

DETERMINANTES ESPACIAIS NA EXPANSÃO DA CULTURA DE SOJA NO MUNICÍPIO DE JARI (RS) ENTRE 1985-2021

SPATIAL DETERMINANTS IN THE EXPANSION OF SOYBEAN CROP IN THE MUNICIPALITY OF JARI (RS) BETWEEN 1985-2021

DETERMINANTES ESPACIALES EN LA EXPANSIÓN DEL CULTIVO DE SOJA EN EL MUNICIPIO DE JARI (RS) ENTRE 1985-2021

// RESUMO

AUTOR

Eric Moisés Beilfuss 

Carina Petsch 

Romario Trentin 

FILIAÇÃO INSTITUCIONAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM)

E-MAIL

ericmoisesb@outlook.com

carinapetsch@gmail.com

romario.trentin@gmail.com

DATA DE SUBMISSÃO: 04/ 12/23

DATA DE APROVAÇÃO: 09/ 05/25

DOI: 10.12957/GEOUERJ.2025.80528



E-ISSN 1981-9021
APRESENTAÇÃO EDIÇÃO ESPECIALXVII
GEOCRÍTICA2024, APRESENTAÇÃO N.46.

ESTE É UM ARTIGO DE ACESSO ABERTO
DISTRIBUÍDO SOB OS TERMOS DA LICENÇA
CREATIVECOMMONS BY-NC-SA 4.0, QUE
PERMITE USO, DISTRIBUIÇÃO E REPRODUÇÃO
PARA FINS NÃO COMERCIAIS, COM A CITAÇÃO
DOS AUTORES E DA FONTE ORIGINAL E SOB
A MESMA LICENÇA.

Nas últimas décadas tem ocorrido a conversão da Formação Campestre, vegetação natural do bioma Pampa, para áreas ocupadas pela soja. O MapBiomias apontou um crescimento de 370% na área cultivada com soja, no período de 1985 a 2022, no Estado do RS. Desta forma, este trabalho analisou a expansão e o contexto ambiental das lavouras de soja no município de Jari (RS), no período de 1985 a 2021. Metodologicamente, foram usados dados da plataforma MapBiomias, SRTM e IBGE, sendo que o QGIS foi escolhido para o cruzamento das informações geoespaciais. Constatou-se que a soja teve um aumento de 890% no período de análise. Foram definidos três estágios de avanço da soja no município. O primeiro se refere à ocupação (1985-1998): com um ritmo lento de expansão, as áreas de soja predominavam em colinas suavemente onduladas com Latossolos. O segundo é de expansão (1999-2015): o período de maior crescimento em área da cultura, conseqüentemente, terrenos com maior declividade (>15%), em morros e morrotes foram ocupados. Houve aumento da soja em Neossolos, solos rasos que durante os períodos de estiagem causam estresse hídrico na planta e redução da produtividade. O terceiro estágio é o de mudança gradual (2016-2021): a expansão ocorreu em terrenos pouco favoráveis, mas recursos tecnológicos permitiram a manutenção da produção média. Conclui-se que os atributos físicos restritivos ao avanço da soja são as formas de relevo e declividade. Solos e altitude propiciaram a expansão.

Palavras-chave: Uso e cobertura da terra; Bioma Pampa; MapBiomias; Geotecnologias.

// ABSTRACT

In recent decades, the Campestre Formation, natural vegetation of the Pampa biome, has been converted to areas occupied by soybeans. MapBiomias indicates a 370% growth in the area cultivated with soybeans, from 1985 to 2022 in the State of RS. Thus, this study analyzed the expansion and environmental context of soybean crops in the municipality of Jari (RS) from 1985 to 2021. Methodologically, data from the MapBiomias, SRTM and IBGE platforms were used and QGIS was chosen to cross-reference geospatial information. It was found that soybeans had an 890% increase in the period of analysis. Three stages of soybean expansion in the municipality were defined. The first refers to occupation (1985-1998): with a slow pace of expansion, soybean areas predominated in gently undulating hills with Latosols. The second stage is expansion (1999-2015): the period of greatest growth in crop area, consequently, lands with greater slopes (>15%), on hills and small hills were occupied. There was an increase in soybeans in Neossolos, shallow soils that during periods of drought cause water stress in the plant and reduced productivity. The third stage is that of gradual change (2016-2021): the expansion occurred in unfavorable terrains, but technological resources allowed the maintenance of average production. It is concluded that the physical attributes restricting the advancement of soybeans are the forms of relief and slope. Soils and altitude favored the expansion.

Keywords: Land use and Land Cover; Pampa biome; MapBiomias; Geotechnology

// RESUMEN

En las últimas décadas, la Formación Campestre, vegetación natural del bioma Pampa, ha sido convertida en áreas ocupadas por soja. MapBiomias apunta a un crecimiento del 370% en el área cultivada con soja, en el período de 1985 a 2022 en el Estado de RS. De esta manera, este trabajo analizó la expansión y el contexto ambiental de los cultivos de soja en el municipio de Jari (RS) de 1985 a 2021. Metodológicamente, se utilizaron datos de las plataformas MapBiomias, SRTM e IBGE y se eligió QGIS para el cruce de datos geoespaciales. información. Se encontró que la soja aumentó un 890% durante el período de análisis. Se definieron tres etapas de avance de la soja en el municipio. El primero se refiere a la ocupación (1985-1998): con un lento ritmo de expansión, predominaron las áreas sojeras sobre colinas suavemente onduladas con Oxisoles. El segundo es la expansión (1999-2015): el período de mayor crecimiento en el área de cultivo, en consecuencia, se ocuparon terrenos con mayor pendiente (>15%), en cerros y cerros. Hubo un aumento de la soja en Neossolos, suelos poco profundos que durante los períodos secos provocan estrés hídrico en la planta y reducen la productividad. La tercera etapa es la de cambio gradual (2016-2021): la expansión se produjo en terrenos menos favorables, pero los recursos tecnológicos permitieron mantener la producción promedio. Se concluye que los atributos físicos que restringen el avance de la soja son las formas de relieve y pendiente. Los suelos y la altitud favorecieron la expansión.

Palabra Clave: Uso y cobertura del suelo; bioma pampeano; MapBiomias; Geotecnologías.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max*) ocupa uma posição de destaque em sistemas de produção agrícola de muitos países (PRATAP et al., 2012; PAGANO e MIRANSARI, 2016), sendo que a América do Norte e do Sul são responsáveis por aproximadamente 80% da produção mundial de soja (CHANG, LEE e HUNGRIA, 2015). Diante disso, a América do Sul passou por uma pronunciada expansão na agricultura, em detrimento da redução da vegetação nativa (FOUCHER et al., 2023), e a área cultivada entre 2000 e 2019 mais que dobrou, passando de 26,4 Mha para 55,1 Mha (SONG et al., 2021).

Nessa conjuntura, o Brasil se consolida como um dos principais produtores mundiais de produtos agrícolas (LAPOLA et al., 2014; MARANHÃO et al., 2019; PICOLI et al., 2020), sendo a soja a principal cultura do agronegócio (DA SILVA JUNIOR et al., 2020). A expansão da área plantada com a leguminosa, resultou em mudanças significativas no uso e cobertura da terra (LULC), sobretudo, provocando impactos ambientais (FEARNSIDE, 2001; MARANHÃO et al., 2019; PICOLI et al., 2020). Entre os principais impactos socioambientais ocasionados pelo avanço da soja no Brasil, estão a erosão (GRECCHI et al., 2014; ALVES et al., 2023), desmatamento (GRECCHI et al., 2014, SONG et al., 2021), diminuição da vazão de rios (SALMONA et al., 2023), a migração rural-urbana (LAPOLA et al., 2014) e a desigual distribuição de renda (DOS SANTOS e NAVAL, 2022), entre outros.

No sul do Brasil há uma área coberta por diversas formações vegetacionais, sendo as gramíneas as mais representativas (BOLDRINI, 2009), dessa forma, essa região está sendo amplamente utilizada para a criação de gado, constituindo a base para a pecuária (NABINGER et al., 2000). As pastagens naturais, foram oficialmente reconhecidas como Bioma Pampa pelo Governo Federal somente em 2004 (BRASIL, 2004), sendo o único bioma restrito a apenas um estado, correspondendo a 63% da área total do RS (OVERBECK et al., 2015). Infelizmente, as áreas de proteção ocorrem mais frequentemente em biomas florestais, do que no Pampa (NABINGER et al., 2009), dessa maneira existem somente 99 unidades de conservação, considerando Brasil, Uruguai e Argentina, que abrangem entre 3,7% e 6,8% da extensão do bioma (OYARZABAL et al., 2020).

A conservação deste bioma é afetada pela invasão de espécies exóticas, uso inadequado do solo e conversão do LULC para outros usos (PILAR et al., 2009), sendo a principal ameaça a inserção da agricultura (HASENACK et al., 2019). Nos últimos 20 anos, uma considerável parte da vegetação natural do bioma foi transformada em terras agrícolas (LE FÉON et al., 2016; CABALLERO et al., 2023). Mengue et al., (2020) apontaram um aumento da soja para o bioma Pampa de 145,56% entre os anos de 2000-2014, enquanto Kuplich et al., (2018) apontaram que houve um aumento de 188,5% de área plantada entre os anos de 2000 e 2015 nos campos naturais.

Diversos estudos foram desenvolvidos a partir de avanços tecnológicos relacionados ao Sensoriamento Remoto, trazendo novos recursos para compreender e analisar transições de LULC (BAEZA et al., 2022; CABALLERO et al., 2023). Sendo um destes, o projeto MapBiomias,

que fornece dados anuais de LULC tendo como base a coleção de imagens do satélite Landsat (SOUZA et al., 2020). A partir disso, estudos utilizaram os dados de LULC disponíveis nas coleções do projeto para o monitoramento da expansão da soja em diversas regiões do Brasil, como na Amazônia Maranhense (AZEVEDO e MATIAS, 2022), Cerrado (SILVA e ARIMA, 2023) e Pampa (RHODEN et al., 2022). Salienta-se que existe um projeto MapBiomas específico para o Pampa, inclusive, contemplando os três países que abrigam o bioma (BAEZA et al., 2022).

Neste sentido, é importante destacar que, além do monitoramento temporal do avanço da cultura, é fundamental compreender os contextos ambientais ocupados pelas lavouras de soja. O uso de técnicas de geoprocessamento é essencial para a obtenção de dados mais precisos e aprofundados. Diversos autores realizaram estudos para identificar as áreas mais ocupadas por lavouras de soja (FEARNSIDE, 2001; OSIS, LAURENT e POCCARD-CHAPUIS, 2019; MENGUE et al., 2020; PICOLI et al., 2020; DA SILVA JUNIOR et al., 2020; BEILFUSS et al., 2022; PETSCH et al., 2022), abordando, por exemplo, aspectos relacionados ao relevo e aos solos.

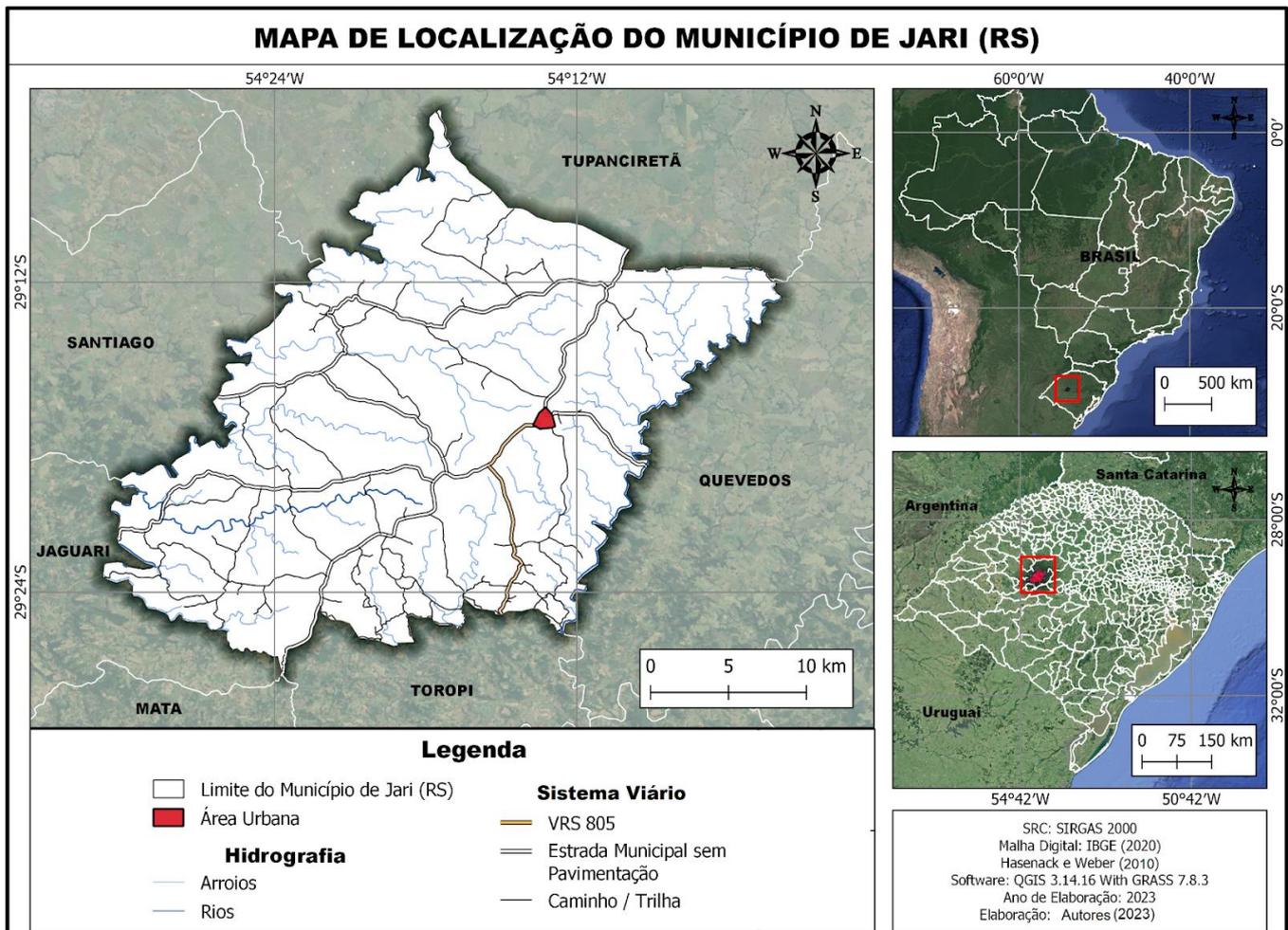
Beilfuss et al. (2022) constataram que o município de Jari (RS), situado no Bioma Pampa, passou por um acelerado processo de conversão de áreas campestres para o cultivo de soja. Dessa forma, os autores apontaram uma lacuna na literatura, devido à ausência de estudos que aprofundem o contexto ambiental ocupado pela cultura (BEILFUSS et al., 2022). Além disso, destacam que o município apresenta uma diversidade de atributos físicos, como variação nos tipos de solo, formas de relevo, declividade e altitude, o que torna Jari relevante para investigar a relação entre o avanço da cultura e os diferentes contextos ambientais (BEILFUSS et al., 2022).

Isto posto, este trabalho tem como objetivo analisar a expansão e o contexto ambiental das lavouras de soja no município de Jari (RS), no período de 1985 a 2021. Como objetivos específicos, propõem-se: (i) validar em campo os pontos de lavouras de soja no município, obtidos no projeto Mapbiomas; (ii) analisar as áreas de transição de outros LULC para o cultivo de soja; (iii) avaliar quais porções estão sendo ocupadas pela cultura, levando em consideração diferentes atributos físicos, tais como: solo, declividade, formas de relevo e altitudes; (iv) definir estágios de avanço do cultivo no período de estudo; e (v) analisar a produção de soja em hectares no município. Isto posto, a pergunta norteadora da pesquisa remete a quais atributos físicos foram restritivos, impeditivos ou favoráveis à expansão da soja no município de Jari (RS), levando em consideração o contexto regional de avanços e investimentos tecnológicos na produção da cultura?

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Jari encontra-se no Estado do RS (Figura 01 B), situado na porção oeste da região (Figura 01 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 01 A), com uma área de 853.080 km². Jari (RS) apresenta um Produto Interno Bruto (PIB) de R\$ 200.188,12, sendo 70% proveniente do setor agropecuário, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

Figura 01. Localização da área de estudo.



O município de Jari (RS) está incluído na Unidade denominada Planalto Meridional, caracterizada pelo predomínio de declives suavizados e desníveis topográficos locais pouco pronunciados, formado principalmente por rochas vulcânicas de idade Mesozóica (GUARESCHI E NUMMER, 2014). Dessa maneira, as cotas altimétricas variam de 130 a 460 metros e quanto a declividade, predominam as classes de 2-5% (375,8 km²) e 5-15% (349 km²), respectivamente correspondendo a 44% e 40,9% da área do município.

Além disso, segundo Beilfuss et al., (2022), possui três formas de relevo: as colinas onduladas (17,8%) que predominam nas porções centrais do município; as colinas suavemente onduladas (65,1%) que estão distribuídas em todo município; e os morros e morrotes (17,1%) que predominam na porção sul. A área de estudo apresenta três tipos de solos, os Argissolos (38,6%), os Latossolos (4,6%) e os Neossolos (56,8%).

Em relação ao clima, está localizada no tipo climático subtropical, segundo a classificação de Köppen-Geiger (ALVARES, 2013). Segundo a classificação de Rossato (2011), o município está inserido numa faixa de transição entre os climas Subtropical II e Subtropical III. A precipitação média anual é de 1.922 mm (BEILFUSS et al., 2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo se baseia em dados obtidos com Sensoriamento Remoto, trabalhos de campo e fontes secundárias. Quanto à escolha dos atributos físicos, foram selecionados aqueles que podem influenciar ou impor restrições ao desenvolvimento da cultura da soja. As características do relevo, como a distribuição das altitudes e a inclinação das vertentes, podem limitar a expansão da cultura, pois os implementos e maquinários utilizados no cultivo têm restrições quanto à declividade.

Os tipos de solos estão relacionados, inicialmente com a aptidão ao desenvolvimento da cultura da soja, mas também a capacidade de retenção de água para os períodos de estiagens. Áreas de alta produtividade e cultivos com altas tecnologias, muitas vezes utilizam-se de sistemas de irrigação, que visam mitigar os problemas associados às estiagens, porém estes sistemas também apresentam limitações quanto a inclinação das vertentes onde estão instalados, além de outras variáveis associadas.

Em relação ao LULC das áreas de transição, estas podem ser mais favoráveis ou apresentar maiores desafios para a conversão em áreas de cultivo de soja. As áreas que já possuem algum tipo de cultura agrícola geralmente apresentam solos aptos para a introdução da soja, exigindo apenas correções de fertilidade, um procedimento mais simples e rotineiro para essa cultura. Já as áreas de formações campestres necessitam de processos mais complexos de adaptação, como aração do solo, remoção de gramíneas e outras espécies competidoras, além das correções de fertilidade. As áreas de formações florestais apresentam ainda maior complexidade, pois além dos processos mencionados, demandam a remoção da vegetação florestal, um procedimento que envolve questões legais para habilitar essas áreas ao cultivo de soja.

Banco de dados

Para o desenvolvimento do trabalho, foi organizado um banco de dados com diversos produtos espaciais (Figura 02). O manuseio e geração dos mapas temáticos e análises espaciais foram realizadas no QGIS 3.22.5.

Figura 02. Base de dados para a elaboração dos produtos cartográficos.

Dados	Fonte	Escala/resolução espacial do pixel	Classes	Produto Gerado
Projeto MapBiomias	Souza et al., (2020)	Pixel: 30 metros	Soja	LULC
			Formação florestal Formação campestre Pastagem Outras áreas não vegetadas Rio ou lago Soja Arroz Outras lavouras temporárias	Áreas de Transição
SRTM	USGS	Pixel: 30 metros	130 - 200m 210 - 300 m 300 - 380 m 380 - 460 m > 460 m	Hipsometria
			0 - 2 % 2 - 5 % 5 - 10 % > 15 % (IPT, 1981)	Declividade
Solos	IBGE (2006), validado em campo por Beilfuss et al., (2022)	1:250.000	Neossolo Latossolo Argissolo	Solos
Formas do Relevo	Beilfuss et al., (2022)	1:50.000	Colinas Suavemente Onduladas Colinas Onduladas Morros e Morrotes	Formas do Relevo

Fonte: Elaboração Própria (2023).

Validação dos dados em campo

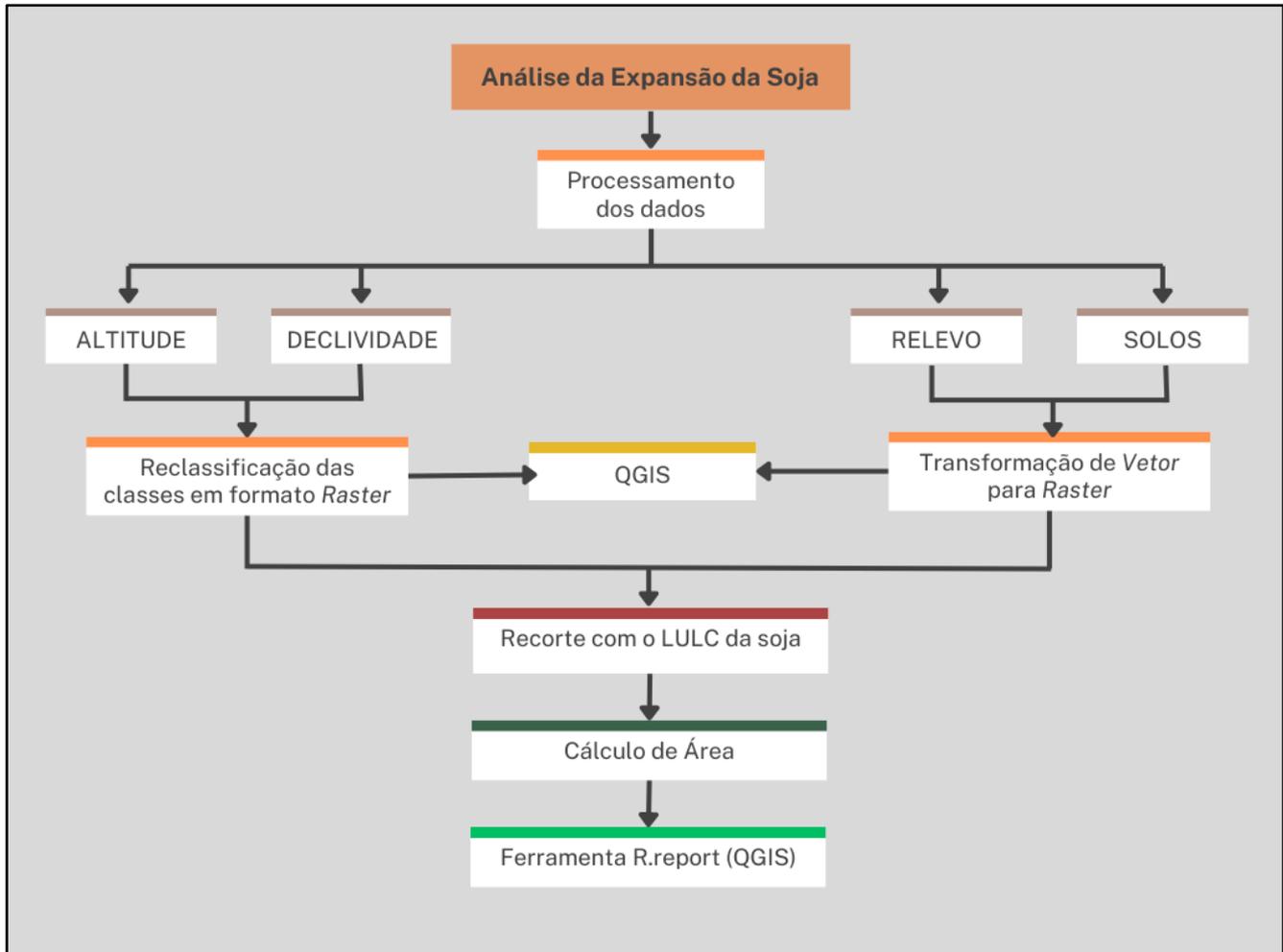
Foram realizados trabalhos de campo durante os anos de 2022 e 2023, para validação dos dados de LULC de soja apresentados pelo MapBiomias (SOUZA et al., 2020). Houve a verificação em 21 pontos, com o registro de fotografias, coordenadas geográficas e altitude, usando o aplicativo SW Maps.

Geração de dados, processamentos estatísticos e análise dos resultados

Nesta pesquisa, a expansão da cultura da soja em Jari (RS) foi relacionada com os atributos físicos de altitude, declividade, solos, formas de relevo. Dessa forma foram realizados dois

procedimentos de análise dos resultados: (i) processamento de dados cartográficos (Figura 03); e (ii) cálculo de frequência.

Figura 03. Fluxograma do processamento dos dados referentes aos atributos físicos utilizados na pesquisa.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

O segundo procedimento se refere ao cálculo de razão de frequência (Fr) (1) entre os atributos físicos em relação à área ocupada pelas lavouras de soja. Este procedimento visou definir a proporção da cultura de soja relativizada pela ocorrência das classes de cada atributo físico relacionados. A equação foi adaptada de Bonham-Carter (1994):

$$Fr = (S_i/S) / (A_i/A) \quad (1)$$

Portanto, a sigla A_i irá representar a área ocupada pela classe da variável ambiental “i” dentro da área total de estudo (A); a sigla S_i representa a área de soja na variável ambiental “i”, levando em consideração a área total de cultura (S). Valores de frequência superiores a 1 indicam alta correlação, enquanto valores inferiores a 1 apontam para baixa correlação (ESPER ANGUIERI, 2013). Esta análise permitiu uma padronização na interpretação dos dados, já que a

razão de frequência possibilita a equalização das áreas de soja em relação à área total da variável ambiental em estudo. Por exemplo, no caso das colinas suavemente onduladas, que representam aproximadamente 65% da área do município, seria esperado encontrar as maiores áreas de cultivo de soja. No entanto, ao aplicar a razão de frequência, esses dados são padronizados, facilitando uma comparação mais equilibrada com as demais classes.

Apresentação dos dados

Foram gerados gráficos de boxplot no software Excel com os atributos físicos de declividade e altitude com a presença do cultivo da soja, entre o período de 1985 a 2021. Os gráficos indicam a variação de dados dentro de uma classe, assim como o valor médio, mínimo e máximo atingido, o que demonstra se o atributo físico é amplamente ocupado pela soja ou somente em algumas condições.

Por fim, foram estabelecidos estágios que caracterizam o avanço da cultura da soja no município de Jari (RS) em relação aos atributos físicos analisados. Foi gerada a taxa de produtividade (toneladas/hectare) para o período de 1997-2021 usando dados disponibilizados no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).

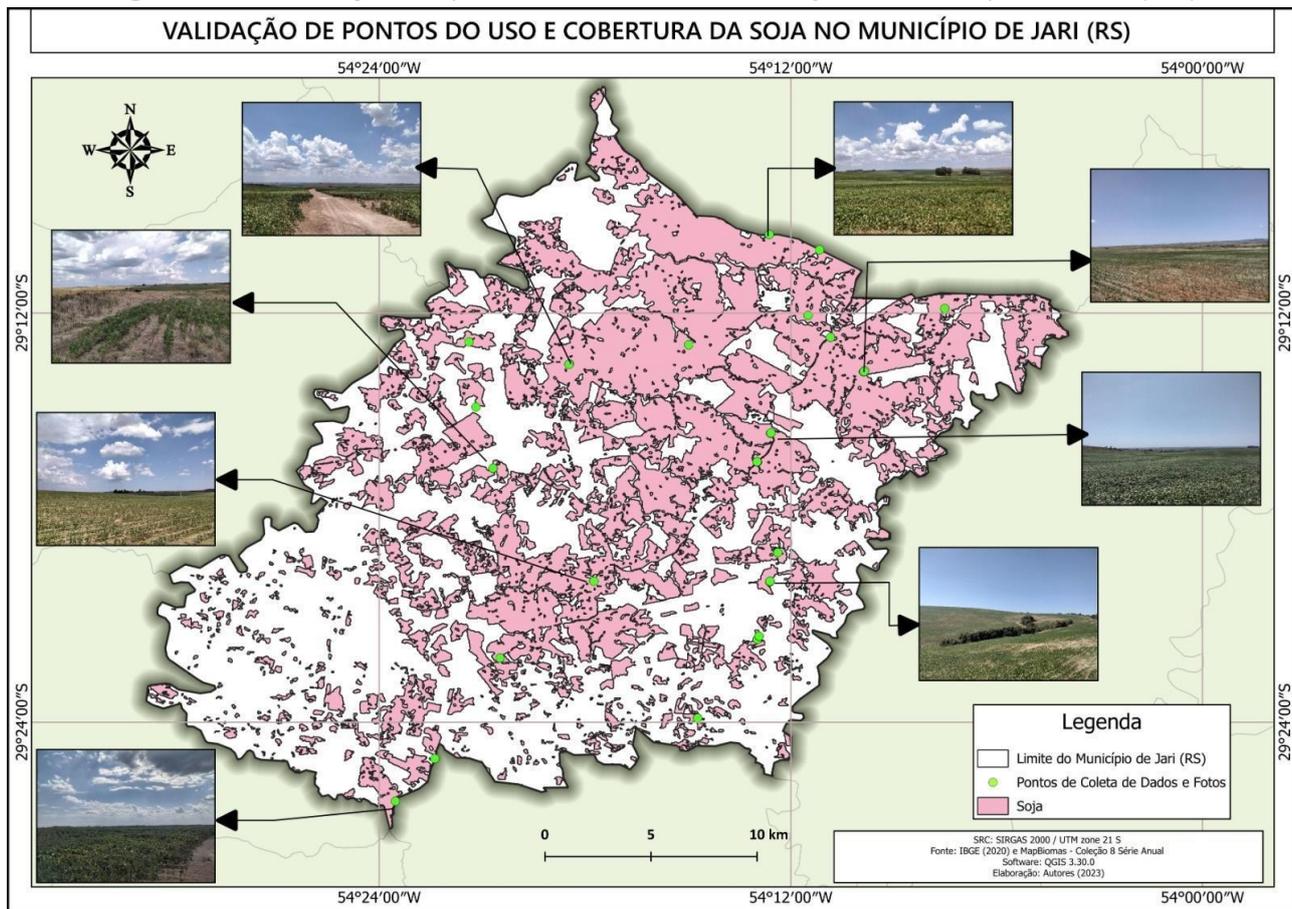
RESULTADOS

Este item se refere a apresentação dos dados dos mapas temáticos e gráficos relacionados às estatísticas aplicadas.

Validação de dados do Mapbiomas

Foram visitados 21 pontos referentes à cultura da soja no município de Jari (RS), ao longo de estradas distribuídas em diferentes porções da área de estudo (Figura 04). Destaca-se que em todos os pontos visitados houve correspondência com a delimitação das culturas de soja do projeto MapBiomas (SOUZA et al., 2020).

Figura 04. Validação de pontos com a LULC de soja no município de Jari (RS).



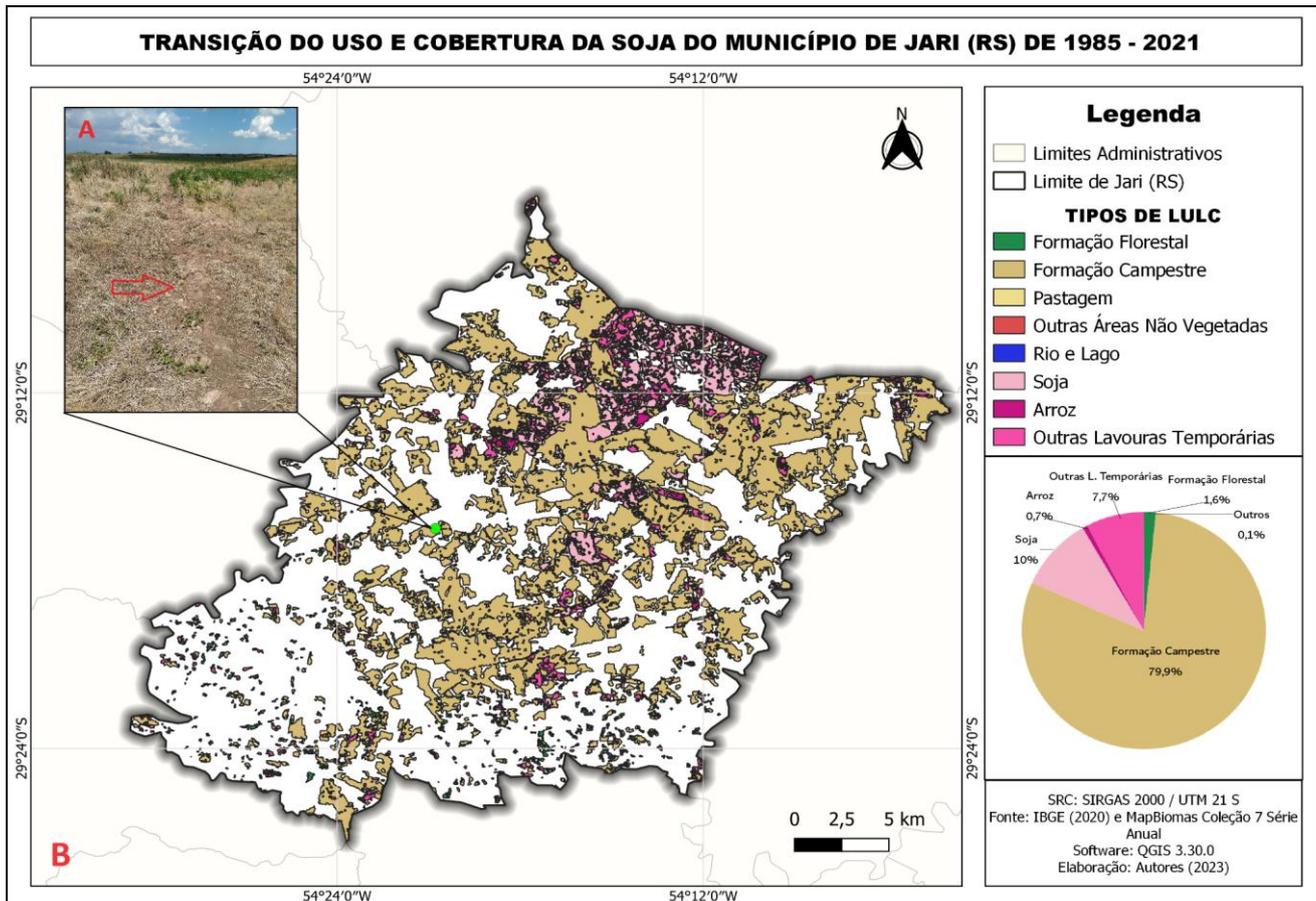
Fonte: Autores (2023).

Expansão da soja e áreas de transição

Em 1985, a soja ocupava uma área de 37,2 km² (4,3%) do município de Jari (RS). Nos anos seguintes, a área destinada à soja aumentou progressivamente. Em 2000, a cultura ocupava 89,18 km² (10%), e no ano de 2010 uma área de 267,3 km², o que representa 31% do município. Em 2021, a cultura da soja atingiu uma área de 369 km² (43%). Desta forma, houve um aumento de 331,8 km² de área cultivada entre 1985-2021, o que corresponde a um aumento de 890%.

Houve uma redução de 336 km² de formação campestre entre 1985 e 2021 (Figura 05 B), sendo que cerca de 236 km² foram convertidos em áreas para cultivo de soja. Sendo assim, aproximadamente 78% das áreas de soja em 2021, eram de formação campestre e somente 15,9% já eram de produção da cultura no município, em 1985. Ressalta-se que durante as saídas de campo, observou-se áreas com recente conversão de formação campestre para a soja em porções ao oeste do município, já que ainda era possível identificar a presença do caminho do gado na lavoura recém-plantada (Figura 05 A - seta em vermelho).

Figura 05. Transição de LULC para soja no município de Jari-RS (1985 – 2021).

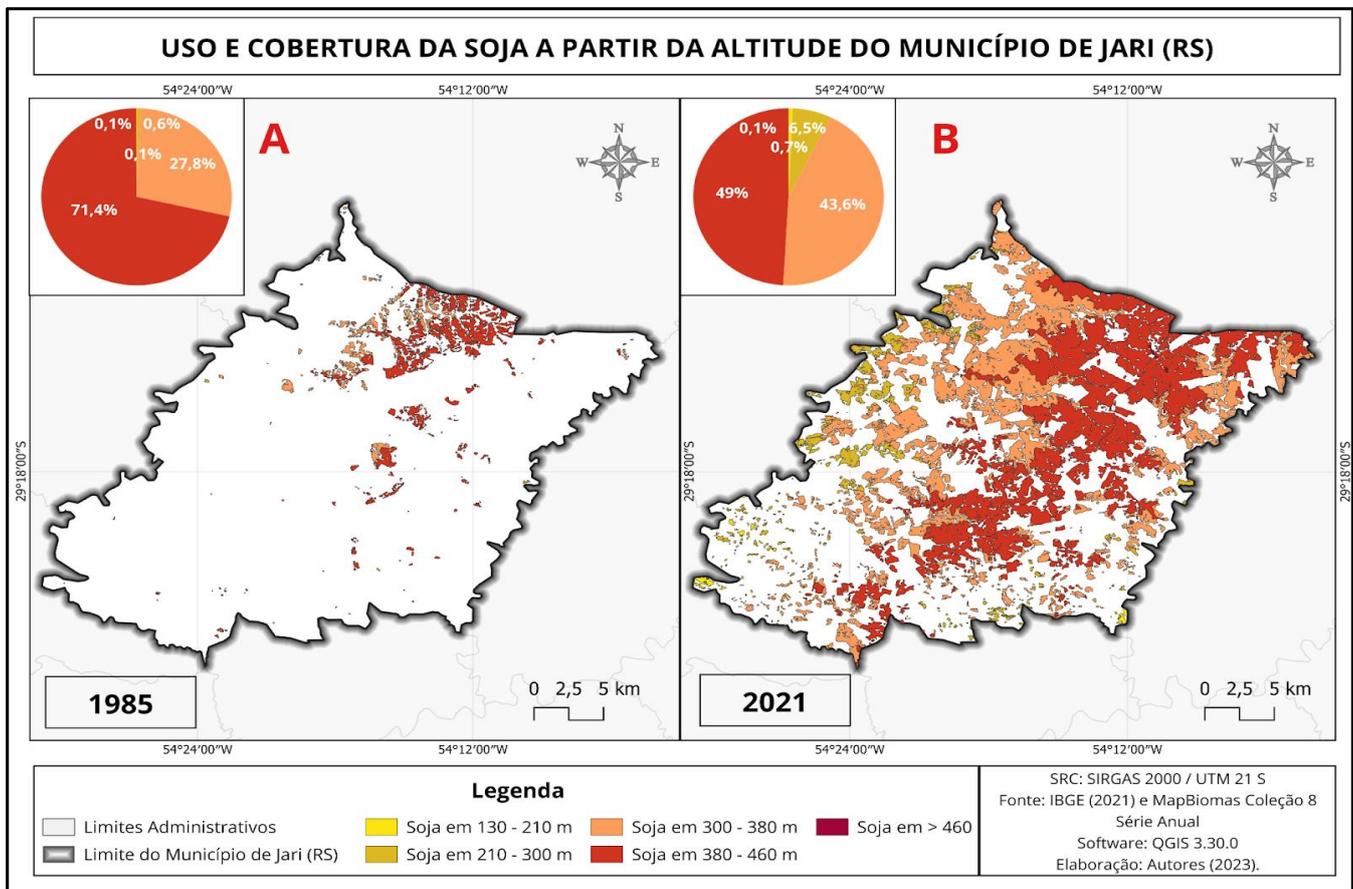


Fonte: Autores (2023).

Expansão da soja segundo a variável altitude

Em 1985 (Figura 06 A), as lavouras de soja se localizavam principalmente entre as cotas altimétricas de 380 a 460 metros (71,4%), ocupando predominantemente porções ao norte do município. Além disso, destaca-se algumas porções isoladas com a lavoura entre 300 e 380 metros (27,9%). No ano de 2021 (Figura 06 B), a cultura ainda está atrelada à classe entre 380 e 460 metros (71,4%), entretanto, observa-se o avanço para outras classes, principalmente mais baixas, como de 210 a 300 metros (6,5%), em porções ao oeste do município.

Figura 06. Relação entre LULC da soja e a altitude de Jari (RS) dos anos de 1985 (A) e 2021 (B).

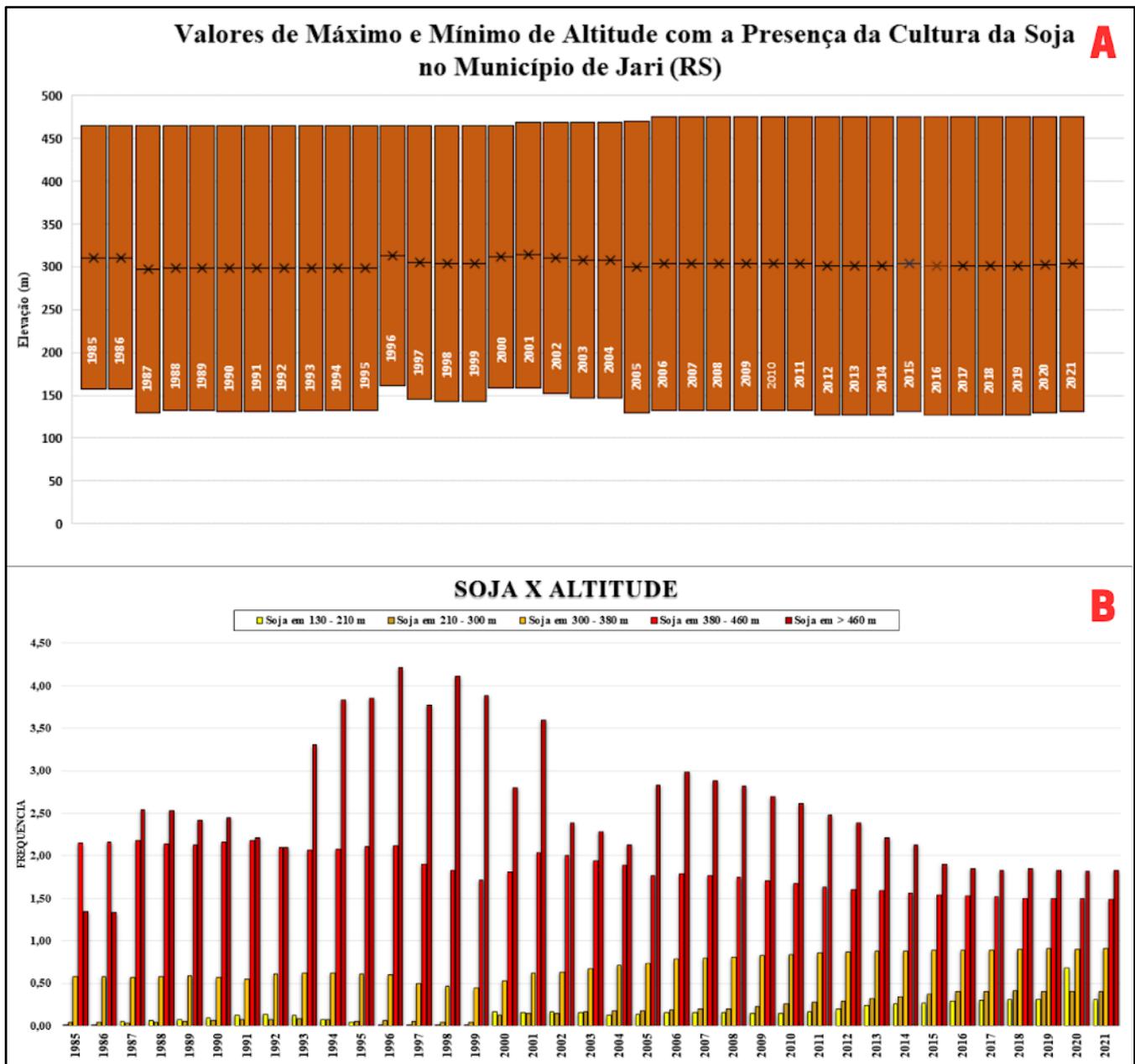


Fonte: Elaboração Própria (2023).

A cultura da soja passou a ocupar uma amplitude maior de altitude no período analisado. O valor máximo de altitude ocupado pela soja em 1985 era de 464 m, e em 2021 passou a ser 475 m (Figura 07 A). Em relação ao valor mínimo, houve algumas variações no período, mas foi registrado uma diminuição no valor, considerando 1985 para 2021, passando de 157 metros para 131 metros de altitude.

Em relação a análise da Fr da soja com as classes de altitude (Figura 07 B), destaca-se em 1985 uma alta correlação da soja em altitudes entre 380 a 460 m ($Fr = 2,14$). A classe de soja em altitudes acima de 460 m ($Fr = 1,34$), atingiu valores superiores a 4 em 1996 e 1998, apresentando no ano de 2021 uma $Fr = 1,82$. Houve aumento de Fr para as classes de 130-210 m, 210-300 m e 300 - 380 m, comparando 1985 com 2021.

Figura 07. A - Valores mínimo e máximo de altitude com a presença de soja entre 1985 a 2021; B - Frequência da cultura da soja em relação a altitude entre 1985 a 2021.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

Expansão da soja segundo a variável declividade

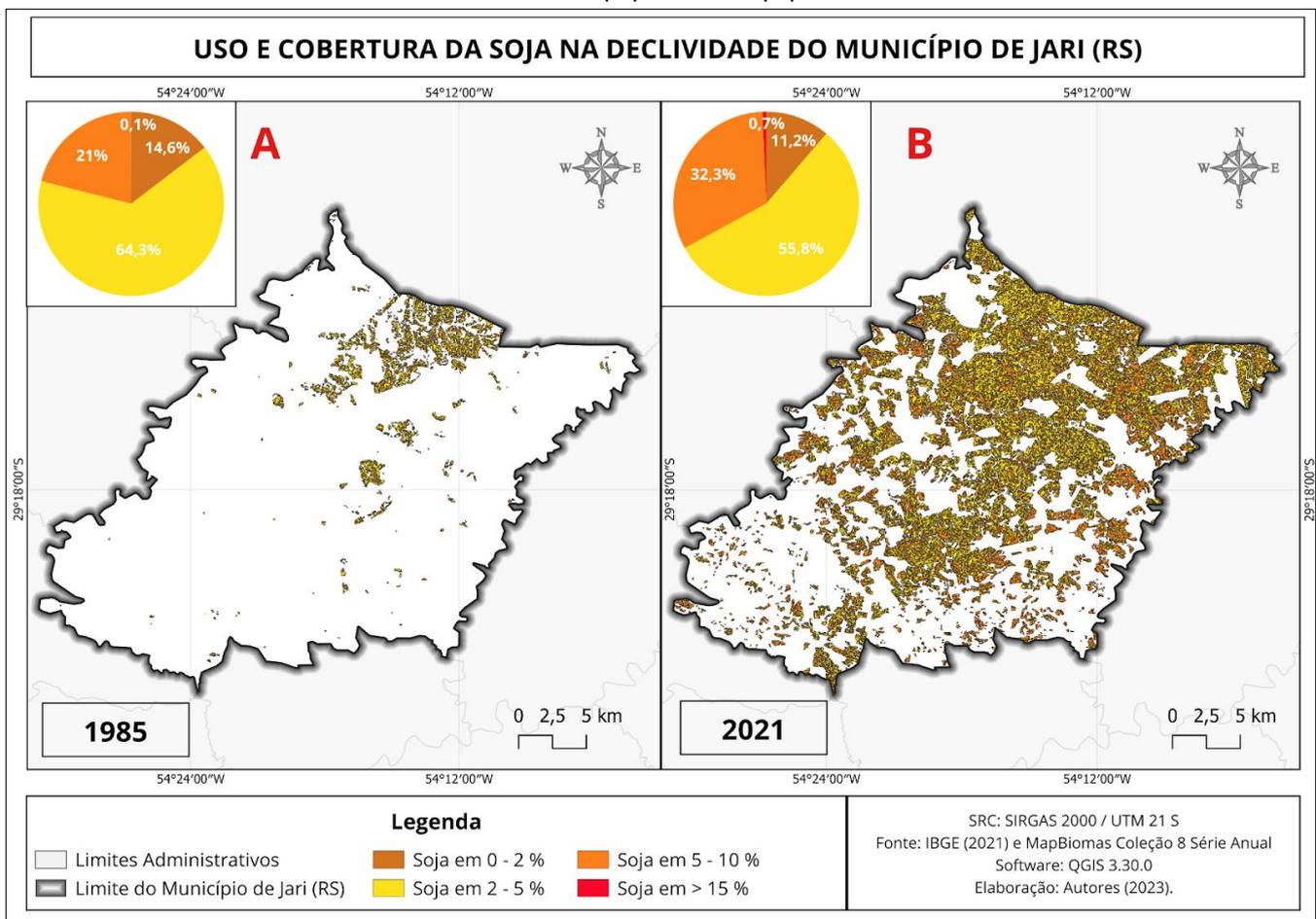
Em relação à declividade, a classe de 2-5% predomina, em 1985 e 2021, respectivamente com 64,4% e 73,5% da soja plantada. Contudo, ressalta-se o aumento em porções acima de 15%, principalmente no sudeste do município (Figura 08), com 0,7% de área ocupada pela cultura em 2021 (Figura 09 B), enquanto em 1985 havia apenas 0,1% (Figura 09 A).

Figura 08. Plantação de soja em área declivosa. Durante o período de estiagem poucas plantas nasceram devido a reduzida capacidade de retenção de água nos solos rasos.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

Figura 09. Relação entre LULC da soja e a declividade do município de Jari (RS) dos anos de 1985 (A) e 2021 (B).

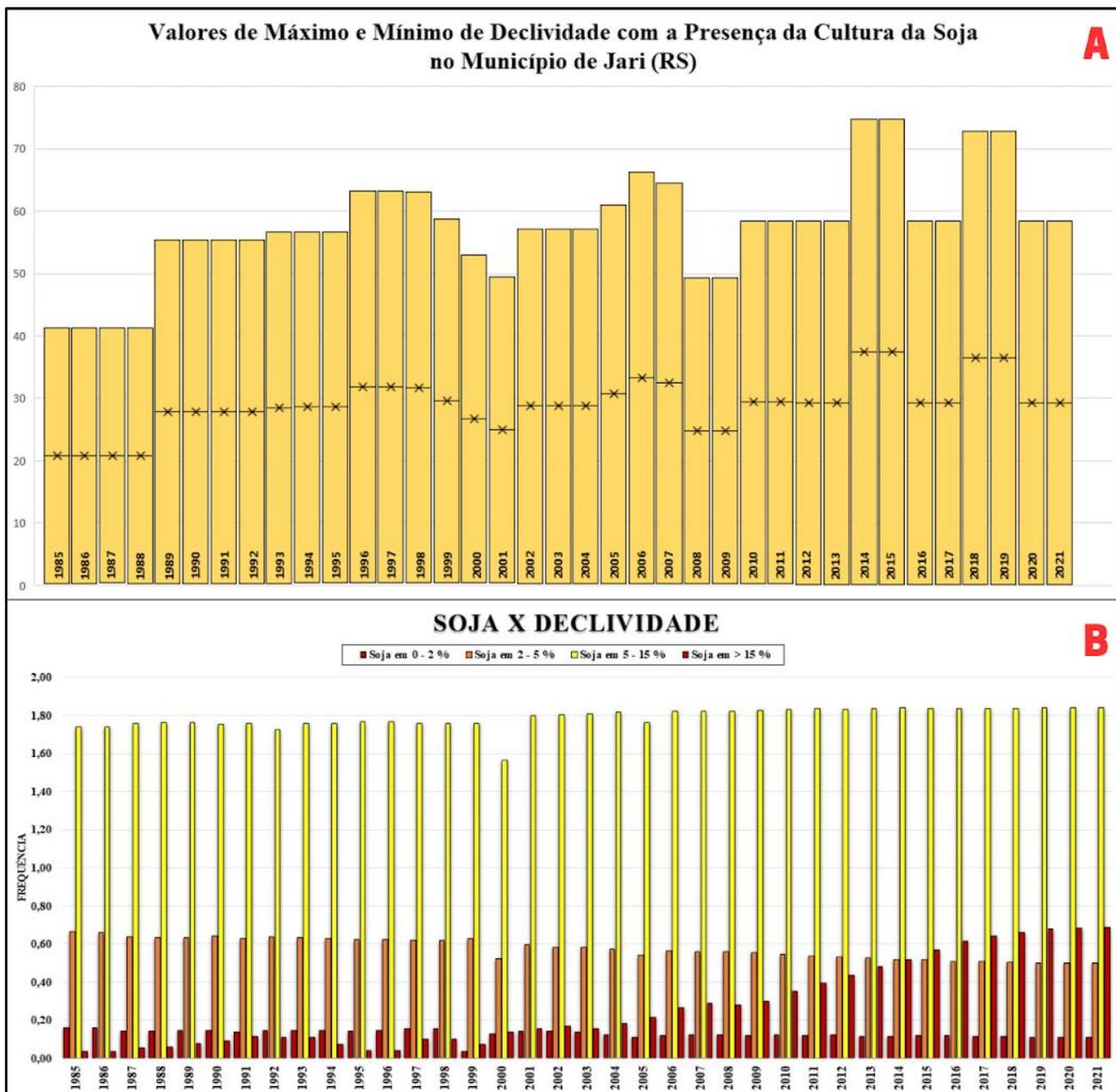


Fonte: Elaboração Própria (2023).

A ocupação da soja em relação à declividade (Figura 10 A), demonstra que houve um aumento da amplitude. Os valores mínimos em todos os anos, são próximos a 0. Em relação ao valor máximo de declividade ocupada pela soja, em 1985 o valor foi de 41,2%, e em 2021 foi de 58,4%. Houve anos que o valor de declividade foi superior como em 2013 e 2014 com 74,7% de inclinação, e 2017 e 2018 com 72,8%.

A partir da análise da frequência da soja com a declividade (Figura 10 B), observa-se que no ano de 1985, apenas a classe de soja em 5 a 15 % (Fr = 1,73) apresentava uma correlação acima de 1, demonstrando em 2021, uma frequência de 1,83. Em relação às classes de soja em 0 a 2% e 2 a 5 %, houve poucas variações durante o período. Ressalta-se ainda, a classe de soja acima de 15% que apresentou no ano de 1985 uma Fr = 0,03, ou seja, uma correlação baixa, e a partir do ano de 2000, obteve um aumento gradativo, atingindo em 2021 uma Fr = 0,68.

Figura 10. A - Valores mínimos e máximos de declividade com a presença de soja entre 1985 a 2021; B - Frequência da cultura da soja em relação à declividade entre 1985 a 2021.

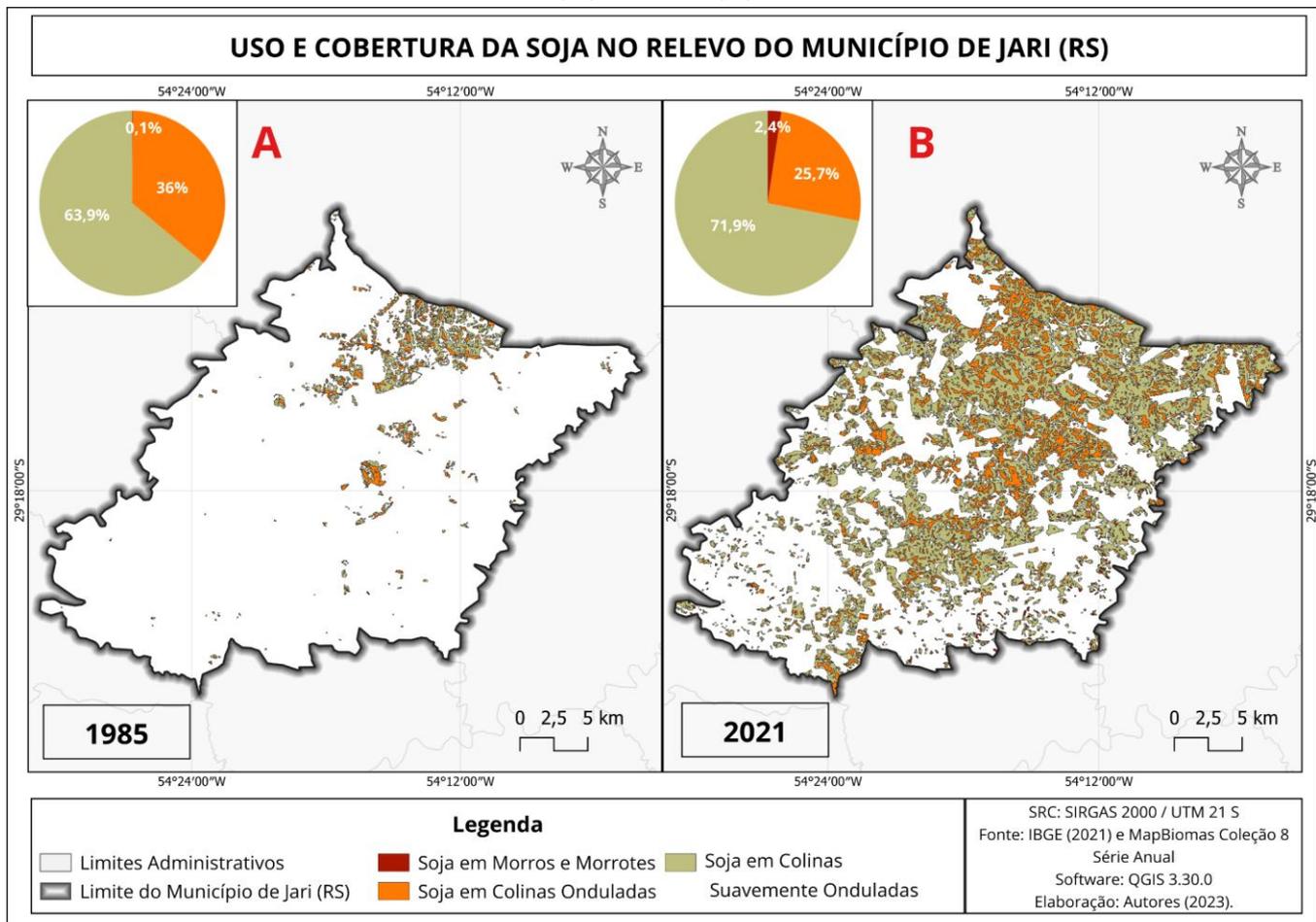


Fonte: Elaboração Própria (2023).

Expansão da soja segundo a variável formas de relevo

Em relação às formas do relevo, em 1985 (Figura 11 A), a soja predominava nas colinas suavemente onduladas em porções norte e central do município, com aproximadamente 63,9%. As áreas de morros e morrotes apresentavam apenas 0,1% da cultura da soja. Em 2021 (Figura 11 B), a soja ainda estava atrelada, em sua maioria, às colinas suavemente onduladas (71,9%), e ocorreu a expansão em morros e morrotes (2,4%) do rebordo do Planalto.

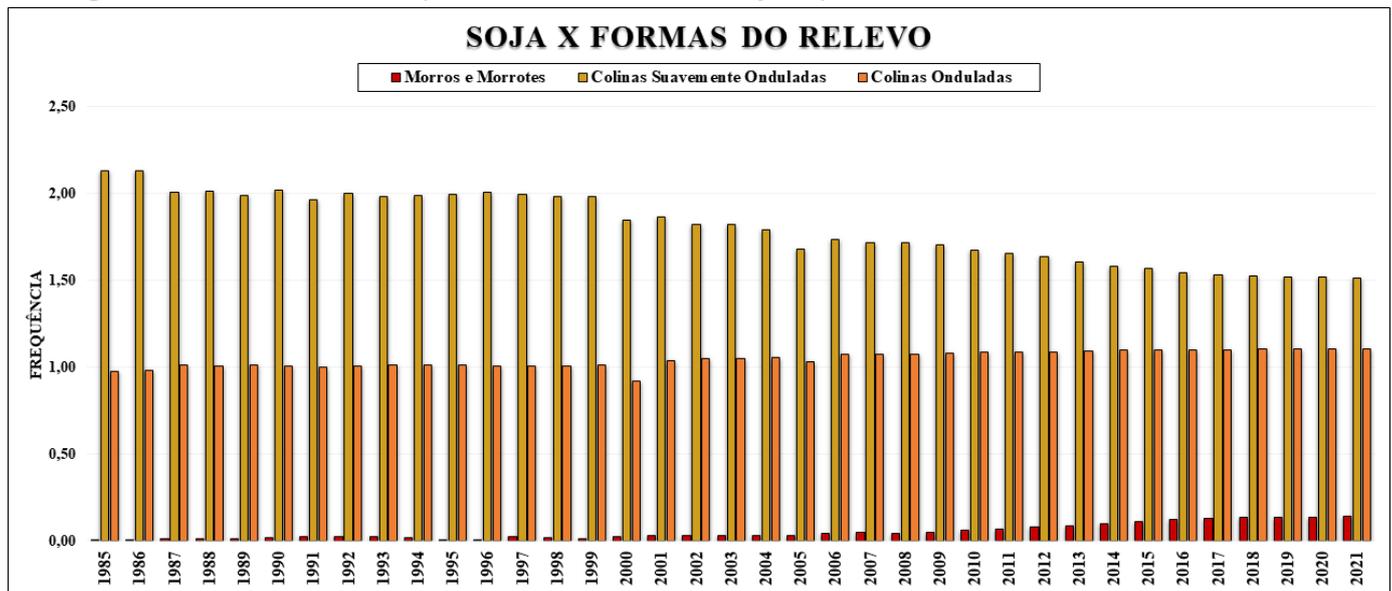
Figura 11. Relação entre LULC da soja e o relevo do município de Jari (RS) dos anos de 1985 (A) e 2021 (B).



Fonte: Elaboração Própria (2023).

Em relação a frequência das formas de relevo (Figura 12), observa-se em 1985, uma correlação alta de soja em colinas suavemente onduladas ($Fr = 2,13$), enquanto no ano de 2021 houve uma diminuição desta frequência ($Fr = 1,51$). Quanto à soja em colinas onduladas, em 1985 era de $Fr = 0,97$ e em 2021 era $Fr = 1,10$. A soja em morros e morrotes, apresentou uma FR de 0,004 em 1985, enquanto em 2021 houve um aumento para 0,14.

Figura 12. Gráfico da frequência da cultura da soja a partir do relevo entre 1985 a 2021.

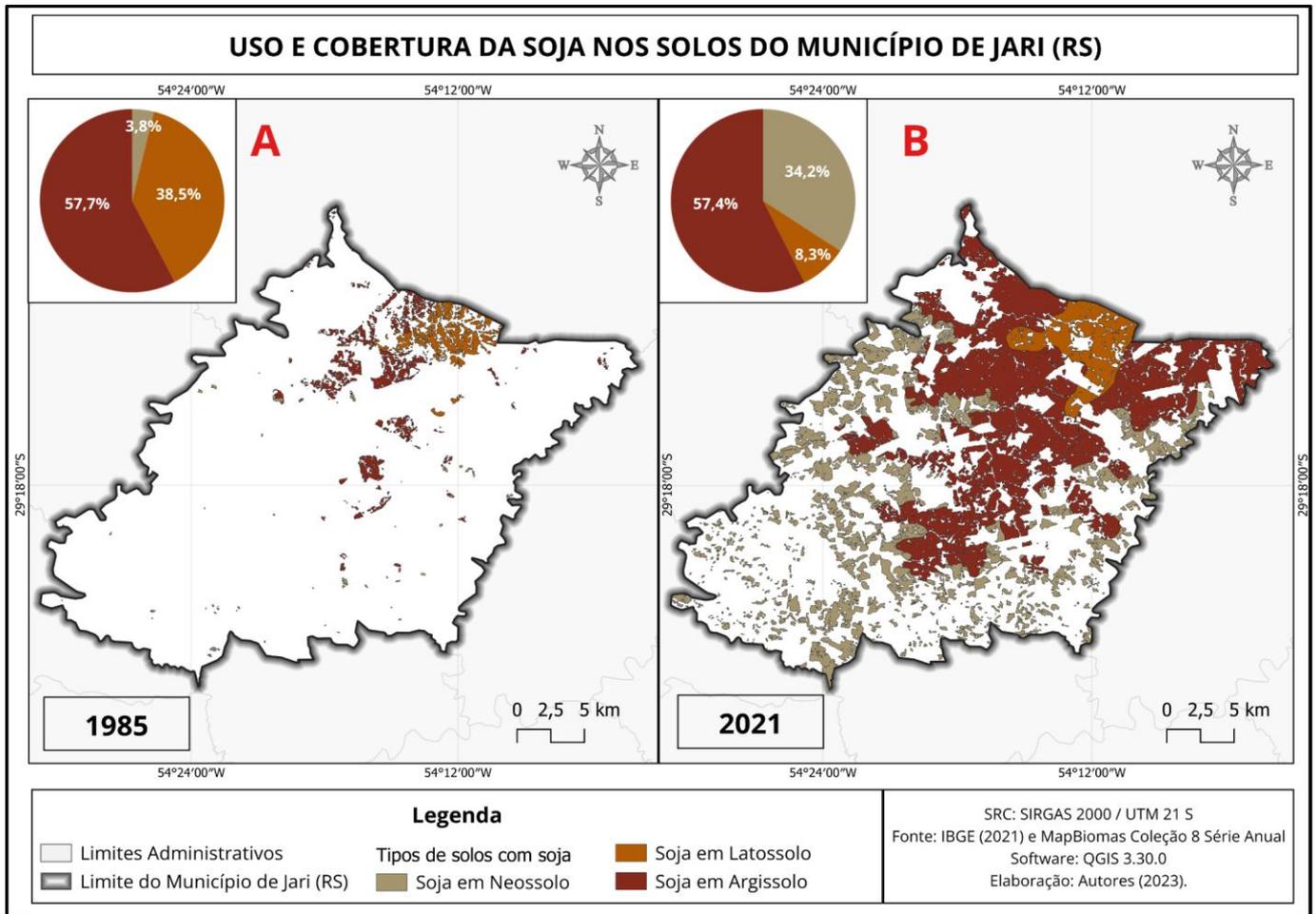


Fonte: Elaboração Própria (2023).

Expansão da soja segundo a variável solos

As áreas de soja, em 1985 (Figura 13 A), predominavam em Argissolos (57,7%) e Latossolos (38,7%), enquanto nos Neossolos havia apenas 3,8% da soja. No ano de 2021 (Figura 13 B), a soja em porções de Argissolos predomina (57,4%), enquanto os Latossolos apresentaram apenas 8,3%. Ressalta-se o aumento significativo em áreas de Neossolos, em 2021 (34,2%).

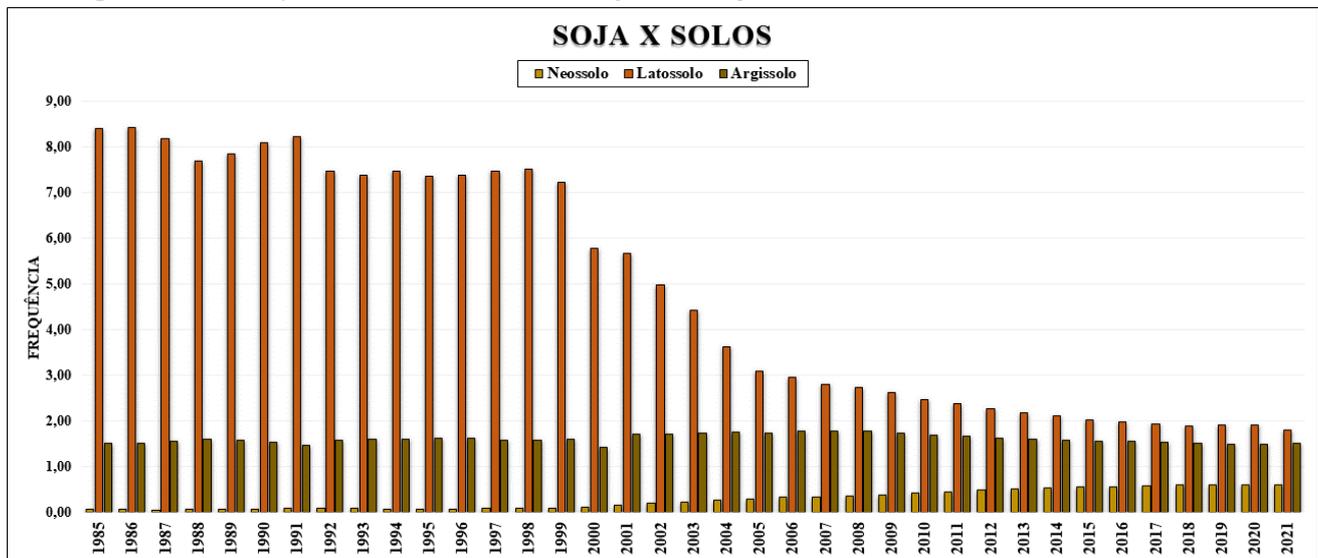
Figura 13. Relação entre a LULC da soja e os solos do município de Jari (RS) dos anos de 1985 (A) e 2021 (B)



Fonte: Elaboração Própria (2023)

A partir da análise da frequência da soja em solos (Figura 14), em 1985, a correlação é alta para Latossolos ($Fr = 8,41$), com uma diminuição gradativa, atingindo em 2021 uma frequência de 1,81, devido a expansão da cultura em outros solos. A presença da soja em Argissolos se mantém praticamente constante, com Fr de 1,51 em 1985 e 2021. No que se refere à soja em porções de Neossolos, em 1985 apresentava $Fr = 0,070$, mostrando uma baixa correlação, contudo, em relação à 2021, houve um aumento para $Fr = 0,61$.

Figura 14. Frequência da cultura da soja e relação com os solos entre 1985 a 2021.

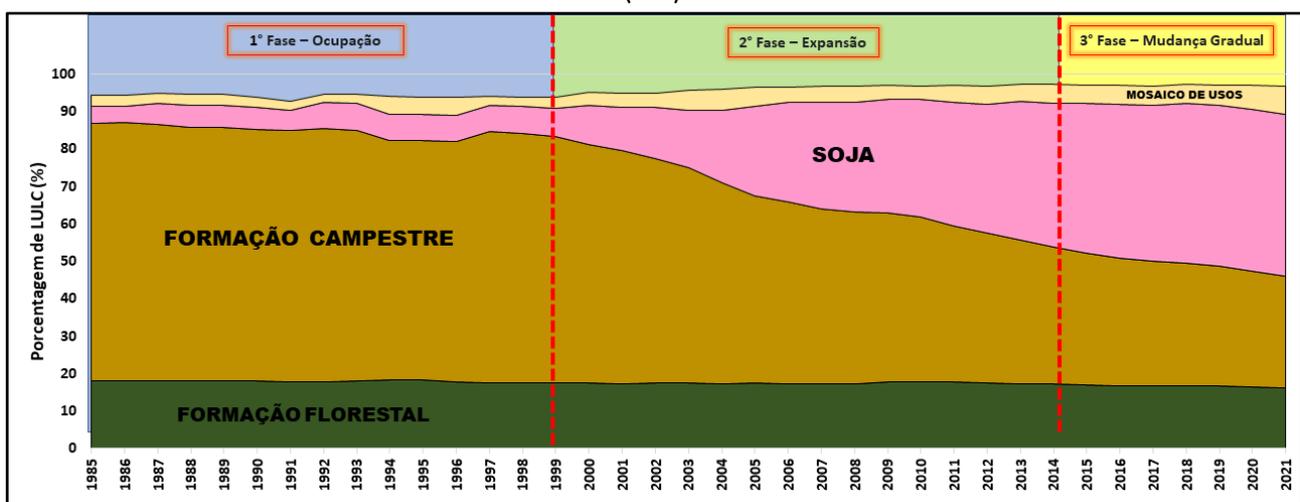


Fonte: Elaboração Própria (2023).

Os estágios de expansão da cultura de soja em Jari (RS) e a produtividade obtida

Com base nos dados apresentados, foi possível definir três estágios de avanço da soja (Figura 15), entre 1985 e 2021, para Jari (RS). O primeiro foi chamado de ocupação da soja, caracterizado por uma transição lenta de LULC até meados de 1998. O segundo estágio ocorreu entre 1999 e 2014, sendo caracterizada pela expansão em diversas porções do município. A partir de 2016, a cultura da soja já ocupava grande parte das áreas mais propensas ao cultivo, passando por um estágio denominado de mudança gradual.

Figura 15. Estágios de avanço da soja entre o período de 1985 a 2021 no município de Jari (RS).

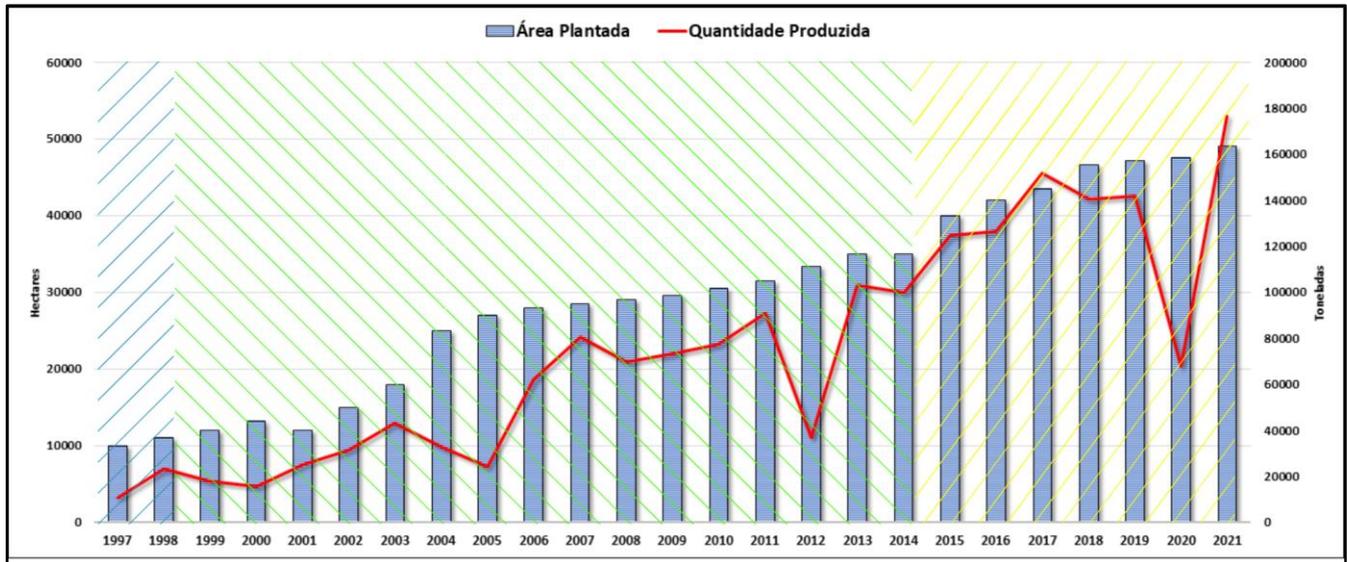


Fonte: Elaboração Própria (2023).

No que se refere ao segundo estágio (expansão), houve um aumento de 25.000 hectares plantados e 81.900 toneladas produzidas. No terceiro estágio (mudança gradual), houve um

aumento de 9.000 hectares e a produção teve um aumento de 51.920 toneladas. Além disso, houve diminuições na quantidade produzida nos anos de 2006, 2012 e 2020 (Figura 16).

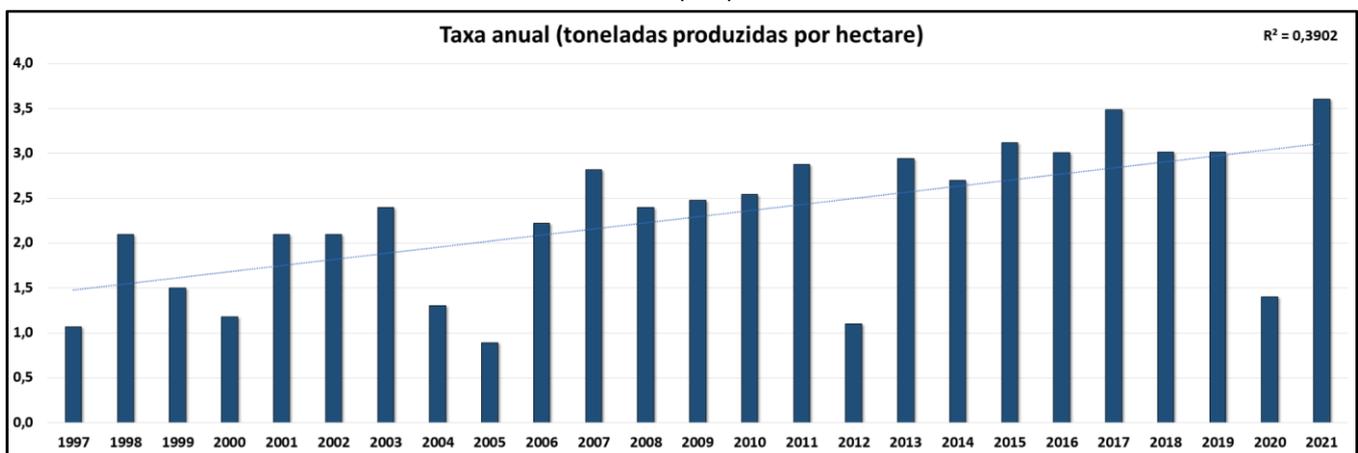
Figura 16. Relação da área plantada e quantidade produzida de soja no município de Jari (RS) entre 1997 e 2021.



Fonte: Elaboração Própria (2023).

A respeito da taxa anual média de produção por hectare da cultura (Figura 17), notou-se um aumento durante o período analisado (1997-2021), com R^2 de 0,39. Em 1997, a taxa de produção foi de 1,1 toneladas por hectare, passando para 3,6 em 2021.

Figura 17. Taxa anual de toneladas produzidas por hectare de 1997 a 2021 do município de Jari (RS).



Fonte: Elaboração Própria (2023).

No segundo estágio observa-se que as taxas de produção variaram de 1,5 toneladas por hectare em 1999 para 2,7 em 2014, sendo o R^2 de 0,25. Em 2011 e 2013 a taxa atingiu 2,9

toneladas por hectare. No terceiro estágio, em 2015 a taxa era de 3,1 toneladas por hectare, enquanto em 2021 foi de 3,6, sendo o R^2 de 0,05.

DISCUSSÕES

A partir da validação dos dados do MapBiomias em campo, observou-se uma correspondência de 100% dos dados, dessa forma, evidenciando a precisão da classificação da soja gerada pelo projeto. Independentemente do tamanho das áreas, que no caso de Jari (RS), são menores em porções mais declivosas ao sul, o algoritmo de classificação apresentou precisão na identificação das lavouras, sem confusão com outros alvos. Petsch et al., (2022) também realizaram a verificação em campo dos dados do MapBiomias, para uma área do bioma Pampa. Os resultados de Petsch et al (2022) demonstraram uma acurácia satisfatória, identificando apenas alguns problemas de distinção entre as culturas de arroz e soja.

Os dados fornecidos pelo MapBiomias indicam que as áreas mais impactadas pelo avanço da soja são aquelas originalmente cobertas por campo natural (formação campestre). Por muitos anos, a produção pecuária influenciou a economia e a cultura do Pampa, devido a presença de gramíneas como principal vegetação do bioma (BOLDRINI, 2009). Contudo, nas últimas décadas, o forte impulso do mercado internacional de commodities agrícolas tem instigado os produtores a procurarem novas áreas para a conversão ao cultivo de soja (ROCHA et al., 2018; BEILFUSS, 2022; CHIACCHIO e de SOUSA, 2024; BEILFUSS, PETSCH e TRENTIN, 2024). Ademais, esse crescimento da soja em porções de Bioma Pampa pode ser atribuído ao preço atrativo das terras na região do Pampa (DA SILVA LEMOS; RIZZI, 2020).

É importante destacar que os impactos ambientais na Formação Campestre ocorrem desde a introdução da pecuária, e podem ser potencializados pela conversão para agricultura. Muitas vezes, estas áreas naturais estavam em situações de sobrepastejo caracterizado pela grande quantidade de animais por hectare em áreas de formação campestre, causando a degradação do solo (OVERBECK et al., 2009; KUPLICH, CAPOANE e COSTA, 2018). Por outro lado, a inserção da agricultura irá acarretar uma perda significativa de biodiversidade, especialmente devido ao uso intensivo de agrotóxicos nas lavouras (BOLDRINI, 2009; HASENACK et al., 2019).

Em Jari (RS) houve um crescimento de 890% na área cultivada de soja, entre 1985 e 2021. Estes dados indicam um ritmo mais acelerado em comparação com pesquisas realizadas no bioma Pampa, como Kuplich, Capoane e Costa (2018), Mengue (2020), Ribeiro et al., (2021) e Petsch et al., (2022). A expansão da soja em Jari (RS), tem ritmos diferentes, possibilitando determinar três estágios distintos. No primeiro estágio, até o ano de 1998, a expansão da soja é lenta no município, não havendo uma pressão acentuada em porções de relevo mais declivoso ou solos rasos. A taxa de produção da soja em 1998, evidencia um estágio de ocupação predominante em condições mais favoráveis ao crescimento da leguminosa, como os Latossolos e Argissolos que se desenvolvem em colinas suavemente onduladas.

O segundo estágio se caracteriza pela rápida expansão da soja, é o momento de maior aumento de área ocupada, atingindo porções com condições menos favoráveis para a cultura. A taxa de produção de grãos, mostra que os contextos variados de solos e relevo, não propiciam ganhos tão significativos na produção. A ampliação da área cultivada com soja, nesse período,

tem ligação com diversos fatores externos como o aumento nos preços internacionais dos grãos e o reforço das políticas de crédito para a produção agrícola (VON WITZKE e NOLEPPA, 2014; MARTINELLI et al., 2017).

Nesse estágio, os anos de 2004, 2005 e 2012 registraram alguns dos menores valores de produção de soja para o município de Jari (RS). De acordo com dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), no período de 2003 a 2016, o município de Jari (RS) declarou Situação de Emergência devido à estiagem justamente em 2004, 2005 e 2012, evidenciando que as condições climáticas são restritivas ao cultivo do grão, em alguns anos. Pilau et al., (2022) destacam que apesar de ter havido aumento na produção da soja, nas últimas décadas, ainda é fortemente controlada pela variabilidade de chuvas associadas ao El Niño Oscilação Sul (ENSO).

Outrossim, cerca de um terço da soja plantada no município cresce em áreas de Neossolos, neste estágio. Este solo se caracteriza por perfis rasos e baixa capacidade de retenção de umidade, o que pode levar as plantas ao estresse hídrico durante períodos secos (STRECK, 2018). Ressalta-se também que sistemas de irrigação são utilizados no município, porém são poucos e estão mais concentrados na porção norte do município. Essa porção é a que possui as maiores propriedades com a cultura da soja, portanto, são agricultores que possuem condições financeiras para o investimento em sistemas de irrigação. Ademais, devido às condições do relevo, que permite a instalação da irrigação apenas em áreas suavemente onduladas, as lavouras de soja em solos rasos e mais declivosos irão enfrentar a escassez hídrica.

Nesse estágio, também se caracteriza pelo avanço da soja em porções declivosas e nas formas de relevo de morros e morrotes, em decorrência do aumento de tecnologias no campo. Observou-se, principalmente a partir de 2003, o aumento da Fr da soja em áreas com declividade superior a 15%. Outrossim, os valores máximos de declividade ocupados pela cultura são registrados nesse estágio, em 2014 e 2015. O IPT (1981) definiu o valor de 15% de declividade como limite máximo para o emprego da mecanização na agricultura, enquanto Mengue et al., (2020) ressaltam que a declividade é um limitante para o cultivo da soja. No município de Jari (RS), a declividade dificulta, mas não impede a expansão da soja.

No terceiro estágio, a soja já passou a ocupar praticamente metade do município, e ocorreu uma falta de área física para a expansão, associada a algumas restrições de relevo. Comparando com o segundo estágio, o terceiro demarca a expansão da soja para terrenos ainda mais íngremes, para os morros e morrotes, contudo, com a produção média acima de 3 toneladas por hectare. Isso ocorre porque os agricultores estão fazendo uso de novas tecnologias alternativas para uma rentabilidade maior em áreas menores, como a agricultura de precisão (TOMAZINI e MOSCON, 2023) e a irrigação (MORALES e GARCÍA, 2023).

Avaliando todo o período de análise, observou-se uma diversificação das características ambientais ocupadas pela soja, principalmente, devido ao vetor de expansão em direção ao sul, onde está o Rebordo do Planalto. Um terço da soja plantada no município de Jari (RS) estava em Neossolos, em 2021. Em 1985 praticamente não havia soja em morros e morrotes e em declividades acima de 15%. Em 2021, 2,4% da cultura se desenvolveu em morros e morrotes e a Fr da declividade acima de 15% passou para 0,68.

Constatou-se um cenário de inserção da cultura em terrenos com menor altitude, principalmente nas proximidades de canais de drenagem. Em outros municípios do Pampa gaúcho é comum que as várzeas estejam ocupadas por plantações de arroz (MENGUE et al., 2016; MENGUE et al. 2020; PETSCH et al., 2022). Para Jari, as áreas de menor altitude estão ocupadas com Formação Campestre nas porções leste e oeste do município e Formação Florestal ao sul, sendo que onde a declividade não é tão acentuada, ocorre a conversão para a cultura temporária.

A expansão acentuada da soja no município de Jari, para diversas áreas e inclusive nas porções junto aos cursos d'água, demonstra inclusive a grande associação prática do município à esta cultura, visto que o arroz, por exemplo, não possui áreas significativas. Cooperativas e outras empresas de tratamento de grãos apresentam as estruturas de secagem e estocagem ligadas à soja e desta forma, outras culturas não possuem tanta atração dos produtores. Ademais, a soja possui uma boa capacidade adaptativa ao estresse imposto por uma condição de solo inundado (PIRES et al., 2002), o que está aliada à questão de desenvolvimento biotecnológico e resistência da planta a condições extremas.

Desta forma, foi possível estabelecer quais foram os atributos físicos restritivos, impeditivos ou que propiciaram a expansão da cultura em Jari (RS). Ainda sobre os atributos físicos restritivos, a declividade acima de 15% pode ser classificada nessa categoria, pois é necessário um investimento em tecnologias e maquinários para permitir a plantação nessas condições. Quanto ao relevo, a classe de morros e morrotes representa uma das condições que mais tem restringido o avanço da cultura da soja em Jari (RS). No que se refere aos atributos físicos que propiciaram ou que não ofereceram restrição ao avanço da cultura, têm-se a altitude e solos.

Nesse viés, é necessário considerar que a economia do município de Jari (RS) é dependente de uma monocultura, a produção da soja. Considerando que os produtores estão cada vez mais ocupando áreas desfavoráveis, com solos rasos e áreas declivosas que não apresentam condições naturais de armazenagem de água, os reflexos na produtividade anual em períodos de seca são cada vez maiores. Dessa forma, se ocorrer perdas na safra, as chances de haver prejuízos na economia do município são muito altas. Conforme observado por Saito (2011), em um estado predominantemente agrícola como o RS, tais eventos climáticos adversos resultam em prejuízos substanciais que exercem um impacto significativo na economia local.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos com a plataforma Mapbiomas, foram precisos ao distinguirem corretamente as lavouras de soja no município em detrimento de outras culturas temporárias, portanto, propiciando realizar o monitoramento temporal de mudanças no LULC em Jari (RS). A classificação gerada a partir das imagens Landsat - disponível no MapBiomas - e os produtos utilizados na pesquisa referentes a solos, relevo e recursos hídricos apresentaram uma escala adequada para a área de estudo. Dessa maneira, entre os anos de 1985 e 2021, a soja teve um aumento de 890%, o que ocasiona/ocasionará consequências econômicas e ambientais para o município de Jari (RS).

No que tange a parte ambiental, houve um rápido processo de conversão da Formação Campestre, vegetação natural do bioma Pampa, para áreas destinadas à lavoura de soja. Destaca-se que grande parte dessa expansão ocorreu em solos naturalmente rasos e frágeis, muitas vezes degradados pela inserção da pecuária, devido ao sobrepastejo de gado.

Quanto aos impactos econômicos, verifica-se que o município tem seu PIB altamente dependente da monocultura de soja, que conforme verificado no estudo, a produtividade destes grãos é afetada por períodos de estiagem. Na medida em que não há indústrias no município ou a diversificação de produtos primários, a estiagem afeta diretamente toda a população local, dependente diretamente ou indiretamente da safra de soja. Esse cenário é ainda mais preocupante, diante da previsão de mais eventos extremos de precipitação, e da expansão da soja para solos rasos que não armazenam quantidade de água suficiente para a planta suportar períodos secos.

Por fim, foi possível estabelecer três estágios de ocupação da soja no município, diretamente ligadas a dois fatores: (i) o aumento do preço do grão no mercado internacional, que impulsionou a expansão da cultura para terrenos pouco favoráveis ao crescimento; e (ii) os avanços tecnológicos e de maquinários no meio rural que, de fato, permitiram o avanço da cultura para características ambientais mais diversas, como a ocupação em terrenos com a declividade acima de 15% e morros e morrotes.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013
- 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.
- AZEVEDO, T.; MATIAS, L. F. Dinâmica da alteração do uso e ocupação agrícola na Amazônia maranhense: uma análise a partir de dados do Mapbiomas. In: Evento em comemoração aos 20 anos do Programa de Pós-graduação em Geografia (IG-UNICAMP), v 1, n. 1, 1998, Campinas. UNESP, p. 89-103, 2022
- BAEZA, S. et al. Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomas Pampa initiative. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 28, p. 100834, 2022.
- BEILFUSS, E. B. et al. Atlas Geoambiental de Jari-RS, 2022.
- BEILFUSS, E. M.; PETSCH, C.; TRENTIN, R. Dinâmica do uso e cobertura da terra em Jari (RS) e cenários de expansão da soja entre 2025-2030. *Revista RA'EGA*. v.60, n12, p. 209 - 229, 2024.
- BOLDRINI, I. I.. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*, p. 63-77, 2009.
- BRASIL, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Institui o novo código florestal brasileiro. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em 01 dez 2023.
- CABALLERO, C. B. et al., Transformation of Brazil's biomes: The dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation. *Science of The Total Environment*, v. 896, p. 166323, 2023.
- CAPOANE, V.; KUPLICH, T. M. Expansão da agricultura no bioma Pampa. 8 Região de Estudos Ambientais, 2018.
- CHANG, W.; LEE, H.; HUNGRIA, M.. Soybean production in the Americas. *Principles of plant-microbe interactions: microbes for sustainable agriculture*, p. 393-400, 2015.
- CHIACCHIO, M. A.; DE SOUSA, A. L. A expansão da soja e os efeitos no mercado de terras na Amazônia. *Geografia em Questão*, v. 17, n. 02, 2024.
- DA SILVA JUNIOR, C. A. et al. Mapping soybean planting area in midwest Brazil with remotely sensed images and phenology-based algorithm using the Google Earth Engine platform. *Computers and electronics in agriculture*, v. 169, p. 105194, 2020.

- DA SILVA LEMOS, G.; RIZZI, R. A expansão da soja no bioma pampa brasileiro e sua interação espaço-temporal com arroz e campo. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, n. 35, p. 9-26, 2020.
- DOS SANTOS, J. F. S.; NAVAL, L. P. Soy water footprint and socioeconomic development: An analysis in the new agricultural expansion areas of the Brazilian cerrado (Brazilian savanna). *Environmental Development*, v. 42, p. 100670, 2022.
- ESPER ANGLIERI, M. Y. Debris flow susceptibility mapping in a portion of the Andes and Pre andesof San Juan, Argentina using frequency ratio and logistic regression models. *Earth Sciences Research Journal*, v. 17, n. 2, p. 159-167, 2013.
- FEARNSIDE, P. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental conservation*, v. 28, n. 1, p. 23-38, 2001.
- FERREIRA, W. H. K.; MONTINI, V. Z.; GRIZIO-ORITA, E. V. Análise e mapeamento das áreas de conflito de uso do solo de áreas de preservação permanente da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal-PR. *Revista Espaço e Geografia*, v. 26, 2023.
- FOUCHER, A. et al. Inexorable land degradation due to agriculture expansion in South American Pampa. *Nature Sustainability*, p. 1-9, 2023.
- GRECCHI, R. C. et al. Mudanças no uso e cobertura da terra no Cerrado brasileiro: uma abordagem multidisciplinar para avaliar os impactos da expansão agrícola. *Geografia Aplicada*, v. 55, p. 300-312, 2014.
- GUARESCHI, V.; NUMMER, A. Depressões Fechadas e Cabeceiras de Drenagem na Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Taquarembó - Planalto Meridional do RS. *Revista Geonorte*, [S. l.], v. 5, n. 19, p. 107-112, 2014.
- HASENACK, H. et al. Bioma Pampa: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável. *Biomass e agricultura: oportunidades e desafios*. Vertente edições, Rio de Janeiro, p. 123-140, 2019.
- KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, n. 31, p. 83-100, 2018.
- LAPOLA, D. M. et al. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. *Nature climate change*, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2014.
- MARANHÃO, R. L. A. et al. The spatiotemporal dynamics of soybean and cattle production in Brazil. *Sustainability*, v. 11, n. 7, p. 2150, 2019.
- MARTINELLI, L. A. et al. Soy expansion and socioeconomic development in municipalities of Brazil. *Land*, v. 6, n. 3, p. 62, 2017.
- MENGUE, V. P. et al. Land-use and land-cover change processes in Pampa biome and relation with environmental and socioeconomic data. *Applied Geography*, v. 125, p. 102342, 2020.

- MORALES, A.; GARCÍA, M.; NOLZ, R. Assessment of the impact of irrigation management on soybean yield and water productivity in a subhumid environment. *Agricultural Water Management*, v. 284, p. 108356, 2023.
- NABINGER, C.; MORAES, A.; MARASCHIN, G. E. Campos in Southern Brazil. In: *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (eds. Lemaire G, Hodgson JG, Moraes A & Maraschin GE). CABI Publishing Wallingford, p. 355-376 2000.
- NABINGER, C. et al. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 175-198, 2009.
- OSIS, R.; LAURENT, F.; POCCARD-CHAPUIS, R. Determinantes espaciais e cenários futuros de uso da terra no município de Paragominas, antiga fronteira agrícola na Amazônia. *Revista de Ciência do Uso da Terra*, v. 3, p. 258-279, 2019.
- OVERBECK, G. E. et al. Fisionomia dos campos. *Os campos do Sul*, p. 31-39, 2015.
- OYARZABAL, M. et al. Temperate subhumid grasslands of southern South America. 2020.
- PAGANO, M. C.; MIRANSARI, M. The importance of soybean production worldwide. In: *Abiotic and biotic stresses in soybean production*. Academic Press, 2016.
- PETSCH, C. et al. A Expansão da Cultura de Soja no Pampa Gaúcho: O Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. *Revista Geografar*, v. 17, n. 1, p. 47-71, 2022.
- PICOLI, M. C. et al. Impacts of public and private sector policies on soybean and pasture expansion in Mato Grosso—Brazil from 2001 to 2017. *Land*, v. 9, n. 1, p. 20, 2020.
- PILAU, F. G. et al. Impact of ENSO-related rainfall variability on soybean yield in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Agrometeoros*, v. 30, 2022.
- PRATAP, A. et al. Soybean. *Technological Innovations in Major World Oil Crops, Volume 1: Breeding*, p. 293-321, 2012.
- PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, acessado em 10/10/2023.
- RHODEN, A. C.; VIANA, J. G.; SILVEIRA, V. C. P. Change in land use and economic dynamics of the Ibirapuitã River Environmental Protection Area of the Brazilian Pampa biome. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, n. 5, p. 2137-2154, 2022.
- ROCHA, B. et al. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. *Revista de Ciências Agrárias*, 41(2), 376-384, 2018.
- SAITO, S. M. et al. Avaliação dos desastres naturais ocorridos no Rio Grande do Sul em 2008. *XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto—SBSR*, 2011.
- SALMONA, Y. et al. A Worrying Future for River Flows in the Brazilian Cerrado Provoked by Land Use and Climate Changes. *Sustainability*, v. 15, n. 5, p. 4251, 2023.

- SANTOS, J. S. et al. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 54-63, 2014.
- 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, p. 914, 2023.
- SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÕES SOBRE DESASTRES - S2iD.
Ministério da Integração – MI. Disponível em: <http://S2iD.mi.gov.br/>. Acesso em 12 out 2023.
- SONG, X. et al. Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. *Nature sustainability*, v. 4, n. 9, p. 784-792, 2021.
- SOUZA, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.
- STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS: EMATER/RS-ASCAR, 2008.
- TOMAZINI, L.; MOSCON, E. O uso de drone para obtenção de mapas de aplicação de precisão em soja. *Repositório Institucional*, v. 2, n. 1, 2023.
- VIEIRA, D. C. et al. Cropland expansion, intensification, and reduction in Mato Grosso state, Brazil, between the crop years 2000/01 to 2017/18. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 28, p. 100841, 2022.
- VON WITZKE, H.; NOLEPPA, S. Biofuels: Agricultural commodity prices, food security, and resource use. *Agriopol research paper 2014-02*, 2014.