



## EVOLUÇÃO ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL: UMA ANÁLISE DE VARIÂNCIA E DE CONGLOMERADOS

Daniel Gross<sup>1</sup>  
Nilson Luiz Costa<sup>2</sup>  
Fouad Fabio El Beitune Said<sup>3</sup>  
Lucas França Tanaro<sup>4</sup>  
Geferson Gustavo Wagner Mota da Silva<sup>5</sup>

**Resumo:** O presente estudo tem como objetivo analisar a evolução da variabilidade espacial da produtividade da soja nos municípios do estado do Rio Grande do Sul. Para isso, foram utilizados dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referentes à produtividade da cultura da soja, aplicando-se as técnicas de Análise de Variância (ANOVA) e análise de conglomerados (clusters). A ANOVA foi aplicada ao período de 1974 a 2023, permitindo identificar três fases distintas da dinâmica produtiva da cultura, caracterizadas pela transição de um padrão relativamente homogêneo, com desvio padrão de 236,57 kg/ha, para um cenário de elevada heterogeneidade, no qual o desvio padrão atingiu 716,95 kg/ha. A análise de clusters foi realizada para o período de 2004 a 2023, intervalo em que a divisão político-administrativa do estado já se encontrava consolidada, sem processos significativos de emancipação municipal. Os resultados permitiram a formação de sete agrupamentos compostos por municípios com níveis de produtividade semelhantes. A variabilidade espacial observada pode ser atribuída a múltiplos fatores, com destaque para a expansão territorial da cultura para áreas marginalmente aptas ao cultivo e para a influência das condições edafoclimáticas sobre o desempenho produtivo regional. Os resultados contribuem para a compreensão da evolução espacial da soja no Rio Grande do Sul e das diferenças produtivas existentes entre seus territórios.

**Palavras-chave:** Produtividade agrícola; Soja; Variabilidade espacial; Rio Grande do Sul.

## EVOLUTION OF SOYBEAN PRODUCTIVITY IN RIO GRANDE DO SUL: AN ANALYSIS OF VARIANCE AND CLUSTER ANALYSIS

**Abstract:** This study aims to analyze the evolution of the spatial variability of soybean productivity across municipalities in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. To achieve this objective, data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) regarding soybean productivity were used, applying Analysis of Variance (ANOVA) and cluster analysis techniques. ANOVA was conducted for the period from 1974 to 2023, allowing the identification of three distinct phases in the productive dynamics of soybean cultivation, characterized by a transition from a relatively homogeneous pattern, with a standard deviation of 236.57 kg/ha, to a highly heterogeneous scenario, in which the standard deviation reached 716.95 kg/ha. Cluster analysis was performed for the period from 2004 to 2023, when the state's political-administrative division was already consolidated, with no significant municipal emancipation processes. The results enabled the identification of seven groups composed of municipalities with similar productivity levels. The observed spatial variability can be attributed to multiple factors, particularly the territorial expansion of soybean cultivation into marginally suitable areas and the influence of edaphoclimatic

---

<sup>1</sup> Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8591-7122>. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6678901641057217>. E-mail: [dgross88@gmail.com](mailto:dgross88@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutorado em Ciências Agrárias pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2000-1521>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4436596248591572>. E-mail: [nilson.costa@ufsm.com.br](mailto:nilson.costa@ufsm.com.br)

<sup>3</sup> Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5250-8570>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0582060139848149>. E-mail: [ffbeitune@yahoo.com.br](mailto:ffbeitune@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal de Santa Maria (PPGAGR – UFSM). ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1684-8755>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2598083718730791>. E-mail: [lucas.franca004@gmail.com](mailto:lucas.franca004@gmail.com)

<sup>5</sup> Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2325-4666>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9832170280673981>. E-mail: [geferson\\_gustavo@hotmail.com](mailto:geferson_gustavo@hotmail.com)



conditions on regional productive performance. The findings contribute to a better understanding of the spatial evolution of soybean production in Rio Grande do Sul and the productivity differences among its territories.

**Keywords:** *Agricultural productivity; Soybeans; Spatial variability; Rio Grande do Sul.*

## 1 Introdução

A área cultivada com soja no estado do Rio Grande do Sul apresentou relativa estabilidade entre meados da década de 1970 e o início dos anos 2000, período em que evoluiu de aproximadamente 3,1 milhões para 3,3 milhões de hectares. Ao longo desse intervalo, a área média cultivada foi de aproximadamente 3,32 milhões de hectares, com um pico de 4,03 milhões de hectares registrado em 1979 e um mínimo de 2,49 milhões de hectares observado em 1996 (IBGE, 2025).

A partir de 2002, iniciou-se um processo contínuo de expansão da cultura da soja no estado, o qual passou a modificar de forma significativa a estrutura produtiva do Rio Grande do Sul. Ao final daquela década, a área cultivada havia aumentado cerca de 27,3%, movimento que se intensificou após 2010, quando se observou um crescimento aproximado de 45% até 2020. Em 2010, a soja ocupava cerca de 4 milhões de hectares, número que cresceu para aproximadamente 6,6 milhões de hectares em 2023, segundo dados do IBGE (2025). Esse avanço elevou a participação da soja para 63% da área total destinada às culturas temporárias no estado, frente a 51,76% em 2010, representando um acréscimo de 21,72 pontos percentuais na estrutura produtiva agrícola gaúcha.

Até o início dos anos 2000, a produção de soja no Rio Grande do Sul concentrava-se predominantemente nas regiões do Planalto Médio e em áreas adjacentes, tradicionalmente reconhecidas pela elevada aptidão ao cultivo da oleaginosa (Oderich; Elias; Waquil, 2019). Contudo, entre 2000 e 2017, verificou-se uma expressiva expansão da área cultivada, que passou de aproximadamente 3,0 para 5,5 milhões de hectares. Nesse período, a cadeia produtiva da soja ampliou significativamente sua relevância econômica no estado, sendo que aproximadamente 87% do aumento da área cultivada ocorreu em regiões de fronteira agrícola (Costa *et al.*, 2020).

Esse processo foi caracterizado por Oderich, Elias e Waquil (2019) como a principal expressão do denominado “ciclo do agronegócio” no Rio Grande do Sul. A incorporação dessas novas áreas produtivas contribuiu para ampliar as diferenças de produtividade entre as regiões do estado, tornando a análise da variabilidade espacial da cultura um elemento relevante para a compreensão da dinâmica recente da soja gaúcha.

A expansão territorial da soja ocorreu por meio da incorporação de regiões anteriormente consideradas marginais para o cultivo, como a Serra do Sudeste e a Campanha (Oderich; Elias; Waquil, 2019). De forma convergente, Torres *et al.* (2023) destacam que as mesorregiões Centro



Ocidental, Sudeste e Sudoeste foram aquelas onde a cultura mais avançou nas últimas décadas. Nesse contexto, a soja, em conjunto com a silvicultura, expandiu-se sobre áreas significativamente superiores àquelas subtraídas de outras culturas agrícolas, indicando a conversão de áreas tradicionalmente ocupadas pela pecuária no bioma Pampa (Oderich; Elias; Waquil, 2019).

Entre as safras 2000/01 e 2014/15, a área cultivada com soja no bioma Pampa aumentou cerca de 57%, correspondendo à conversão de aproximadamente 1,53 milhão de hectares, majoritariamente provenientes de pastagens naturais, em áreas agrícolas destinadas à oleaginosa (Silveira; González; Fonseca, 2017). De forma ainda mais abrangente, Torres *et al.* (2023) apontam que, no período de 2001 a 2020, a área cultivada com soja no Rio Grande do Sul apresentou um crescimento de 100,5%, avançando sobre áreas anteriormente destinadas ao cultivo de arroz, milho e à pecuária. As mesorregiões Centro Ocidental, Sudeste e Sudoeste concentraram cerca de 62,4% de todas as áreas convertidas para a soja no estado.

Os fatores que explicam essa reconfiguração da estrutura produtiva agrícola estão associados, principalmente, à valorização da soja no mercado internacional a partir dos anos 2000 (Silveira; González; Fonseca, 2017). Além disso, Torres *et al.* (2023) destacam que a adoção de novas técnicas agrícolas e a introdução de cultivares transgênicas contribuíram para esse processo de expansão. Como consequência, a participação da soja nas economias municipais do interior do Rio Grande do Sul aumentou de maneira generalizada, tornando muitos municípios fortemente dependentes da cultura (Oderich; Elias; Waquil, 2019). Esse processo também ampliou a relevância do agronegócio para a economia estadual, uma vez que a cadeia produtiva foi responsável por, no mínimo, 52% das exportações do Rio Grande do Sul ao longo dos últimos 21 anos (Costa *et al.*, 2020). Dessa forma, variações na produtividade da soja possuem potencial para influenciar não apenas o desempenho econômico dos municípios produtores, mas também a competitividade do agronegócio gaúcho no cenário nacional e internacional.

A expansão da área cultivada com soja no território gaúcho também contribuiu para ampliar a heterogeneidade da produtividade agrícola entre as regiões produtoras. Esse processo está fortemente associado aos desafios impostos pelas condições climáticas, especialmente as estiagens, que afetam de maneira significativa a produtividade agrícola no estado. A recorrência de déficits hídricos no território gaúcho constitui um dos principais fatores de redução da produtividade das culturas agrícolas, uma vez que a maior parte das lavouras é conduzida em regime de sequeiro, resultando em expressivos prejuízos econômicos e sociais (Lazzari, 2006; Sentelhas *et al.*, 2015; Leivas *et al.*, 2014). Essa dinâmica contribui para explicar as variações espaciais da produtividade observadas entre as diferentes regiões do estado (Arsego *et al.*, 2019).

Nesse sentido, Torres *et al.* (2023) observaram que, no período de 2011 a 2020, as regiões Sudeste e Sudoeste, caracterizadas pela maior intensidade de expansão da soja sobre áreas não



agrícolas, apresentaram os menores níveis médios de produtividade por hectare no estado para a cultura. Em contraste, as regiões Noroeste e Centro Oriental registraram produtividades superiores à média estadual, em um contexto no qual a expansão da soja ocorreu predominantemente por substituição de áreas anteriormente ocupadas pelo cultivo do milho, evidenciando que o histórico de uso do solo exerce influência direta sobre o desempenho produtivo agrícola.

Diante desse contexto, a análise da área, produção e produtividade da principal cultura agrícola do estado assume relevância central para os estudos de desenvolvimento regional, uma vez que a especialização produtiva excessiva pode ampliar a vulnerabilidade econômica dos territórios, especialmente em regiões sujeitas a riscos climáticos recorrentes. A identificação de padrões espaciais de produtividade possibilita não apenas compreender as diferenças produtivas regionais, mas também oferecer subsídios à formulação de políticas públicas voltadas à mitigação dos riscos climáticos, à diversificação produtiva, à redução das desigualdades regionais e ao fortalecimento econômico e social dos municípios.

Diante desse cenário, no qual a cultura da soja avança sobre áreas de aptidão marginal, redefine o uso do solo e enfrenta instabilidades climáticas recorrentes, torna-se fundamental compreender como esses processos se refletem nos níveis de produtividade agrícola ao longo do território gaúcho. Nesse sentido, emerge a seguinte questão de pesquisa: há evidências estatisticamente significativas de heterogeneidade espacial e temporal na produtividade da soja entre os municípios do Rio Grande do Sul que permitam identificar territórios com padrões persistentes de maior aptidão produtiva ao longo do tempo?

Com base nessa questão norteadora, o objetivo deste estudo é analisar a variabilidade espacial e a evolução temporal da produtividade da soja nos municípios do estado do Rio Grande do Sul, por meio da aplicação da análise de variância (ANOVA) e da Análise de Conglomerados (AC).

## 2 Referencial metodológico

O presente estudo possui abordagem quantitativa e as técnicas metodológicas adotadas compreendem a análise de variância (ANOVA) da produtividade da soja no estado do Rio Grande do Sul ao longo de meio século (1974–2023), bem como o agrupamento dos 497 municípios do estado em clusters, a partir de uma análise temporal da produtividade nos últimos 20 anos (2004–2023).

Complementarmente, foi realizada pesquisa bibliográfica e documental com o objetivo de contextualizar a evolução da cultura da soja no estado, especialmente no que se refere à expansão territorial da atividade, aos fatores climáticos que influenciam a produtividade e às transformações da estrutura produtiva regional. Essa etapa possibilitou a interpretação dos resultados quantitativos



à luz da literatura especializada, contribuindo para uma análise mais abrangente das diferenças produtivas identificadas entre os agrupamentos de municípios.

## 2.1 Análise de Variância (ANOVA)

A técnica de análise de variância (ANOVA) permite realizar múltiplas comparações de grupos em um único teste, a partir de um conjunto de dados obtido de uma amostra pertencente à mesma população. Dessa forma, a ANOVA possibilita determinar a probabilidade de que as diferenças entre as médias de diversos grupos ocorram apenas por acaso ou erro amostral, de acordo com Hair Jr. *et al.* (2009).

Fávero (2017) destaca que a análise de variância é um teste no qual se comparam médias de três ou mais populações, baseado na extração de uma amostra de cada população, com o objetivo de verificar se há diferenças significativas entre as médias amostrais.

No presente estudo, a técnica foi utilizada para analisar a produtividade da cultura da soja nos municípios do Rio Grande do Sul no período de 1974 a 2023, com base em dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) (IBGE, 2025), extraídos em maio de 2025. Para fins de análise, os municípios foram agrupados conforme os respectivos Conselhos Regionais de Desenvolvimento (COREDES). O agrupamento adotado é composto por 28 conselhos regionais, regulamentados pelo Decreto nº 54.572, de 14 de abril de 2019. Os integrantes de cada COREDE são definidos pelo poder público, que considera municípios com características semelhantes entre si.

O método do teste ANOVA baseia-se na premissa de que é possível realizar duas estimativas independentes de variância: uma relacionada à variação dentro dos grupos e outra à variação entre os grupos. A técnica fundamenta-se na comparação dessas variâncias, razão pela qual é denominada Análise de Variância (ANOVA). Para se realizar a mesma, se envolve o cálculo das variações que existe entre os grupos ( $\bar{Y}_i - \bar{Y}$ ) e dentro de cada um dos grupos ( $Y_{ij} - \bar{Y}_i$ ). Deste modo, se calcula a soma dos quadrados dos erros (SQU) pela seguinte fórmula (Fávero, 2017).

$$SQU = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$$

Por sua vez, a soma dos quadrados do fator (SQF), também denominada soma dos quadrados entre os grupos, é calculada da seguinte forma (Fávero, 2017)

$$SQF = \sum_{i=1}^k n_i \cdot (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$$

E a soma total é obtida conforme (Fávero, 2017).



$$SQT = SQU + SQF = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y})^2$$

A estatística da análise de variância (ANOVA) é obtida através da divisão entre a variância (SQF dividido por  $k - 1$  graus de liberdade) e a variância dos erros (SQU dividido através de  $N - k$  graus de liberdade), do seguinte modo (Fávero, 2017).

$$F_{cal} = \frac{\frac{SQF}{k-1}}{\frac{SQU}{N-k}} = \frac{QMF}{QME}$$

A análise de variância (ANOVA) foi realizada utilizando o software IBM® SPSS® Statistics.

## 2.2 Análise de Conglomerado (CLUSTERS)

O presente estudo adotou a técnica de Análise de Conglomerados, também denominada como Análise de Cluster ou análise de Agrupamentos. Trata-se de uma técnica exploratória que tem como principal objetivo identificar a existência de características similares entre os elementos da amostra pesquisada. Essa técnica permite reunir elementos que compartilham similaridades internas, distinguindo-os de outros grupos por suas diferenças em relação às variáveis analisadas (Fávero, 2017).

Diferentemente de outras técnicas multivariadas voltadas à estimação de variáveis estatísticas, a análise de clusters busca formar grupos com características similares, com base em variáveis previamente selecionadas pelo pesquisador (Hair Jr. *et al.*, 2009).

Nesse contexto, a análise utilizou dados do IBGE (2025), extraídos em maio de 2025, referentes à produtividade das culturas temporárias, com ênfase na cultura da soja, referente ao PAM de 2024. O objetivo foi realizar o agrupamento das médias de produtividade entre os municípios do estado do Rio Grande do Sul, considerando o período de 2004 a 2023.

A escolha desse recorte temporal justifica-se pelo fato de que, em 1974, o Rio Grande do Sul possuía 235 municípios. A partir de 1987, o estado passou por um intenso processo de emancipação municipal, marcado por três ondas sucessivas de criação de novos municípios (1987–1988, 1992 e 1995–1996), que ampliaram significativamente a divisão político-administrativa do estado. O último município instalado foi Pinto Bandeira, em 2001. Contudo, em 2003, o município foi extinto e reincorporado a Bento Gonçalves, sendo novamente instalado em 2013. Com isso, o Rio Grande do Sul passou a contar com os atuais 497 municípios (RIO GRANDE DO SUL, 2018). Dessa forma, a utilização do período de 2004 a 2023 reduz possíveis distorções decorrentes de alterações territoriais e permite maior consistência na comparação dos padrões espaciais de



produtividade da soja entre os municípios do estado.

Diante dessa expressiva expansão no número de municípios, a aplicação da análise de conglomerados em períodos anteriores poderia comprometer os resultados, uma vez que áreas tradicionalmente produtoras poderiam ser alocadas em agrupamentos distintos apenas em razão da idade administrativa dos municípios. Tal situação refletiria mais o processo de emancipação territorial do que, de fato, os padrões produtivos da cultura da soja.

Para a execução da análise de agrupamentos, foram empregadas duas técnicas complementares: o método de agrupamento hierárquico e o método de k-médias (k-means).

O método hierárquico, se caracteriza por ser uma técnica que utiliza uma abordagem de combinações repetitivas entre os elementos da amostra, utilizando algoritmos que agrupam observações com base em suas similaridades, até formar uma estrutura em forma de árvore denominada dendrograma ou gráfico em árvore. Esse diagrama permite visualizar as diferentes possibilidades de agrupamento e subsidiar a definição do número ideal de clusters (Hair Jr *et al.*, 2009).

A seguir, aplicou-se o método de k-médias ou k-means, um procedimento de agrupamento não hierárquico, a qual os processos de aglomeração das variáveis são definidos a partir da alocação dos fatores com maior proximidade (Fávero, 2017).

A utilização combinada das duas técnicas justifica-se pelo fato de que a análise hierárquica permite visualizar as diferentes possibilidades de alocação das observações nos agrupamentos, auxiliando na definição do número ideal de clusters. Já os métodos não hierárquicos, como o k-médias (k-means), exigem a definição prévia da quantidade de agrupamentos, sendo essa informação essencial para identificar os centros de aglomeração e alocar os elementos de forma otimizada (Fávero, 2017).

Dessa forma, a análise foi conduzida por meio do software IBM® SPSS® Statistics. Inicialmente, aplicou-se o método hierárquico, o qual indicou a formação de sete agrupamentos, com base na interpretação do dendrograma gerado. Na sequência, procedeu-se à aplicação do método k-médias (k-means), que permitiu a classificação dos 497 municípios do estado do Rio Grande do Sul entre os sete clusters previamente definidos.

A apresentação dos resultados, foram elaborados gráficos no Microsoft Excel, os quais evidenciam as médias e os desvios padrão associados a cada agrupamento. A representação espacial dos clusters foi realizada por meio da confecção de um mapa no software QGIS 3.40.6 – Bratislava, possibilitando a visualização geográfica dos padrões identificados na análise.

### 3 Análise e Discussão dos Resultados

Esta seção apresenta os principais resultados do estudo. Primeiro, são discutidos os achados



da análise de variância (ANOVA) sobre a produtividade da soja no Rio Grande do Sul entre 1974 e 2023. Em seguida, os resultados da análise de conglomerados, que agrupou os 497 municípios do estado conforme seus padrões de produtividade entre 2004 e 2023.

### 3.1 Análise de Variância (ANOVA).

Ao analisar a produtividade da cultura da soja entre os municípios do estado do Rio Grande do Sul, em uma série temporal abrangente que compreende toda a base histórica disponibilizada pelo IBGE (2025), entre os anos de 1974 a 2023, observa-se não apenas a evolução da cultura e das alterações em seu nível produtivo, mas também a expansão territorial da soja para novas regiões produtoras, de acordo com os dados apresentados no quadro 1.

Quadro 1 – Tabela ANOVA da produtividade da soja no Rio Grande do Sul entre 1974 – 2023

|      |       |               |     |             |        |      | ANOVA |              |               |          |              |        |      |
|------|-------|---------------|-----|-------------|--------|------|-------|--------------|---------------|----------|--------------|--------|------|
|      |       | Soma dos      | df  | Quadrado    | Z      | Sig. |       | Soma dos     | df            | Quadrado | Z            | Sig.   |      |
| 1974 | Entre | 19069937,134  | 27  | 706293,968  | 1,413  | ,084 | 1999  | Entre Grupos | 111563933,036 | 27       | 4131997,520  | 11,136 | ,000 |
|      | Nos   | 234497571,563 | 469 | 499994,822  |        |      |       | Nos grupos   | 174014917,229 | 469      | 371033,939   |        |      |
|      | Total | 253567508,696 | 496 |             |        |      |       | Total        | 285578850,266 | 496      |              |        |      |
| 1975 | Entre | 24525999,760  | 27  | 908370,361  | 1,693  | ,017 | 2000  | Entre Grupos | 159516833,024 | 27       | 5908030,853  | 14,002 | ,000 |
|      | Nos   | 251649110,683 | 469 | 536565,268  |        |      |       | Nos grupos   | 197892814,859 | 469      | 421946,300   |        |      |
|      | Total | 276175110,443 | 496 |             |        |      |       | Total        | 357409647,883 | 496      |              |        |      |
| 1976 | Entre | 26852427,023  | 27  | 994534,334  | 1,777  | ,010 | 2001  | Entre Grupos | 311344856,331 | 27       | 11531290,975 | 27,877 | ,000 |
|      | Nos   | 262463615,524 | 469 | 559623,914  |        |      |       | Nos grupos   | 194004821,935 | 469      | 413656,337   |        |      |
|      | Total | 289316042,547 | 496 |             |        |      |       | Total        | 505349678,266 | 496      |              |        |      |
| 1977 | Entre | 25534176,644  | 27  | 945710,246  | 1,511  | ,050 | 2002  | Entre Grupos | 170305075,590 | 27       | 6307595,392  | 15,831 | ,000 |
|      | Nos   | 293500982,587 | 469 | 625801,669  |        |      |       | Nos grupos   | 186863626,551 | 469      | 398429,907   |        |      |
|      | Total | 319035159,231 | 496 |             |        |      |       | Total        | 357168702,141 | 496      |              |        |      |
| 1978 | Entre | 13712494,426  | 27  | 507870,164  | 1,426  | ,078 | 2003  | Entre Grupos | 387000605,893 | 27       | 14333355,774 | 32,636 | ,000 |
|      | Nos   | 167024908,556 | 469 | 356129,869  |        |      |       | Nos grupos   | 205977444,663 | 469      | 439184,317   |        |      |
|      | Total | 180737402,982 | 496 |             |        |      |       | Total        | 592978050,555 | 496      |              |        |      |
| 1979 | Entre | 7801485,764   | 27  | 288943,917  | 1,210  | ,217 | 2004  | Entre Grupos | 122344938,158 | 27       | 4531294,006  | 18,782 | ,000 |
|      | Nos   | 111965754,445 | 469 | 238732,952  |        |      |       | Nos grupos   | 113150805,641 | 469      | 241259,714   |        |      |
|      | Total | 119767240,209 | 496 |             |        |      |       | Total        | 235495743,799 | 496      |              |        |      |
| 1980 | Entre | 18126677,959  | 27  | 671358,443  | 1,215  | ,212 | 2005  | Entre Grupos | 24536980,735  | 27       | 908777,064   | 7,580  | ,000 |
|      | Nos   | 259126113,108 | 469 | 552507,704  |        |      |       | Nos grupos   | 56227795,164  | 469      | 119888,689   |        |      |
|      | Total | 277252791,066 | 496 |             |        |      |       | Total        | 80764775,899  | 496      |              |        |      |
| 1981 | Entre | 22984772,972  | 27  | 851287,888  | 1,353  | ,113 | 2006  | Entre Grupos | 249644328,970 | 27       | 9246086,258  | 24,156 | ,000 |
|      | Nos   | 295161010,883 | 469 | 629341,175  |        |      |       | Nos grupos   | 179520458,394 | 469      | 382772,832   |        |      |
|      | Total | 318145783,855 | 496 |             |        |      |       | Total        | 429164787,364 | 496      |              |        |      |
| 1982 | Entre | 14255529,825  | 27  | 527982,586  | 1,448  | ,070 | 2007  | Entre Grupos | 370551305,199 | 27       | 13724122,415 | 29,574 | ,000 |
|      | Nos   | 170982141,555 | 469 | 364567,466  |        |      |       | Nos grupos   | 217641378,315 | 469      | 464054,112   |        |      |
|      | Total | 185237671,380 | 496 |             |        |      |       | Total        | 588192683,513 | 496      |              |        |      |
| 1983 | Entre | 33027256,094  | 27  | 1223231,707 | 2,424  | ,000 | 2008  | Entre Grupos | 252662965,076 | 27       | 9357887,595  | 24,201 | ,000 |
|      | Nos   | 236661873,588 | 469 | 504609,539  |        |      |       | Nos grupos   | 181350864,558 | 469      | 386675,617   |        |      |
|      | Total | 269689129,682 | 496 |             |        |      |       | Total        | 434013829,634 | 496      |              |        |      |
| 1984 | Entre | 26968670,290  | 27  | 998839,640  | 1,977  | ,003 | 2009  | Entre Grupos | 244208703,588 | 27       | 9044766,800  | 20,139 | ,000 |
|      | Nos   | 236985290,635 | 469 | 505299,127  |        |      |       | Nos grupos   | 210631933,764 | 469      | 449108,601   |        |      |
|      | Total | 263953960,926 | 496 |             |        |      |       | Total        | 454840637,352 | 496      |              |        |      |
| 1985 | Entre | 30407316,971  | 27  | 1126196,925 | 2,023  | ,002 | 2010  | Entre Grupos | 383966164,397 | 27       | 14220969,052 | 29,080 | ,000 |
|      | Nos   | 261071521,057 | 469 | 556655,695  |        |      |       | Nos grupos   | 229356635,736 | 469      | 489033,338   |        |      |
|      | Total | 291478838,028 | 496 |             |        |      |       | Total        | 613322800,133 | 496      |              |        |      |
| 1986 | Entre | 16170876,801  | 27  | 598921,363  | 2,449  | ,000 | 2011  | Entre Grupos | 481162194,509 | 27       | 17820822,019 | 34,133 | ,000 |
|      | Nos   | 114697631,368 | 469 | 244557,849  |        |      |       | Nos grupos   | 244865537,909 | 469      | 522101,360   |        |      |
|      | Total | 130868508,169 | 496 |             |        |      |       | Total        | 726027732,419 | 496      |              |        |      |
| 1987 | Entre | 36239018,785  | 27  | 1342185,881 | 2,610  | ,000 | 2012  | Entre Grupos | 180948901,477 | 27       | 6701811,166  | 14,955 | ,000 |
|      | Nos   | 241169451,014 | 469 | 514220,578  |        |      |       | Nos grupos   | 210166846,914 | 469      | 448116,944   |        |      |
|      | Total | 277408469,799 | 496 |             |        |      |       | Total        | 391115748,390 | 496      |              |        |      |
| 1988 | Entre | 14076379,979  | 27  | 521347,407  | 1,949  | ,003 | 2013  | Entre Grupos | 356240610,383 | 27       | 13194096,681 | 22,150 | ,000 |
|      | Nos   | 125450180,637 | 469 | 267484,394  |        |      |       | Nos grupos   | 279368069,754 | 469      | 595667,526   |        |      |
|      | Total | 139526560,616 | 496 |             |        |      |       | Total        | 635608680,137 | 496      |              |        |      |
| 1989 | Entre | 68894088,130  | 27  | 2551632,894 | 4,231  | ,000 | 2014  | Entre Grupos | 329960736,270 | 27       | 12220768,010 | 21,334 | ,000 |
|      | Nos   | 282854382,417 | 469 | 603101,029  |        |      |       | Nos grupos   | 268662415,363 | 469      | 572840,971   |        |      |
|      | Total | 351748470,547 | 496 |             |        |      |       | Total        | 598623151,634 | 496      |              |        |      |
| 1990 | Entre | 62265269,117  | 27  | 2306121,078 | 3,722  | ,000 | 2015  | Entre Grupos | 440222917,150 | 27       | 16304552,487 | 25,245 | ,000 |
|      | Nos   | 290598667,993 | 469 | 619613,365  |        |      |       | Nos grupos   | 302907942,367 | 469      | 645859,152   |        |      |
|      | Total | 352863937,111 | 496 |             |        |      |       | Total        | 743130859,517 | 496      |              |        |      |
| 1991 | Entre | 11387445,438  | 27  | 421757,238  | 2,669  | ,000 | 2016  | Entre Grupos | 470727901,849 | 27       | 17434366,735 | 27,933 | ,000 |
|      | Nos   | 74112408,047  | 469 | 158022,192  |        |      |       | Nos grupos   | 292721325,978 | 469      | 624139,288   |        |      |
|      | Total | 85499853,485  | 496 |             |        |      |       | Total        | 763449227,827 | 496      |              |        |      |
| 1992 | Entre | 90778518,534  | 27  | 3362167,353 | 4,876  | ,000 | 2017  | Entre Grupos | 489688977,019 | 27       | 18136628,778 | 26,731 | ,000 |
|      | Nos   | 323402351,731 | 469 | 689557,253  |        |      |       | Nos grupos   | 318213181,443 | 469      | 678492,924   |        |      |
|      | Total | 414180870,266 | 496 |             |        |      |       | Total        | 807902158,463 | 496      |              |        |      |
| 1993 | Entre | 145566095,351 | 27  | 5391336,865 | 10,590 | ,000 | 2018  | Entre Grupos | 454922698,916 | 27       | 16848988,849 | 24,464 | ,000 |
|      | Nos   | 238772602,641 | 469 | 509110,027  |        |      |       | Nos grupos   | 323011815,329 | 469      | 688724,553   |        |      |
|      |       |               |     |             |        |      |       |              |               |          |              |        |      |



|      | Total | 384338697,992 | 496 |             |        |      |  | Total | 777934514,245 | 496           |     |              |        |
|------|-------|---------------|-----|-------------|--------|------|--|-------|---------------|---------------|-----|--------------|--------|
| 1994 | Entre | 117567188,982 | 27  | 4354340,333 | 9,734  | ,000 |  | 2019  | Entre Grupos  | 450512881,901 | 27  | 16685662,293 | 25,565 |
|      | Nos   | 209801366,559 | 469 | 447337,669  |        |      |  |       | Nos grupos    | 306104670,856 | 469 | 652675,204   | ,000   |
|      | Total | 327368555,541 | 496 |             |        |      |  |       | Total         | 756617552,757 | 496 |              |        |
| 1995 | Entre | 143418355,571 | 27  | 5311790,947 | 10,002 | ,000 |  | 2020  | Entre Grupos  | 229050506,883 | 27  | 8483352,107  | 18,338 |
|      | Nos   | 249071889,749 | 469 | 531070,127  |        |      |  |       | Nos grupos    | 216966912,469 | 469 | 462616,018   | ,000   |
|      | Total | 392490245,320 | 496 |             |        |      |  |       | Total         | 446017419,352 | 496 |              |        |
| 1996 | Entre | 99194520,351  | 27  | 3673871,124 | 8,225  | ,000 |  | 2021  | Entre Grupos  | 433142146,425 | 27  | 16042301,719 | 22,719 |
|      | Nos   | 209499796,743 | 469 | 446694,663  |        |      |  |       | Nos grupos    | 331168173,116 | 469 | 706115,508   | ,000   |
|      | Total | 308694317,095 | 496 |             |        |      |  |       | Total         | 764310319,541 | 496 |              |        |
| 1997 | Entre | 127780193,043 | 27  | 4732599,742 | 13,088 | ,000 |  | 2022  | Entre Grupos  | 194075483,702 | 27  | 7187980,878  | 13,945 |
|      | Nos   | 169594270,349 | 469 | 361608,252  |        |      |  |       | Nos grupos    | 241745014,237 | 469 | 515447,792   | ,000   |
|      | Total | 297374463,392 | 496 |             |        |      |  |       | Total         | 435820497,940 | 496 |              |        |
| 1998 | Entre | 205773738,717 | 27  | 7621249,582 | 15,816 | ,000 |  | 2023  | Entre Grupos  | 215794747,464 | 27  | 7992398,054  | 12,664 |
|      | Nos   | 225999085,557 | 469 | 481874,383  |        |      |  |       | Nos grupos    | 295994250,810 | 469 | 631117,806   | ,000   |
|      | Total | 431772824,274 | 496 |             |        |      |  |       | Total         | 511788998,274 | 496 |              |        |

Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

A análise de variância (ANOVA) permitiu identificar uma trajetória evolutiva da produtividade da soja no Rio Grande do Sul ao longo das últimas cinco décadas. Os resultados evidenciam a existência de três fases distintas de desenvolvimento da atividade no estado, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Evolução da heterogeneidade espacial da produtividade da soja no Rio Grande do Sul

| Fase   | Período     | Produtividade média | Desvio padrão médio |
|--------|-------------|---------------------|---------------------|
| Fase 1 | 1974 a 1982 | 1.380,22 kg/ha      | 236,57 kg/ha        |
| Fase 2 | 1983 a 1999 | 1.581 kg/ha         | 363,60 kg/ha        |
| Fase 3 | 2000 a 2023 | 2.312,12 kg/ha      | 716,95 kg/ha        |

Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

A primeira fase compreende os anos de 1974 a 1982. Nesse intervalo, as diferenças de produtividade entre os municípios eram reduzidas, configurando um padrão relativamente homogêneo em todo o estado. A média estadual de produtividade no período foi de 1.380,22 kg/ha, com desvio padrão médio de 236,57 kg/ha. O município com maior produtividade registrada foi Bagé, que alcançou 2.690 kg/ha em 1981.

A segunda fase situa-se entre os anos de 1983 e 1999. Nesse período, observa-se o início de um processo de diferenciação produtiva entre os municípios do Rio Grande do Sul. Tal tendência é evidenciada pelo aumento de 53,70% do desvio padrão, que passou para 363,60 kg/ha, enquanto a produtividade média estadual cresceu 14,55%, atingindo 1.581 kg/ha. A maior produtividade municipal do período foi observada em Colorado, que registrou 3.044 kg/ha em 1992.

Por fim, a terceira fase, compreendida entre 2000 e 2023, caracteriza-se por uma forte heterogeneidade das produtividades municipais. A média estadual de produtividade aumentou 46,24% em relação ao período anterior, alcançando 2.312,12 kg/ha. Entretanto, o desvio padrão atingiu 716,95 kg/ha, representando um incremento de 97,18% em relação à segunda fase e de 203,06% em relação à primeira, evidenciando a ampla variabilidade espacial identificada pela ANOVA. Destaca-se que, nesse período, o município de Nova Bassano registrou a maior



produtividade média observada, alcançando 4.800 kg/ha em 2015, enquanto Herval obteve 1.200 kg/ha no mesmo ano, correspondendo a uma diferença relativa de 300% entre os extremos municipais.

Os resultados observados para a terceira fase encontram respaldo em Torres *et al.* (2023), que identificaram um expressivo aumento da produtividade da soja no Rio Grande do Sul durante o período de expansão da cultura. Segundo os autores, a produtividade média estadual passou de 1.936 kg/ha entre 2001 e 2010 para 2.828 kg/ha no período de 2011 a 2020. Esse comportamento é consistente com os resultados encontrados no presente estudo, que também identificou um crescimento significativo da produtividade média na terceira fase analisada. Contudo, os resultados da ANOVA demonstram que esse avanço produtivo ocorreu de forma desigual entre os municípios gaúchos, sendo acompanhado por um aumento ainda mais acentuado da heterogeneidade espacial da produtividade.

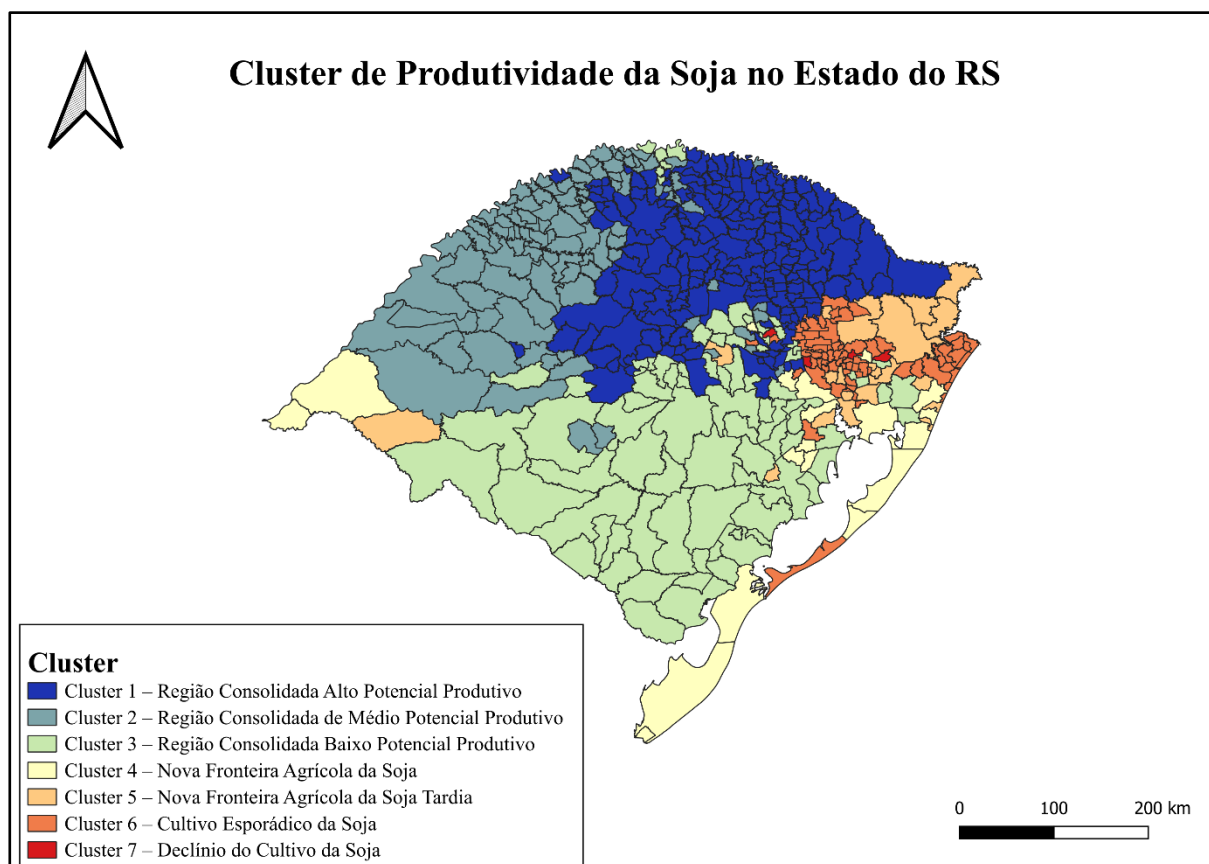
Os resultados obtidos por meio da análise de variância (ANOVA) demonstram que a produtividade da soja no Rio Grande do Sul passou por um processo contínuo de diferenciação espacial ao longo das últimas cinco décadas. Inicialmente concentrada em regiões tradicionalmente produtoras e com características produtivas mais homogêneas, a cultura expandiu-se para áreas com distintas condições edafoclimáticas e diferentes níveis de adoção tecnológica, ampliando as disparidades produtivas entre os municípios.

Nesse contexto, a evolução espacial da soja no estado não se restringe ao aumento da área cultivada ou da produção total. Ela também se manifesta pela crescente diferenciação dos territórios produtores, resultando na formação de regiões com diferentes potenciais produtivos, posteriormente identificadas pela análise de conglomerados.

### 3.2 Análise de Conglomerados (CLUSTERS)

A análise de conglomerados possibilitou a identificação de padrões espaciais semelhantes de produtividade da soja entre os municípios do estado do Rio Grande do Sul. Para a formulação da análise, foram considerados os índices médios de produtividade da soja ao longo dos últimos 20 anos (2004–2023), conforme dados do IBGE (2025). A escolha desse recorte temporal baseou-se, primeiramente, nos resultados obtidos por meio da análise de variância (ANOVA) e, adicionalmente, a maior estabilidade territorial neste intervalo temporal, período no qual não ocorreram emancipações municipais significativas no estado. Essa delimitação temporal possibilitou a formação de 7 clusters conforme características similares de produtividade da soja apresentadas geograficamente na Figura 1.

Figura 1 – Cluster de produtividade da soja no estado do Rio Grande do Sul formado por agrupamento de produtividade de 20 anos



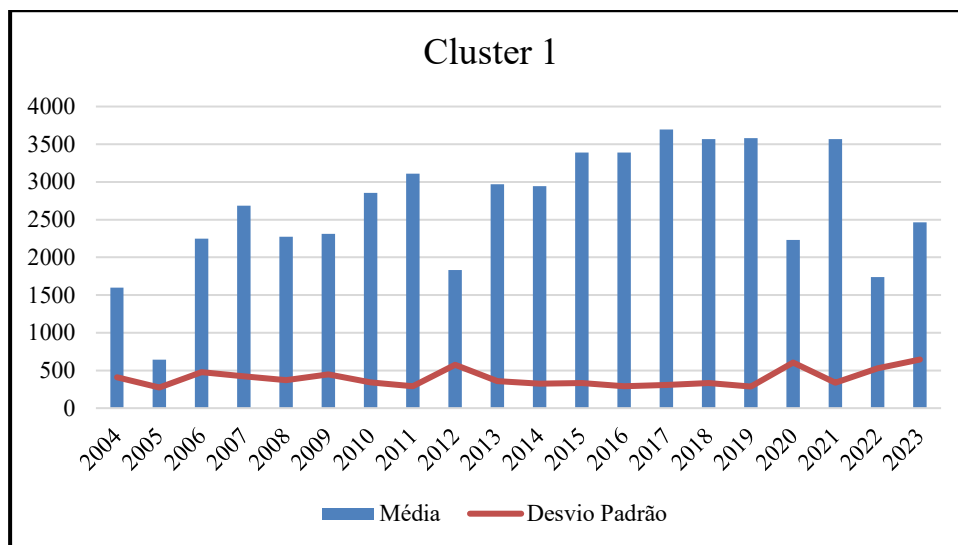
Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

### 3.2.1 Cluster 1 – Região Consolidada Alto Potencial Produtivo

O Cluster 1 reúne 196 municípios que apresentam os maiores níveis médios de produtividade e o mais elevado potencial produtivo do estado. No período de 2004 a 2023, esses municípios registraram uma produtividade média de 2.655,1 kg/ha, valor 12,52% superior à média estadual de 2.359,6 kg/ha. O desvio padrão médio foi de 809,42 kg/ha, indicando uma variabilidade moderada entre os municípios do cluster.

A análise da figura 2, apresenta as médias e os desvios padrão da produtividade, revela que este é o único grupo que, em diversos momentos ao longo da série histórica, ultrapassou a marca de 3.500 kg/ha. Esse desempenho evidencia a elevada aptidão produtiva dos municípios que compõem o Cluster 1, consolidando essa região como a de maior potencial produtivo para a cultura da soja no Rio Grande do Sul.

Figura 2 – Média da Produtividade e desvio padrão em kg/ha do Cluster 1 entre 2004 e 2023



Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

Os resultados observados para o Cluster 1 apresentam convergência geográfica com os municípios que compõem a região denominada PRA no estudo de Melo, Fontana e Berlato (2004). Segundo os autores, essa região concentra os maiores níveis de produtividade da soja no Rio Grande do Sul, resultado que pode ser atribuído a elementos climáticos, às características do solo e ao manejo da cultura. Embora os autores apontem que a principal restrição ao potencial produtivo esteja associada à insuficiência térmica em determinados períodos do ciclo da soja, os municípios pertencentes a esse agrupamento apresentam desempenho produtivo superior aos demais clusters analisados, evidenciando a elevada aptidão agrícola da região para o cultivo da oleaginosa.

### 3.2.2 Cluster 2 – Região Consolidada de Médio Potencial Produtivo

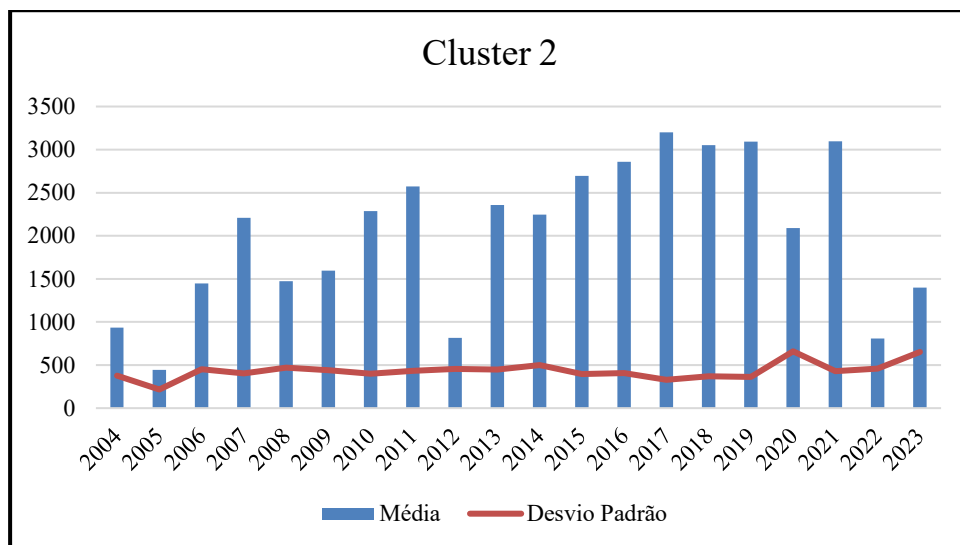
O Cluster 2 aglomera 103 municípios e apresenta elevada heterogeneidade em sua produtividade ao longo do período de 2004 a 2023. O desvio padrão médio de 866,63 kg/ha é um dos mais elevados entre todos os agrupamentos, indicando variações significativas de produtividade entre os municípios do agrupamento.

Apesar de o grupo apresentar o segundo maior potencial produtivo do estado, obtendo produtividades médias superiores a 3.000 kg/ha, conforme evidenciado na figura 3, a média geral do período foi de 2.033,6 kg/ha, o que representa um valor 13,82% inferior à média estadual de 2.359,6 kg/ha. Dessa forma, embora o cluster se destaque pelo potencial produtivo, efetivamente obteve a terceira posição em produtividade entre os agrupamentos da análise.

Embora o Cluster 2 demonstre elevado potencial produtivo em determinados anos, seus municípios são particularmente mais afetados por eventos climáticos adversos, especialmente estiagens, do que os demais agrupamentos analisados. Essa maior vulnerabilidade climática se

reflete em quebras de safra recorrentes, intercaladas com períodos de alta produtividade, o que compromete a estabilidade da produção e contribui para a elevada variabilidade observada nos indicadores do grupo.

Figura 3 – Média da Produtividade e desvio padrão em kg/ha do Cluster 2 entre 2004 e 2023



Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

Os resultados observados para o Cluster 2 são consistentes com os achados de Melo, Fontana e Berlatto (2004). Em seu estudo, os autores identificaram que os municípios localizados na porção oeste da região norte do estado, correspondentes ao agrupamento PR<sub>c</sub>, apresentam características geográficas semelhantes às observadas no Cluster 2. Segundo os autores, a principal limitação à produtividade da soja nessa região está associada à ocorrência de restrições hídricas, que reduzem significativamente o potencial produtivo da cultura. Tal condição pode contribuir para explicar a elevada variabilidade produtiva observada no agrupamento, caracterizada pela alternância entre anos de elevado desempenho e períodos marcados por expressivas perdas de produtividade.

### 3.2.3 Cluster 3 – Região Consolidada Baixo Potencial Produtivo

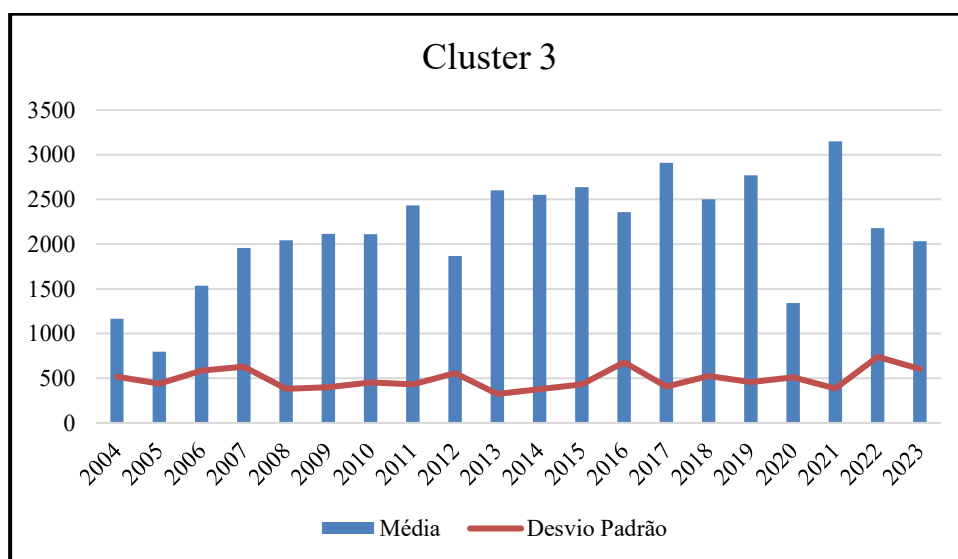
O Cluster 3 reúne 85 municípios e se destaca por apresentar a maior homogeneidade produtiva entre os principais agrupamentos, com um desvio padrão médio de 596,94 kg/há, sendo o mais baixo entre os clusters analisados. A produtividade média do grupo, foi de 2.152,3 kg/ha, sendo 5,52% superior à registrada no Cluster 2 (2.033,6 kg/ha), embora seja inferior em 9,63% à média estadual, que foi de 2.359,6 kg/ha no mesmo período.

Apesar de apresentar médias superiores ao Cluster 2, o potencial produtivo do Cluster 3 é um pouco inferior a esse. Enquanto os municípios do Cluster 2 atingem produtividades médias

superiores a 3.000 kg/ha em diversos anos com condições climáticas favoráveis, os municípios do Cluster 3 só alcançaram esse patamar uma única vez, no ano de 2021. Em anos considerados de boas safras, os municípios deste cluster conseguem atingir produtividades médias próximas de 2.500 kg/ha, indicando um desempenho mais estável, porém menos expressivo em termos de teto produtivo.

O menor teto produtivo observado no Cluster 3 está alinhado aos resultados apresentados por Torres *et al.* (2023), que identificaram as mesorregiões Sudeste e Sudoeste como aquelas que registraram a maior expansão da cultura da soja nas últimas décadas, sobretudo sobre áreas anteriormente destinadas à pecuária. De forma complementar, Oderich, Elias e Waquil (2019) destacam que regiões historicamente consideradas inaptas ao cultivo da oleaginosa, como a Serra do Sudeste e a Campanha, passaram a incorporar a soja como uma importante atividade econômica a partir da expansão recente da fronteira agrícola. Embora esse processo tenha ampliado a participação da cultura na economia destas regiões, os resultados observados sugerem que tais áreas ainda apresentam limitações produtivas quando comparadas às regiões tradicionalmente produtoras do estado, refletindo-se em um menor potencial produtivo do agrupamento.

Figura 4 – Média da Produtividade e desvio padrão em kg/ha do Cluster 3 entre 2004 e 2023



Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

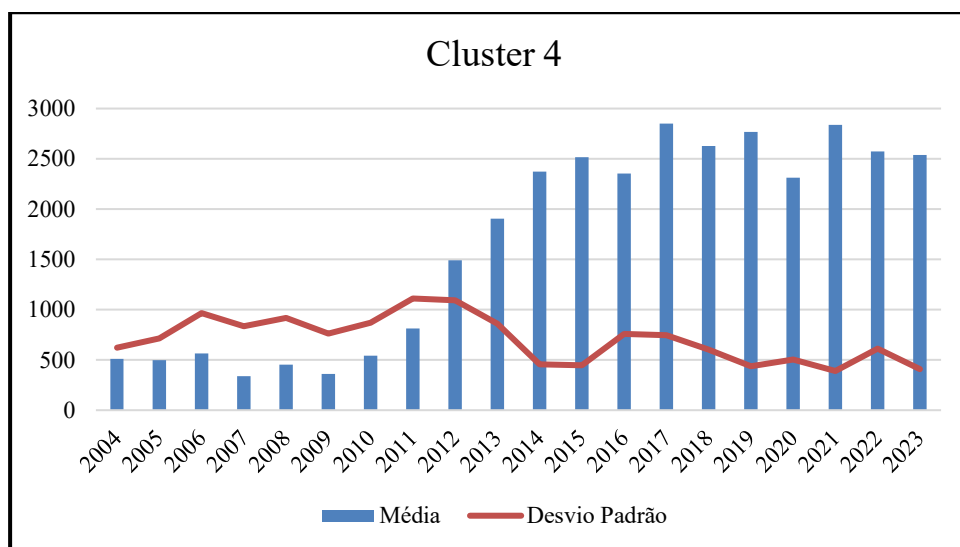
### 3.2.4 Cluster 4 – Nova Fronteira Agrícola da Soja

O Cluster 4 representa uma região que pode ser caracterizada como uma nova fronteira agrícola para a cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul. Dos 19 municípios que compõem o agrupamento, apenas 9 apresentavam produção de soja em 2004. Entre os anos de 2007 e 2008, a atividade foi registrada em apenas 3 desses municípios. A partir de 2010, contudo, observou-se a retomada e a intensificação do cultivo, com a cultura da soja se consolidando em todos os 19

municípios até 2014, mantendo-se presente em toda a série histórica subsequente. A produtividade média do cluster, no período de 2004 a 2023, foi de 1.661,65 kg/ha, acompanhada por um desvio padrão de 1.014,31 kg/há.

Os resultados observados para o Cluster 4 evidenciam a incorporação de municípios tradicionalmente vinculados à produção de arroz irrigado, como Uruguaiana e Santa Vitória do Palmar, bem como de municípios localizados na faixa litorânea do estado, ao processo de expansão da cultura da soja. Essas regiões, historicamente consideradas marginais para o cultivo da oleaginosa, passaram a integrar o movimento de expansão territorial anteriormente identificado nas mesorregiões Centro Ocidental, Sudeste e Sudoeste do Rio Grande do Sul por Oderich, Elias e Waquil (2019), Costa *et al.* (2020) e Torres *et al.* (2023). A ampliação do cultivo da soja nesses municípios contribui para a reconfiguração da estrutura produtiva regional, associada à valorização da oleaginosa nos mercados nacional e internacional, conforme destacado por Silveira, González e Fonseca (2017).

Figura 5 – Média da Produtividade e desvio padrão em kg/ha do Cluster 4 entre 2004 e 2023



Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

### 3.2.5 Cluster 5 – Nova Fronteira Agrícola da Soja Tardia

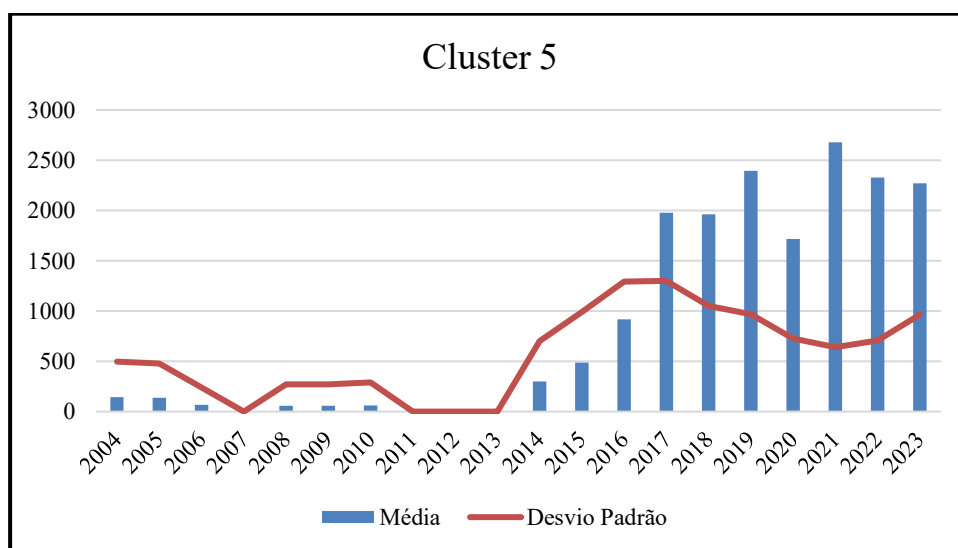
Semelhante ao Cluster 4, o Cluster 5 também representa uma nova fronteira agrícola para a cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul. No entanto, neste agrupamento, a introdução da oleaginosa ocorreu de forma ainda mais tardia. Dos 21 municípios que compõem o cluster, apenas 2 apresentavam produção de soja em 2004. Em 2007, a cultura chegou a não ser produzida nesses municípios. Entre 2008 e 2010, houve uma nova tentativa de implantação da atividade, que novamente foi descontinuada, com a produção sendo interrompida entre 2011 e 2013.

A retomada definitiva ocorreu a partir de 2014, com apenas 3 municípios voltando a

cultivar soja, e somente em 2021 a cultura estava presente em todos os 21 municípios do grupo. A produtividade média do Cluster 5 no período analisado foi de 877,72 kg/ha, com um desvio padrão de 1.026,02 kg/ha, refletindo essa instabilidade de produção durante o período, até sua consolidação.

Os resultados observados para o Cluster 5 reforçam o processo de expansão territorial da cultura da soja descrito por Oderich, Elias e Waquil (2019), Costa *et al.* (2020) e Torres *et al.* (2023). Os autores destacam que a valorização econômica da oleaginosa e os avanços tecnológicos proporcionaram a incorporação de novas áreas produtivas, anteriormente consideradas marginais ao cultivo. Nesse contexto, o Cluster 5 representa uma fase mais tardia desse movimento de expansão. Enquanto regiões identificadas no Cluster 4 passaram por um processo mais consistente de consolidação da cultura a partir de 2010, os municípios pertencentes ao Cluster 5 somente iniciaram sua incorporação efetiva à cadeia produtiva da soja a partir de 2014, alcançando maior estabilidade produtiva apenas nos anos mais recentes. Esses resultados evidenciam que a expansão da soja no Rio Grande do Sul ocorreu de forma gradual e espacialmente diferenciada, refletindo distintos ritmos de incorporação territorial da cultura.

Figura 6 – Média da Produtividade e desvio padrão em kg/ha do Cluster 5 entre 2004 e 2023



Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025).

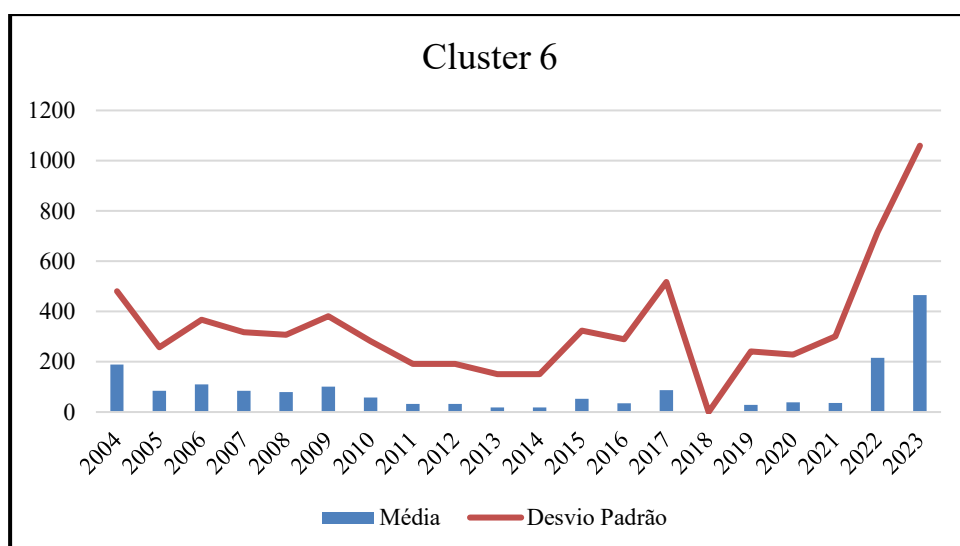
### 3.2.6 Cluster 6 – Cultivo Esporádico da Soja

Diferentemente dos Clusters 4 e 5, que representam novas fronteiras agrícolas, ainda que em estágios distintos de consolidação da cultura da soja, o Cluster 6 não alcançou esse patamar. A cultura da soja, entre os municípios que compõem esse grupo, não conseguiu se firmar de forma contínua ou significativa ao longo da série histórica, ocorrendo apenas de forma esporádica e descontinuada.

O Cluster 6 reúne 69 municípios. Em 2004, apenas 10 deles apresentavam cultivo de soja; esse número reduziu-se para cinco em 2009, apenas um em 2013 e nenhum registro foi observado em 2018. A partir de 2019, verifica-se uma retomada gradual da atividade, alcançando 12 municípios com cultivo registrado em 2023. Destaca-se que 47 municípios pertencentes a esse agrupamento não apresentaram cultivo de soja em nenhum ano da série analisada.

Os municípios que compõem o Cluster 6 concentram-se predominantemente na encosta Nordeste e no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, regiões caracterizadas por elevada densidade populacional, nas quais a participação da soja na dinâmica econômica municipal é reduzida (Oderich; Elias; Waquil, 2019). Além disso, as características do relevo, marcadas por áreas mais acidentadas e propriedades de menor dimensão, limitam a expansão do cultivo mecanizado da oleaginosa, contribuindo para sua ocorrência esporádica e descontínua ao longo do período analisado.

Figura 7 – Média da Produtividade e desvio padrão em kg/ha do Cluster 6 entre 2004 e 2023

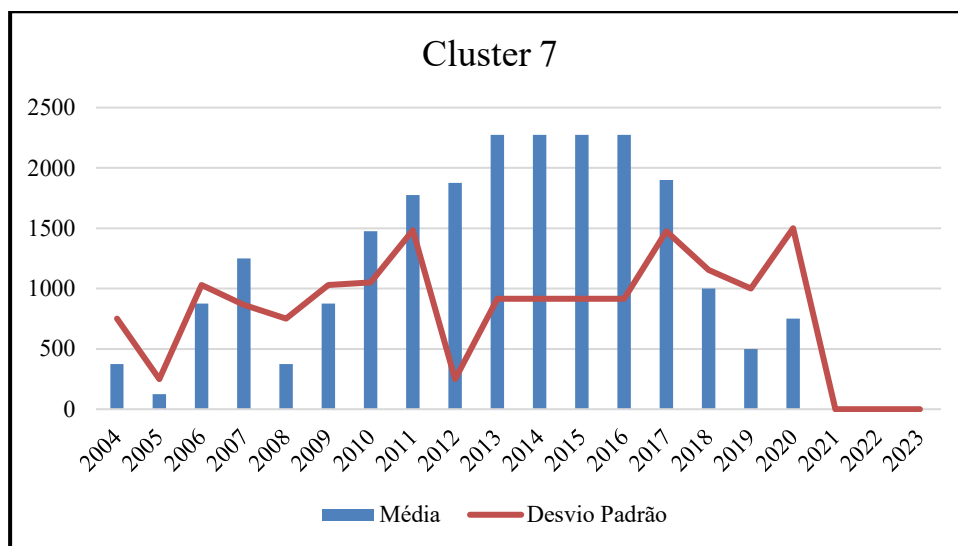


Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2025)

### 3.2.7 Cluster 7 – Declínio do Cultivo da Soja

O Cluster 7 é composto por apenas quatro municípios e apresenta uma configuração oposta à observada nos demais agrupamentos. Enquanto os demais clusters indicam consolidação, expansão ou início da inserção da cultura da soja, neste grupo observa-se um processo de retração. Ao longo dos primeiros anos da série histórica, a presença da soja foi instável, mas entre 2012 e 2016 todos os quatro municípios integrantes cultivavam a oleaginosa. A partir de 2017, entretanto, iniciou-se um processo de declínio contínuo do cultivo, que culminou em 2021 com a completa interrupção da produção nos quatro municípios.

Figura 8 – Média da Produtividade e desvio padrão em kg/ha do Cluster 7 entre 2004 e 2023



Fonte: Elaborado a partir de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística1 (IBGE, 2025)

#### 4 Considerações Finais

A análise aplicada neste estudo permitiu evidenciar a evolução da estrutura produtiva da cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul ao longo das últimas cinco décadas. Por meio da ANOVA, observou-se que, na década de 1970, a produtividade apresentava relativa homogeneidade entre os municípios, com desvio padrão de 236,57 kg/ha. Em contraste, nos anos mais recentes, verificou-se uma expressiva ampliação da heterogeneidade produtiva, com o desvio padrão alcançando 716,95 kg/ha.

Essa crescente disparidade produtiva pode ser explicada, conforme Oderich, Elias e Waquil (2019), pela expansão da soja para áreas marginalmente aptas ao seu cultivo e, segundo Arsego *et al.* (2019), pelas variações edafoclimáticas que impõem desafios significativos ao desempenho produtivo da cultura em diferentes regiões do estado.

Nesse contexto, a análise de agrupamento com base na localização espacial dos municípios permitiu visualizar, de forma concreta, as discrepâncias produtivas referidas pelos autores. A técnica possibilitou a identificação de sete clusters com características produtivas similares. Três desses agrupamentos (Clusters 1, 2 e 3) representam regiões consolidadas na produção de soja, mas com diferentes níveis de produtividade e potencial produtivo. Destaca-se que o cluster com maior produtividade apresentou média 30,4% superior à do cluster de menor desempenho ao longo dos últimos 20 anos.

Em conformidade com o estudo de Torres *et al.* (2023), Sudeste e Sudoeste, caracterizadas pela maior intensidade de expansão da soja sobre áreas não agrícolas, apresentaram os menores níveis médios de produtividade por hectare no estado para a cultura. Em contraste, as regiões Noroeste e Centro Oriental registraram produtividades superiores à média estadual. De forma



complementar, Melo, Fontana e Berlato (2004) também identificaram diferenças significativas entre as regiões produtoras do estado, com diferença aproximada de 800 kg/ha entre as áreas de maior e menor produtividade, demonstrando que a heterogeneidade espacial da produtividade da soja é um fenômeno persistente. Demonstrando que a heterogeneidade espacial da produtividade da soja é um fenômeno persistente no território gaúcho. Os resultados obtidos neste estudo indicam que essas disparidades não apenas permaneceram ao longo do tempo, mas foram ampliadas em decorrência da expansão territorial da cultura e da crescente diferenciação dos sistemas produtivos.

Os demais agrupamentos refletem regiões em fase de expansão (Clusters 4 e 5), onde a cultura da soja vem ampliando sua área cultivada em razão das condições produtivas favoráveis e da rentabilidade proporcionada aos produtores locais. Por outro lado, os Clusters 6 e 7 representam regiões onde a soja é cultivada de forma esporádica ou está em processo de declínio, devido a fatores específicos que limitam sua viabilidade agrônômica e econômica.

Do ponto de vista prático, os resultados contribuem para a compreensão da dinâmica espacial da produtividade da soja no Rio Grande do Sul, fornecendo subsídios para o planejamento agrícola regional, para a formulação de políticas públicas voltadas à mitigação de riscos climáticos e para a definição de estratégias de desenvolvimento territorial mais adequadas às especificidades produtivas de cada região.

Como limitação, destaca-se que a análise foi conduzida exclusivamente com base em dados de produtividade agrícola, sem a incorporação direta de variáveis climáticas, edáficas, tecnológicas ou socioeconômicas. Dessa forma, recomenda-se que pesquisas futuras aprofundem a investigação dos fatores determinantes da heterogeneidade produtiva observada, por meio da integração dessas variáveis em modelos explicativos capazes de identificar as causas subjacentes às diferenças regionais verificadas neste estudo.

## 5 Referências

ARSEGO, Diogo Alessandro; FERRAZ, Simone Erotildes Teleginski; STRECK, Nereu Augusto; CARDOSO, Andréa; ZANON, Alencar Júnior. *Indicadores climáticos e a produtividade de soja no Rio Grande do Sul*. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 2, p. 191–200, 2019. Sociedade Brasileira de Meteorologia. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863340024>.

COSTA, Nilson Luiz; DE SANTANA, Antônio Cordeiro; CORONEL, Daniel Arruda; BRUM, Argemiro Luís; CORRÊA DE MATTOS, Carlos André. *Aspectos da importância do complexo soja no Brasil e no Rio Grande do Sul: 1997 – 2017*. Redes, [S. l.], v. 25, n. 4, p. 1840–1863, 2020. DOI: 10.17058/redes.v25i4.12735. Disponível em: <https://seer.unisc.br/index.php/redes/article/view/12735>. Acesso em: 25 maio de 2025.

FÁVERO, Luiz P. *Manual de Análise de Dados - Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®*. [S.l.]: Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788595155602. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155602/>. Acesso em: 25 maio de 2025.



HAIR Jr., Joseph F.; BLACK, William C.; BABIN, Barry J.; et al. **Análise multivariada de dados. 6. ed.** Porto Alegre: Bookman, 2009. E-book. ISBN 9788577805341. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577805341/>. Acesso em: 25 maio de 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal.** Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 25 maio de 2025.

LAZZARI, M. R. Agropecuária gaúcha em 2005: estiagem, câmbio e crise. Indicadores Econômicos FEE, Porto Alegre, v. 33, n. 4, p. 41–50, 2006. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/indicadores/article/view/1168>. Acesso em: 28 maio 2025.

LEIVAS, J.F.; ANDRADE, R.G.; VICTORIA, D. de C.; TORRESAN, F.E.; VICENTE, L.E.; TEIXEIRA, A.H. de C.; BOLFE, E.L.; BARROS, T.R. de. **Avaliação do índice de vegetação padronizado no monitoramento indicativo de estiagens em períodos críticos da soja no Sul do Brasil.** Revista Brasileira de Cartografia, n. 66/5, p. 1145-1155, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1001353/avaliacao-do-indice-de-vegetacao-padronizado-no-monitoramento-indicativo-de-estiagens-em-periodos-criticos-da-soja-no-sul-do-brasil>. Acesso em: 28 maio de 2025.

ODERICH, Edmundo Hoppe; ELIAS, Lilian De Pellegrini; WAQUIL, Paulo Dabdab. **Expansão do agronegócio no Brasil: diferentes discursos e dinâmicas socioeconômicas no Rio Grande do Sul. Eutopia:** Revista de Desarrollo Económico Territorial, Quito, n. 16, p. 95–114, 2019. DOI: 10.17141/eutopia.16.2019.4120.

ODERICH, Edmundo Hoppe; WAQUIL, Paulo Dabdab. **Municípios dependentes da soja no Rio Grande do Sul: aspectos demográficos e socioeconômicos.** Porto Alegre: Secretaria do Planejamento, Mobilidade e Desenvolvimento Regional do Rio Grande do Sul, 2019. (Texto para Discussão, n. 33). ISSN 2446-7251.

RIO GRANDE DO SUL. Assembleia Legislativa. Gabinete de Consultoria Legislativa. **Decreto nº 54.572, de 14 de abril de 2019.** Diário Oficial do Estado (DOE), Porto Alegre, RS, n. 74, 16 abr. 2019. Seção 1, p. 1-2. Disponível em: <https://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/DEC%2054.572.pdf>. Acesso em: 25 maio de 2025.

RIO GRANDE DO SUL. **Genealogia dos municípios do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG), Departamento de Planejamento Governamental, 2018. 59 p. Il. ISBN 978-85-89443-08-1 (impresso). ISBN 978-85-89443-09-8. Disponível em: <https://planejamento.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/27155415-spgg-genealogia.pdf>. Acesso em: 25 maio de 2025.

MELO, Ricardo Wanke de; FONTANA, Denise Cybis; BERLATO, Moacir Antônio. Indicadores de produção de soja no Rio Grande do Sul comparados ao zoneamento agrícola. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1167–1175, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004001200002. ISSN 1678-3921. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/6RGjRcb5KKBR64Z9xPgJvLs/abstract/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 30 maio de 2026.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. **The soybean yield gap in Brazil: magnitude, causes and possible solutions for sustainable production.** The Journal of Agricultural Science, Cambridge, v. 153, n. 8, p. 1394–1411, 2015. DOI: 10.1017/S0021859615000313. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/275723615\\_The\\_soybean\\_yield\\_gap\\_in\\_Brazil\\_-\\_Magnitude\\_causes\\_and\\_possible\\_solutions\\_for\\_sustainable\\_production](https://www.researchgate.net/publication/275723615_The_soybean_yield_gap_in_Brazil_-_Magnitude_causes_and_possible_solutions_for_sustainable_production). Acesso em: 28 maio de 2025.

SILVEIRA, V. C. P.; GONZÁLEZ, J. A.; FONSECA, E. L. **Mudanças no uso da terra depois do período de aumento de preço das commodities no Rio Grande do Sul, Brasil.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 47,



n. 4, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20160647. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/wJ7jmNnRkSfT46PQTbYVYcD/?lang=en> Acesso em: 28 maio de 2025.

TORRES, Ronaldo; ZORZI, André Luis; OZAKI, Vitor Augusto; MARTINS, Gilson. **Expansão do cultivo de soja no Rio Grande do Sul: seu efeito sobre a gestão de riscos e composição agrícola.**

Desenvolvimento em Questão, Ijuí, v. 21, n. 59, 2023. [doi.org/10.21527/2237-6453.2023.59.14086](https://doi.org/10.21527/2237-6453.2023.59.14086) Disponível em:

<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/14086> Acesso em: 28 maio de 2025.



ANEXOS

Figura 2 - Dendrograma da análise de cluster

