta nativa e de pasto da área é de 33.887.027,9 Mg, dos quais 33.371.998,38 Mg de C, ou 98,5%, correspondem às áreas florestais nativas, enquanto 515.029,52 Mg de C, ou somente 1,5%, correspondem às pastagens em 2024.

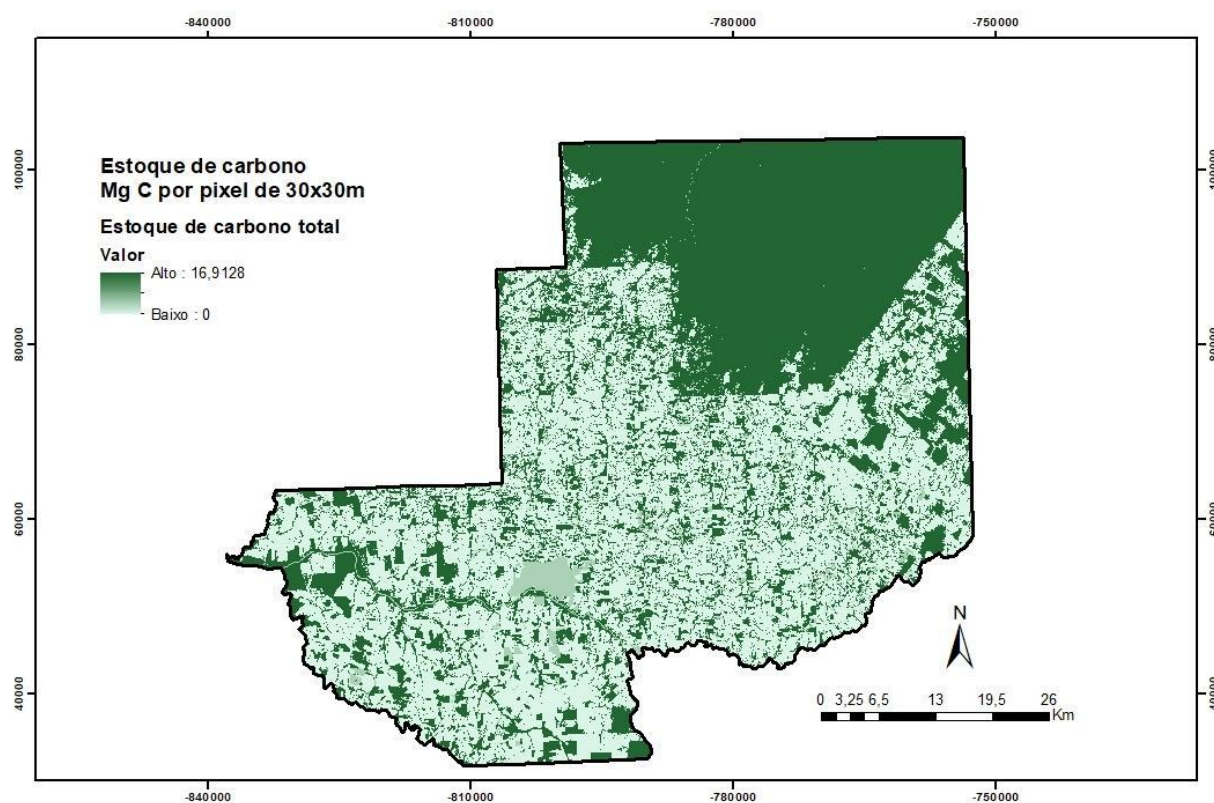


Figura 5. Mapeamento do estoque de carbono na área do município de Cacoal, calculado usando o InVEST. Fonte: Sharp et al. (2020).

A estimativa de estoque de carbono nos dois principais usos da terra de Cacoal para o ano de 2024 possibilita uma interpretação da dinâmica do estoque do carbono na paisagem, e pode contribuir para melhores decisões quanto às mudanças de uso e cobertura da terra. Através do mapa de estoque de carbono (Figura 5) é notável a mudança de distribuição espacial do carbono das áreas florestais quando comparadas às áreas de pastagem.



Os resultados obtidos demonstram a relevante diferença de carbono estocado nas áreas florestais em relação às pastagens e dá a noção da quantidade de carbono que é suprimida de uma área quando se substitui uma área florestal pelo plantio de pastagens. Os resultados devem servir de base para incentivar, promover e coordenar políticas públicas capazes de converter áreas de pastagem, principalmente degradadas ou atualmente inutilizadas, em reflorestamentos com espécies nativas da região e que levem à captura e ao estoque de carbono em nível superior ao da pastagem degradada.

Quanto ao avanço do desmatamento no país, o governo brasileiro retomou o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) com quatro eixos de ação, envolvendo atividades produtivas e sustentáveis do bioma, monitoramento e controle ambiental, ordenamento fundiário e territorial e instrumentos normativos e econômicos, com o objetivo de atingir uma Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, em inglês), na qual o país se propôs a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2030 (Brasil, 2023).

4. CONCLUSÃO

As áreas florestais são responsáveis por estocar 33.371.998,38 Mg de carbono, ou 98,5% do total de estoque de carbono presente na área em 2024, enquanto 515.029,52 Mg de carbono, ou somente 1,5%, foram estocadas pelas pastagens no mesmo ano em Cacoal. Os resultados obtidos reforçam a importância das áreas florestais para estocar carbono e, conseqüentemente, mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Políticas públicas devem incentivar o reflorestamento de áreas de pastagens degradadas ou inutilizadas e coibir o avanço do desmatamento, buscando a manutenção e o ganho dos estoques de carbono proporcionado pelas florestas nativas em todo o bioma. Também deve ser incentivado o manejo sustentável de pastagens, pois, quando bem manejadas, há ganho de produtividade e redução da necessidade de conversão de novas áreas em pasto.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa concedida, e à Embrapa, que permitiu, através de toda sua infraestrutura física e intelectual, a realização deste trabalho. Ao orientador Carlos Cesar Ronquim, pelo auxílio e pela transmissão de conhecimento e informação. Aos pesquisadores Lauro Rodrigues Nogueira Jr. e Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues e à bolsista Fabiana da Silva Soares, pela contribuição teórica e prática para desenvolvimento da pesquisa.



6. REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), 2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/combate-ao-desmatamento/amazonia-ppcdam-1/5a-fase-ppcdam.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Sistema de Registro Nacional de Emissões - SIRENE**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/sistema-de-registro-nacional-de-emissoes-sirene>. Acesso em: 27 maio 2024.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. **Relatórios de referência**: setor uso da terra, mudança do uso da terra e floresta. 2015. Disponível em: http://redd.mma.gov.br/images/FREL/RR_LULUCF_Mudana-de-Uso-e-Floresta.pdf. Acesso em: 12 jun. 2024.

IBGE. Banco de Dados de Informações Ambientais. **Pedologia**. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 8 jun. 2024.

IBGE. **Censo Brasileiro de 2022**. Rondônia: IBGE, 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual de Desmatamento - RAD**. jun. 2023. Disponível em: https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2024/03/RAD_2022.pdf. Acesso em: 27 maio 2024.

RODRIGUES, V. G. S.; CASTILLA, C.; COSTA, R. S. C. da; PALM, C. **Estoque de carbono em sistema de uso da terra em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa-CPAF Rondônia, 1999. 14 p. (Embrapa-CPAF Rondônia. Boletim de Pesquisa, 31).

RONQUIM, C. C.; ROCHA, N. C. V.; ALVES, E. A. **Levantamento e mapeamento do uso e cobertura da terra com ênfase nas áreas cafezeiras da região das Matas de Rondônia**. Campinas: Embrapa Territorial, 2024. 79 p. (Embrapa Territorial. Documentos, 155).

SHARP, R.; DOUGLASS, J.; WOLNY, S.; ARKEMA, K.; BERNHARDT, J.; BIERBOWER, W.; CHAUMONT, N.; DENU, D.; FISHER, D.; GLOWINSKI, K.; GRIFFIN, R.; GUANNEL, G.; GUERRY, A.; JOHNSON, J.; HAMEL, P.; KENNEDY, C.; KIM, C. K.; LACAYO, M.; LONSDORF, E.; MANDLE, L.; ROGERS, L.; SILVER, J.; TOFT, J.; VERUTES, G.; VOGL, A. L.; WOOD, S.; WYATT, K. **InVEST 3.11.0. User Guide**. The Natural Capital Project. Stanford University; University of Minnesota; The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2020.

SOARES, F. DA S. Carbon Storage and Sequestration in Amazonian Rural Properties Supported by the Carbon Storage and Sequestration Model. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 24., 2023, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2023. p. 175-186. Disponível em: https://www.geoinfo.info/geoinfo2023/proceedings2023_red.pdf. Acesso em: 13 jun. 2024.

VASQUES, G. de M.; DART, R. de O.; BACA, J. F. M.; CEDDIA, M. B.; MENDONÇA SANTOS, M. de L. **Mapa de estoque de carbono orgânico do solo (COS) a 0-30 cm do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.