

Dinâmica do uso e cobertura da terra em Jari (RS) e cenários de expansão da soja entre 2025-2030

Dynamics of land use and land cover in Jari (RS) and soybean expansion scenarios between 2025-2030

Eric Moisés Beilfuss*, Carina Petsch**, Romario Trentin***

*Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, ericmoisesb@outlook.com

**Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, carinapetsch@gmail.com

***Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, romario.trentin@gmail.com

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v60i0.95302>

Resumo

Nas últimas décadas, no Bioma Pampa, observou-se uma rápida transição das áreas de formação campestre para lavouras de soja. Este artigo tem como objetivo simular a expansão da soja em Jari (RS), Brasil, para o período entre 2025 a 2030. Metodologicamente, utilizou-se o *software* Dinamica EGO. Os dados dinâmicos inseridos se referem ao uso e cobertura da terra do projeto MapBiomias 8.1, dos anos de 2000 e 2022. Os dados estáticos se referem a altitude, declividade, formas de relevo e solos. Quanto aos resultados, identificou-se um aumento de 33% na área de cultivo de soja entre 2000 e 2022, com redução significativa nas áreas de campo. A probabilidade de transição de campo para lavouras de soja é maior em proximidades de áreas com mosaico de usos, e menor nas imediações de porções com floresta. O Dinamica EGO apresentou uma exatidão global de 65,6%, comparando o mapa real com o simulado do ano de 2022. Salienta-se que o *software* teve maior dificuldade na estimativa de pequenas lavouras de soja, que foram implantadas em terrenos menos indicados para o cultivo, como de maior declividade. Dessa forma, as projeções indicam a continuidade no aumento na área de cultivo de soja até 2030, abrangendo 51% da área do município, a partir principalmente da substituição de áreas de campo natural. Desta forma, destaca-se a importância da continuidade no monitoramento da expansão da soja no Bioma Pampa.

Palavras-chave: Bioma Pampa, Expansão da soja, Simulação espacial, Dinamica EGO, MapBiomias.

Abstract

In recent decades, there has been a rapid transition from rural areas to soybean crops in the Pampa Biome. This article aims to simulate the expansion of soybeans in Jari (RS), Brazil, between 2025 and 2030. Methodologically, the Dinamica EGO software was used. The dynamic data entered refers to land use and coverage from the MapBiomias 8.1 project, from the years 2000 and 2022. The static data refers to altitude, slope, relief forms, and soils. As for the results, a 33% increase in soybean cultivation area was identified between 2000 and 2022, with a significant reduction in field areas. The probability of transition from field to soybean crops is greater near areas with a mosaic of uses and lower near areas with forest. Dinamica EGO presented an overall accuracy of 65.6%, comparing the real map with the simulated one from the year 2022. It should be noted that the software had greater difficulty in estimating small soybean crops, which were implemented in lands less suitable for cultivation, as with greater slope. Therefore, projections indicate a

continued increase in soybean cultivation area until 2030, covering 51% of the municipality's area, mainly due to the replacement of natural field areas. In this way, the importance of continuing to monitor the expansion of soybeans in the Pampa Biome stands out.

Keywords: Pampa Biome, Soybean expansion, Spatial simulation, Dinamica EGO, MapBiomas.

I. INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das atividades mais antigas de interação do ser humano com o meio ambiente (MAZOYER, 2010; HARARI, 2018; SKENDŽIĆ et al., 2021). Ao longo dos séculos, houve uma evolução nesse setor, especialmente na segunda metade do século XX, quando ocorreu um intenso processo de modernização da agricultura em nível global (DE OLIVEIRA GERARDI, 1980; GRAESSER et al., 2015; GRAESSER; RAMANKUTTY; COOMES, 2018; LOBÃO; STADUTO, 2020). Atualmente, a soja é a maior fonte mundial de proteína para alimentação animal e a segunda maior fonte de óleo vegetal (SONG et al., 2021).

No contexto da expansão agrícola, a soja emergiu como uma cultura de destaque, representando um vetor de transformação da paisagem rural (ANHOLETO; MASSUQUETTI, 2015; CHIARAVALLIOTI et al., 2022; GASS; DA SILVA; DE ARRUDA, 2024; KEYS; McCONNELL, 2024). Nesse sentido, provocou profundas alterações no uso e cobertura da terra na América do Sul (GRAESSER et al., 2015; GRAESSER; RAMANKUTTY; COOMES, 2018).

Para o Brasil, a modernização e expansão da agricultura fomentaram a substituição de importações e o desenvolvimento de tecnologias de manejo dos solos, permitindo, por exemplo, a plantação no Cerrado (SILVA; ARIMA, 2023). Essa modernização, embora tenha trazido avanços significativos em termos de produtividade e eficiência, também trouxe desafios ambientais e sociais (FOLEY et al., 2005; LAMBIN; MEYFROIDT, 2011; MAEDA et al., 2011; ANDRADE; COLLICCHIO, 2022).

Apesar dos esforços de conservação, a perda de vegetação nativa, especialmente na Amazônia, no Cerrado e no bioma Pampa, continua sendo significativa (HASENACK et al., 2007; FERREIRA et al., 2013; DA COSTA SILVA, 2016; MAIA et al., 2019; SONG et al., 2021; ALENCAR et al., 2022; MARCOVITCH, 2022; CERQUEIRA; GOMES, 2023; HINATA; BASSO; REKOWSKY, 2023). Dessa forma, o dilema entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental provoca tensões (DOS SANTOS; FÁVARO; DA ROCHA FILHO, 2022), já que o país se tornou um dos maiores produtores de soja do mundo (ANDRADE; COLLICCHIO, 2022).

A modelagem desempenha um papel crucial na compreensão dos fatores que influenciam a dinâmica passada e futura do uso e cobertura da terra (RODRIGUES; SOARES-FILHO; COSTA, 2007; OSIS, LAURENT;

POCCARD-CHAPUIS, 2019; HINATA; BASSO; REKOWSKY, 2023). Dentre os diversos *softwares* disponíveis para esse fim, optou-se pelo Dinamica EGO nesta pesquisa, desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil (CSR-UFMG). O Dinamica EGO é um *software* livre projetado especificamente para modelar mudanças ambientais (SOARES-FILHO et al., 2002; RODRIGUES; SOARES-FILHO; COSTA, 2007). Por consequência, o *software* foi usado para simular mudanças no uso e cobertura da terra na Amazônia (OSIS; LAURENT; POCCARD-CHAPUIS, 2019; MAEDA et al., 2011; SILVA; BLANCO; OLIVEIRA JUNIOR, 2022; ANDRADE; COLLICCHIO, 2022), no Cerrado (FERREIRA et al., 2013; CHIARAVALLIOTI et al., 2022; SILVA; ARIMA, 2023), e no bioma Pampa (BASSO; SANTOS, 2021; HINATA; BASSO; REKOWSKY, 2023).

Na América do Sul, os campos e pampas se estendem por uma área de aproximadamente 750.000 km², compartilhada por Brasil, Uruguai e Argentina. No Brasil, o bioma Pampa está restrito ao Rio Grande do Sul, onde ocupa 178.243 km². Os dados da plataforma MapBiomas Pampa (<https://pampa.mapbiomas.org/>) indicam uma mudança significativa no bioma Pampa gaúcho entre 1985 e 2022. Em 1985, o campo nativo cobria aproximadamente 89.000 km² (46,6%), enquanto a produção de soja ocupava 8.280 km² (4,3%), concentrada no norte do bioma. Em 2022, a área de soja expandiu-se para 39.000 km² (20,4%), avançando para as porções centrais do Rio Grande do Sul e áreas próximas à Lagoa dos Patos. Essa expansão resultou na perda de 29.000 km² de campo nativo.

Partindo dessas premissas, este artigo tem como objetivo simular a expansão da soja em Jari (RS) no período entre 2025 e 2030. A escolha do município se justifica devido a expansão da soja nas últimas duas décadas e a dependência econômica em relação a essa monocultura, portanto é importante compreender em quais porções de Jari (RS) é possível ocorrer o avanço das plantações. Salienta-se que Jari (RS) está localizado no bioma Pampa.

Área de Estudo

O município de Jari (RS) está localizado na região sul do Brasil, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1 B e C), entre as coordenadas geográficas 29°08'92" a 29°46'07" de latitude sul e 54°07'59" a 54°50'75" de longitude oeste (Figura 1 A), com uma área de 853,080 km².

Ressalta-se que em relação a distribuição do PIB (Produto Interno Bruto) no município, a partir do Valor Adicionado Bruto (VAB) constatou-se o valor de aproximadamente R\$ 462.301,70 no ano de 2021. De acordo com o IBGE, a maior parcela de contribuição provém do setor agropecuário, totalizando R\$ 377.841,11 (80,6%). Em seguida, os serviços contribuem com R\$ 46.620,51 (9,9%), enquanto outra parcela de R\$ 26.344,44 (5,6%)

refere-se à administração, defesa, educação, saúde pública e seguridade social. A indústria tem uma participação relativamente baixa, contribuindo com apenas R\$ 11.495,65 (2,5%), seguida pelos impostos sobre produtos líquidos de subsídios, que totalizam R\$ 6.703,65 (1,4%).

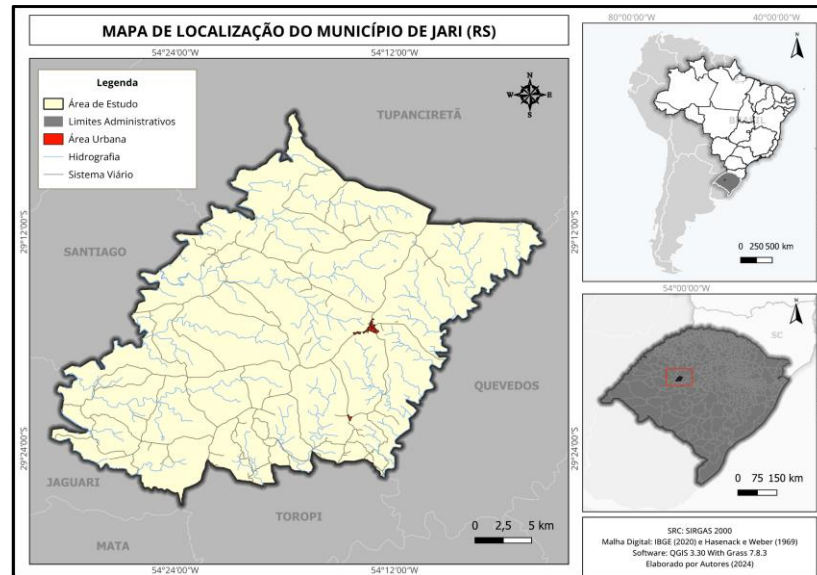


Figura 1 - Localização da área de estudo. (Fonte: Autores, 2024).

O município de Jari (RS) está situado em uma zona de Clima Subtropical II, com precipitação anual entre 1500 e 1700 mm, distribuída em 90 a 110 dias, segundo Rossato (2011). A porção noroeste do município está em uma faixa de transição entre os climas Subtropical II e III. O Clima Subtropical III apresenta temperaturas médias anuais de 17°C a 20°C, chegando a 20°C a 23°C na porção oeste, com chuvas entre 1700 e 1800 mm (ROSSATO, 2011). Beilfuss et al. (2022) indicam que Jari (RS) possui uma média anual de 1922 mm, variando entre 1000 mm e 2800 mm, entre 1990 e 2020, portanto, superior aos valores dispostos por Rossato (2011). Essas informações são cruciais para entender a ocorrência de precipitação em Jari (RS), impactando significativamente a agricultura.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo é de caráter quali-quantitativo, e utilizou o *software* Dinamica EGO, versão 3.0.17 (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009) para modelar cenários de expansão da cultura de soja para o município de Jari (RS). O modelo utiliza uma abordagem de autômato celular (CA), na qual a probabilidade de uma mudança no estado de uma célula é definida pelo seu estado anterior e pela disposição das células vizinhas, de acordo com um conjunto de regras de transição (WOLDEYOHANNES et al., 2020; VIEIRA et al., 2021).

Para elaborar os cenários de uso e cobertura da terra foram necessárias cinco etapas (Figura 2), sendo elas:

- (1) Cálculo das taxas de transição e probabilidades de transição por *pixel*;
- (2) Análise de correlação entre variáveis;
- (3) Alocação das mudanças de uso e cobertura da terra simuladas;
- (4) Avaliação do desempenho do modelo;
- (5) Simulação dos cenários futuros.

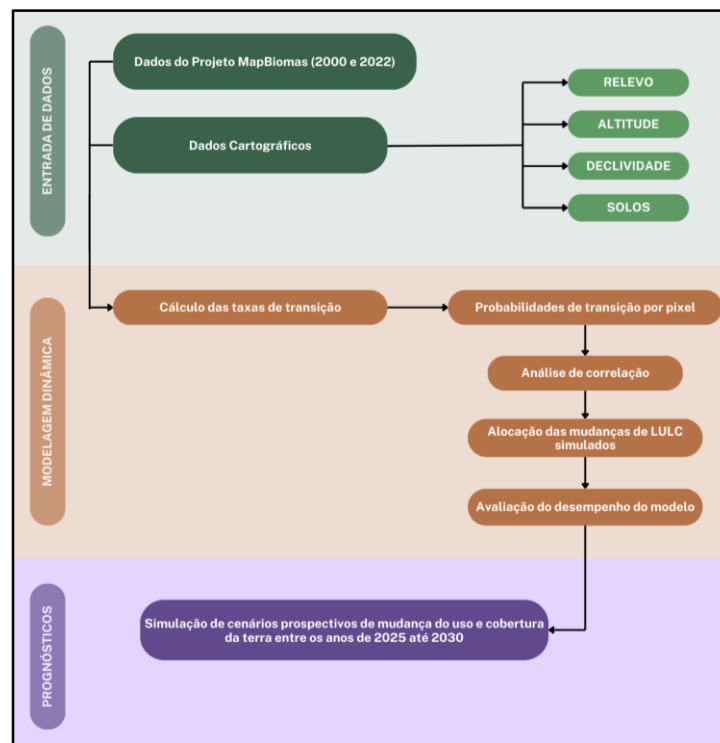


Figura 2 - Fluxograma utilizado no trabalho para o desenvolvimento dos cenários. (Fonte: Adaptado de Pisani, 2014).

Banco de dados e pré-processamento

Os dados referentes ao uso e cobertura da terra, foram obtidos no acervo do projeto MapBiomias 8 (SOUZA et al., 2020), acessado através da plataforma de computação em nuvem *Google Earth Engine* (GEE), referente aos anos de 2000 e 2022. De acordo com o Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) da mesma coleção, os dados do MapBiomias possuem uma acurácia de 90%.

Foram unidas algumas classes de uso e cobertura da terra para aumentar o tamanho de área de cada classe para permitir um melhor desempenho nas análises das células, feita pelo Dinamica EGO (Quadro 1). Salienta-se que a área urbana possui somente 38 km², portanto não foi considerada como uma classe

significativa para o modelo, sendo inserida em “mosaico de usos”. As áreas de campo alagado e área Pantanosa foram incluídas na classe de Campo, pois comumente os agricultores utilizam estes espaços para a criação de gado.

As classes de formação florestal e rios foram unidas, considerando que os rios são feições lineares de área muito pequena e estão predominantemente associados às áreas de floresta. Além disso, as áreas florestais possuem baixa probabilidade de transição para lavouras, portanto, como o foco da pesquisa são as áreas de expansão de soja, a união da classe de florestas e rios não implicou em alterações nos resultados almejados pelo estudo.

Quadro 1 - Classes de uso e cobertura da terra utilizadas para o desenvolvimento dos cenários

Subclasses de uso e cobertura da terra	uso e cobertura da terra reclassificado	Código (ID) reclassificado
Formação Florestal	Floresta	1
Formação Campestre	Campo	2
Campo Alagado e Área Pantanosa	Campo	2
Soja	Soja	3
Mosaico de Usos	Mosaico de Usos	4
Outras Lavouras Temporárias	Mosaico de Usos	4
Rio	Floresta	1
Área Urbanizada	Mosaico de Usos	4
Outras Áreas Não Vegetadas	Mosaico de Usos	4

Organizado por Autores (2024).

Além dos dados dinâmicos referentes à paisagem inicial (Uso e Cobertura da Terra de 2000) e à paisagem final (Uso e Cobertura da Terra de 2022), as variáveis estáticas foram unidas em um cubo *raster*, que incluiu: altitude, declividade, solos e formas de relevo. É importante ressaltar que as variáveis estáticas selecionadas para análise foram escolhidas com base em estudos anteriores (BEILFUSS, 2022; BEILFUSS et al., 2022; BEILFUSS; PETSCH; TRENTIN, 2023), levando em consideração tanto a qualidade quanto a disponibilidade dos dados.

O modelo digital de elevação (MDE), derivado da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), foi utilizado para gerar os mapas de altitude e declividade, e baixado do site *United States Geological Survey*

(<https://earthexplorer.usgs.gov>). O arquivo de formas de relevo foi obtido a partir do cruzamento dos dados de declividade e hipsometria, gerados a partir do MDE do TOPODATA, resultando em três classes: morros e morrotes, colinas onduladas e colinas suavemente onduladas. O mapa de solos foi extraído da classificação disponibilizada na plataforma do IBGE (2006) em uma escala de 1:250.000, com posterior validação em campo, a partir de perfis expostos em cortes nas principais estradas.

Taxas de transição globais e probabilidades de transição por *pixel*

As taxas de transição globais se referem à quantidade total de mudanças ocorridas para cada classe de uso e cobertura da terra durante o período observado, no caso deste estudo foram 22 anos. Dessa maneira, foram consideradas três transições específicas: (A) de floresta para soja; (B) de campo para soja; (C) de mosaico de usos para soja.

Em seguida, foi definida a probabilidade de transição de cada *pixel* utilizando os pesos de evidência (*WoE*), um método bayesiano que identifica as áreas mais favoráveis para mudanças no uso e cobertura da terra (SOARES-FILHO et al., 2002; SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009). Portanto, o método de pesos de evidência é usado para selecionar as variáveis independentes mais importantes que controlam as mudanças de uso e cobertura da terra e para quantificar suas influências em cada tipo de transição. Quanto maior o valor de $W+$, maior é a probabilidade de ocorrer uma determinada transição de uso e cobertura da terra, por outro lado, valores negativos de $W-$ indicam uma menor probabilidade de uma transição específica (MAEDA et al., 2010).

Análise de correlação

Esta etapa foi necessária para eliminar variáveis independentes redundantes espacialmente correlacionadas para explicar as transições de uso e cobertura da terra. Neste estudo, foram aplicados os testes *Joint Uncertainty Information* (U) e o teste de *Cramer* (V), para analisar o grau de dependência espacial entre as variáveis independentes.

Alocação das mudanças de uso e cobertura da terra simuladas

As funções para definir as transições entre células no Dinamica EGO são *patcher* e *expander* (SOARES-FILHO, 2002). O *expander* considera a expansão de manchas existentes de uma determinada classe de uso e cobertura da terra, enquanto o *patcher* é responsável por gerar novas manchas independentes, que não estão conectadas fisicamente com manchas anteriores da mesma classe de uso e cobertura da terra. Para determinar os parâmetros de calibração do modelo, foram conduzidas várias simulações com diferentes valores de

expander e *patcher*, sendo adotados respectivamente, 1% e 99%. Os valores de métricas da paisagem foram calculados no *software Fragstats*, para auxiliar nesta etapa de simulação.

Avaliação do desempenho do modelo

Foram inseridas duas datas iniciais para análise do modelo, sendo elas, o uso e cobertura da terra do ano de 2000 e 2022. Desta forma, o uso e cobertura da terra simulada pelo Dinamica EGO para 2022 foi comparado ao mapa de referência do mesmo ano, utilizando uma análise visual. Os parâmetros foram ajustados diversas vezes, o modelo foi reexecutado e reavaliado, a partir da geração de um mapa comparativo do cenário simulado com o real. Esse processo foi repetido até alcançar a máxima similaridade entre o mapa simulado e o de referência.

Para a validação, utilizou-se a Matriz de Confusão e o cálculo da exatidão global da classificação, comparando os arquivos *pixel a pixel*. Os processamentos foram realizados com o complemento SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*), disponível no *software* QGIS. Ressalta-se que o método de validação foi escolhido por ser considerado simples, mas eficaz na representação da precisão das simulações geradas.

Simulação de cenários futuros

Para observar as mudanças no uso e cobertura da terra de Jari (RS), especialmente a expansão da soja, foram gerados cenários entre 2025 e 2030. O ano de 2030 foi escolhido para ser o limite da aplicação do modelo, tendo em vista que extrapolar muitos anos poderia aumentar as chances de erro na modelagem.

III. RESULTADOS

Em relação às variáveis estáticas usadas no estudo, a seguir se apresentam suas descrições. O município de Jari (RS) apresenta um relevo com altitudes variando entre 127 e 465 metros (Figura 3 D). Em relação à declividade do terreno (Figura 3 C), há predominância na classe de 2 a 5% (43%). A área de estudo possui a ocorrência de três tipos de solos (Figura 3 A), com predominância do Neossolo (56,7%). O Argissolo ocupa 38,7% do município e o Latossolo se refere a 4,6%. Em relação às formas de relevo (Figura 3 B), com maior predominância, as colinas onduladas representam 64,9% do território (556 km²). As colinas suavemente onduladas, representam 17,7% do território (152 km²). Representando 17,4% do total da área de estudo, estão as associações de morros e morrotes (149 km²), no Rebordo do Planalto.

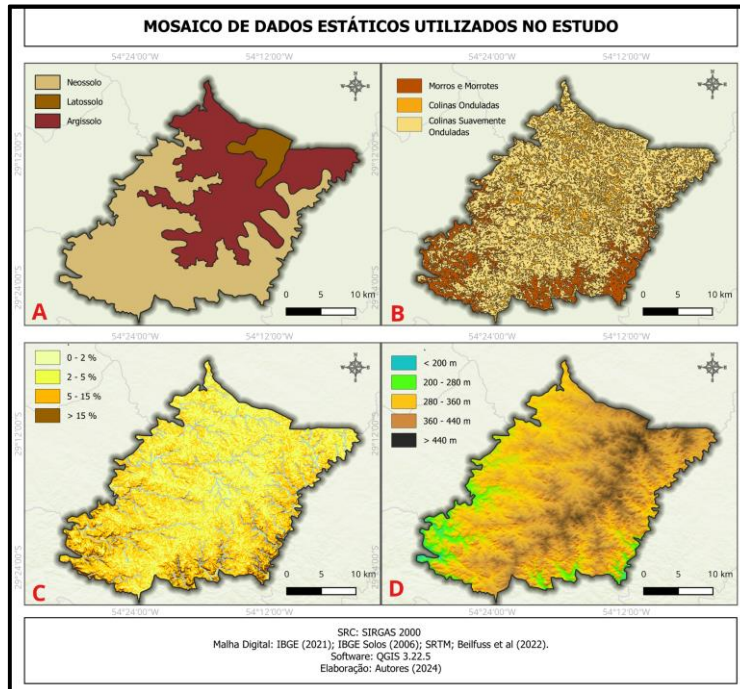


Figura 3 - Bases cartográficas utilizadas para o estudo: solos (A), formas de relevo (B), declividade (C) e altitude (D). (Fonte: Autores,2024).

Taxas de transição no uso e cobertura da terra do município de Jari (RS)

Em 2000 (Figura 4 A), o município de Jari (RS) apresentava 10,8% de sua área destinada ao cultivo de soja, o que correspondia a 62,11 km², com a maior concentração nas regiões ao norte do município. Em 2022 (Figura 4 B), observou-se um aumento significativo nas áreas dedicadas à produção de soja, que se expandiram do norte ao sul, concentrando-se principalmente nas porções centrais. Nesse ano, a soja cobria aproximadamente 370 km², representando 43,3% da área total do município.

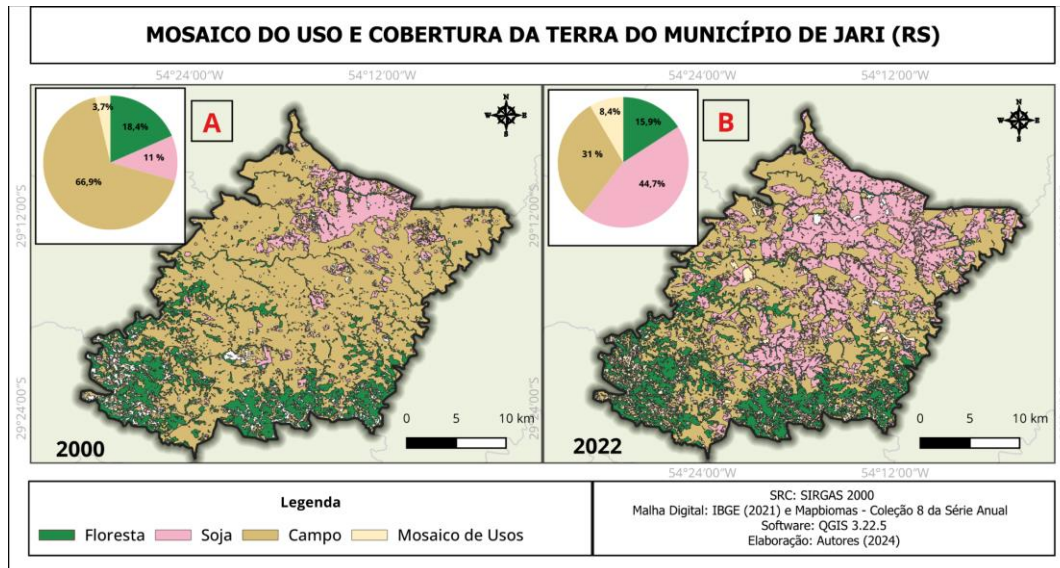


Figura 4 - Uso e cobertura da soja no município de Jari (RS) de 2000 (A) e 2022 (B). (Fonte: Autores,2024).

As mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra mostram uma redução na classe de campo de 34%, e para a floresta houve a redução de 2%, comparando o ano de 2000 com 2022. No que se refere ao mosaico de usos, houve aumento de 5%. A cultura da soja apresentou aumento de 33%, entre 2000 e 2022 (Quadro 2).

Quadro 2 - Aumento e a perda de área das classes de uso e cobertura da terra em Jari (RS), com referência ao ano de 2000. Valores negativos representam perdas e valores positivos representam ganhos.

Uso e Cobertura da Terra	2000		2022		2000 – 2022	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Floresta	149	17	131	15	-18	-2
Soja	89	10	370	43	281	33
Campo	544	68	257	30	-287	-34
Mosaico de Usos	30	3	70	8	40	5

Organizado por Autores (2024).

A taxa de transição bruta para o período entre 2000 e 2022 demonstra a maior possibilidade de transformação de campo e mosaicos de uso para soja, sendo respectivamente de 48,2% e 31,7% (Tabela 2).

Tabela 2 - Taxas de transição dos usos e coberturas da terra para a cultura da soja.

Linha de base 2000 – 2022

Transição	Taxa anual (%)
-----------	----------------

Floresta para Soja	3,7
Campo para Soja	48,2
Mosaico de Usos para Soja	31,7

Fonte: Autores (2024).

Correlação das variáveis e cálculo dos pesos de evidência

No que se refere à correlação das variáveis, não foi observada dependência espacial nas variáveis utilizadas neste estudo. O maior valor de U foi de 0.195 entre distância de campos para mosaicos de usos. O maior valor de V foi encontrado entre as variáveis de distância para campo e distância para mosaico de usos (0,081). Bonham-Carter (1994) indicam que valores inferiores a 0,5, para estes índices, sugerem a dependência espacial baixa e que podem ser mantidas no modelo.

As probabilidades de transição nas células são calculadas com base nos pesos dos valores de evidência atribuídos a cada intervalo de variáveis. A transição de campo para soja é a que mais ocorreu na área de estudo. Em relação à distância para a floresta (Figura 5 A), observa-se que a partir de 225m, há maior probabilidade de os *pixels* sofrerem a transição de campo para soja, ou seja, correspondendo a porções de alta vertente. No que diz respeito à distância em relação a áreas de Mosaico de Usos (Figura 5 B), até 940 m, há probabilidade maior de transição destes *pixels* de campo para soja.

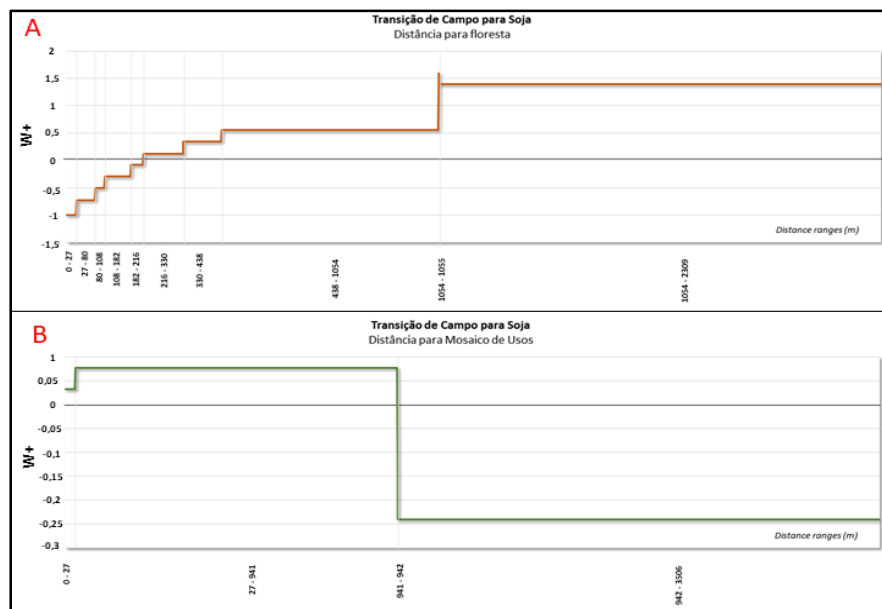


Figura 5 - Valores de pesos de evidência ($W +$) obtidos nas simulações considerando: (A) a variável 'distância até floresta' em relação à transição 'campo para soja'; (B) a variável 'distância para mosaico de usos' em relação à transição 'campo para soja'. (Fonte: Autores,2024).

A análise da probabilidade de transição de campo para soja, para cada *pixel*, foi simulada (Figura 6 A) e comparada com a transição real (Figura 6 B), obtendo resultados similares. Avaliando a simulação, as regiões centrais e algumas áreas ao oeste apresentam maior probabilidade de desenvolver a produção de soja. Por outro lado, as áreas com menor probabilidade estão localizadas próximas às Áreas de Preservação Permanente (APP), onde o terreno é mais acidentado, caracterizado pela presença de morros e morrotes. A análise da transição de uso e cobertura da terra entre os anos de 2000 a 2022 (Figura 6 B) demonstra que a soja se expande pela porção central, sendo limitada apenas por relevos acidentados próximos aos canais de drenagem e ao Rebordo do Planalto, na porção sul.

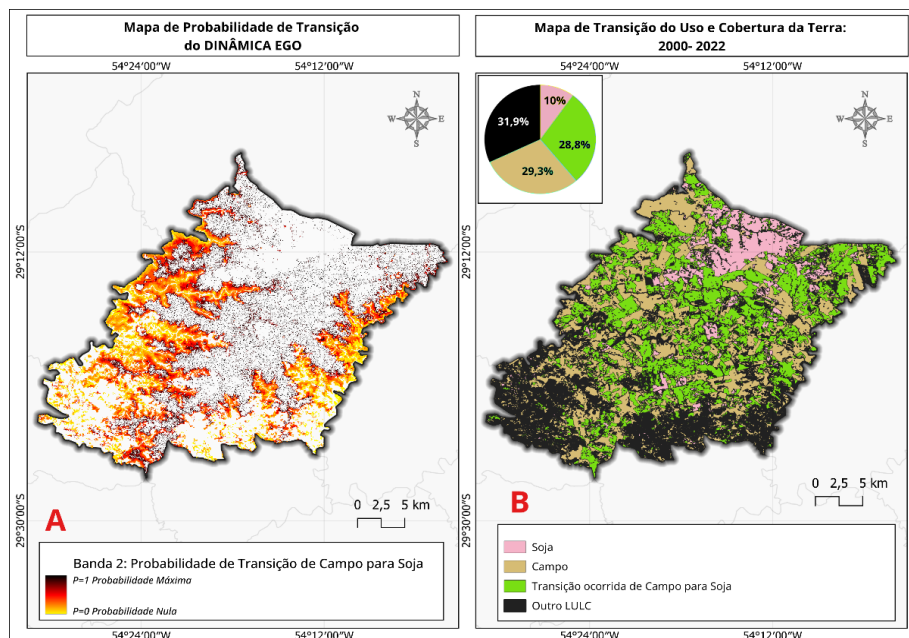


Figura 6 - A: Probabilidade de transição pelo Dinamica EGO; B: Transição de uso e cobertura da terra 2000 - 2022. (Fonte: Autores,2024).

Calibração e avaliação do desempenho do modelo

Comparando o modelo simulado (Figura 7 B) com o mapa real de uso e cobertura da terra de 2022 (Figura 7 A), quantitativamente, têm-se erros percentuais absolutos menores para as classes de floresta, campo e soja, respectivamente com 11%, 11% e 6%. A classe de mosaicos de usos apresentou o erro absoluto de 70%, devido a diversidade de usos e coberturas da terra agrupadas nesta classe. A Figura 7 C demonstra as áreas de soja estimadas corretamente pelo modelo.

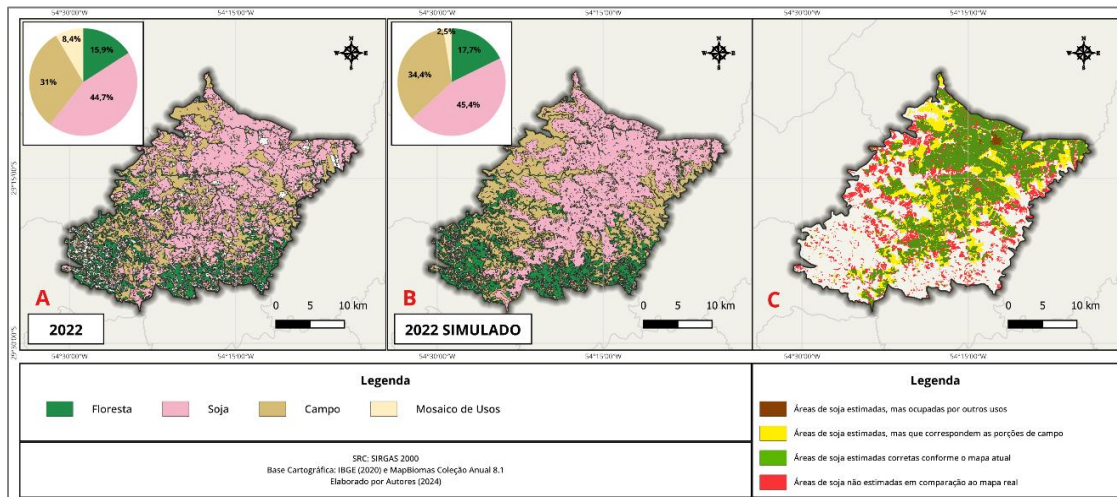


Figura 7 - A: Mapa de uso e cobertura da terra real de 2022; B: Mapa simulado de uso e cobertura da terra de 2022; C: Diferença do mapa real com o simulado de 2022. (Fonte: Autores,2024).

A partir da análise comparativa entre os dados do mapa simulado e o mapa real de uso e cobertura da terra de 2022, constatou-se uma exatidão global de aproximadamente 65,6%. Com base na análise da matriz de confusão, que contabilizou os *pixels* de cada classe em comparação ao mapa real (Quadro 3), verificou-se que a classe de floresta apresentou a melhor precisão na classificação dos *pixels*. Dos 170.704 *pixels* da classe de floresta no mapa real de 2022, 88,4% foram classificados corretamente.

Quadro 3 - Matriz de confusão a partir da contagem de *pixels* do mapa simulado em comparação ao mapa real de uso e cobertura da terra de 2022.

Matriz de Confusão (por contagem de <i>pixels</i>)								
Classe	Floresta	%	Soja	%	Campo	%	Mosaico de Usos	%
Floresta	150.937	88,4	7.161	1,5	8.074	2,4	22.985	26,6
Soja	3.187	1,9	333.347	71,2	120.695	36,6	20.535	23,8
Campo	12.445	7,3	124.317	26,5	195.553	59,6	30.544	35,4
Mosaico de Usos	4.135	2,4	3.432	0,7	5.360	1,6	12.297	14,2
Total de <i>Pixels</i>	170.704	100	468.257	100	329.682	100	86.361	100

Organizado por Autores (2024).

No que diz respeito à classe de soja, 71,2% dos *pixels* foram corretamente classificados em relação ao mapa real, como é observado no Quadro 3. A classe de campo apresentou uma taxa de classificação correta de 59,6%. Por outro lado, a classe de mosaico de usos demonstrou um desempenho insatisfatório, com apenas 14,2% dos *pixels* corretamente classificados (Quadro 3). A maioria dos *pixels* dessa classe foi erroneamente atribuída a outras classes, especialmente à classe de campo, que absorveu 30.544 *pixels* (35,4%) originalmente pertencentes ao mosaico de usos.

Simulação de cenários até 2030

A simulação dos cenários para o município de Jari (RS), demonstra considerável aumento na área de soja. No último ano, com dados disponíveis no MapBiomass (2022), a cultura ocupava uma área de 370 km², em 2030, projeta-se 437 km², o que representa 52,6% da área total do município. Por conseguinte, o campo será significativamente impactado, perdendo 34,4 km² de área no período de 2025 a 2030 (Figura 8).

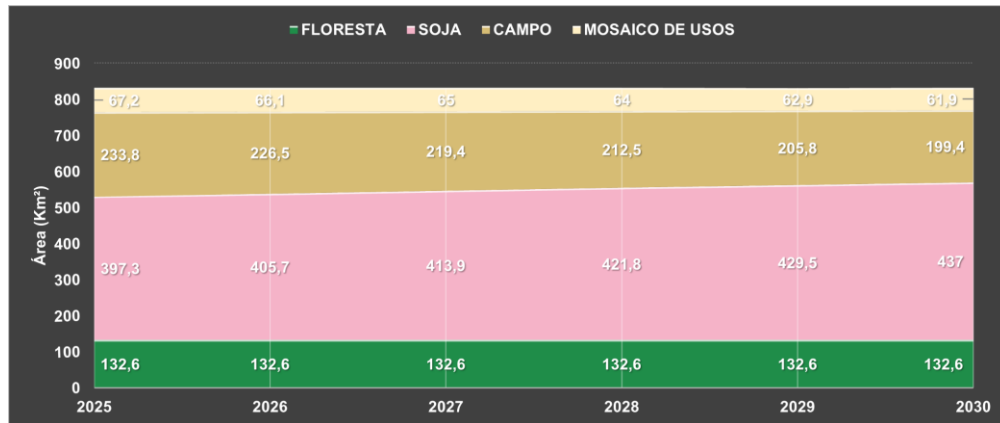


Figura 8 - Área do uso e cobertura da terra do município de Jari (RS) dos anos de 2025 a 2030. (Fonte: Autores,2024).

Especialmente, nos anos de 2025 a 2030 (Figura 9 A e B), a expansão da soja se concentra nas regiões centrais, relacionadas principalmente com a substituição das áreas de campo. Posteriormente, nota-se que a cultura da soja avançará em direção às poucas porções sul do município em que ainda restam áreas de campo, especialmente na região sudoeste, próxima às áreas florestais e às encostas mais íngremes do Rebordo do Planalto.

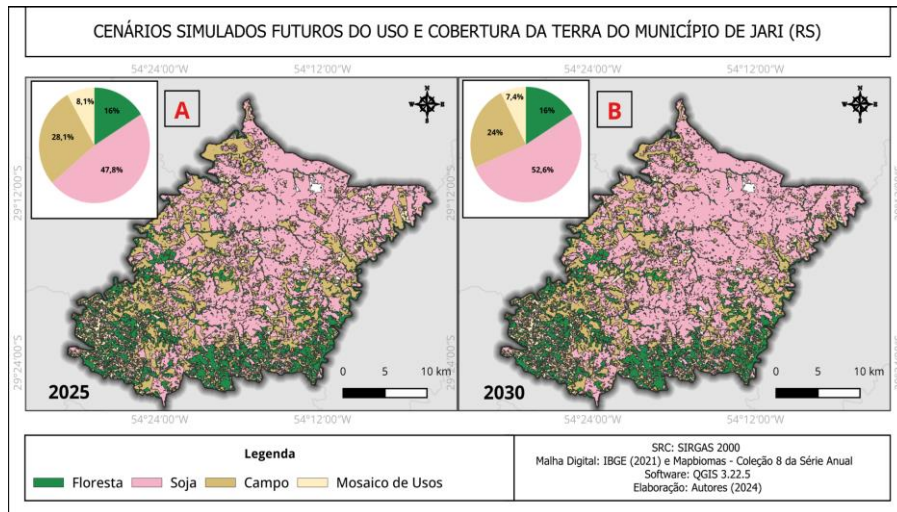


Figura 8 – Cenários simulados de uso e cobertura da terra para 2025 e 2030. (Fonte: Autores,2024).

IV. DISCUSSÕES

O estudo demonstrou o aumento de 33% da cultura de soja no município de Jari (RS) entre os anos de 2000 e 2022. Estes dados corroboram com outros estudos que apontam a substituição das áreas de campo pela soja, em todo o bioma Pampa, nas últimas décadas (OLIVEIRA et al., 2017; KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018; MENGUE et al., 2020; PETSCH et al., 2022). O modelo indicou a continuidade na expansão da soja em Jari (RS), sendo que mais da metade da área do município poderá ser ocupada por essa cultura, ligada à continuidade da substituição de áreas de campo, e em segundo plano, a substituição de outras culturas temporárias.

A substituição de campos naturais por lavouras está ligada a diversos fatores, como o aumento do preço da soja, o esgotamento das áreas destinadas à pecuária e o forte impulso do mercado internacional de *commodities* agrícolas, que tem motivado os produtores a buscarem novas áreas para a conversão ao cultivo de soja (ROCHA et al., 2018; BEILFUSS, 2022; CHIACCHIO; LÍRIO DE SOUSA, 2024). Muitas dessas áreas naturais do Bioma Pampa encontram-se em uma situação de sobrepastejo, caracterizada pela grande quantidade de animais por hectare em áreas de formação campestre, o que causa a degradação do solo (KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018). Por outro lado, a inserção da agricultura resultará em uma perda significativa de biodiversidade, especialmente devido ao uso intensivo de agrotóxicos nas lavouras (BOLDRINI, 2009; HASENACK et al., 2019). Dessa forma, ambas atividades são impactantes para a formação vegetal natural do bioma Pampa.

Além disso, verificou-se uma expansão do cultivo de soja em solos rasos e mais declivosos entre 2000 e 2022. Tal fenômeno deve-se à pressão para aumentar as áreas cultivadas e ao esgotamento dos terrenos mais favoráveis, impulsionado por investimentos em tecnologias e maquinários eficientes no setor agrícola e à

elevada rentabilidade da produção de soja (OVERBECK et al., 2009; PETSCH et al., 2022; TRENTIN; LAURENT; ROBAINA, 2023). No município de Jari (RS), apesar de a declividade dificultar a expansão da soja, não a impede completamente, conforme os resultados do modelo indicaram.

Isto posto, destaca-se que as porções onde o *software* Dinamica EGO teve maior dificuldade de estimar a presença da soja, se referem a pequenas lavouras mais ao sul do município. Essas áreas representam lavouras recentemente estabelecidas e exibem características distintas em comparação com aquelas ao norte, no qual o modelo foi treinado, a partir da transição para lavouras de soja, com características ambientais mais favoráveis ao cultivo. Destaca-se que os modelos aprendem a relação entre os padrões históricos de uso e cobertura da terra e as variáveis explicativas (ARSANJANI et al., 2013). Para aumentar a acurácia do modelo, Jining et al (2019) apontam que outros anos podem ser incluídos para o treinamento do *software*, em relação ao uso e cobertura da terra.

No caso do município de Jari (RS), as florestas se limitam a áreas de preservação permanente nas margens de rios e altas declividades, portanto, com baixa transição para áreas de cultivo de soja. Por conseguinte, observou-se que a área de floresta permaneceu praticamente inalterada perante o avanço da soja simulado até 2030, já que houve a maior alteração nas gramíneas, vegetação natural da região. Isso contrasta com os padrões de desmatamento observados em outros biomas, como na Amazônia, onde a expansão agrícola tem causado uma redução significativa das áreas florestais (MAEDA et al., 2011; OLIVEIRA; DOS SANTOS; FERREIRA, 2019). Enquanto no Sul do país as áreas de pastagens naturais, são substituídas para a introdução de culturas de grãos, no Norte, paradoxalmente, a mata nativa tem sido desmatada para ser ocupada pela pecuária, o que há de comum em ambas as situações é a devastação dos recursos naturais (MATTE; WAQUIL, 2020).

Quanto aos dados estáticos usados no Dinamica EGO, salienta-se que podem haver limitantes, como a disponibilidade, escala adequada ou a confiabilidade dos dados. Principalmente, tendo em vista que diversos determinantes espaciais, como a qualidade do solo, precipitação ou as características socioeconômicas, influenciam a expansão e a intensificação agrícola (MEYFROIDT, 2016). Nesse estudo, por exemplo, foi necessário realizar a validação do solo em campo para aumentar a precisão do mapeamento, enquanto dados de precipitação não foram usados devido à ausência de estações meteorológicas com mais de 30 anos de dados registrados.

Quanto aos dados dinâmicos, destaca-se que o uso do projeto MapBiomas aliado ao Dinamica EGO pode fornecer um método relativamente rápido e sem custos, pois os *softwares* e dados são gratuitos, para a projeção

da expansão da soja nas próximas décadas. Contudo, houve a necessidade de realizar uma reclassificação das uso e cobertura da terra do Map Biomas para permitir o processamento em computadores não tão robustos. Como observado por Batty et al. (1999), quanto maior o número de classes, maior será a complexidade do modelo. Salienta-se, como fator negativo, que a resolução espacial do MapBiomas não fornece detalhes para, por exemplo, estudar sub bacias hidrográficas (HINATA; BASSO; REKOWSKY, 2023), mas para municípios ou bacias hidrográficas maiores, os dados são adequados, permitindo avanços nestas temáticas.

V. CONCLUSÕES

O avanço da soja em Jari (RS), de acordo com os dados da modelagem, irá continuar ocorrendo nos próximos anos, ocupando mais da metade do município, em 2030. Os cenários simulados no Dinamica EGO mostram que principalmente as porções ocupadas pelos campos poderão ser convertidas para a soja. Nesse contexto, torna-se imprescindível considerar a preservação do bioma Pampa e a implementação de políticas públicas voltadas para a proteção de sua biodiversidade. O bioma Pampa, em particular, encontra-se cada vez mais vulnerável à conversão para o cultivo da soja, portanto, carece de legislação específica para sua preservação, ressaltando a urgência de medidas adequadas de conservação.

Basicamente, observou-se entre 2000 e 2030, a consolidação da soja em cenários mais favoráveis à produção do grão, em seguida, uma expansão para cenários menos favoráveis, como solos rasos e com maior declividade, no sul do município. Os cenários simulados demonstram dois processos de conversão para as lavouras de soja, com maior ocorrência do segundo. O primeiro relacionado a conversão de áreas próximas a grandes lavouras de soja, ligadas a função *expander* do Dinamica EGO, principalmente na porção norte e central do município. O segundo diz respeito a pequenas manchas que surgem em terrenos menos favoráveis, ligadas a função *patcher* do modelo, localizadas mais ao sul do município.

Por fim, é fundamental inserir outros dados na modelagem, em estudos futuros, principalmente ligados à dinâmica climática que impacta diretamente na produção dos grãos. Tendo em vista que em municípios como Jari (RS), ligados à monocultura, um período de seca durante o plantio e desenvolvimento das plantas, pode conduzir uma quebra econômica no município. Para tanto, recomenda-se explorar dados provenientes de modelos climáticos, caso não tenha a disponibilidade de estações meteorológicas.

VI. REFERÊNCIAS

- ALENCAR, A.; SILVESTRINI, R.; GOMES, J.; SAVIAN, G. Amazônia em chamas: o novo e alarmante patamar do desmatamento na Amazônia. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia-IPAM, 2022.
- ANDRADE, A. D. M.; COLLICCHIO, E. Prospective analysis of soybean distribution in the Tocantins state considering climate change scenarios. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 52, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272969>.
- ANHOLETO, C. D.; MASSUQUETTI, A. A soja brasileira e gaúcha no período 1994-2010: uma análise da produção, exportação, renda e emprego. *Revista Economia e Desenvolvimento*, v. 13(2), (2015), p. 379-404.
- ARSANJANI, J. J.; HELBICH, M.; KAINZ, W.; BOLOORANI, A. D. Integration of Logistic Regression, Markov Chain and Cellular Automata Models to Simulate Urban Expansion. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformações*, v. 21, 2013, p. 265–275.
- BATTY, M.; XIE, Y.; SUN, Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, environment and urban systems*, v. 23, n. 3, 1999, p. 205-233. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0198-9715\(99\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0198-9715(99)00015-0).
- BEILFUSS, E. *Elaboração e Análise do Atlas Geoambiental do Município de Jari - RS. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia Bacharelado) - Universidade Federal de Santa Maria, 2022. Acessado em: 12 de dezembro de 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/30230>.*
- BEILFUSS, E. M.; PETSCH, C.; BEN, F. D.; ROBAINA, L. E. D. S.; TRENTIN, R.; SCCOTI, A. A. V. *Atlas Geoambiental de Jari-RS, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/27509>. Acessado em: 12 de dezembro de 2023.*
- BEILFUSS, E.; PETSCH, C.; TRENTIN, R. O avanço da soja no município de Jari (rs) e sua relação com atributos do relevo e solo. *Anais do 14° SINAGEO – Simpósio Nacional de Geomorfologia, Corumbá (MS), 2023.*
- BOLDRINI, I. L. *A flora dos campos do Rio Grande do Sul. Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade, 2009, p. 63-77. ISBN 978-85-7738-117-3.*
- BONHAM-CARTER, G. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Elsevier, 1994.*
- CERQUEIRA, E. B.; GOMES, J. M. A. Expansão agropecuária e dinâmicas de uso e cobertura do solo no Piauí. *Geo UERJ*, v. 42, 2023. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.69241>.
- CHIACCHIO, M. A.; LÍRIO DE SOUSA, A. A expansão da soja e os efeitos no mercado de terras na Amazônia. *Geografia em Questão*, [S. l.], v. 17, n. 2, 2024. DOI: <https://doi.org/10.48075/geoq.v17i02.29126>.
- CHIARAVALLI, R. M.; TOMAS, W. M.; UEZU, A.; SHIRAI, H. Y.; GUARALDO, E.; AOKI, C.; SALVADORI, J. F. Rapid land use conversion in the Cerrado has affected water transparency in a hotspot of ecotourism, Bonito, Brazil. *Tropical Conservation Science*, v. 15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1177/19400829221127087>
- DA COSTA SILVA, R. G. Agentes, procesos y conflictos en la gestión territorial en el estado de Rondônia (Brasil). *Polis. Revista Latinoamericana*, v. 45, 2016.
- DE OLIVEIRA GERARDI, L. H. Algumas reflexões sobre modernização da agricultura. *Geografia*, (1980), 19-34.
- DOS SANTOS, F. M.; FÁVARO, C. L.; DA ROCHA FILHO, J. Sobre a morte e o comer: as implicações das tradições

alimentares sobre as mudanças climáticas. Simplíssimo, 2022.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA Jr, L. G.; MIZIARA, F.; SOARES-FILHO, B. S. Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: future scenarios and perspectives for conservation. *Journal of Land Use Science*, v. 8, n. 4, 2013, p. 403-421. DOI: <https://doi.org/10.1080/1747423X.2012.675363>.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; SNYDER, P. K. Global consequences of land use. *science*, v. 309, 2005, p. 570-574. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.

GASS, S. L. B.; DA SILVA, D. M.; DE ARRUDA, S. F. A leitura e representação da paisagem rural como instrumento de gestão municipal: uma proposta para Santo Cristo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Agua y Territorio/Water and Landscape*, v. 23, 2024. DOI: <https://doi.org/10.17561/at.23.7266>.

GRAESSER, J.; AIDE, T. M.; GRAU, H. R.; RAMANKUTTY, N. Cropland/pastureland dynamics and the slowdown of deforestation in Latin America. *Environmental Research Letters*, n. 10, n. 3, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/3/034017>.

GRAESSER, J.; RAMANKUTTY, N.; COOMES, O. T. Increasing expansion of large-scale crop production onto deforested land in sub-Andean South America. *Environmental Research Letters*, v. 13, n. 8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad5bf>.

HARARI, Y. N. *Sapiens uma breve história da humanidade*. 32ª ed. Porto Alegre: L&PM, 2018.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; COSTA, B. S. C. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. *Simpósio de forrageiras e produção animal*, v. 2, 2007, p. 15-21.

HASENACK, H.; WEBER, E. J.; VÉLEZ-MARTIN, E.; HOFMANN, G. S.; DEWES, H. Bioma Pampa: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável. *Biomass e agricultura: oportunidades e desafios*. Vertente edições, Rio de Janeiro, 2019, p. 123-140.

HINATA, S. S.; BASSO, L. A.; REKOWSKY, I. C. Transformações espaciais na bacia hidrográfica do Lago Guaíba (RS). *Geo UERJ*, n. 42, (2023). DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.70767>.

JINING, Y.; WANG, L.; SONG, W.; CHEN, Y.; CHEN, X.; DENG, Z. A time-series classification approach based on change detection for rapid land cover mapping. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing*, v. 158, 2019, p. 249–262.

KEYS, E.; MCCONNELL, W. J. Global change and the intensification of agriculture in the tropics. *Global environmental change*, v. 15, n. 4, 2005, p. 320-337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2005.04.004>.

KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, v. 31, 2018, p. 83-100.

LAMBIN E. F.; MEYFROIDT P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 108, n. 9, 2011, p. 3465–3472. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>.

LOBÃO, M. S. P.; STADUTO, J. A. R. Modernização agrícola na Amazônia brasileira. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 58, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.182276>.

MAEDA, E. E.; CLARK, B. J.; PELLIKKA, P.; SILJANDER, M. Modelling agricultural expansion in Kenya's eastern Arc Mountains biodiversity hotspot. *Agricultural Systems*, v. 103, n. 9, 2010, p. 609–620. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.agry.2010.07.004>.

MAEDA, E. E.; DE ALMEIDA, C. M.; DE CARVALHO XIMENES, A.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; PELLIKKA, P. Dynamic modeling of forest conversion: Simulation of past and future scenarios of rural activities expansion in the fringes of the Xingu National Park, Brazilian Amazon. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 13, n. 3, 2011, p. 435-446. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.09.008>.

MAIA, R. C.; SILVA, K. N.; BENEVIDES, J. D. A. J.; AMORIM, V. G.; DE SOUSA, R. M. Impactos ambientais em manguezais no Ceará: causas e consequências. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 5, 2019, p. 69-77. DOI: <https://doi.org/10.21439/conexoes.v13i5.1797>.

MAPBIOMAS PROJECT. Coleções Mapbiomas. Disponível online em: <https://mapbiomas.org/download>. Acessado em: 23 de dezembro de 2022.

MARCOVITCH, J. A gestão da Amazônia: ações empresariais, políticas públicas, estudos e propostas. Edusp, 2022.

MATTE, A.; WAQUIL, P. Productive changes in Brazilian Pampa: impacts, vulnerabilities and coping strategies. *Natural Hazards*, v. 102, n. 1, 2020, p. 469-488

MAZOYER, M.; LAURENCE, R. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. São Paulo: Editora UNESP, 2010.

MENGUE, V. P.; DE FREITAS, M. W. D.; DA SILVA, T. S.; FONTANA, D. C.; & SCOTTÁ, F. C. LAND-USE and land-cover change processes in Pampa biome and relation with environmental and socioeconomic data. *Applied Geography*, v. 125, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102342>.

MEYFROIDT, P. Approaches and terminology for causal analysis in land systems science. *Journal of Land Use Science*, v. 11, n. 5, 2016, p. 501–522. DOI: <https://doi.org/10.1080/1747423X.2015.111753>.

OLIVEIRA, P. C. S. D. S.; DOS SANTOS, A. M.; FERREIRA, N. C. Modelagem dinâmica do desmatamento no sul da Amazônia Ocidental. *Boletim de Geografia*, v. 7, n. 3, 2019, p. 189-207. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v37i3.42643>.

OSIS, R.; LAURENT, F.; POCCARD-CHAPUIS, R. Spatial determinants and future land use scenarios of Paragominas municipality, an old agricultural frontier in Amazonia. *Journal of Land Use Science*, v. 14, n. 3, 2019, p. 258-279. DOI: <https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1643422>.

OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. P.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R.; FORNECK, E. D. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: PILLAR, V.P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade. 2 ed. Brasília: MMA, 2009, p. 26–41.

PETSCH, C.; SCCOTI, A. A. V.; TRENTIN, R.; DE SOUZA ROBAINA, L. E.; DA ROSA, K. K. A expansão da cultura de soja no pampa gaúcho: o caso da bacia hidrográfica do rio Santa Maria. *Revista Geografar*, v. 17, n. 1, 2022, p. 47-71.

PISANI, R. J.; Modelagem espacial dinâmica para o monitoramento do aporte de sedimentos na sub-bacia do Rio Capivara, município de Botucatu-SP. 2014. 162 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

ROCHA, B. G., AMARO, H. T., PORTO, E. M., GONÇALVES, C. C., DAVID, A. M., & LOPES, E. B. Sistema de

semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 41, n. 2, 2018, p. 376-384. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17260>.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S. DINAMICA-EGO: uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE. Artigos, CD-ROM, On-line, 2007, p. 3089-3096.

ROSSATO, M. Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geografia) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2011.

SILVA, D. S.; ARIMA, E. Y. Sustainability Consequences of Making Land Change Decisions Based on Current Climatology in the Brazilian Cerrados. *Land*, v. 12, n. 4, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12040914>.

SKENDŽIĆ, S.; ZOVKO, M.; ŽIVKOVIĆ, I. P.; LEŠIĆ, V.; LEMIĆ, D. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, v. 12, n. 5, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12050440>.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA—a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological modelling*, v. 154, n. 3, 2002, p. 217-235. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00059-5).

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. S. Modeling environmental dynamics with Dinamica EGO. 1ª ed. Belo Horizonte, MG, 2009.

SONG, X. P.; HANSEN, M. C.; POTAPOV, P.; ADUSEI, B.; PICKERING, J.; ADAMI, M.; TYUKAVINA, A. Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. *Nature sustainability*, v. 4, n. 9, 2021, p. 784-792. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00729-z>.

TRENTIN, R.; LAURENT, F.; ROBAINA, L. E. S.; O impacto do uso da terra sobre o balanço hídrico na bacia hidrográfica do rio Santa Maria - oeste do Rio Grande do Sul - Brasil. *Para Onde!?*. Porto Alegre: UFRGS, v. 17, n. 1, ed. esp. 2023.

VIEIRA, R. M. D.; TOMASELLA, J.; BARBOSA, A. A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUEZ, D. A.; REZENDE, F. S.; SANTANA, M. D. Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios. *Land Degradation & Development*, v. 32, n. 1, 2021, p. 224-240. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3681>.

WOLDEYOHANNES, A.; COTTER, M.; BIRU, W. D.; KELBORO, G. Assessing changes in ecosystem service values over 1985–2050 in response to land use and land cover dynamics in Abaya-Chamo Basin, Southern Ethiopia. *Land*, v. 9, n. 2, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/land9020037>.