

Londrina, PR / Outubro, 2024

Tipificação e caracterização de municípios produtores de soja no Bioma Amazônia

André Steffens Moraes⁽¹⁾, Maria do Carmo Ramos Fasiaben⁽²⁾, Octávio Costa de Oliveira⁽³⁾, Maxwell Merçon Tezolin Barros Almeida⁽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 Ciências do Solo, tecnólogo da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ; ⁽⁴⁾Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, tecnólogo 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 realizou uma análise de cluster com o objetivo de classificar e caracterizar os sistemas de produção de soja no bioma Amazônia. O estudo foi realizado com dados do Censo Agropecuário 2017, obtidos por meio de tabulações especiais do IBGE. A análise de agrupamentos foi baseada nos aspectos produtivos dos sistemas e com foco no uso de tecnologias pelos estabelecimentos agropecuários produtores de soja. A abordagem utilizada foi eficaz para alcançar o objetivo proposto, tendo sido identificados três grupos de estabelecimentos com sistemas de produção de soja similares, em um universo de 4.693 estabelecimentos avaliados. Quando se conhece a diversidade dos sistemas de produção adotados pelos produtores de uma dada região, é possível aprimorar a eficiência desses sistemas, pois ficam evidenciadas as mudanças nas práticas agrícolas que podem aumentar a produtividade, direcionando estratégias mais adequadas às realidades locais. Os resultados contribuem para o debate sobre indicadores na cultura da soja, destacando a importância de incorporar outras perspectivas, como a sustentabilidade socioambiental, além do enfoque tecnológico.

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

Typification and characterization of soybean production systems in municipalities in the Amazon Biome

Abstract - This study performed a cluster analysis to classify and characterize soybean production systems in the Amazon biome. The study was conducted using data from the 2017 Agricultural Census, obtained through special tabulations from the IBGE. The cluster analysis was based on the productive aspects of the systems and focused on the use of technologies by soybean-producing agricultural establishments. The approach used was effective in achieving the proposed objective, by identifying three groups of establishments with similar soybean production systems, in a universe of 4,693 establishments evaluated in the biome. When the diversity of production

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 Carnevalli

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 Fuzinatto 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.

systems adopted by producers in a given region is known, it is possible to improve the efficiency of these systems, as changes in agricultural practices that can increase productivity become evident, directing strategies that are more appropriate to local realities. The study contributes to the debate on indicators in soybean crop, highlighting the importance of incorporating other perspectives, such as socio-environmental sustainability, in addition to the technological focus.

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

Introdução

O Bioma Amazônia possui a maior floresta tropical do mundo e abriga a maior biodiversidade do planeta e compreende uma área de cerca de 4,2 milhões de quilômetros quadrados, correspondendo a 49,5% do território brasileiro (IBGE, 2004, 2024). Fazem parte do bioma Amazônia 559 municípios, pertencentes a nove Unidades da Federação, incluindo a totalidade das áreas dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, 98,8% do estado de Rondônia (98,8%), 54% do estado do Mato Grosso, 34% do estado do Maranhão e 9% do estado do Tocantins.

Além da importância do bioma Amazônia para o Brasil no aspecto territorial e de biodiversidade, esse também é importante em termos da produção agropecuária. No início dos anos 1970, a pecuária era a atividade mais relevante, enquanto a soja começou a se destacar apenas no início dos anos 2000 (Rudorff; Risso, 2018). A pauta de produtos mostrou alguma variação ao longo dos anos, mas a produção ficou concentrada em um grupo relativamente reduzido de municípios. A título de exemplo, em 2020, da área colhida de 11,3 milhões de hectares (13,7% do Brasil), cerca de 70% foram produzidos por municípios do Mato Grosso, enquanto do valor da produção de R\$ 57,3 bilhões (12,2% do país), quase 60% foram obtidos por municípios desse estado (Serigati; Possamai, 2021).

Em 2022, aproximadamente 78% do bioma Amazônia (3,3 milhões km²) correspondiam a áreas naturais: florestas primárias ou vegetação de outros ecossistemas inseridos nesse bioma. Dos 800 mil km² de áreas antropizadas acumuladas até 2022 no bioma, 65% estavam ocupadas por pastagens, 21% por vegetação secundária e 10,6% pelas áreas agrícolas, com as áreas de agricultura temporária recobrando 9,3% do total das áreas antropizadas do bioma. Em 2022, do total de áreas de agricultura temporária da Amazônia, 88% foram cultivadas

em mais de um ciclo de produção agrícola anual, enquanto 12% produziram apenas uma safra agrícola ao ano. No período entre 2018 e 2022, a área de culturas de mais de um ciclo anual cresceu 50%, enquanto a área de agricultura de um ciclo anual decresceu em 8% de sua área original. Nesse período, a expansão das culturas temporárias de mais de um ciclo anual se deu prioritariamente sobre áreas de pastagens (68%) e sobre áreas de culturas de mais de um ciclo anual (26%) e apenas 1,5% se deu sobre áreas de vegetação florestal natural (TerraClass, 2024).

No período 2000-2020, a maior parte da expansão da produção agrícola no bioma Amazônia se deveu à cultura da soja, que foi responsável por 54% dessa expansão. Em 2020, 15% do valor da produção de soja brasileira se deveu ao bioma e 44% do valor da produção agrícola do bioma se deveu à soja. O estado do Mato Grosso foi responsável por quase 60% do valor da produção e por 76% da expansão do valor da produção de soja do bioma. Em termos de área colhida, a soja foi responsável por 71,5% do aumento da produção agrícola no bioma (aumentando 5,4 milhões de hectares do total de 7,6 milhões), com o estado do Mato Grosso sendo responsável por 89% do crescimento da área colhida no bioma no período (Serigati; Possamai, 2021).

Entre 2000 e 2017 (ano do Censo Agropecuário), a área de soja no bioma passou de 0,34 milhões para 4,5 milhões de hectares, cerca de 2,4% e 13,2% da área total de soja do país, um aumento de, aproximadamente, 13 vezes, enquanto a área de soja do Brasil nesse período aumentou cerca de 2,4 vezes, de 14,0 milhões para 33,9 milhões de hectares. A parte do estado de Mato Grosso que fica dentro do bioma Amazônia foi responsável por 81% dessa expansão, cerca de 3,7 milhões de hectares (Rudorff; Risso, 2018).

Além da soja, outros produtos contribuíram para o crescimento da produção agrícola e do valor da produção agrícola no bioma, com destaque para o milho e o açaí, sendo que a produção de açaí representa praticamente toda a produção do país. Por outro lado, a produção de feijão, arroz, café (*Coffea canephora*) e cana-de-açúcar do bioma Amazônia tem pouca representatividade no total do país (Serigati; Possamai, 2021).

Apesar do enorme território do bioma Amazônia, em 2017 cerca de 90% da área de soja estava concentrada em 58 municípios. Nesse ano, os quinze municípios com as maiores áreas de soja cultivaram mais da metade da área de soja do bioma e todos se localizavam no estado de Mato Grosso (Rudorff;

Risso, 2018). A área de cultivo de milho de primeira safra também está concentrada: de um total de 102 municípios produtores, apenas 8 deles detinham 50% da área de milho. Este grau de concentração mostra a necessidade da especialização da produção por parte dos proprietários rurais de uma determinada região. O algodão de primeira safra é pouco cultivado no bioma devido ao excesso de chuvas que prejudica a qualidade da fibra (Rudorff; Risso, 2018).

O crescimento acelerado da produção agropecuária no bioma Amazônia resultou em impactos ambientais nos ecossistemas, como desflorestamento e degradação da biodiversidade da floresta amazônica e as possibilidades de conciliar a exploração agropecuária com a conservação ambiental tem sido objeto de discussões envolvendo ambientalistas, produtores rurais e a comunidade internacional (Moreira; Fageria, 2008; Santos et al., 2022; Silva et al., 2022a).

Silva et al. (2022b) estimaram a ecoeficiência¹ da produção agropecuária de 552 municípios do bioma Amazônia usando dados do Censo Agropecuário 2017, discutindo os determinantes socioeconômicos e produtivos que promovem aumentos na produtividade agropecuária ao mesmo tempo que mitigam os danos ambientais. Concluíram que os municípios amazônicos poderiam reduzir o consumo dos insumos produtivos e a pressão na biodiversidade em 45% sem prejuízo à manutenção das receitas agropecuárias e das áreas preservadas. Também identificar a existência da concentração espacial dos municípios ecoeficientes, o que poderia permitir a formulação de políticas direcionadas para essas regiões específicas.

De acordo com Rudorff e Risso (2018), a aptidão agrícola para o cultivo da soja (sem limitações de solo, clima, declividade ou altitude) é considerada favorável em mais da metade do bioma Amazônia, sendo que parte significativa (54%) estão cobertos por vegetação nativa, em "áreas especiais" (unidades de conservação, assentamentos humanos, terras indígenas e outras), com menor probabilidade de serem convertidas para soja. Por outro lado, cerca de 76 milhões de hectares de áreas com potencial agrícola são áreas de propriedade privada e terras não cedidas, mais vulneráveis à conversão, especialmente áreas de reserva legal. Além disso, da área antropizada e apta para a agricultura, a maior parte (18,5 milhões de hectares) estava

¹ Ecoeficiência é o processo no qual a agricultura é desenvolvida de modo a obter o máximo de produção usando a menor quantidade de recursos naturais e de insumos produtivos, de forma a gerar o menor impacto ambiental possível ao longo da cadeia produtiva, desde a aquisição de insumos até a entrega do produto ao consumidor final.

ocupada com pastagens. Segundo os autores, se apenas 25% dessas pastagens fossem utilizadas, a área em 2018 dedicada à soja poderia ser duplicada sem desflorestação adicional nas duas décadas seguintes.

O objetivo deste estudo sobre o bioma Amazônia foi classificar os municípios do bioma com base nas características dos sistemas de produção utilizados pelos produtores de soja, por meio de técnicas de aprendizado de máquina e dados do Censo Agropecuário de 2017 do IBGE (IBGE, 2019), com especial atenção à tecnologia adotada pelos agricultores. O estudo também traz questões 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 ou do valor bruto da produção. Espera-se que os resultados auxiliem no planejamento e na priorização de ações voltadas para a pesquisa agropecuária, transferência de tecnologia e desenvolvimento rural, contribuindo 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 Amazônia como bioma predominante em cada município seguiu o trabalho de Silva et al. (2022a).

As variáveis para a tipificação² são listadas a seguir:

² 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.

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 clusters³ (Han et al., 2012). Em seguida

³ *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.

foi usado o algoritmo *Expectation-Maximization* (EM) para a geração de clusters (Dempster et al., 1977), considerando-se três clusters com base na experiência empírica de especialistas acerca da 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

No Brasil, segundo o IBGE (2022), no período de referência do Censo Agropecuário 2017, foram

produzidas 103,2 milhões de toneladas de soja em uma área colhida de 30,7 milhões de hectares, resultando em uma produtividade média de 3.358 kg/ha. Esses resultados foram produzidos por 236.245 estabelecimentos agropecuários produtores de soja (EPS), distribuídos em 2.428 municípios. Nesse período, no bioma Amazônia, foram produzidas 15,0 milhões de toneladas de soja (14,6% do total do país), colhidas em uma área de cerca de 4,5 milhões de hectares (14,6% do total do país), por 4.693 estabelecimentos agropecuários (2,0% dos EPS do país) em 160 municípios (6,6% dos municípios com EPS no país). A produtividade média da soja no bioma Amazônia foi de 3.338 kg/ha, próxima à média nacional (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 no Bioma Amazônia, segundo o Censo Agropecuário 2017.

Dado / Local	Brasil	Bioma Amazônia	Amazônia / Brasil
Número de municípios com produção de soja (unidades)	2.428	160	6,6%
Número de estabelecimentos agropecuários produtores de soja (unidades)	236.245	4.693	2,0%
Produção de soja em 2017 (t)	103.156.255	15.011.075	14,6%
Área colhida de soja em 2017 (ha)	30.722.657	4.496.632	14,6%
Produtividade média da soja (kg/ha)	3.358	3.338	99,4%

Fonte: (IBGE, 2022).

Os 160 municípios do bioma Amazônia com pelo menos um estabelecimento que produziu soja representaram 31,8% do total dos 503 municípios do bioma e os 4.693 estabelecimentos produtores de soja representaram 0,7% do total de 679.109 estabelecimentos agropecuários do bioma. Entretanto, devido a questão do sigilo estatístico, as variáveis quantitativas com menos de três informantes por município (exceto o número de estabelecimentos) foram desidentificadas e, portanto, nos casos em que havia menos de três EPS em um município, este foi excluído da análise de cluster. Isso levou a uma redução do número de municípios produtores de soja na Amazônia para 111, e do número de EPS analisados, para 4.631 (Tabela 2). Assim sendo, as informações que se seguem são decorrentes desta base de dados desidentificada.

O algoritmo EM separou os estabelecimentos do bioma Amazônia em três agrupamentos que foram classificados, para efeitos de análise, com base na produtividade média da soja, em três tipos:

i) maior produtividade (3.362 kg/ha; Cluster 1); ii) menor produtividade (3.253 kg/ha; Cluster 2); e produtividade intermediária (3.305 kg/ha; Cluster 3) (Tabela 2).

Os estabelecimentos produtores de soja do bioma Amazônia, embora pouco numerosos em relação ao total de EPS do país – somente 2,0% do total (Tabela 1) –, se caracterizam por possuírem áreas médias maiores em relação às áreas médias do total de EPS do país (Tabela 3): (i) a área média dos EPS do bioma Amazônia, 2.265,2 hectares, foi quase nove vezes maior do que a área média dos EPS do país (252,5 ha); (ii) a área média em processo produtivo dos EPS do bioma Amazônia (1.344,0 ha) também foi maior, cerca de sete vezes maior, do que a área média em processo produtivo do total de EPS do país (190,3 ha); (iii) a área média colhida de soja nos EPS da Amazônia, 971,0 hectares, também foi cerca de sete vezes maior do que a área média colhida de soja em todos os EPS do Brasil (130,0 ha).

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

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Amazônia
Número de municípios produtores de soja *	20	49	42	111
Porcentagem de municípios produtores de soja no bioma	18,0%	44,1%	37,8%	100,0%
Número de estabelecimentos produtores de soja no bioma	2.936	695	1.000	4.631
Porcentagem de estabelecimentos produtores de soja por cluster no bioma	63,4%	15,0%	21,6%	100,0%
Quantidade total produzida de soja (t)	10.568.843	1.842.626	2.599.607	15.011.075
Área total colhida de soja (ha)	3.143.676	566.489	786.468	4.496.632
Produtividade média da soja (kg/ha)	3.362	3.253	3.305	3.338

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).

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

Indicador	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Amazônia
Área total média dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	2.085,9	3.705,4	1.790,8	2.265,2
Área média em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	1.242,8	2.171,6	1.065,9	1.344,0
Área média de lavoura temporária dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	1.099,3	1.033,6	784,7	1.021,5
Área média de pastagem dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	104,3	1.065,1	229,5	275,5
Área média de florestas plantadas dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	2,6	3,2	8,4	4,0
Área média de sistemas agroflorestais dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	27,5	8,4	8,1	20,4
Área média colhida de soja por estabelecimento nos EPS (ha)	1.070,7	815,1	786,5	971,0
Área média colhida de milho por estabelecimento EPS (ha)	590,3	291,3	355,9	499,2
Área média colhida de algodão por estabelecimento EPS (ha)	110,5	0	0	110,5
Área média arrendada pelos estabelecimentos produtores de soja (ha) **	527,5	228,7	390,8	453,1

* 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.

A produção vegetal foi predominante na formação das receitas dos estabelecimentos produtores de soja do bioma Amazônia. As receitas com a venda de produtos vegetais foram de cerca de 88% das receitas totais obtidas (incluindo as receitas externas aos estabelecimentos), sendo as receitas de origem animal bem menos significativas, constituindo 9% das receitas totais obtidas. Uma vez que os percentuais das receitas originadas das

atividades agropecuárias alcançaram 97% do total de receitas obtidas, os valores das receitas obtidas fora dos estabelecimentos e as receitas do produtor e sua família, que são aquelas não relacionadas às atividades produtivas dos estabelecimentos, foram pouco significativas para os EPS analisados, abaixo de 1% do total de receitas obtidas.

Em análises anteriores da cultura da soja em biomas brasileiros (Pampa, Mata Atlântica e

Cerrado) usando a mesma base de dados, Moraes et. al. (2024a, 2024b, 2024c), ao investigar o perfil tecnológico dos estabelecimentos produtores de soja, concluíram que o conjunto de variáveis utilizadas para definir este perfil mostrou, de forma geral, homogeneidade no nível tecnológico entre os clusters. Sendo a soja uma cultura que se viabiliza somente com uso intensivo de tecnologia, esta homogeneidade na maioria das variáveis tecnológicas entre os clusters já era esperada. Situação semelhante ocorre aqui, no bioma Amazônia, com uma relativa homogeneidade na maioria das variáveis tecnológicas entre os clusters. Chamam a atenção os baixos percentuais do uso de sementes transgênicas nos três clusters (com 44% dos EPS declarando usar essa tecnologia no bioma), um resultado inesperado. Possivelmente, como há outras perguntas sobre sementes no mesmo item no questionário do Censo Agropecuário, como o uso de sementes certificadas, de sementes salvas, etc., isso pode ter provocado alguma confusão nas respostas. Ou ainda, uma vez que o censo agropecuário é autodeclaratório, muitos produtores, com algum tipo de receio podem não ter respondido corretamente. Colussi (2017), por exemplo, cita o receio que os dados venham a ser divulgados individualmente – o que não ocorre, porque o IBGE só divulga dados agregados – e pode haver também o receio de que a resposta possa ser compartilhada com órgãos de fiscalização ambiental e trazer algum prejuízo legal – o que o IBGE também não faz. Além disso, deve-se recordar que por questões de sigilo do IBGE cerca de 30% dos estabelecimentos foram excluídos da análise de cluster.

A Figura 1 mostra a distribuição geográfica dos estabelecimentos que produzem soja nos estados do bioma Amazônia. Todos os estados do bioma possuíam pelo menos um município produtor de soja no ano do censo agropecuário. Dos 111 municípios produtores de soja incluídos na análise de cluster, a maior parte (87% ou 97 municípios) estava concentrada nos estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia, dos quais 54 municípios (49%) situados no Mato Grosso. O maior número de municípios produtores de soja neste estado se reflete na magnitude e percentual de outras variáveis: cerca de 76% dos EPS do bioma (3.518 estabelecimentos) estão no estado do Mato Grosso, representando 83% da área total dos EPS, 88% da área arrendada, 85% da área de lavouras temporárias e 80% da área em processo produtivo. A área colhida de soja, a quantidade produzida e a quantidade comercializada, assim como os valores da produção e da venda de soja também têm

percentuais elevados, de 85% e mais, atestando a pujança dos municípios deste estado na cultura da soja. Por outro lado, todos os municípios produtores de soja dos estados do Amazonas e Acre possuíam menos de três estabelecimentos produtores de soja e, portanto, não foram incluídos na análise de cluster, por razões já explicadas na metodologia.

Além da soja, nos últimos anos o bioma Amazônia também vem se destacando na produção de outras duas commodities, o milho e o algodão, razão pela qual essas duas culturas foram incluídas no presente estudo. A produção dessas commodities, em particular a soja e o milho, se concentra principalmente na porção da Amazônia situada no estado do Mato Grosso. O algodão, cultivado principalmente como cultura de segunda safra após a colheita da soja, se concentra em microrregiões situadas na transição com o bioma Cerrado, ao sul do bioma Amazônia (Castro et al., 2021). Em 2020, a soja e o milho, juntos, representaram 81,3% da área colhida e 63,5% do valor de produção do bioma Amazônia. A produção agrícola dos EPS do bioma é, portanto, pouco diversificada, sendo mais concentrada que a média do país (Serigati; Possamai, 2021).

A grande diversidade de condições climáticas e de solos no Brasil exige uma análise espacial detalhada para o cultivo de soja. Kaster e Farias (2012) definiram regiões específicas para o registro de cultivares recomendadas para cada município do país. Os critérios usados por esses autores baseiam-se na variabilidade dos ecossistemas e na similaridade das condições de clima e solo brasileiros. O país foi dividido em 5 Macrorregiões Sojícolas (MRS), cada uma pormenorizada em Regiões Edafoclimáticas Homogêneas (REC), permitindo recomendações mais precisas das cultivares de soja conforme as características de cada região produtiva.

As principais características dos três clusters são descritas a seguir:

CLUSTER 1

Este cluster está formado pelo menor número de municípios (20 municípios ou 18,0% do total), mas pelo maior número de estabelecimentos produtores de soja do bioma Amazônia (2.936 estabelecimentos ou 63,4% do total) (Tabela 2). Os EPS deste cluster produziram 10,57 milhões de toneladas de soja, em uma área colhida de 3,14 milhões de hectares, o que representou, nos dois casos, cerca de 70% dos valores totais do bioma. A área média colhida de soja, de 1.070,7 hectares, foi a maior entre os três

clusters e cerca de 11% acima da média do bioma (971 ha) (Tabela 3). Trata-se, portanto, do cluster de maior produção e maior área colhida do bioma e também o cluster de maior produtividade média da soja, 3.362 kg/ha, acima da média do bioma (de 3.338 kg/ha), e da média brasileira, de 3.358 kg/ha, segundo o Censo Agropecuário 2017 (Tabela 2). Além disso, exceto por um município no estado de Rondônia, todos os demais municípios deste cluster estão no estado do Mato Grosso, nas mesorregiões Norte Mato-grossense e Nordeste Mato-grossense, REC 403 (Figuras 1 e 2).

A área total média dos EPS deste cluster apresentou valor intermediário entre os três cluster (2.085,9 ha, 8% inferior à área média do bioma) e foi cerca de oito vezes maior do que a área média

(de 252,5 ha) do total de 236.245 EPS do país (Tabela 3). A área média em processo produtivo dos EPS deste cluster foi de 1.242,8 hectares, abaixo da média do bioma. Da área média em processo produtivo, 88,5% estavam ocupadas com lavouras temporárias (1.099,3 ha), 8,4% com pastagens nativas e plantadas (104,3 ha), 0,2% com florestadas plantadas (2,6 ha) e 2,2% com sistemas agroflorestais (27,5 ha). A área média arrendada⁴ (527,5 ha) representou 42,4% da área média em processo produtivo dos estabelecimentos deste cluster (Tabelas 3 e 4), a maior entre os clusters, e em todos os municípios houve estabelecimentos que arrendaram terras. Da área total arrendada pelos EPS do bioma, 73,8% foram arrendadas por estabelecimentos do Cluster 1.

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

Indicador	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Amazônia
Percentagem da área total de lavouras temporárias em relação à área em processo produtivo	88,5%	47,6%	73,6%	76,0%
Percentagem da área total colhida de soja em relação à área em processo produtivo nos EPS	86,2%	37,5%	73,8%	72,2%
Percentagem da área total colhida de milho em relação à área em processo produtivo nos EPS	47,5%	12,3%	31,5%	36,2%
Percentagem da área total colhida de algodão em relação à área em processo produtivo nos EPS	0,9%	0%	0%	0,5%
Percentagem da área total de pastagens em relação à área em processo produtivo nos EPS	8,4%	49,0%	21,5%	20,5%
Percentagem da área total de florestas plantadas em relação à área em processo produtivo	0,2%	0,1%	0,8%	0,3%
Percentagem da área total de sistemas agroflorestais em relação à área em processo produtivo	2,2%	0,4%	0,8%	1,5%
Percentagem da área total arrendada em relação à área em processo produtivo nos EPS	42,4%	10,5%	36,7%	33,7%
Percentagem da área arrendada do cluster em relação ao total do bioma nos EPS	73,8%	7,6%	18,6%	100,0%

A soja foi a principal cultura dos EPS do Cluster 1, com uma área colhida média de 1.070,7 hectares por estabelecimento; em seguida, veio o milho (590,3 ha) e o algodão (110,5 ha)⁵. A receita total (média) obtida por EPS deste cluster foi de R\$ 4.459.913,00, valor 5% superior à média do bioma, com a soja sendo a maior geradora das receitas obtidas por estabelecimento (71% do total), seguida pelo milho (18%) e o algodão (com menos de 1%) (Tabelas 5 e 6). As receitas de origem vegetal

⁴ 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.

⁵ A cana-de-açúcar, embora com número de estabelecimentos semelhante ao do algodão, apresentou, nos estabelecimentos produtores de soja, área média colhida e receitas de venda em relação à soja, pouco significantes neste cluster, e não foi produzida nos outros dois clusters, razão pela qual não foi incluída na análise.

representaram 92,4% das receitas totais obtidas, sendo este o maior percentual entre os três clusters (e acima da média do bioma), enquanto as receitas de origem animal representaram 4,3% das receitas totais, menor percentual entre os clusters. Fica evidente que a produção animal é pouco relevante neste cluster e que os estabelecimentos estavam focados na produção de soja (Tabelas 5 e 6). No Cluster 1, todos os estabelecimentos e municípios que produziram soja (2.936 estabelecimentos e 20 municípios) também produziram milho, enquanto que no caso do algodão, esses valores foram de cerca de 10% do total. 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.

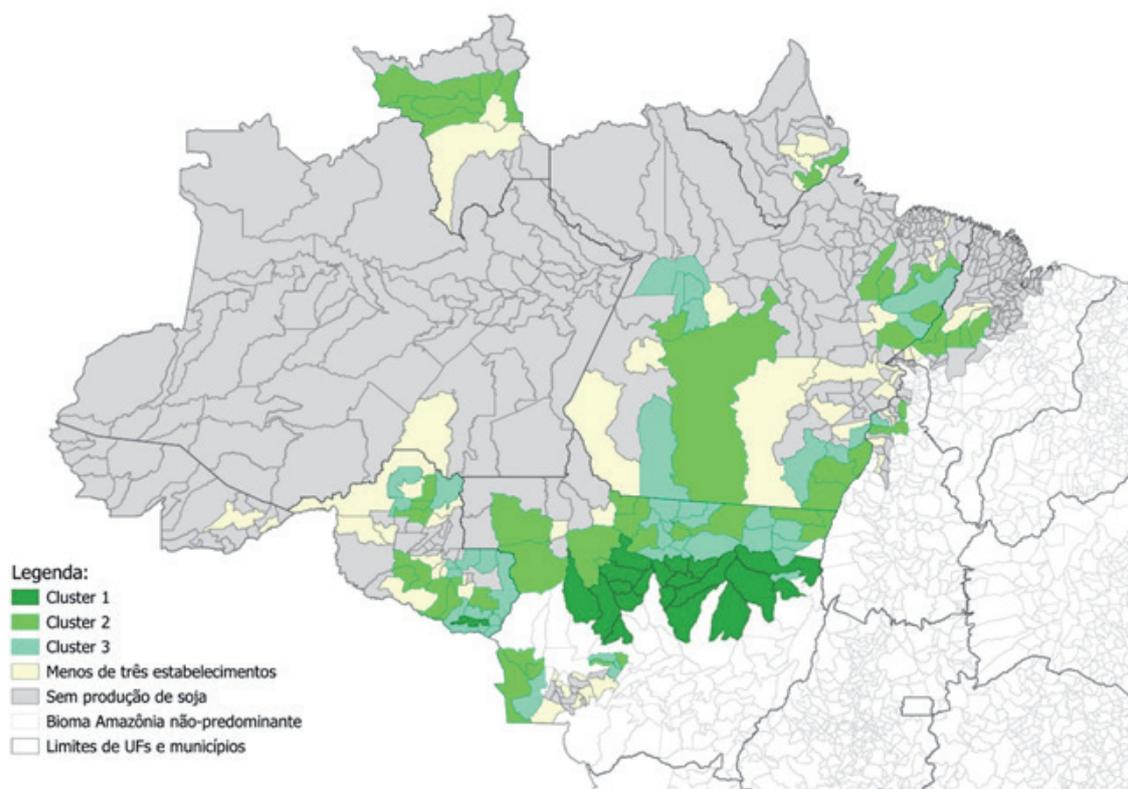


Figura 1. Localização espacial dos clusters de municípios produtores de soja do bioma Amazônia.

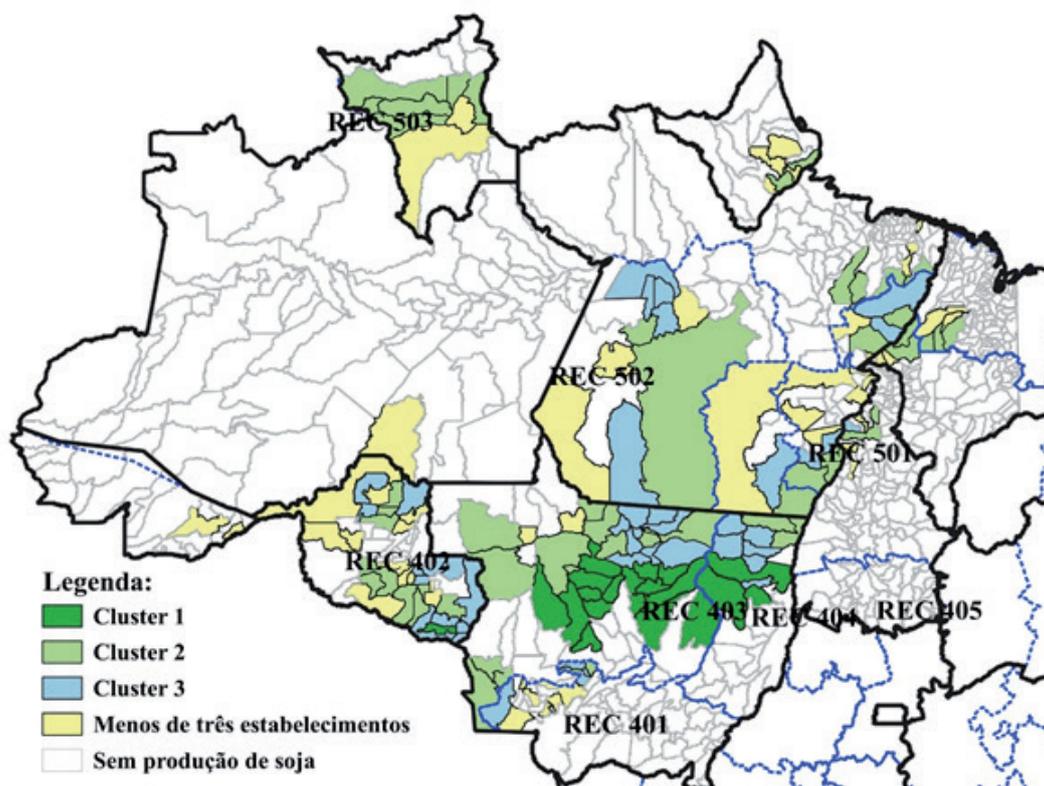


Figura 2. Distribuição dos clusters de municípios produtores de soja do bioma Amazônia por Região Edafoclimática (REC) adaptada para a soja.

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

Receitas *	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Amazônia
Receitas totais obtidas por EPS (R\$)	4.549.992,6	4.700.840,8	3.397.170,6	4.323.695,4
Receita da agropecuária por EPS (R\$)	4.400.436,8	4.580.876,2	3.339.036,7	4.198.321,7
Receita de origem vegetal por EPS (R\$)	4.203.703,7	3.257.415,0	2.943.675,8	3.789.603,4
Receita de origem animal por EPS (R\$)	196.733,1	1.165.667,3	372.526,7	380.106,6
Receitas originadas da venda de soja por EPS (R\$)	3.220.805,5	2.352.068,4	2.421.143,5	2.917.753,4
Receitas originadas da venda de milho por EPS (R\$)	804.149	345.470	448.279	658.467
Receitas originadas da venda de algodão por EPS (R\$)	33.935	0	0	21.514
Receitas das atividades não agropecuárias praticadas nos estabelecimentos por EPS (R\$)	112.115,3	10.263,5	8.279,9	74.408,0
Receita total obtida pelo produtor e sua família (trabalho externo, aposentadorias, etc.) por EPS (R\$)	36.984,1	58.234,1	46.010,6	42.122,4

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

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

Receitas	Cluster1	Cluster2	Cluster3	Amazônia
Receita da agropecuária / Receitas totais obtidas (%)	96,7%	97,4%	98,3%	97,1%
Receita de origem vegetal / Receitas totais obtidas (%)	92,4%	69,3%	86,7%	87,6%
Receita de origem animal / Receitas totais obtidas (%)	4,3%	24,8%	11,0%	8,8%
Receita da venda da soja / Receitas totais obtidas (%)	70,8%	50,0%	71,3%	67,5%
Receita da venda do milho / Receitas totais obtidas (%)	17,7%	7,3%	13,2%	15,2%
Receita da venda do algodão / Receitas totais obtidas (%)	0,7%	0%	0%	0,5%
Receitas das atividades não agropecuárias praticadas nos estabelecimentos / Receitas totais obtidas (%)	2,5%	0,22%	0,24%	1,7%
Receita total obtida pelo produtor e sua família não relacionadas à produção / Receitas totais obtidas (%)	0,8%	1,2%	1,4%	1,0%

No caso do Cluster 1, as variáveis tecnológicas (Tabela 7) estiveram, em sua maioria, acima das médias do bioma, com destaque para o uso de adubos químicos e rotação de culturas. Por outro lado, o acesso à internet e a existência de tratores nos estabelecimentos apresentaram os menores percentuais entre os três clusters. Conforme já comentado, chama a atenção os baixos percentuais do uso de sementes transgênicas nos três clusters, e embora o Cluster 1 tenha apresentado o maior percentual entre os clusters, mal alcançou 50% do uso dessa tecnologia.

O percentual de estabelecimentos familiares deste cluster (47%) é o maior entre os três clusters

e está acima da média do bioma (38%) (Tabela 8). As receitas do produtor e sua família não relacionadas às atividades produtivas representaram 0,8% do total de receitas obtidas, a menor entre os clusters, sendo em sua quase totalidade (0,7%) proveniente de atividades realizadas fora do estabelecimento. As receitas oriundas de aposentadorias e pensões foram inferiores a 0,1%, indicando a pouca importância dessas receitas na composição das receitas totais dos estabelecimentos. O percentual de estabelecimentos que fez financiamento foi o maior entre os clusters, de 51% (Tabela 8).

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

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Amazônia
Porcentagem de estabelecimentos que tem acesso à internet	47,7%	56,5%	50,3%	49,6%
Porcentagem de estabelecimentos que tem trator	78,1%	92,4%	83,1%	81,3%
Porcentagem de estabelecimentos com semente transgênica	49,9%	34,4%	34,8%	44,3%
Porcentagem de estabelecimentos que usam adubos químicos	90,4%	78,8%	84,4%	87,4%
Porcentagem de estabelecimentos que usam corretivos de solo	79,3%	80,6%	79,8%	79,6%
Porcentagem de estabelecimentos que usam agrotóxicos	98,7%	94,0%	95,3%	97,2%
Porcentagem de estabelecimentos com armazéns para grão na propriedade	11,2%	19,6%	10,3%	12,3%
Porcentagem de estabelecimentos que fazem rotação de culturas	79,1%	63,7%	59,4%	72,5%
Porcentagem de estabelecimentos que recebem orientação técnica	73,5%	72,9%	68,8%	72,4%
Porcentagem de estabelecimentos com energia elétrica na propriedade	88,6%	92,1%	81,9%	87,6%

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

Variável / Cluster	Cluster1	Cluster2	Cluster3	Amazônia
Estabelecimentos familiares em relação ao total de EPS de cada cluster (%)	46,6%	15,0%	28,3%	37,9%
EPS que fizeram financiamento em relação ao total de EPS de cada cluster (%)	51,5%	43,0%	42,5%	48,3%
Receitas totais das atividades do estabelecimento em relação ao total de receitas obtidas (%)	99,2%	98,0%	98,6%	98,9%
Receita total do produtor e sua família* em relação ao total de receitas obtidas (%)	0,8%	1,2%	1,4%	1,0%
Receitas de aposentadorias em relação ao total de receitas obtidas (%)	0,05%	0,01%	0,03%	0,04%
Receitas obtidas fora do estabelecimento em relação ao total de receitas obtidas (%)	0,7%	1,2%	1,3%	0,9%
Receitas de aposentadoria + receitas fora do estabelecimento em relação ao total de receitas obtidas (%)	0,7%	1,2%	1,3%	0,9%

* 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 da produção de origem animal representou 6,1% das receitas obtidas com a comercialização da soja; o milho representou cerca de 25% e o algodão, cerca de 1%. Ou seja, as receitas com a venda de soja compõem a maior parte das receitas

dos estabelecimentos produtores de soja deste cluster. Esse resultado evidencia, também, que esses estabelecimentos são pouco diversificados, concentrando sua produção na soja e no milho e onde a produção animal é pouco relevante.

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

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Amazônia
Total de municípios produtores de soja do bioma Amazônia	20	49	42	111
Total de municípios com produção de milho (pela área colhida)	20	39	34	93
Total de municípios com produção de algodão (pela área colhida)	2	0	0	2
Total de estabelecimentos produtores de soja	2.936	695	1.000	4.631
Total de estabelecimentos produtores de milho	2.936	636	944	4.516
Total de estabelecimentos produtores de algodão	282	0	0	282
Total de municípios produtores de soja que arrendaram terras	20	20	29	69
Total de estabelecimentos produtores de soja que arrendaram terras	2.936	488	912	4.336
Total de estabelecimentos produtores de milho em relação ao total de EPS (%)	100%	91,5%	94,4%	97,5%
Total de estabelecimentos produtores de algodão em relação ao total de EPS (%)	9,6%	0%	0%	6,1%
Total de municípios com EPS que arrendaram terras em relação ao total de municípios com EPS (%)	100%	40,8%	69,0%	62,2%
Total de EPS que arrendaram terras em relação ao total de EPS (%)	100%	70,2%	91,2%	93,6%
Valor da receita da venda de milho / valor da receita da venda da soja (%)	25,0%	14,7%	18,5%	22,6%
Valor da receita da venda de algodão / valor da receita da venda da soja (%)	1,1%	0%	0%	0,7%
Valor da receita de origem animal / valor da receita da venda da soja (%)	6,1%	49,6%	15,4%	13,0%

Os estabelecimentos deste cluster se distribuem por uma ampla faixa de leste à oeste da porção norte do Mato Grosso, nas RECs 402 e 403 (Figuras 1 e 2). A precipitação anual, a temperatura média, a altitude e o relevo plano a suavemente ondulado das RECs 402 e 403 são bastante favoráveis para a soja, daí a maior produtividade da cultura. Senão vejamos: (i) a soja cresce bem em temperaturas médias entre 20°C e 30°C, de modo que as temperaturas médias na região, entre 24°C e 26°C, estão dentro da faixa ideal para o desenvolvimento da soja; (ii) a soja precisa de aproximadamente 450-800 mm de chuva bem distribuída ao longo do ciclo de cultivo e a precipitação anual nas RECs 402 e 403, concentrada no verão, também é favorável (desde que a distribuição seja uniforme e sem períodos de estiagem prolongada nas fases críticas do ciclo da cultura); (iii) os solos são profundos

e bem drenados (latossolos), favorecendo o desenvolvimento radicular da soja, embora devido à baixa fertilidade e ao pH ácido, requererem correções com calcário e adubação química; (iv) a altitude dessas duas RECs, entre 200 e 600 m, é adequada para a maioria das cultivares de soja, que pode ser cultivada em altitudes de até 1.200 m; e, v) o relevo plano a suavemente ondulado facilita o uso de plantadeiras e colheitadeiras, favorecendo a produção de soja em larga escala e contribui para evitar problemas com erosão e drenagem de água (Hirakuri et al., 2019).

Chamam a atenção no Cluster 1 a maior área média de SAFs em relação aos demais clusters, mais de três vezes maior, e o alto percentual de EPS que arrendaram terras, quase 75% do total de EPS do bioma.

CLUSTER 2

Os estabelecimentos produtores de soja do Cluster 2 foram os de menor produtividade média do bioma Amazônia (3.253 kg/ha), maior número de municípios (49 municípios ou 44% do total) e com o menor número de estabelecimentos produtores de soja (695 estabelecimentos ou 15% do total de EPS). Os estabelecimentos deste cluster produziram 1,84 milhões de toneladas de soja em uma área colhida de 566,5 mil hectares, o que representou 12,3% e 12,6% do total do bioma, respectivamente (Tabela 2). Comparativamente, trata-se do cluster formado por estabelecimentos com menor produção e menor área colhida de soja do bioma. Entretanto, a área média colhida de soja (815,1 ha) situa-se em um valor intermediário em relação aos outros dois clusters, mas abaixo da média do bioma (971,0 ha) (Tabela 3).

A área total média dos EPS deste cluster alcançou 3.705,4 hectares e a área total média em processo produtivo, 2.171,6 hectares, cerca de 64% e 62% maiores do que as respectivas áreas dos EPS do bioma (2.265,2 ha e 1.344,0 ha) (Tabela 3). Da área média em processo produtivo 47,6% estavam ocupados com lavoura temporária (1.033,6 ha), 49,0% com pastagens (1.065,1 ha), 0,15% com florestas plantadas (3,2 ha) e 0,4% com sistemas agroflorestais (8,4 ha) (Tabelas 3 e 4). A área média arrendada foi de 228,7 hectares, a menor entre os clusters, cerca de 11% da área média em processo produtivo deste cluster (Tabelas 3 e 4). Neste cluster, portanto, o uso da terra está dividido quase que igualmente entre as áreas de pastagens e as áreas de lavoura temporária, que juntas corresponderam a cerca de 97% da área em processo produtivo. O algodão não foi produzido pelos EPS do Cluster 2 e, portanto, as culturas importantes se restringem à soja e ao milho, mas principalmente à soja, dado que a área média colhida de soja (815,1 ha) foi bem maior que a área média colhida de milho (291,3 ha).

Em relação aos demais clusters do bioma Amazônia, os EPS deste cluster obtiveram a maior receita total (média) por estabelecimento, que alcançou o valor de R\$ 4.700.841,00 (Tabela 5), aqui inclusas as receitas 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 outras receitas). Embora as receitas de origem vegetal tenham sido mais importantes nos três clusters do que as receitas de origem animal na composição das receitas totais

obtidas, no Cluster 2 estas últimas receitas foram mais significativas. No Cluster 2 as receitas de origem animal representaram quase 25% do total de receitas obtidas, enquanto nos outros dois clusters ficaram abaixo de 11% do total, o que certamente é reflexo da maior área média de pastagens no Cluster 2 (Tabela 6).

A soja foi a cultura mais relevante para o Cluster 2 em termos de geração de renda, com suas vendas alcançando 50% da receita total obtida pelos EPS, enquanto o milho representou cerca de 7% e as receitas de origem animal, quase 25% das receitas totais. As receitas das atividades agropecuárias representaram 97% das receitas totais obtidas pelos EPS deste cluster, enquanto as receitas das atividades não agropecuárias praticadas nos estabelecimentos foram pouco significativas (0,22% das receitas totais). As receitas obtidas pelo produtor e sua família não relacionadas à produção equivaleram a 1,2% das receitas totais (Tabela 6) com destaque para as receitas provenientes de aposentadorias e pensões (Tabela 8). As receitas da venda de produtos de origem animal representaram 50% do valor das receitas com a venda de soja, enquanto as receitas com a venda do milho representaram 15% (Tabela 9). A importância das receitas de origem animal fica evidente para os EPS deste cluster quando se verifica que essas receitas foram equivalentes à metade do valor das receitas obtidas com a venda de soja.

Com referência aos indicadores relacionados ao uso de tecnologias (Tabela 7), os EPS do Cluster 2 se destacam, em comparação aos demais clusters, pelos maiores percentuais de acesso à internet e pela existência de tratores e energia elétrica nos estabelecimentos (acima das médias do bioma) e pelos menores percentuais quanto ao uso de sementes transgênicas e de adubos químicos. Estes EPS têm, também, o maior percentual de armazéns para grãos nos estabelecimentos (20% dos estabelecimentos) e embora sendo o maior, é um percentual baixo. Em relação a outros indicadores, como uso de corretivos de solo e de agrotóxicos e o acesso à orientação técnica, os EPS do Cluster 2 apresentam valores semelhantes aos demais clusters e/ou próximos das médias do bioma. Como já salientado anteriormente, os indicadores de uso de tecnologia nos EPS não foram muito úteis para diferenciar os clusters, pois não apresentaram grande variação, possivelmente porque a cultura da soja deve ser conduzida com níveis de tecnologia mais elevados, independentemente do tamanho dos estabelecimentos.

Os estabelecimentos do Cluster 2 estão espalhados ao longo do bioma e com exclusividade nos estados de Roraima, Amapá e Maranhão; nestes três estados há outros municípios produtores de soja, mas por possuírem menos de três estabelecimentos por município, não foram incluídos na análise de cluster. Os municípios localizados na porção norte do Mato Grosso e em Rondônia, nas RECs 402 e 403, compartilham das condições edafoclimáticas favoráveis para a cultura da soja que foram tratadas anteriormente no texto sobre o Cluster 1.

CLUSTER 3

A produtividade média da cultura da soja no Cluster 3 (3.305 kg/ha) foi intermediária às produtividades médias dos outros dois clusters (Tabela 2) e está abaixo da média do bioma (3.338 kg/ha). O Cluster 3 representou 38% dos municípios (42 municípios) e 22% dos estabelecimentos agropecuários produtores de soja do bioma (1.000 estabelecimentos). Esses estabelecimentos produziram 2,4 milhões de toneladas de soja (17% da produção total dos EPS do bioma) em uma área colhida total de 786,5 mil hectares (17,5% da área colhida total dos EPS do bioma), a menor área colhida de soja entre os clusters.

A área total média dos EPS deste cluster alcançou 1.790,8 hectares e a área total média em processo produtivo, 1.065,9 hectares, cerca de 21% e 25% menores do que as respectivas áreas médias de todos os EPS do bioma (2.265,2 ha e 1.344,0 ha) (Tabela 3). Da área média em processo produtivo 73,6% estavam ocupados com lavoura temporária (784,7 ha), 21,5% com pastagens (229,5 ha), 0,8% com florestas plantadas (8,4 ha) e 0,8% com sistemas agroflorestais (8,1 ha). A área média arrendada foi de 390,8 hectares, 37% da área média em processo produtivo deste cluster (Tabelas 3 e 4). Assim como no Cluster 2, o algodão não foi produzido pelos EPS do Cluster 3 e, portanto, as *commodities* importantes se restringiram à soja e ao milho, mas principalmente à soja, dado que a área média colhida de soja por EPS (786,5 ha) foi mais que o dobro da área média colhida de milho (355,9 ha).

A receita total média obtida por EPS desse cluster foi de R\$ 3.397.171,00, a menor entre os clusters (21% abaixo da média do bioma) (Tabela 5). As receitas de origem vegetal representaram 86,7% das receitas totais obtidas. A maior geradora de receita foi a soja, com 71,3% das receitas totais obtidas pelos produtores, enquanto o milho foi responsável por 13,2%. As receitas com origem

na produção animal representaram 11,0% das receitas totais dos EPS desse cluster (Tabela 6). 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. A Tabela 9 mostra que o valor das receitas provenientes da venda do milho e da venda de produtos de origem animal representaram cerca de 18% e 15%, respectivamente, das receitas obtidas com a venda de soja. A Tabela 9 também mostra que produziram milho cerca de 95% dos 1.000 estabelecimentos produtores de soja do Cluster 3 (944 estabelecimentos) e aproximadamente 81% dos 42 municípios com produção de soja deste cluster (34 municípios).

Os indicadores de uso de tecnologia dos EPS do Cluster 3 apresentaram percentuais abaixo da média do bioma, exceto nos casos de acesso à internet, existência de tratores nos estabelecimentos e uso de corretivos de solo, e também os menores valores entre os três clusters para a existência de armazéns para grãos nos estabelecimentos, uso de rotação de culturas, recebimento de orientação técnica e energia elétrica nos estabelecimentos. Ou seja, sete indicadores de um total de dez indicadores utilizados aqui apresentaram os mais baixos percentuais de uso entre os três clusters. Portanto, este cluster tende a ser aquele com o menor nível de uso de tecnologias, embora a produtividade média de soja aqui tenha sido intermediária. Conforme já comentado anteriormente, houve pequena variação nos indicadores de uso de tecnologia e na produtividade da soja entre os clusters, indicando que nem sempre a tecnologia foi o único fator determinante na definição da produtividade da soja.

Os EPS do Cluster 3 apresentaram percentual intermediário (28%) de estabelecimentos familiares em relação ao total desses estabelecimentos no bioma Amazônia, mas ainda abaixo da média do bioma (38%). Os EPS deste cluster também apresentaram percentual abaixo da média do bioma quanto ao total de estabelecimentos que fizeram financiamento (43% no Cluster 3 *versus* 48% na média geral dos EPS do bioma). No entanto, as receitas totais do produtor e sua família (1,4%), assim como as receitas obtidas fora do estabelecimento (1,3%), em relação às receitas totais, apresentaram percentuais acima das médias do bioma (cerca de 1% nos dois casos). As receitas obtidas de aposentadorias e pensões foram insignificantes, abaixo de 0,1%. Observa-se assim, que a quase totalidade das receitas obtidas pelos EPS deste cluster (99%) tem

origem nas atividades desenvolvidas dentro dos estabelecimentos (Tabela 8).

As Figuras 1 e 2 mostram que os EPS do Cluster 3 estão distribuídos em diferentes porções dos estados de Mato Grosso, Rondônia e Pará, nas RECs 401, 402 e 403 (Mato Grosso), 402 (Rondônia) e 501 (Pará e Tocantins) e 502 (Pará) e que estão ausentes nos estados do Maranhão, Amapá e Roraima.

Conclusões

A análise conjunta dos três clusters permite concluir que houve pouca variação na produtividade da soja e nos indicadores de uso de tecnologias entre os clusters, indicando que nem sempre a tecnologia foi o fator determinante na definição da produtividade da soja. Esse resultado traz à tona a questão de se considerar outras perspectivas além da tecnológica quando tratando de indicadores na cultura da soja, como a perspectiva da sustentabilidade socioambiental, em particular no bioma Amazônia, que tem grande interesse internacional.

Praticamente todas as receitas se originaram das atividades produtivas conduzidas dentro dos estabelecimentos (acima de 98%) dos três clusters, com as receitas de fontes externas (aposentadorias, pensões, receitas de negócios próprios, etc.) sendo pouco significantes em todos eles. A maior parte das receitas totais, acima de 70%, teve sua origem na produção vegetal, com as receitas oriundas da produção animal tendo importância somente no Cluster 2, o de menor produtividade da soja. As receitas com a venda de soja responderam pela maior parte das receitas totais dos estabelecimentos, acima de 70%, exceto pelo Cluster 2, onde tais receitas foram de 50%. As receitas com a venda do milho foram de no máximo 18% das receitas totais e as do algodão não foram significativas (menores que 1%). Portanto, as *commodities* importantes em termos de receitas totais obtidas se restringiram à soja e ao milho, mas principalmente à soja. Esse resultado evidencia que esses estabelecimentos são pouco diversificados, concentrando sua produção na soja e no milho e onde a produção animal, em sua maioria, é pouco relevante.

Agradecimentos

Às Dras. Maria Cristina Neves de Oliveira e Ivani de Oliveira Negrão Lopes, 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

- CASTRO, G. S. A.; FERREIRA, R. R. M.; CARVALHO, C. A. de; BOGIANI, J. C. **Relatório Final**: Repartição territorial da área cultivada, produção, produtividade e valor da produção do algodão por bioma e por estado. Barreiras: ABAPA, 2021. 15 p. Disponível em: <https://abapa.com.br/wp-content/uploads/2022/02/relatorio-final-reparticao-territorial-da-area-cultivada-producao-productividade-e-valor-da-producao-do-algodao-por-bioma-e-por-estado.pdf>. Acesso em: 4 out. 2024.
- COLUSSI, J. Como será o novo censo agro, após 12 anos da última pesquisa. **Zero Hora**, 28 jul. 2017. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/campo-e-lavoura/noticia/2017/07/como-sera-o-novo-censo-agro-apos-12-anos-da-ultima-pesquisa-9855516.html>. Acesso em: 20 set. 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.
- HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; PRANDO, A. M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JUNIOR, A. A. (ed.). **Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícola 4**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 119 p. (Embrapa Soja. Documentos, 412).
- IBGE. **Bioma predominante por município para fins estatísticos 2024**. Rio de Janeiro, 2024.

IBGE. **Brasil em síntese**: território. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 20 set. 2024.

IBGE. **Censo agropecuário 2017**: resultados definitivos. Rio de Janeiro, 2019. v. 8, p. 1-105. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024.

IBGE. **Tabulação especial do Censo Agropecuário 2017 de estabelecimentos produtores de soja 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.

MORAES, A. S.; FASIABEN, M. do C. R.; OLIVEIRA, O. C. de; ALMEIDA, M. M. T. B.; LIMA, H. P. de; LAMPERT, V. do N. **Tipificação e caracterização de municípios produtores de soja no Bioma Pampa**. Londrina: Embrapa Soja, 2024a. 20 p. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 33).

MORAES, A. S.; FASIABEN, M. do C. R.; OLIVEIRA, O. C. de; ALMEIDA, M. M. T. B.; LIMA, H. P. de; SIBALDELLI, R. N. R. **Tipificação e caracterização de municípios produtores de soja no Bioma Cerrado**. Londrina: Embrapa Soja, 2024b. 18 p. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 34).

MORAES, A. S.; FASIABEN, M. do C. R.; OLIVEIRA, O. C. de; ALMEIDA, M. M. T. B.; LIMA, H. P. de; SIBALDELLI, R. N. R. **Tipificação e caracterização de municípios produtores de soja no Bioma Mata Atlântica**. Londrina: Embrapa Soja, 2024c. 20 p. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 35).

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Potential of Brazilian Amazon soils for food and fiber production. **Dynamic Soil, Dynamic Plants**, v. 2, n. 2, p. 82-88, 2008.

RUDORFF, B.; RISSO, J. (coord.). **Geospatial analysis of soy expansion, associated land use and land cover change, and agricultural suitability in the Brazilian Amazon biome: 2000 to 2017**. Florianópolis: Agrosatélite, 2018. 25 p.

SANTOS, G. R. dos; SILVA, R. P. da; SANTANA, A. S. de. Agricultura na Amazônia: desflorestamento, escala e desafios à produção sustentável. In: SANTOS, G. R. dos; SILVA, R. P. da (org).: **Agricultura e Diversidades: trajetórias, desafios regionais e políticas públicas no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 2022. cap. 6, p. 215-250.

SERIGATI, F. C.; POSSAMAI, R. C. **Mapeamento da produção agropecuária do bioma Amazônia**. São Paulo: FGV/ESSP, Observatório de Bioeconomia, 2021. 47 p. Disponível em: https://agro.fgv.br/sites/default/files/2023-02/ocbio_mapeamento_da_producao_agropecuaria_no_bioma_amazonia_2112.pdf. Acesso em: 20 set. 2024.

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, 2022a. 18 p. (Embrapa Agricultura Digital. Circular técnica, 6).

SILVA, J. V. B.; ROSANO-PEÑA, C.; MARTINS, M. M. V.; TAVARES, R. C.; SILVA, P. H. Ecoeficiência da produção agropecuária na Amazônia brasileira: fatores determinantes e dependência espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, e250907, 2022b. 21 p. DOI: 10.1590/1806-9479.2021.250907