

Londrina, PR / Outubro, 2024

Tipificação e caracterização de municípios produtores de soja no Bioma Mata Atlântica

André Steffens Moraes⁽¹⁾, Maria do Carmo Ramos Fasiaben⁽²⁾, Maxwell Merçon Tezolin Barros Almeida⁽³⁾, Octávio Costa de Oliveira⁽⁴⁾, Helano Póvoas de Lima⁽⁵⁾, Rubson Natal Ribeiro Sibaldelli⁽⁴⁾

⁽¹⁾Oceanógrafo, doutor em Economia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; ⁽²⁾Engenheira-agrônoma, doutora em Desenvolvimento Econômico, pesquisadora da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP; ⁽³⁾Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, tecnologista da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ; ⁽⁴⁾Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, tecnologista da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ; ⁽⁵⁾Cientista da computação, mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP; ⁽⁶⁾Matemático, especialista em Estatística, Londrina, PR.

Resumo - Este estudo tem como finalidade classificar e descrever os sistemas de produção de soja no bioma Mata Atlântica, utilizando dados do Censo Agropecuário de 2017, obtidos por meio de tabulações especiais. A aplicação de métodos de aprendizado de máquina demonstrou ser uma abordagem eficaz para alcançar esse propósito. Através da análise de cluster, foram descobertos três grupos entre 1.367 municípios, baseando-se em aspectos da produção e com ênfase no uso de tecnologias. Compreender a diversidade dos sistemas utilizados pelos agricultores é crucial para o planejamento de ações de pesquisa agropecuária, transferência de tecnologia e desenvolvimento rural, visando aumentar a eficiência desses sistemas no bioma. Entender as diferenças nos sistemas de produção de soja dos produtores rurais auxilia na definição de estratégias mais eficazes para diversos contextos locais e revela como as variações nas práticas de cultivo podem ser mais produtivas. Além disso, conhecer as particularidades de cada cluster abre caminhos para a difusão de inovações. O artigo lança luz para o debate sobre indicadores na cultura da soja salientando a necessidade de se considerar outras perspectivas além da tecnológica, como a perspectiva da sustentabilidade socioambiental.

Termos para indexação: *Glycine max*; variáveis técnicas; variáveis econômicas; biomas; censo agropecuário.

Typification and characterization of soybean production systems in municipalities in the Mata Atlantica Biome

Abstract - This study aims to classify and describe soybean production systems in the Atlantic Forest biome, using data from the 2017 Agricultural Census, obtained through special tabulations. The application of machine learning methods has proven to be an effective approach to achieve this purpose. Through cluster analysis, three groups were discovered among 1,367 municipalities, based on production aspects and with an emphasis on the use of technologies. Understanding the diversity of systems used by

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n,
acesso Orlando Amaral
Caixa Postal 4006,
CEP 86085-981
Distrito de Warta
Londrina, PR
(43) 3371 6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Roberta Aparecida
Carnevall Monteiro

Secretária-executiva

Regina Maria Villas Bôas
de Campos Leite

Membros

Claudine Dinali Santos Seixas,
Clara Beatriz Hoffmann-Campo,
Fernando Augusto Henning, Ivani
de Oliveira Negrão Lopes, Leandro
Eugênio Cardamone Diniz, Maria
Cristina Neves de Oliveira, Mônica
Juliani Zavaglia Pereira
e Norman Neumaier

Edição executiva

Vanessa Fuzinato Dall'Agnol

Revisão de texto

Regina Maria Villas Bôas
de Campos Leite

Normalização

Valéria de Fátima Cardoso
(CRB- 9/1188)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Marisa Yuri Horikawa

Publicação digital: PDF

Todos os direitos
reservados à Embrapa.

farmers is crucial for planning agricultural research, technology transfer, and rural development actions, aiming to increase the efficiency of these systems in the biome. Understanding the differences in soybean production systems of rural producers helps to define more effective strategies for different local contexts and reveals how variations in cultivation practices can be more productive. In addition, knowing the particularities of each cluster opens up avenues for the dissemination of innovations. This text sheds light on the debate on indicators in soybean cultivation, highlighting the need to consider other perspectives besides the technological one, such as the perspective of socio-environmental sustainability.

Index terms: *Glycine max*; technical variables; economic variables; biomes; agricultural census.

Introdução

A Mata Atlântica é composta por formações florestais nativas e ecossistemas associados. Originalmente, o bioma ocupava mais de 1,3 milhões de km² em 17 estados do território brasileiro, estendendo-se por grande parte da costa do país. Porém, devido à ocupação e atividades humanas na região, hoje restam 29% de sua cobertura original. Mesmo assim, estima-se que existam na Mata Atlântica cerca de vinte mil espécies vegetais (35% das espécies existentes no Brasil, aproximadamente), incluindo diversas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Essa riqueza é maior que a de alguns continentes, a exemplo da América do Norte, que conta com 17 mil espécies vegetais e Europa, com 12,5 mil. Esse é um dos motivos que torna a Mata Atlântica prioritária para a conservação da biodiversidade mundial. Em relação à fauna, o bioma abriga, aproximadamente, 850 espécies de aves, 370 de anfíbios, 200 de répteis, 270 de mamíferos e 350 de peixes. Além de ser uma das regiões mais ricas do mundo em biodiversidade, a Mata Atlântica fornece serviços ecossistêmicos essenciais para os 145 milhões de brasileiros que nela vivem (Brasil, 2024).

Um estudo de Ribeiro et al. (2009), visando quantificar o quanto de floresta ainda resta e analisar sua distribuição espacial, revelou uma situação grave: mais de 80% dos fragmentos remanescentes da Mata Atlântica têm menos de 50 ha, quase metade da floresta remanescente está localizada a menos de 100 m das bordas dos fragmentos florestais (sofrendo efeito de borda), a distância média entre os fragmentos é grande (1.440 m) e as reservas naturais protegem apenas 9% da floresta remanescente e 1% da floresta original.

Na Mata Atlântica estão 27% das terras destinadas à agropecuária nacional (70 milhões de hectares) e 40% dos estabelecimentos agropecuários do país, com predominância de pequenos produtores. Além de ser responsável pela maior parte da produção agrícola de consumo direto para alimentação da população brasileira, a Mata Atlântica tem grande participação na produção de commodities para exportação (Pinto et al., 2022). A partir de dados do Censo Agropecuário 2017, esses autores destacam que a Mata Atlântica, com sua diversidade de cultivos e criações, foi responsável por boa parte da produção agropecuária nacional: a) 52% da produção vegetal de alimentos de consumo direto (exceto milho, soja e cana); b) 30% da produção vegetal de não alimentos (fibras, látex e algodão); c) 43% da produção de soja, milho e cana-de-açúcar, culturas alimentares de consumo direto, indireto (ração de animais) e de energia; d) 56% da produção de alimentos de origem animal; e) 62% de cabeças animais (incluídos bovinos, ovinos, aves, suínos) do país.

A soja produzida no Bioma Mata Atlântica representa parte significativa da produção nacional: 32% do total produzido, segundo estimativas de Pinto et al. (2022). Tomando por base as tabulações especiais do Censo Agropecuário 2017, no presente trabalho estimou-se que a Mata Atlântica foi responsável por 27% da produção e 25% da área colhida de soja do País, tendo sido a produtividade média da soja cultivada no bioma (3.517 kg/ha) cerca de 5% superior à média nacional.

O aumento da produtividade na agropecuária é primordial para aumentar a produção de alimentos e reduzir o desmatamento (Marin et al., 2022; Hanusch, 2023), pois está associado ao atendimento de uma maior demanda com a mesma quantidade de terra. No caso de biomas com uso do solo mais consolidado (como Mata Atlântica e Cerrado), Costa e Rocha (2022) encontraram que as principais transições percebidas com o aumento da produtividade da soja foram de usos agropecuários menos produtivos e rentáveis para esse grão. Já no caso da Amazônia, esses mesmos autores relatam que os efeitos do choque de produtividade - causado pela introdução da semente transgênica -, tenderam para um movimento similar ao paradoxo de Jevons, no qual o aumento da produtividade do fator de produção terra teria incentivado ainda mais a sua utilização ou ocupação. Esse resultado concorda com o relatório do Banco Mundial (Hanusch, 2023) que indica que os ganhos de produtividade agrícola na Amazônia, aliados à disponibilidade de vastas áreas de mata natural e às falhas em sua proteção, fomentam o

efeito Jevons, por meio do qual agricultores mais competitivos demandam mais terra para ampliar sua participação de mercado (intensificação que induz a extensificação).

Tratando da Mata Atlântica, o presente trabalho tem como objetivo tipificar os municípios do bioma segundo características dos sistemas de produção em uso pelos produtores para o cultivo de soja, utilizando técnicas de aprendizado de máquina e dados oriundos do Censo Agropecuário 2017 do IBGE, com enfoque especial na tecnologia empregada pelos produtores. Espera-se que os resultados possam servir ao planejamento e priorização de ações de pesquisa agropecuária, transferência de tecnologia e desenvolvimento rural, colaborando para a conservação do bioma.

Material e métodos

A data de referência do Censo Agropecuário 2017 foi o dia 30 de setembro de 2017 relativamente às informações sobre pessoal ocupado, estoques, efetivos da pecuária, lavouras permanentes e silvicultura, entre outros dados estruturais. Para o período de referência, ao qual foram relacionados todos os dados sobre propriedade, produção, área, volume de trabalho durante o período, entre outros aspectos, o censo adotou o intervalo de 1º de outubro de 2016 a 30 de setembro de 2017 (IBGE, 2019).

O presente trabalho partiu de uma tabulação especial do Censo Agropecuário 2017 com variáveis agrupadas por municípios e filtradas por estabelecimentos agropecuários produtores de soja (EPS) (IBGE, 2022). Variáveis quantitativas (exceto número de estabelecimentos) com menos de três informantes por município foram desidentificadas, por motivo de sigilo estatístico. A identificação da Mata Atlântica como bioma predominante em cada município seguiu o trabalho de Silva et al. (2022).

As variáveis para a tipificação¹ são listadas a seguir:

1. Número de estabelecimentos produtores de soja do município dividido pelo número total de estabelecimentos do município (razão).

2. Soma da quantidade produzida de soja no município (kg).

3. Produtividade média da soja (kg/ha).

4. Número de estabelecimentos que receberam orientação técnica em relação ao total de estabelecimentos de soja (razão).

5. Número de estabelecimentos que usaram adubo químico em relação ao total de estabelecimentos de soja (razão).

6. Número de estabelecimentos que fizeram financiamento em relação ao total de estabelecimentos de soja (razão).

7. Área total colhida de soja / área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

8. Área total de pastagens dos estabelecimentos produtores de soja / área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

9. Área colhida de grãos (incluindo a soja) dos estabelecimentos produtores de soja / área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

10. Área colhida de milho dos estabelecimentos produtores de soja / área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

11. Área com plantio direto dos estabelecimentos produtores de soja.

12. Área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja.

13. Área arrendada dos estabelecimentos produtores de soja / área em processo produtivo (razão).

14. Área com plantio direto dos estabelecimentos produtores de soja / área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

15. Número de estabelecimentos produtores de soja que utilizam sementes transgênicas em relação ao total de estabelecimentos produtores de soja (razão).

16. Valor da produção de soja / valor total da produção agropecuária, dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

17. Soma das receitas com a venda de soja dos estabelecimentos produtores de soja / soma das receitas das atividades agropecuárias dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

Na etapa de modelagem, adotou-se o método do cotovelo (do inglês, *Elbow method*) para se estimar o número de clusters (Han et al., 2012). Em seguida foi usado o algoritmo *Expectation-Maximization* (EM) para a geração de clusters² (Dempster et al., 1977), considerando-se três clusters com base na experiência empírica de especialistas acerca da

¹ O Censo Agropecuário 2017 atribuiu o uso das tecnologias e serviços ao estabelecimento agropecuário, e não por cultura, o que não significa que estejam direcionados diretamente à soja. Outro ponto a considerar é que algumas técnicas não são empregadas ano a ano, como é o caso da aplicação do calcário. Como o censo coleta a informação para o ano de referência, é possível que parte dos estabelecimentos não acuse o seu uso naquele ano, embora possa fazê-lo com regularidade.

² Cluster é um termo em inglês que indica agrupamento, geralmente empregado quando, em um conjunto de dados, agrupa-se elementos com características semelhantes entre si, mas, diferentes dos elementos pertencentes a outros grupos.

pouca variabilidade encontrada nos sistemas de produção de soja. A razão da escolha do algoritmo EM baseia-se nos critérios: a) EM estende o paradigma usado no *k-means*, associando uma distribuição de probabilidade a cada instância, que indica a probabilidade dessa instância pertencer a uma única população; b) EM é um processo iterativo e tem a habilidade de lidar com valores faltantes e de estimar o número de clusters por meio de um conjunto de parâmetros que descreve a distribuição de probabilidade de cada cluster. O usuário também pode especificar a priori quantos clusters gerar.

O algoritmo calcula os estimadores de máxima verossimilhança para problemas onde existem dados incompletos entre os dados observados ou para problemas que envolvem variáveis latentes, ou seja, não observáveis diretamente, mas que podem ser inferidas de outras variáveis observadas. Cada iteração do algoritmo EM envolve dois passos que são: *expectation* (passo E) e *maximization* (passo M). O passo E desse algoritmo consiste em obter uma estimativa da esperança (*expectation*) dos dados faltosos para completar a amostra de dados incompleta, partindo-se de um valor inicial empírico. No passo M, com os dados completados, realiza-se aprendizagem das probabilidades, baseado nas frequências dos estados das variáveis na amostra, de modo a calcular a função de maximização da esperança encontrada. Os passos E e M fazem parte de um processo iterativo, em que as novas probabilidades, calculadas na fase M, serão utilizadas para realizar a inferência na fase E.

A validação cruzada realizada para determinar o número de clusters é feita nas seguintes etapas: a) o número de clusters é definido como 1; b) o conjunto de treinamento é dividido aleatoriamente em 10 partições (*folds*); c) EM é processado 10 vezes usando as 10 partições da maneira usual de validação cruzada; d) a probabilidade da máxima verossimilhança é calculada e a média dos 10

resultados é obtida; e) se a probabilidade de máxima verossimilhança aumentar, o número de clusters é aumentado em 1 e o programa continua na etapa 2. O número de partições é fixado em 10, desde que o número de instâncias (observações) no conjunto de treinamento não seja menor que 10. Se for esse o caso, o número de partições é definido igual ao número de instâncias. Em particular, foi utilizada a versão do algoritmo EM disponível no software Weka, versão 3.8.5 (Frank et al., 2016). O software Weka é uma coleção de algoritmos de aprendizado de máquina para tarefas de mineração de dados. Ele contém ferramentas para preparação de dados, classificação, regressão, *clustering*, mineração de regras de associação e visualização.

Uma vez configurados os agrupamentos a partir do conjunto de variáveis, outras informações foram empregadas para melhor caracterizá-los, conforme se descreve nos resultados a seguir.

Resultados e discussão

Segundo IBGE (2024), no período de referência do Censo Agropecuário 2017 contabilizaram-se 236.245 estabelecimentos agropecuários produtores de soja (EPS) no Brasil, distribuídos por 2.428 municípios. A produção brasileira de soja foi de 103,2 milhões de toneladas e a área colhida foi 30,7 milhões de hectares, o que significou uma produtividade média nacional de 3.358 kg/ha. Para o mesmo período, na área correspondente ao Bioma Mata Atlântica, 172.407 estabelecimentos produziram soja (73% do total nacional) em 1.367 municípios (56% dos municípios que tinham EPS no Brasil), com uma produção de 27,4 milhões de toneladas e a cultura ocupando uma área de 7,8 milhões de hectares (representando 27% e 25% do total brasileiro, respectivamente). A produtividade de soja cultivada no bioma Mata Atlântica foi de 3.517 kg/ha (quase 5% maior que a brasileira) (Tabela 1).

Tabela 1. Número de municípios com um ou mais estabelecimentos agropecuários que produzem soja, número de estabelecimentos agropecuários produtores de soja, produção e área colhida de soja no Brasil e bioma Mata Atlântica, segundo o Censo Agropecuário 2017.

Dado / Local	Brasil	Bioma Mata Atlântica	Bioma MA/Brasil
Número de municípios com produção de soja (unidades)	2.428	1.367	56,3%
Número de estabelecimentos agropecuários produtores de soja (unidades)	236.245	172.407	73,0%
Produção de soja em 2017 (t)	103.156.255	27.361.139	26,5%
Área colhida de soja em 2017 (ha)	30.722.657	7.778.815	25,3%
Produtividade média da soja (kg/ha)	3.358	3.517	104,7%

Fonte: IBGE (2022).

Os 1.367 municípios do bioma Mata Atlântica com pelo menos um estabelecimento que produz soja representaram 49,9% do total dos 2.739 municípios do bioma e os 172.407 EPS representaram 9,7% do total de 1.786.351 estabelecimentos agropecuários do bioma.

Conforme apontado na metodologia, por questão de sigilo estatístico, as variáveis quantitativas (exceto número de estabelecimentos) com menos de três informantes por município foram

desidentificadas. Por essa mesma razão, nos casos em que havia menos de três EPS no município, este foi excluído da análise de cluster. Deve-se atentar, portanto, que as informações apresentadas a seguir para o bioma Mata Atlântica se baseiam na base de dados desidentificada, o que levou à redução do número de municípios produtores de soja para 1.103 e o número de EPS analisados para 172.061 (Tabela 2).

Tabela 2. Ocorrência dos clusters, produção, área colhida e produtividade de soja em estabelecimentos agropecuários produtores de soja (EPS) do bioma Mata Atlântica, agregados por município, Censo Agropecuário 2017.

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Mata Atlântica
Número de municípios produtores de soja no bioma *	381	438	284	1.103
Porcentagem de municípios produtores de soja no bioma	34,5%	39,7%	25,7%	100,0%
Número de estabelecimentos produtores de soja no bioma	68.693	10.188	93.180	172.061
Porcentagem de estabelecimentos produtores de soja de cada cluster no bioma	39,9%	5,9%	54,2%	100,0%
Quantidade total produzida de soja (t)	7.389.623	959.411	19.012.104	27.361.139
Área total colhida de soja (mil ha)	2.176	296	5.307	7.779
Produtividade média da soja (kg/ha)	3.396	3.244	3.582	3.517

Nota: * Aqui são considerados estabelecimentos de municípios com três ou mais estabelecimentos agropecuários produtores de soja. Municípios com menos de três estabelecimentos produtores de soja foram excluídos das análises pela exigência de desidentificação dos dados do Censo Agropecuário pelo IBGE (sigilo estatístico).

O algoritmo EM separou os estabelecimentos do bioma Mata Atlântica em três agrupamentos que foram classificados, para efeitos de análise, com base na produtividade média da soja (kg/ha), em três tipos: i) menor produtividade (3.244 kg/ha; cluster 2); ii) produtividade intermediária (3.396 kg/ha; cluster 1); e, iii) maior produtividade (3.582 kg/ha; cluster 3) (Tabela 2).

A área média dos estabelecimentos produtores de soja do bioma Mata Atlântica (80,3 ha) foi 68% menor que a área média do total de estabelecimentos produtores de soja do país (252,5 ha). A área média em processo produtivo dos EPS do bioma (66,3 ha) também foi menor, em 65%, do que a área média em processo produtivo do total de estabelecimentos produtores de soja do país (190,3 ha). Já a área média colhida de soja nos EPS da Mata Atlântica (45 ha) representou 35% da área média colhida de soja em todos os EPS do Brasil (130 ha) (Tabelas 2 e 3).

Nos EPS do bioma Mata Atlântica predominou a produção vegetal na formação da receita dos estabelecimentos, sendo que a média da venda de

produtos de origem vegetal do bioma foi equivalente a 75% da receita total (a receita total inclui as receitas externas ao estabelecimento). Já a média da participação da produção animal na receita total obtida pelos EPS foi pouco maior que 17% (Tabelas 4 e 5).

A produção de soja do Brasil segue alguns preceitos em relação à caracterização espacial. A caracterização espacial da distribuição da cultura da soja pelo território brasileiro é importante tendo em vista a amplitude do país. Para o registro de cultivares de soja a serem utilizadas em cada município brasileiro, ou recomendadas para serem semeadas em cada município, utilizam-se as regiões edafoclimáticas definidas por Kaster e Farias (2012), onde os autores empregaram critérios em relação à similaridade de clima e solo na determinação destas regiões e a diversidade de ecossistemas. Estes autores descreveram o Brasil em 5 Macrorregiões Sojícolas (MRS) e cada uma destas regiões é pormenorizada em regiões edafoclimáticas homogêneas, chamadas de REC.

Tabela 3. Indicadores do uso da terra de estabelecimentos produtores de soja dos Clusters do Bioma Mata Atlântica, Censo Agropecuário 2017 (valores médios por estabelecimento produtor de soja).

Indicador (ha)	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Mata Atlântica
Área total média dos estabelecimentos produtores de soja	68,7	87,1	88,0	80,3
Área média em processo produtivo nos estabelecimentos produtores de soja	55,9	71,2	73,4	66,3
Área média com lavouras temporárias nos estabelecimento produtores de soja	39,1	47,9	63,3	52,8
Área média de pastagem nos estabelecimentos produtores de soja	13,8	16,3	7,6	10,6
Área média de florestas plantadas nos estabelecimentos produtores de soja	1,3	1,6	1,1	1,2
Área média de sistemas agroflorestais nos estabelecimentos produtores de soja	0,5	0,6	0,7	0,6
Área média colhida de soja por estabelecimento nos EPS*	31,7	29,1	57,0	45,2
Área média colhida de milho por estabelecimento nos EPS	10,5	28,9	13,3	20,7
Área média colhida de trigo por estabelecimento nos EPS	6,5	9,4	4,5	8,1
Área média colhida de cana-de-açúcar por estabelecimento nos EPS	3,3	2,6	21,0	3,8
Área média arrendada pelos estabelecimentos produtores de soja**	14,9	18,0	22,2	19,0

*EPS: Estabelecimento agropecuário produtor de soja.

** A área arrendada já está contabilizada e faz parte das médias da área total, da área em processo produtivo e das áreas dedicadas a cada uma das culturas dos estabelecimentos.

Tabela 4. Percentuais dos diferentes usos da terra em relação à área em processo produtivo, em estabelecimentos produtores de soja dos Clusters do bioma Mata Atlântica, Censo Agropecuário 2017.

Indicador	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cerrado
Porcentagem da área total de lavouras temporárias em relação à área em processo produtivo	69,9	67,3	86,2	79,6
Porcentagem da área total colhida de soja em relação à área em processo produtivo nos EPS	56,7	40,9	77,7	68,2
Porcentagem da área total colhida de milho em relação à área em processo produtivo nos EPS	18,8	40,6	18,1	31,2
Porcentagem da área total colhida de trigo em relação à área em processo produtivo nos EPS	11,6	13,2	6,1	12,2
Porcentagem da área total colhida de cana em relação à área em processo produtivo nos EPS	5,9	3,7	28,6	5,7
Porcentagem da área total de pastagens em relação à área em processo produtivo nos EPS	24,7	22,9	10,4	16,0
Porcentagem da área total de florestas plantadas em relação à área em processo produtivo	2,3	2,2	1,5	1,8
Porcentagem da área total de sistemas agroflorestais em relação à área em processo produtivo	0,9	0,8	1,0	0,9
Porcentagem da área total arrendada em relação à área em processo produtivo nos EPS	26,7	25,3	30,2	28,7
Porcentagem da área arrendada do cluster em relação ao total do bioma nos EPS	31,2	5,6	63,2	100,0

Tabela 5. Composição das receitas auferidas pelos estabelecimentos produtores de soja do bioma Mata Atlântica, segundo o Censo Agropecuário 2017 (valores médios, por estabelecimento produtor de soja).

Receitas * (R\$)	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Mata Atlântica
Receitas totais obtidas por EPS	236.579	350.989	337.280	297.888
Receita da agropecuária por EPS	215.258	319.002	314.715	275.262
Receita de origem vegetal por EPS	162.729	217.493	268.875	223.455
Receita de origem animal por EPS	52.501	88.277	45.835	51.009
Receitas originadas da venda de soja por EPS	99.636	90.309	183.214	144.345
Receitas originadas da venda de milho por EPS	20.967	28.123	46.599	35.272
Receitas originadas da venda de trigo por EPS	6.400	2.755	11.050	8.702
Receitas originadas da venda de cana-de-açúcar por EPS	8.655	39.101	5.491	8.744
Receitas das atividades não agropecuárias praticadas nos estabelecimentos por EPS	5.300	6.325	6.887	6.220
Receita total obtida pelo produtor e sua família por EPS	15.813	19.889	15.659	15.971

* Valores médios nominais na data de referência do Censo, em R\$.

As principais características dos três clusters são descritas a seguir.

CLUSTER 1

O Cluster 1 apresenta uma produtividade intermediária entre os três clusters da Mata Atlântica, sendo representado por 381 municípios (34,5% do total), com 68.693 estabelecimentos (39,9% do total). A produtividade média da soja foi de 3.396 kg/ha, abaixo da média do bioma (3.517 kg/ha). A produção total de soja dos estabelecimentos deste cluster foi de 7,4 milhões de toneladas, 27% do total produzido na Mata Atlântica, obtida em uma área colhida de 2,2 milhões de hectares ou 28% da área de soja colhida total do bioma (Tabela 2).

No Cluster 1, a área total (média) dos estabelecimentos produtores de soja foi a menor entre os três clusters (68,7 ha, 14% abaixo da área média do bioma) e foi 73% menor do que área média dos cerca de 236 mil estabelecimentos produtores de soja do país (252,5 ha). A área média em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja deste cluster foi de 55,9 ha (Tabela 3). Da área em

processo produtivo, 70% eram lavouras temporárias, 25% pastagens (nativas e plantadas), 2,3% florestas plantadas e 1% sistemas agroflorestais. A área média arrendada representou 27% da área média em processo produtivo dos estabelecimentos deste cluster (Tabela 4).

A soja é a principal cultura para os produtores desse cluster, representando uma área colhida (média) de 31,7 ha por estabelecimento. Em seguida, em termos de área colhida, encontraram-se o milho (10,5 ha), o trigo (6,5 ha) e a cana-de-açúcar (3,3 ha) (Tabela 3). Aqui a receita total (média) obtida por EPS foi de R\$ 236.579,00, a menor entre os três clusters. A soja foi também a principal fonte de geração de renda dos estabelecimentos: representa 42% da receita total obtida pelos produtores, enquanto o milho foi responsável por aproximadamente 9% dessa receita, o trigo por 3% e a cana por 4%. A receita com origem na produção animal representou 22% da receita total obtida pelos produtores desse cluster. Os valores absolutos das receitas por estabelecimento são apresentados na Tabela 5 e a participação percentual das diferentes fontes de receita se encontra na Tabela 6.

Tabela 6. Participação percentual de diferentes fontes na receita total obtida dos estabelecimentos produtores de soja no bioma Mata Atlântica, segundo o Censo Agropecuário 2017 (valores médios, por estabelecimento produtor de soja).

Receitas	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Mata Atlântica
Receita da agropecuária / receitas totais obtidas (%)	91,0	90,9	93,3	92,4
Receita de origem vegetal / receitas totais obtidas (%)	68,8	62,0	79,7	75,0
Receita de origem animal / receitas totais obtidas (%)	22,19	25,20	13,60	17,10
Receita da venda de soja / receitas totais obtidas (%)	42,1	25,7	54,3	48,5
Receita da venda de milho / receitas totais obtidas (%)	8,9	8,0	13,8	11,8
Receita da venda de trigo / receitas totais obtidas (%)	2,7	0,8	3,3	2,9
Receita da venda de cana-de-açúcar / receitas totais obtidas (%)	3,7	11,1	1,6	2,9
Receita das atividades não agropecuárias praticadas nos estabelecimentos / receitas totais obtidas (%)	2,2	1,8	2,0	2,1
Receita total obtida pelo produtor e sua família não relacionadas à produção / receitas totais obtidas (%)	6,7	5,7	4,6	5,4

Entre as variáveis tecnológicas, observa-se que no Cluster 1 encontraram-se abaixo dos demais clusters e abaixo da média do bioma: i) percentagem de estabelecimentos que tem acesso à internet; ii) percentagem de estabelecimentos que tem trator; iii) percentagem de estabelecimentos

que usa corretivos de solo; e, iv) percentagem de estabelecimentos que recebe orientação técnica. As demais variáveis, com exceção do uso de sementes transgênicas, mostraram-se em níveis intermediários em relação aos demais clusters (Tabela 7).

Tabela 7. Aspectos gerais da tecnologia empregada nos clusters dos estabelecimentos agropecuários produtores de soja no bioma Mata Atlântica, agregados por município, no Censo Agropecuário 2017.

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Mata Atlântica
Percentagem de estabelecimentos que tem acesso à internet	48,0	61,6	51,2	50,5
Percentagem de estabelecimentos que tem trator	63,3	74,1	67,9	66,4
Percentagem de estabelecimentos com semente transgênica	79,2	75,6	78,0	78,3
Percentagem de estabelecimentos que usam adubos químicos	64,2	44,2	71,9	67,2
Percentagem de estabelecimentos que usam corretivos de solo	41,6	49,3	47,9	45,5
Percentagem de estabelecimentos que usam agrotóxicos	98,5	96,6	99,1	98,7
Percentagem de estabelecimentos com armazéns para grão no estabelecimento	10,2	15,3	7,9	9,3
Percentagem de estabelecimentos que fazem rotação de culturas	79,9	74,9	80,4	79,9
Percentagem de estabelecimentos que recebem orientação técnica	71,6	76,8	82,7	77,9

O percentual de estabelecimentos familiares deste cluster (81%) é o maior entre os três clusters e está acima da média do bioma (77%). As receitas do produtor e sua família não relacionadas às atividades produtivas representaram 6,7% do total das receitas obtidas, maior percentual entre os três

clusters e acima da média do bioma (5,4%). Das receitas totais auferidas, 3,2% são provenientes de aposentadorias e pensões. O percentual de estabelecimentos que fez financiamento neste cluster é de 53%, abaixo da média do bioma (perto de 56%) (Tabela 8).

Tabela 8. Características socioeconômicas dos clusters de estabelecimentos agropecuários produtores de soja do bioma Mata Atlântica, agregados por município, no Censo Agropecuário 2017.

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Mata Atlântica
Estabelecimentos familiares em relação ao total de EPS do bioma (%)	80,9	74,2	73,9	76,7
EPS que fizeram financiamento em relação ao total de EPS do bioma (%)	53,3	53,4	57,3	55,5
Receitas totais das atividades do estabelecimento (agro + não agro) em relação ao VTRO*	93,2	92,7	95,4	94,5
Receita total do produtor e sua família** em relação ao valor total das receitas obtidas	6,7	5,7	4,6	5,4
Receitas de pensões e aposentadorias em relação ao valor total das receitas obtidas	3,2	2,2	2,1	2,5
Receitas obtidas fora do estabelecimento em relação ao valor total das receitas obtidas	3,3	3,0	2,4	2,7
Receitas de aposentadoria + receitas fora do estabelecimento em relação ao VTRO	6,5	5,1	4,5	5,2

* VTRO = Valor total das receitas obtidas.

** São as receitas do produtor e sua família não relacionadas às atividades produtivas do estabelecimento, como pensões e aposentadorias, salários recebidos por serviços fora da propriedade, retiradas ou receitas de empresas ou negócios próprios, recebimentos provenientes de programas governamentais e outros.

A Tabela 9 mostra que o valor das vendas oriundas de produtos de origem animal representou mais da metade da receita obtida com a comercialização da soja; do milho 21%; da cana 9% e do trigo, 6%. Praticamente todos os municípios produtores de soja deste cluster também produzem milho; 67% produzem trigo e 38%, cana-de-açúcar. Ou seja, são municípios diversificados em termos de produção vegetal e que também têm uma produção animal relevante.

Embora espalhado ao longo dos estados produtores, englobando as MRS 1, 2 e 3, o Cluster 1 predomina nos três estados da região Sul e no sul do Mato Grosso do Sul (Figura 1), e suas áreas estão inclusas predominantemente nas MRS 1 e 2 (Figura 2), com as RECs 101, 102, 103, 104, 201 e 202 no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná e a REC 202 no Mato Grosso do Sul.

Tabela 9. Características dos clusters de estabelecimentos agropecuários produtores de soja do bioma Mata Atlântica, agregados por município, no Censo Agropecuário 2017, considerando outras culturas cultivadas nos estabelecimentos.

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Mata Atlântica
Total de municípios produtores de soja da Mata Atlântica	381	438	284	1.103
Total de municípios com produção de milho (pela área colhida)	379	337	284	1.000
Total de municípios com produção de trigo (pela área colhida)	256	86	219	561
Total de municípios com produção de cana (pela área colhida)	143	80	72	295
Total de estabelecimentos produtores de soja	68.693	10.188	93.180	172.061
Total de estabelecimentos produtores de milho	68.626	9.670	93.180	171.476
Total de estabelecimentos produtores de trigo	58.609	4.443	84.336	147.388
Total de estabelecimentos produtores de cana-de-açúcar	36.012	3.351	32.876	72.239
Total de municípios produtores de soja que arrendaram terras	376	280	282	938
Total de estabelecimentos produtores de soja que arrendaram terras	68.654	8.953	93.168	170.775
Total de estabelecimentos produtores de milho em relação ao total de EPS (%)	99,9%	94,9%	100,0%	99,7%
Total de estabelecimentos produtores de trigo em relação ao total de EPS (%)	85,3%	43,6%	90,5%	85,7%
Total de estabelecimentos produtores de cana-de-açúcar em relação ao total de EPS (%)	37,5%	18,3%	25,4%	26,7%
Total de municípios com EPS de soja que arrendaram terras em relação ao total de municípios com EPS (%)	98,7%	63,9%	99,3%	85,0%
Total de estabelecimentos produtores de soja que arrendaram terras em relação ao total de EPS (%)	39,9%	5,9%	54,2%	100,0%
Valor da receita da venda do milho / valor da receita da venda da soja	21,0%	31,1%	25,4%	24,4%
Valor da receita da venda do trigo / valor da receita da venda da soja	6,4%	3,1%	6,0%	6,0%
Valor da receita da venda de cana-de-açúcar / valor da receita da venda da soja	8,7%	43,3%	3,0%	6,1%
Valor da receita de origem animal / valor da receita da venda da soja	52,7%	97,8%	25,0%	35,3%

CLUSTER 2

Os EPS do cluster de menor produtividade média do bioma Mata Atlântica (Cluster 2, com 3.244 kg/ha) são os de maior representatividade em termos do número de municípios (438 municípios ou 39,7% do total dos que produzem soja no bioma), mas não no número de estabelecimentos (10.188 estabelecimentos ou 5,9% do total dos EPS do bioma). Os estabelecimentos deste cluster produziram perto de 959 mil toneladas de soja em uma área colhida de 296 mil hectares, o que representa 3,5% e 3,8% do total do bioma, respectivamente (Tabela 2). Trata-se do cluster com menor produção e menor área colhida de soja do bioma.

O Cluster 2 reúne municípios com EPS com menor área média colhida de soja, de 29,1 ha/estabelecimento, bem abaixo da média do bioma que foi de 45,2 ha (Tabela 3). A área total (média) dos estabelecimentos foi 87,1 ha e a área média em processo produtivo dos EPS foi de 71,2 ha, maior que a média dos EPS do bioma (66,3 ha) (Tabela 3). Da área em processo produtivo, 67,3% estavam ocupadas com lavouras temporárias; 22,9% com pastagens; 2,2% com florestas plantadas e 0,8% com sistemas agroflorestais. Entre as lavouras temporárias, destacaram-se a soja e o milho, cada uma dessas culturas com 41% da área em processo produtivo (Tabela 4).

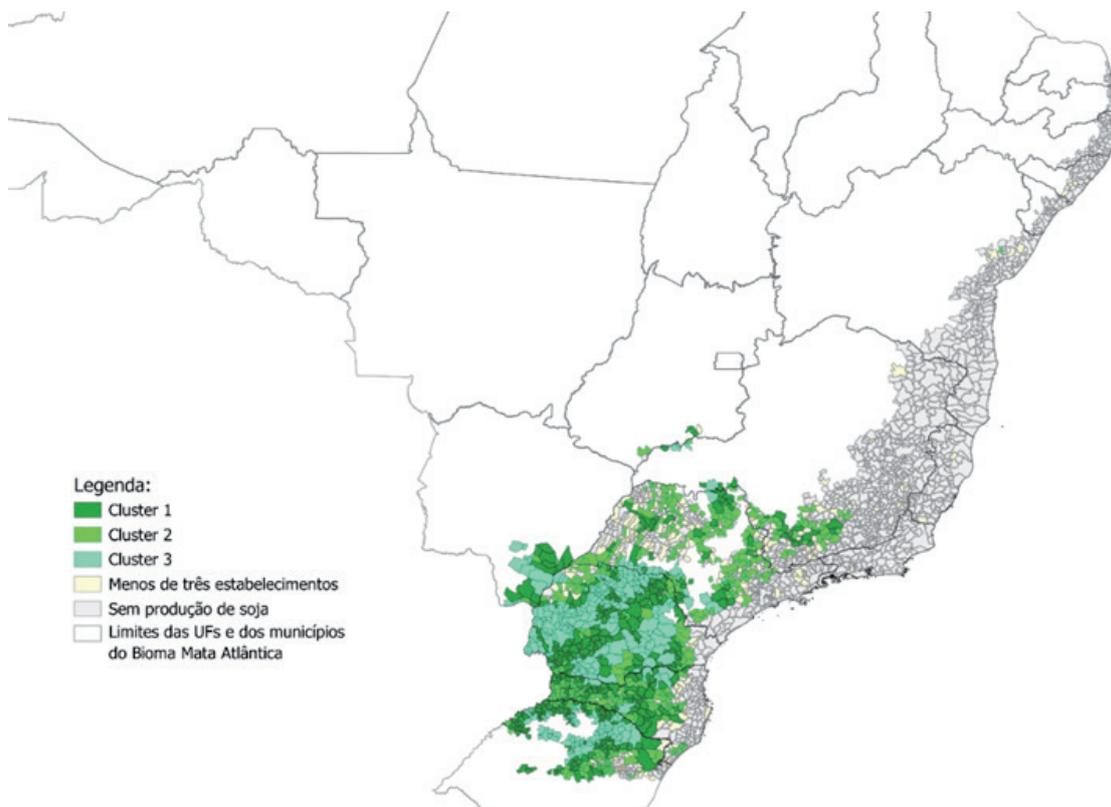


Figura 1. Localização espacial dos clusters de municípios produtores de soja do bioma Mata Atlântica.

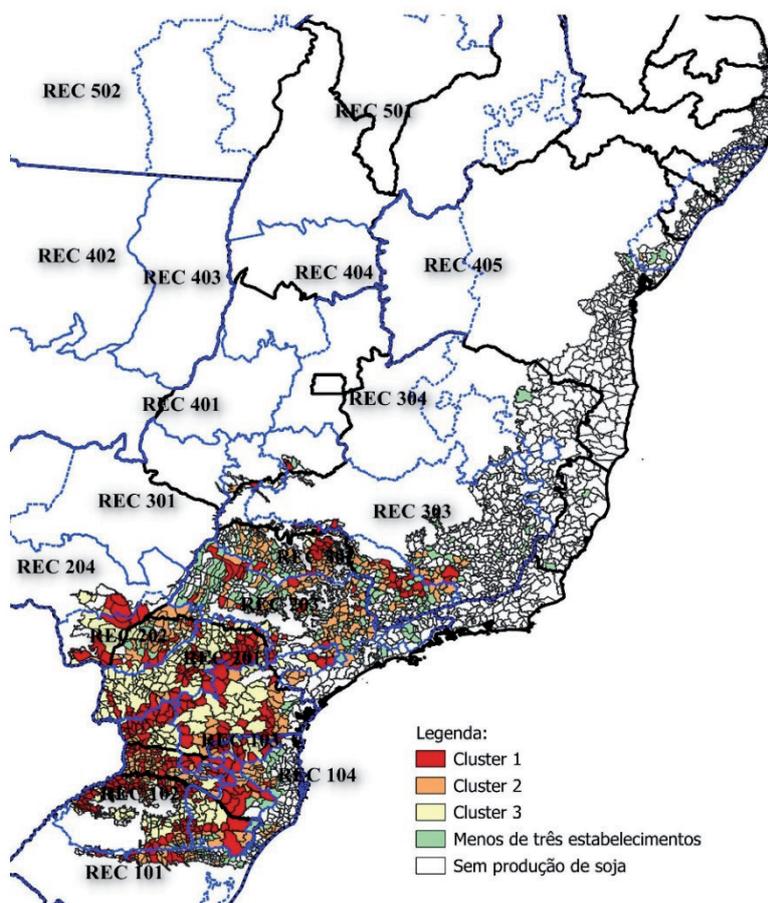


Figura 2. Distribuição dos clusters de municípios produtores de soja do bioma Mata Atlântica por região edafoclimática (REC).

A área média arrendada, de 18 ha/EPS, representou 25% da área média em processo produtivo dos estabelecimentos deste cluster (Tabelas 3 e 4). Importante recordar que a área arrendada já está computada nas médias da área total, da área em processo produtivo e das áreas ocupadas com as diferentes culturas nos estabelecimentos.

Os EPS deste cluster, comparativamente aos demais, obtiveram a maior receita total obtida por estabelecimento no valor de R\$ 350.989,00 (contabilizadas aquelas originadas dentro e fora do estabelecimento - como pensões e aposentadorias, salários recebidos por serviços fora da propriedade, retiradas ou receitas de empresas ou negócios próprios, recebimentos provenientes de programas governamentais e outros). A soja foi a cultura mais relevante para esse cluster em termos de geração de renda: sua venda gerou 90,3 mil reais em 2017, o que representou 25,7% da receita total auferida. Esteve, entretanto, seguida muito de perto pelas receitas de origem na produção animal, que alcançaram 25,2% da receita total. Esse também é o cluster onde a cana-de-açúcar teve maior importância econômica entre os três clusters, representando, na média, 11% da receita total obtida (Tabelas 5 e 6).

É importante destacar que os indicadores relacionados ao uso de tecnologia nos EPS não apresentaram grande variação entre os clusters, já que, no geral, a cultura da soja é conduzida com níveis de tecnologia que podem ser considerados altos, mesmo nas pequenas propriedades. Assim, a pouca variação na produtividade da cultura entre os três clusters do bioma Mata Atlântica pode estar mais relacionada às condições edafoclimáticas do que à tecnologia empregada.

Assim, na Tabela 7 pode-se verificar que, embora tenham apresentado menor produtividade média da soja, não se pode dizer que os estabelecimentos do Cluster 2 - com exceção do menor percentual de utilização de adubos químicos no ano analisado pelo Censo -, tenham nível tecnológico inferior ao dos demais clusters e às médias do bioma para a maioria das variáveis tecnológicas analisadas. Destacaram-se dos demais clusters e com percentuais acima da média do bioma, o acesso à Internet (61,6% dos estabelecimentos do cluster), a existência de tratores na propriedade (74,1%), o uso de corretivos de solo (49,3%) e a presença de armazéns para grãos nos estabelecimentos (15,3%). O uso de adubos químicos (44,2%) foi o menor entre os clusters e abaixo da média do bioma (67,2%). Há que ressaltar, entretanto, que o Censo Agropecuário coleta informações sobre o uso das

tecnologias nos estabelecimentos, porém não especifica a qual cultura elas se destinam, além do fato que determinados insumos não necessitam ser aplicados todos os anos, como no caso do calcário.

Pouco mais de 74% dos estabelecimentos desse cluster são familiares. As receitas do produtor e sua família, não relacionadas às atividades produtivas do estabelecimento, representaram 5,7% das receitas totais obtidas, pouco acima da média dos EPS do bioma, que foi de 5,4%. As receitas de aposentadorias e pensões representaram 2,2% do total de receitas obtidas pelos produtores do cluster. O percentual de produtores que fizeram financiamento neste cluster (53,4%) foi pouco menor que a média dos EPS do bioma (55,5%) (Tabela 8).

A Tabela 9 apresenta outras informações dos clusters de municípios produtores de soja do Bioma Mata Atlântica, considerando a participação de outros produtos nos estabelecimentos. Destacou-se a receita proveniente da produção animal, que quase se iguala à da soja, e aquela obtida da venda da cana-de-açúcar (43% do valor da receita da venda da soja).

Os municípios que representam o Cluster 2 encontram-se espalhados por todos os estados que produzem soja no bioma Mata Atlântica (Figura 1), em áreas das MRS 1, 2 e 3 (classificação conforme Kaster e Farias, 2012), mas são predominantes no estado de São Paulo (REC 203) e no sul de Minas Gerais (REC 302) (Figura 2).

CLUSTER 3

Os municípios deste cluster são os que apresentaram a maior produtividade média de soja, 3.582 kg/ha, pouco acima da média do bioma. O Cluster 3 representou 26% dos municípios (284 municípios) e 54% dos estabelecimentos agropecuários (93.180 no total). Os EPS deste cluster produziram 19 milhões de toneladas de soja, o que representou 69% da produção total do bioma (27,4 milhões t). Essa quantidade foi produzida em uma área colhida de 5,3 milhões de hectares, 68% da área colhida total de soja pelos estabelecimentos do bioma (Tabela 2).

A área média dos EPS desse cluster (88 ha) foi a maior entre os três clusters, quase 10% maior que a área média de todos os EPS do bioma (80,3 ha). A área média em processo produtivo foi 73,4 ha, 11% superior que a área média em processo produtivo dos EPS do bioma. Neste cluster, da área em processo produtivo, 86% estavam ocupados com lavoura temporária (63,3 ha), 10% com pastagens (7,6 ha), 1,5% com florestas plantadas

(1,1 ha) e 1% com sistemas agroflorestais (0,7 ha). Os estabelecimentos do Cluster 3 tomam em arrendamento uma área média de 22,2 ha, o que corresponde a 30% da área em processo produtivo dos estabelecimentos do cluster e 17% a mais do que a área média arrendada pelos EPS do bioma (Tabelas 3 e 4).

A soja é a principal cultura desse cluster com uma área colhida (média) de 57 ha por estabelecimento. Em seguida vem a cana, com 21 ha; o milho com 13,3 ha e o trigo, com 4,5 ha (Tabela 3). A receita total obtida por EPS desse cluster foi de R\$ 337.280,00. A maior geradora de receita foi a soja, com 54,3% da receita total obtida pelos produtores, enquanto o milho foi responsável por 13,8%, o trigo por 3,3% e a cana por 1,6%. A receita com origem animal representou 13,6% da receita total obtida pelos produtores desse cluster. Os valores (em reais de 2017) das receitas por estabelecimentos produtores de soja são apresentados na Tabela 5 e a participação percentual das diferentes fontes de receita se encontra na Tabela 6.

Conforme apontado anteriormente, a variação de produtividade entre os três clusters da Mata Atlântica não é expressiva, bem como é pequena a variação no uso das tecnologias elencadas neste trabalho. Dito isso, vale salientar que o Cluster 3, embora apresente níveis intermediários de uso da maior parte das tecnologias, destaca-se pelo maior percentual acesso à orientação técnica, e maior percentual de estabelecimentos que utilizaram adubos químicos e agrotóxicos e que praticaram rotação de culturas. Em contrapartida, estiveram abaixo da média do bioma nos quesitos “armazéns para grãos no estabelecimento” e “energia elétrica na propriedade” (Tabela 7).

Os estabelecimentos desse cluster são em sua maioria (74%) estabelecimentos familiares, embora esse percentual esteja abaixo da média do bioma (77%). Receitas externas, não relacionadas à produção representaram 4,6% da receita total auferida; 2,1% dessa receita total se referem a aposentadorias e pensões. Os percentuais relacionados a receitas externas desse cluster estão abaixo das médias do bioma. O percentual de estabelecimentos que fizeram financiamento é o maior entre os clusters analisados, pouco acima de 57% (Tabela 8).

A Tabela 9 mostra que o valor da venda oriunda da produção animal e do milho representou, para cada um desses produtos, um quarto da receita que se obteve com a comercialização da soja; o trigo representou cerca de 6% e a cana, 3%. À

semelhança dos demais clusters, os municípios do Cluster 3 também têm produção diversificada.

As Figuras 1 e 2 mostram que o Cluster 3 está presente principalmente no estado do Paraná (RECs 103 e 201) e nas regiões de Mata Atlântica do Rio Grande do Sul, na parte gaúcha da REC 103, e em Mato Grosso do Sul (RECs 202 e 204), englobando municípios das MRS 1 e 2.

A soja é produzida em sete estados do bioma Mata Atlântica, dispostos na MRS1, MRS2 e MRS3 (Kaster; Farias, 2012). Por sua extensão, essas regiões produtoras enfrentam diferentes condições edafoclimáticas: regimes pluviométricos, tipos e texturas de solo, além de temperaturas, fotoperíodos e demais fatores que influem no desenvolvimento das plantas. Trabalhos de campo conduzidos por Hirakuri et al. (2019, 2020) mostraram que a maior parte das regiões com condições edafoclimáticas mais favoráveis para a prática agrícola e que está em conformidade com a legislação ambiental, já está sendo utilizada com a cultura da soja, de tal modo que grande parte da expansão futura deve acontecer em áreas marginais, incluindo pastagens degradadas. Além da incorporação de pastagens degradadas, a expansão pode se dar pela ocupação de área de outros cultivos (por ex. milho verão) e sobre contextos específicos, como a adoção da soja na renovação de canaviais, principalmente no estado de São Paulo.

Vale destacar, ademais, o estudo de Caetano et al. (2018) a respeito dos impactos do clima e da tecnologia na produtividade da soja. O estudo conduzido em 2.304 municípios produtores de soja no Brasil (com seleção de onze variáveis que indicam avanços na tecnologia agrícola – algumas sendo as mesmas usadas no presente estudo), encontraram que a tecnologia é, em geral, mais importante do que o clima para a produtividade da cultura, mas em alguns municípios, especialmente no sul do país, a produtividade é mais dependente do clima.

O trabalho lança luz para o debate sobre indicadores na cultura da soja salientando a necessidade de se considerar outras perspectivas além da tecnológica, como a perspectiva do valor bruto da produção ou a perspectiva da sustentabilidade socioambiental, tendo em vista que a cultura da soja já utiliza muita tecnologia de modo geral e, portanto, apresenta relativa homogeneidade dos indicadores tecnológicos. Tais perspectivas podem auxiliar ainda mais na definição de políticas específicas para os distintos tipos de estabelecimentos agropecuários produtores de soja do país.

Outros fatores, como a presença ou ausência de infraestrutura básica nos estabelecimentos, tão importantes quanto as tecnologias empregadas no campo, são coadjuvantes nessas análises, independentemente da perspectiva utilizada. No caso deste estudo, fica evidente que a energia elétrica está quase universalizada nos estabelecimentos produtores de soja do bioma Mata Atlântica. Por outro lado, a baixa existência de armazéns para grãos nos estabelecimentos do bioma (abaixo de 10% do total de estabelecimentos) é um indicativo forte da necessidade de políticas que estimulem, para além dos programas governamentais já existentes, investimentos na ampliação, modernização e reforma da capacidade de armazenamento aos produtores rurais.

Conclusões

A metodologia baseada em técnicas de aprendizado de máquina aplicadas a dados censitários se mostrou satisfatória para diferenciar três agrupamentos de sistemas de produção de soja praticados pelos produtores da Mata Atlântica, reunidos por municípios.

Entre os resultados, destacam-se, para o bioma Mata Atlântica, a pequena variação na produtividade da cultura da soja entre os três clusters discriminados e a relativa homogeneidade no nível tecnológico aplicado à cultura entre eles. Isso pode ser explicado pelo fato que a cultura da soja só é viável com o uso intensivo de tecnologia, o que faz as variáveis tecnológicas apresentarem semelhanças em seus percentuais de uso entre os clusters de forma geral.

Por outro lado, as variáveis tecnológicas por si só não explicam a variação na produtividade. Outras características dos estabelecimentos ou do bioma também influenciam na produtividade da cultura, como por exemplo, a gestão da propriedade, a qualidade das terras e as condições climáticas. Embora a tecnologia seja considerada a principal variável a explicar a produtividade da soja, as condições climáticas (principalmente a irregularidade na quantidade e frequência da precipitação pluviométrica) são a principal condicionante, como é o caso da produção no Rio Grande do Sul.

Agradecimentos

Às Dras. Ivani de Oliveira Negrão Lopes e Maria Cristina Neves de Oliveira, pesquisadoras da área de Biometria e Estatística da Embrapa Soja, pela colaboração na seleção das variáveis dos estabelecimentos produtores de soja do Censo Agropecuário 2017.

Ao IBGE, pela tabulação especial dos dados dos Censos Agropecuários 2006 e 2017. Esclarecemos que o IBGE está isento de qualquer responsabilidade pelas opiniões, informações, dados e conceitos emitidos neste artigo, que são de exclusiva responsabilidade dos autores.

Referências

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mata Atlântica**. 2024. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/biomas/mata-atl%C3%A2ntica_emdesenvolvimento.html. Acesso em: 11 jun. 2024.
- CAETANO, J. M.; TESSAROLO, G.; OLIVEIRA, G. de; SOUZA, K. da S. e; DINIZ-FILHO, J. A. F.; NABOUT, J. C. Geographical patterns in climate and agricultural technology drive soybean productivity in Brazil. **PLoS One**, v. 13, n. 1, e0191273, 2018. DOI: 10.1371/journal.pone.0191273.
- COSTA, L. de A. N. da; ROCHA, R. **Não basta ser 'tech'**: o choque de produtividade da soja transgênica no desmatamento e usos do solo no Brasil. In: Prêmio BNDES pelo Clima. Rio de Janeiro: BNDES, 2022. 64 p. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/22624>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- DEMPSTER, A. P.; LAIRD, N. M.; RUBIN, D. B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 39, n. 1, p. 1-38, 1977. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1977.tb01600.x.
- FRANK, E.; HALL, M. A.; WITTEN, I. H. **The WEKA workbench**: online appendix for "Data mining: practical machine learning tools and techniques". 4th ed. Burlington: Morgan Kaufmann, 2016.
- HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data mining**: concepts and techniques. 3rd ed. Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2012. 703 p.
- HANUSCH, M. (ed.). **Equilíbrio delicado para a Amazônia Legal Brasileira**: um memorando econômico. Washington: Banco Mundial, 2023. 351 p. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/country/brazil/publication/brazil-a-balancing-act-for-amazonian-states-report>. Acesso em: 12 jun. 2024.

HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; PRANDO, A. M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JUNIOR, A. A. (ed.). **Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícola 1**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 113 p. (Embrapa Soja. Documentos, 423).

HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; PRANDO, A. M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JUNIOR, A. A. (ed.). **Diagnóstico da produção de soja nas macrorregiões sojícolas 2 e 3**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 124 p. (Embrapa Soja. Documentos, 435).

IBGE. **Censo agropecuário 2017**: resultados definitivos. Rio de Janeiro, 2019. p. 1-105. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024.

IBGE. **Pesquisa Agrícola Municipal**: Tabela 6457 - Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 25 mar. 2024.

IBGE. **Tabulação especial do Censo Agropecuário 2017 de estabelecimentos de bovinos de corte com mais de 50 cabeças agregados por município**. Rio de Janeiro, 2022.

KASTER, M.; FARIAS, J. R. B. **Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja - terceira aproximação**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 69 p. (Embrapa Soja. Documentos, 330). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/917252>. Acesso em: 30 abr. 2024.

MARIN, F. R.; ZANON, A. J.; MONZON, J. P.; ANDRADE, J. F.; SILVA, E. H. F. M.; RICHTER, G. L.; ANTOLIN, L. A. S.; RIBEIRO, B. S. M. R.; RIBAS, G. G.; BATTISTI, R.; HEINEMANN, A. B.; GRASSINI, P. Protecting the Amazon forest and reducing global warming via agricultural intensification. **Nature Sustainability**, v. 5, p. 1018-1026, 2022. DOI: 10.1038/s41893-022-00968-8.

PINTO, L. F. G.; METZGER, J. P.; SPAROVEK, G. **Produção de alimentos na Mata Atlântica**: desafios para uma agropecuária sustentável, saudável e com neutralização de carbono no bioma que é o maior produtor de alimentos no Brasil. Itu: SOS Mata Atlântica, 2022. 38 p. Disponível em: https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2022/11/SOSMA_Produção-de-Alimentos-na-Mata-Atlânticadigital.pdf. Acesso em: 14 jun. 2024.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153, 2009. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.02.021

SILVA, G. B. S. da; FASIABEN, M. do C. R.; NOGUEIRA, S. F.; GREGO, C. R.; MORAES, A. S.; ALMEIDA, M. M. T. B.; OLIVEIRA, O. C. de; EUSEBIO, G. dos S.; LOPES, W. M. O. **Método para determinar o bioma predominante nos municípios brasileiros**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2022. 18 p. (Embrapa Agricultura Digital. Circular técnica, 6). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1144751>. Acesso em: 6 fev. 2024.