



Dinâmicas espaciais e estatísticas da assistência técnica rural e dos sistemas de manejo do solo em Mato Grosso do Sul, Brasil. Spatial dynamics and statistical analysis of rural technical assistance and soil management systems in Mato Grosso do Sul, Brazil.

[Rafael Rossi](#)¹, [Eloise Mello Viana de Moraes](#)², Alessandra Carla Sampaio de Souza³

¹- Docente e Pesquisador no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais na UFMS , Campus de Campo Grande, MS, Brasil. Líder do Laboratório de Pesquisas de Estatísticas Geográficas e Sustentabilidade – LAPEGS . E-mail: r.rossi@ufms.br

²- Docente e Pesquisadora no Programa de Pós-Graduação em Geografia na UFMS , Campus de Aquidauana, MS, Brasil. E-mail: eloise.mello@ufms.br

³- Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais na UFMS , Campus de Campo Grande, MS, Brasil. E-mail: alessandra.sampaio@ufms.br

Resumo

O manejo e a conservação do solo constituem desafios estratégicos para a sustentabilidade da agricultura brasileira. O objetivo desse estudo foi investigar os padrões estatísticos e espaciais dos dados referentes à assistência técnica rural e a distintos manejos do solo nos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Foram analisados os cultivos convencionais, cultivo mínimo, sistemas sem preparo do solo, plantio direto e sistemas agroflorestais por meio de estatística inferencial, PCA, correlação bayesiana e estatística espacial. Os resultados evidenciaram forte associação entre manejos convencionais e menor relação entre práticas conservacionistas e assistência técnica rural. Conclui-se que aplicação de manejos sustentáveis depende de estratégias integradas à governança ambiental local.

Palavras-chave: Extensão rural. Governança territorial. Agricultura. Conservação ambiental.

Abstract

Soil management and conservation represent strategic challenges for the sustainability of Brazilian agriculture. This study investigated the statistical and spatial patterns associated with rural technical assistance and different soil management systems across municipalities in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Conventional tillage, minimum tillage, no-tillage systems without soil disturbance, direct seeding systems, and agroforestry systems were analyzed using inferential statistics, Principal Component Analysis (PCA), Bayesian correlation, and spatial statistics. The results revealed a strong association among conventional management practices and a weaker relationship between conservation-oriented practices and rural technical assistance. The findings indicate that the implementation of sustainable management systems depends on integrated strategies linked to local environmental governance.

Keywords: Rural extension. Territorial governance. Agriculture. Environmental conservation.



Introdução

Há décadas o Brasil tem se preocupado com o manejo e a conservação do solo e da água. No âmbito da produção agrícola e agropecuária, dois sistemas se destacam nesse sentido: o Sistema Plantio Direto e os Sistemas Agroflorestais. O Sistema Plantio Direto, de forma sucinta, implica: o mínimo revolvimento do solo; a manutenção da palhada oriunda das culturas agrícolas anteriores sempre cobrindo o solo e; a prática de rotação de culturas, ou seja, não se trabalhar apenas com um ou dois tipos de culturas agrícolas (PASSOS et al., 2018).

Os Sistemas Agroflorestais, por sua vez, são sistemas de uso da terra mais complexos que incluem, de modo deliberado e com planejamento, componentes arbóreos ou arbustivos junto com cultivos agrícolas tradicionais, podendo ou não, ter a presença de animais em sucessão ou consórcio (SILVA, 2012).

Entretanto, dado a enorme extensão territorial do Brasil e suas desigualdades entre suas regiões e internas às suas regiões, as políticas públicas lidam com um enorme desafio em compreender o território no qual irão atuar, para que tenham mais chances de sucesso. O território, nesse aspecto, não diz respeito apenas à uma área, como um alvo que irá receber a ação das políticas.

Por outro lado, territórios são influenciados e, ao mesmo tempo, influenciam, de modo mediado, as ações políticas. O território implica alianças, contradições, desigualdades, dinâmicas de trabalho, de educação, enfim, dizem respeito ao uso das ações antrópicas junto com a identidade que lhes dá características (SANTOS, 2017).

O solo é um recurso natural multidimensional, sistêmico e processual. Isso significa que ele é muito mais do que apenas um somatório de suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Solos saudáveis são responsáveis por uma série de serviços ecossistêmicos indispensáveis para a vida no planeta Terra, tais como: provisão de alimentos, fibras, madeira, biomassa; ciclagem de nutrientes; regulação climáticas; fornecimento de matérias-primas para indústria farmacêutica e de construção civil; regulação climáticas; filtragem e armazenamento de água (HARRIS et al., 2022).

Em face da complexidade do solo, precisamos de modelos igualmente sistêmicos e complexos que consigam se aproximar do movimento essencial, isto é, para além das aparências, desse recurso natural de suma relevância para agricultura e para a biodiversidade de inúmeros ecossistemas em distintos territórios.

Nosso objetivo foi investigar os padrões estatísticos e espaciais dos dados referentes à assistência técnica rural e a distintos manejos do solo: sem preparo do solo; cultivo convencional, cultivo mínimo; plantio direto e sistemas agroflorestais; nos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. A abordagem estatística e espacial que propomos, pode contribuir com outras pesquisas em territórios distintos, bem como uma territorialização mais eficaz das políticas públicas preocupadas com o manejo e a conservação do solo e da água. Buscamos responder à seguinte pergunta: “Em que medida a assistência técnica rural está associada, estatística e espacialmente, à adoção de manejos conservacionistas do solo nos municípios de Mato Grosso do Sul?”

Desse modo, o presente artigo pretende contribuir, com a proposta sistêmica aqui em discussão, com os seguintes objetivos do Desenvolvimento Sustentável, elencados pelas Nações Unidas: 02 – Fome Zero e Agricultura Sustentável (Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável); 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima (Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos) e; 15 – Vida Terrestre (Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de

forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade).

Material e métodos

Inicialmente, os dados foram coletados a partir do Censo Agropecuário organizado e elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, para o ano de 2017. As variáveis foram: Sem preparo do Solo: sistema que não utilizou gradagem e aração do solo; Cultivo Convencional: sistema produtivo que utilizou aração e gradagem do solo; Cultivo Mínimo: sistema produtivo que utilizou apenas a gradagem do solo; Sistema Plantio Direto: sistema produtivo em que o plantio é realizado em pequenos sulcos abertos no solo que está coberto de palha, não tendo a necessidade de aração ou gradagem e com a manutenção dos restos das culturas anteriores sobre o solo e; Sistemas Agroflorestais: sistema produtivo com componentes arbóreos, animais e culturas agrícolas (IBGE, 2017).

O entendimento de Assistência Técnica, por sua vez, diz respeito à assistência prestada ao estabelecimento rural por profissionais habilitados, como Engenheiros Agrônomos, Engenheiros Florestais, Médicos Veterinários, Zootecnistas, Engenheiros Agrícolas, Biólogos, Técnicos Agrícolas, Tecnologistas de Alimentos ou Economistas Domésticos, com a finalidade de transmitir conhecimento e orientar os produtores agropecuários (IBGE, 2017).

Os dados foram transformados em $\log(n+1)$ para diminuir assimetrias e manter padrões. As investigações estatísticas foram realizadas no software – *open source* – JASP (v. 0.95.4) e os procedimentos de mapeamento no software GeoDa (v. 1.22.0.21).

No âmbito da análise Inferencial Clássica, realizamos: Teste *Shapiro-Wilk*; Teste *Levene*; ANOVA com ω^2 ; *post-hoc* de *Tukey*; Teste *Kruskal-Wallis* e *post hoc* de *Dunn*. Tais procedimentos foram necessários para respondermos à seguinte pergunta: “Existem diferenças estatísticas significativas entre os territórios?”

Para análise da Estrutura Multivariada dos Sistemas de Manejo, foi elaborada um *Principal Components Analysis* – PCA, com objetivo de responder à pergunta: “Qual a estrutura latente que organiza os manejos do solo?”

Já para Associação Probabilística e Incerteza realizamos Correlação Bayesiana e *Bayesian Model Averaging* com objetivo de respondermos: “Quais associações são plausíveis e o quanto robustas elas são?”

Para a parte de Processos e Mecanismos realizamos uma *Mediation Analysis* para verificar por meio de quais mecanismos a Assistência Técnica influencia manejos de conservação do solo.

No âmbito da Estrutura e Dependência Espacial, foram realizados: mapeamento temático e Análise Espacial Empírica de Bayes para responder à pergunta sobre “como os padrões estão territorializados?”

Resultados e discussão

O Mato Grosso do Sul – MS, é um Estado brasileiro criado em 1974 (Figura 1). O MS possui 357.142,010 km² de extensão territorial, com uma população de 2.757.013 pessoas e uma densidade demográfica de 7,72 habitantes por km². Além disso o Índice de Desenvolvimento Humano é de 0,72 e um rendimento mensal domiciliar per capita de R\$ 2.169. A economia é principalmente baseada no agronegócio da soja, carne e celulose. MS está dividido em 04 mesorregiões (divisões regionais): 1)

CNMS: Centro Norte de MS; 2) LMS: Leste de MS; 3) SUDOMS: Sudoeste de MS e; 4) PSMS: Pantaneais Sul-mato-grossenses.



Figura 1 - Localização do Estado de Mato Grosso do Sul (MS), Brasil. Fonte: O autor.

O primeiro procedimento que aplicamos foi analisar as estatísticas descritivas dos dados coletados, com a aplicação do teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Estatísticas descritivas.

	SPS	CONV	CM	PD	ATEC	SAF
Média	5811	4534	4915	3451	5487	2394
Desvio Padrão	979.2	992.3	1154	1534	597.6	1060
Shapiro-Wilk	0.815	0.917	0.940	0.986	0.991	0.976
P-value of Shapiro-Wilk	< .001	< .001	.001	.523	.882	.133

SPS: Sem Preparo de Solo; CONV: Manejo Convencional; CM: Cultivo Mínimo; PD: Plantio Direto; ATEC: Assistência Técnica e SAF: Sistemas Agroflorestais.

Podemos observar, que SPS e ATEC apresentaram as maiores médias e SAF e PD (justamente os sistemas mais conservacionistas do solo) demonstraram as menores médias. O teste de *Shapiro-Wilk* revelou quebra dos pressupostos de normalidade para SPS, CONV e CM. Nesse sentido, para essas variáveis, optamos por aplicar um teste de *Kruskal-Wallis* para verificar se existem diferenças estatísticas ou não entre os grupos de dados. Para as variáveis PD, ATEC e SAF, verificamos que os pressupostos de normalidade não foram quebrados e, nesse caso, aplicamos a ANOVA.

No que se refere ao teste Levene que infere sobre a homogeneidade das variâncias, verificamos que, para todas as variáveis analisadas, houve um p-valor > 0,05; indicando que não há evidência de heterocedasticidade, de tal modo que as variâncias podem ser consideradas homogêneas entre os grupos.

Com esses resultados, pudemos prosseguir e verificamos com o teste de *Kruskal-Wallis* para SPS p-valor: 0.467 e Rank ϵ^2 de 0.033; para a variável CONV um p-valor de 0.832 e Rank ϵ^2 de 0.011. Isso significa que não existem diferenças estatísticas entre essas variáveis. Para a variável CM verificamos o p-valor de 0.025 e Rank ϵ^2 de 0.120 e, nesse caso, sim foi verificada a existência de

diferença estatística. Com o objetivo de responder onde se encontra essa diferença apresentamos o *post hoc* de Dunn (Tabela 2).

Tabela 2 – *Post Hoc* de Dunn para a variável CM.

Comparação	z	W _i	W _j	r _{rb}	p	p _{bonf}	p _{holm}
CNMS - LMS	2.290	52.59	34.76	-0.493	.022	.132	.110
CNMS - PSMS	0.091	52.59	51.64	0.018	.927	1.000	1.000
CNMS - SUDOMS	2.556	52.59	35.04	-0.431	.011	.063	.063
LMS - PSMS	-1.664	34.76	51.64	0.429	.096	.577	.317
LMS - SUDOMS	-0.043	34.76	35.04	-0.011	.966	1.000	1.000
PSMS - SUDOMS	1.755	51.64	35.04	-0.402	.079	.475	.317

CNMS: Região Central de MS; LMS: Região Leste; PSMS: Pantanal; SUDOMS: Região Sudoeste e Sudeste de MS.

Com o *post hoc* de Dunn realizado para a variável de Cultivo Mínimo – CM – percebemos que à primeira vista a mesorregião CNMS difere da mesorregião LMS e CNMS difere de SUDOMS. Contudo, após Bonferroni, nenhuma comparação permanece significativa, já que todas apresentaram um $p_{bonf} > 0,05$. Ou seja: existem apenas diferenças de magnitude moderada entre CNMS vs LMS e CNMS vs SUDOMS.

Realizamos uma ANOVA para verificação da existência ou não de diferenças para a variável PD e obtivemos um p-valor de 0.004, o que indica que existem. No sentido de averiguar entre quais mesorregiões de MS essa diferença se manifesta, aplicamos um *post hoc* de Tukey (Tabela 3).

Tabela 3 – *Post Hoc* de Tukey para variável PD.

		Diferença média	SE	df	t	p _{tukey}
CNMS	LMS	787.0	485.3	75	1.621	.373
	PSMS	659.1	648.2	75	1.017	.740
	SUDOMS	-646.1	428.0	75	-1.510	.437
LMS	PSMS	-127.9	632.4	75	-0.202	.997
	SUDOMS	-1433.0	403.7	75	-3.550	.004
PSMS	SUDOMS	-1305.2	589.6	75	-2.214	.129

CNMS: Região Central de MS; LMS: Região Leste; PSMS: Pantanal; SUDOMS: Região Sudoeste e Sudeste de MS.

Com os dados da Tabela 3, podemos inferir que apenas entre a mesorregião LMS vs SUDOMS existem diferenças estatísticas para a variável PD com um p_{tukey} de 0.004. Na sequência, realizamos ANOVA para a variável ATEC e verificamos um p-valor de 0.728, indicando que não existem diferenças estatísticas entre as mesorregiões de MS para essa variável.

Com relação à variável SAF, verificamos um p-valor: 0.003 e, neste caso, realizamos *post hoc* de Tukey (Tabela 4).

Verificamos a existência de uma diferença entre as mesorregiões LMS vs PSMS com p_{tukey} de 0,004. Com o objetivo de verificar a distribuição espacial de cada variável no Estado de MS, realizamos uma cartografia temática de *quantis* com 4 classes para cada variável.

Tabela 4 – *Post Hoc* de Tukey para a variável SAF.

		Diferença média	SE	df	t	P _{Tukey}
CNMS	LMS	869.1	334.2	75	2.601	.053
	PSMS	-666.4	446.3	75	-1.493	.447
	SUDOMS	485.3	294.7	75	1.647	.359
LMS	PSMS	-1535.4	435.4	75	-3.526	.004
	SUDOMS	-383.7	278.0	75	-1.381	.515
PSMS	SUDOMS	1151.7	405.9	75	2.837	.029

CNMS: Região Central de MS; LMS: Região Leste; PSMS: Pantanal; SUDOMS: Região Sudoeste e Sudeste de MS.

A cartografia temática, desse modo, se configura em um procedimento fundamental para a abordagem sistêmica, pois auxilia na visualização das variáveis em sua articulação para com os territórios (Figura 2).

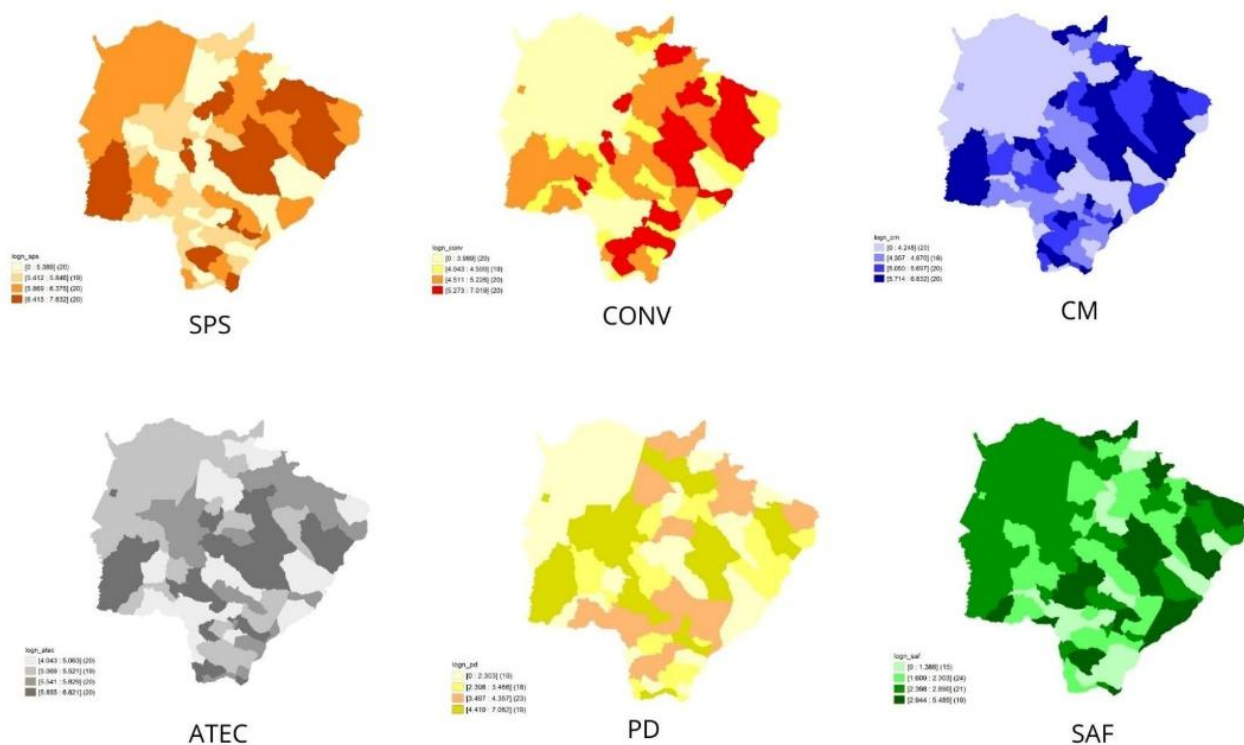


Figura 2 - Distribuição espacial em quartis para cada variável.

Podemos dizer que, com relação à variável SPS, os valores mais altos de adoção desse tipo de manejo do solo estão territorializados nas mesorregiões CNMS e PSMS. Para a variável CONV, os valores mais altos se encontram na mesorregião CNMS e SUDOMS. Já os valores mais altos da variável CM se encontram nas mesorregiões PSMS, SUDOMS e CNMS. A Assistência Técnica – ATEC – apresentou valores mais altos em PSMS e SUDOMS. O Plantio Direto – PD – demonstrou valores mais altos em PSMS e LMS e, por fim, SAF apresentou os valores mais altos em SUDOMS e CNMS.

Com o objetivo de reduzir a dimensionalidade, realizamos um *Principal Components Analysis* – PCA que apresentou no teste Qui-quadrado um p-valor de 0.003. O PCA revelou que as variáveis CONV, SPS e CM constituem os maiores valores para definir o componente RC1. ATEC possui contribuição fraca a moderada e PD e SAF, não contribuem. Isso indica que, do ponto de vista da PCA, o componente principal de manejo do solo em MS é formado por manejo convencional com aração e gradagem, sem preparo do solo e cultivo mínimo.

Elaboramos um Path Diagram do PCA e um Bayesian Correlation Network Analysis (Figura 3).

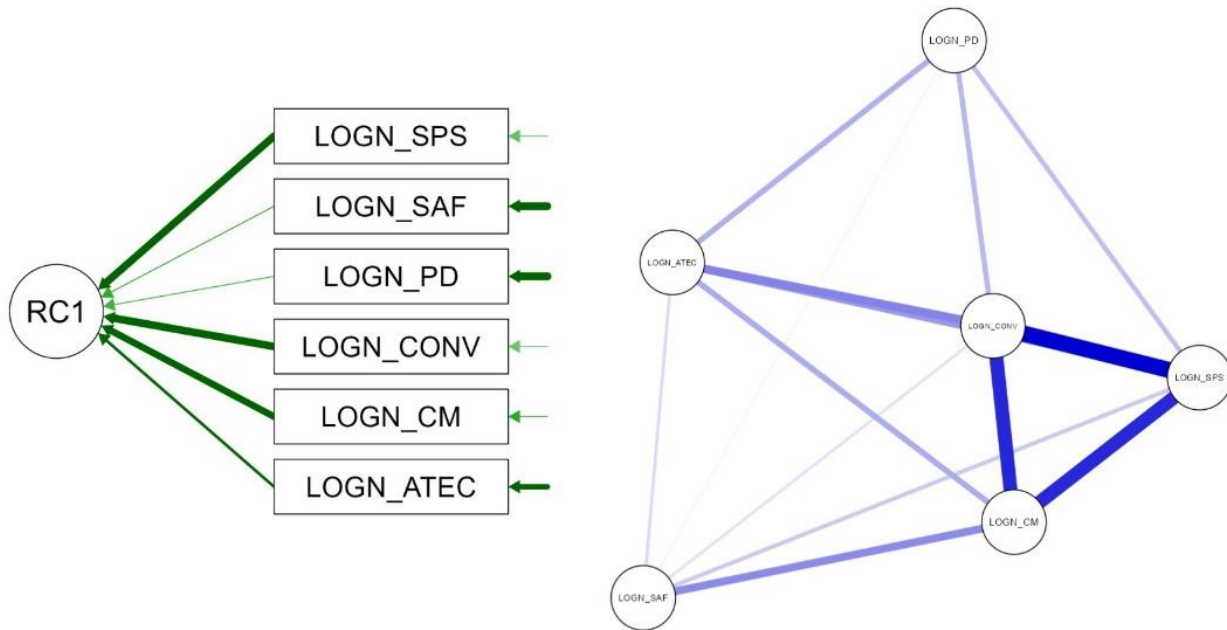


Figura 3 - Path Diagram do PCA e Bayesian Correlation Network Analysis.

O path diagram (à esquerda na Figura 4) mostra as setas em verde e com maior espessura justamente para as variáveis CONV, SPS e CM e o bayesian correlation network analysis (à direita na Figura 4) explicita uma conexão forte em azul e com maior espessura justamente entre essas mesmas variáveis, confirmando os resultados da PCA. Com o objetivo de quantificar a associação entre as variáveis, incorporando a incerteza e tendo como base o arcabouço da inferência bayesiana, realizamos uma correlação bayesiana.

A correlação bayesiana com Kendall's tau B, uma medida não paramétrica de associação que varia de -1 a +1. O BF_{10} (Bayes Factor) explicita a evidência dos dados a favor da hipótese de correlação em relação à hipótese nula.

Verificamos que SPS e CONV apresentam correlação moderada a forte, com evidência bayesiana muito forte. Já SPS e CM apresenta correlação moderada, porém com evidência bayesiana muito forte. Em contrapartida, PD não apresentou associação relevante com nenhuma das variáveis, tendo evidência moderada a favor da hipótese nula. Já as variáveis ATEC e SAF demonstraram associações fracas e evidências bayesianas limitadas.

A adoção de sistemas conservacionistas, entretanto, não deve ser compreendida apenas pela presença ou ausência de determinada prática. No Brasil, a expansão do Plantio Direto ocorreu de maneira expressiva, mas sua contribuição para a sustentabilidade depende da integração com outros princípios da agricultura conservacionista, como manutenção da cobertura do solo e diversificação das culturas (FUENTES-LLANILLO et al., 2021).

Os resultados até agora, dialogam entre si, tendo revelado um vínculo muito forte entre SPS, CONV e CM no Estado de MS. Com o objetivo de termos uma comparação entre vários modelos e não apenas um, realizamos um Bayesian Model Averaging – BMA - para a variável SAF (como afirmamos anteriormente, trata-se de sistema agroflorestal, isto é, um tipo de manejo do solo e produção agropecuária extremamente sustentável) e a variável PD (Plantio Direto, também se configurando em um manejo do solo sustentável). A Tabela 5 apresenta os resultados dessa análise para a variável SAF.

Tabela 5 – Bayesian Model Averaging para variável SAF.

Intervalo de credibilidade - 95%					
Coefficiente	P(incl)	P(excl)	P(incl data)	P(excl data)	BF _{inclusion}
Intercept	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000
SPS	0.500	0.500	0.306	0.694	0.441
CONV	0.500	0.500	0.474	0.526	0.902
CM	0.500	0.500	0.896	0.104	8.605
PD	0.500	0.500	0.297	0.703	0.423
ATEC	0.500	0.500	0.303	0.697	0.435

No BMA, como afirmamos, ao invés de trabalharmos com um modelo, trabalhamos com vários e verificamos sua probabilidade a posteriori. As variáveis podem entrar ou não em cada modelo. P(incl) e P(excl) dizem respeito à probabilidade *a priori* da variável entrar ou não no modelo. Nesse sentido, todas apresentam 0,5 o que indica que não favorecemos nem a inclusão, nem a exclusão de nenhuma variável. Já P(incl | data) e P(excl | data), se referem à probabilidade a posteriori, isto é, após a observação dos dados e se for > 0,5 existe evidência a favor da variável e se for < 0,5 existe evidência fraca contra a variável.

O BF_{inclusion}, por sua vez, compara a evidência a favor da inclusão versus a exclusão. No que diz respeito aos dados da Tabela 5, a única variável que foi a mais importante do modelo diz respeito à CM (cultivo mínimo) com P(incl|data) de 0.896 e um BF de 8.605, indicando forte evidência a favor da inclusão e um efeito positivo. As demais variáveis apresentaram baixas probabilidades de inclusão e intervalos que incluem zero, o que pode indicar ausência de evidência forte de efeito.

Também realizamos um BMA para a variável PD (plantio direto) e os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Bayesian Model Averaging para variável PD.

Intervalo de credibilidade - 95%					
Coefficiente	P(incl)	P(excl)	P(incl data)	P(excl data)	BF _{inclusion}
Intercept	1.000	0.000	1.000	0.000	1.000
SPS	0.500	0.500	0.305	0.695	0.439
CONV	0.500	0.500	0.358	0.642	0.558
CM	0.500	0.500	0.304	0.696	0.438
ATEC	0.500	0.500	0.412	0.588	0.701
SAF	0.500	0.500	0.228	0.772	0.295

De acordo com os dados da Tabela 6, observamos que a variável ATEC (assistência técnica) apresentou um $P(\text{incl}|data)$ de 0.412, com um BF de 0.701, indicando uma evidência ainda fraca, com um efeito positivo, mas sem robustez. Para as demais variáveis, pode-se concluir que o BMA não revelou evidência robusta para a inclusão de nenhuma variável explicativa considerada, todas apresentando probabilidades posteriores de inclusão menores que 50% e BF menores que 1. Desse modo, o Plantio Direto em MS não está associado de modo forte às variáveis selecionadas, o que pode indicar tradição local e iniciativa dos próprios produtores rurais.

Entretanto, sabemos que a realidade trabalha de modo processual e por inúmeras dinâmicas no âmbito da adoção de práticas de manejo que garantam a conservação do solo e da água. É nesse sentido, que realizamos uma *Mediation Analysis* - MA, para descobrir como e por meio de quais processos uma variável pode influenciar outra. Realizamos uma MA colocando ATEC como variável preditora; SAF enquanto variável *outcome* e as demais variáveis enquanto mediadoras.

No âmbito dos Efeitos diretos de ATEC $\rightarrow$ SAF um p-valor de 0.522 e como efeitos totais um p-valor de 0.375, o que significa que, do ponto de vista estatístico, não há evidência de relação de Assistência Técnica sobre os Sistemas Agroflorestais. Todos os efeitos indiretos apresentaram um p-valor $> 0,005$.

Desse modo, nenhum dos caminhos mediacionais apresentou significância estatística. O efeito indireto via SPS foi pequeno e não significativo ($\beta = 0,021$; $p = 0,815$; IC95% $[-0,158; 0,201]$). De forma semelhante, não foi observada mediação por CONV ($\beta = -0,201$; $p = 0,114$; IC95% $[-0,451; 0,049]$) nem por PD ($\beta = 0,024$; $p = 0,600$; IC95% $[-0,067; 0,116]$).

O caminho indireto via CM apresentou uma estimativa positiva e próxima do nível convencional de significância estatística ($\beta = 0,218$; $p = 0,058$); contudo, o intervalo de confiança de 95% incluiu o valor zero (IC95% $[-0,008; 0,444]$), não permitindo confirmar a existência de mediação estatisticamente significativa. Em conjunto, esses resultados indicam que não há evidência empírica de que a relação entre ATEC e SAF seja mediada pelas variáveis SPS, CONV, PD ou CM.

Também realizamos uma *Mediation Analysis* colocando ATEC como preditora; SPS, CONV, CM e SAF como variáveis mediadoras e PD (plantio direto, sistema conservacionista de manejo do solo, como já explicamos anteriormente) como variável *outcome*. No âmbito dos Efeitos Diretos ATEC $\rightarrow$ PD um p-valor de 0.129 e como efeitos totais um p-valor de 0.040. O p-valor do efeito direto indica que, após o controle das demais variáveis incluídas no modelo, não há evidência estatística suficiente de que ATEC exerça um efeito direto sobre PD. Já o p-valor do efeito total indica que, quando não se controla pelos mediadores, ATEC apresenta uma associação estatisticamente significativa com PD.

A análise dos efeitos indiretos específicos também não revelou evidência de mediação estatisticamente significativa por meio de SPS ($\beta = 0,108$; $p = 0,444$), CONV ($\beta = 0,205$; $p = 0,257$), CM ($\beta = -0,176$; $p = 0,161$) ou SAF ($\beta = 0,017$; $p = 0,638$), uma vez que todos os intervalos de confiança de 95% incluíram o valor zero.

Em conjunto, esses resultados sugerem que, embora exista uma associação total entre ATEC e PD, tal relação não se manifesta por meio de efeitos diretos ou indiretos específicos claramente identificáveis no modelo proposto. Portanto, tanto SAF quanto PD, ambos manejos de conservação do solo e da água, não apresentam associação forte com ATEC, podendo indicar iniciativa própria dos produtores, influência de cooperativas ou tradição histórica local.

Desse modo, por meio da Análise Espacial Empírica de Bayes, é possível a criação de uma taxa e uma relação proporcional entre essas variáveis como presente na Figura 4.

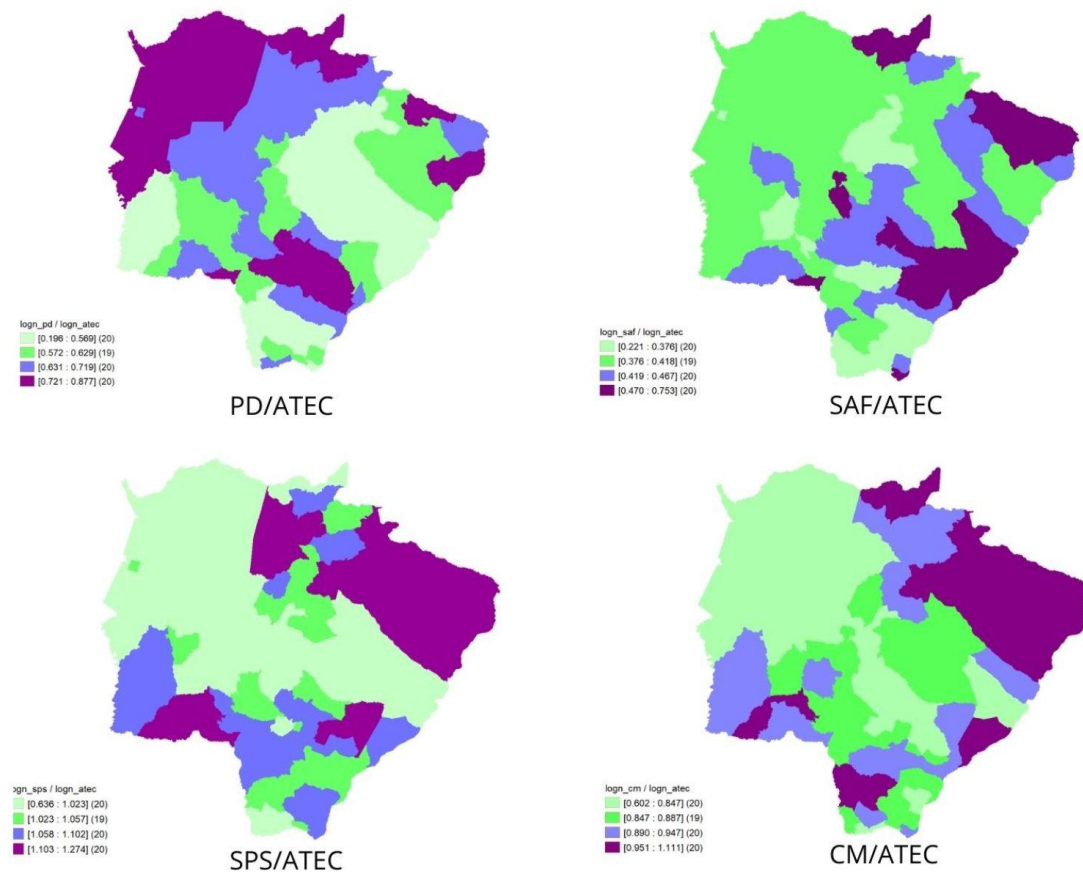


Figura 4 - Análises Espaciais Empíricas de Bayes.

Os dados oriundos da Análise Espacial Empírica de Bayes são reveladores sobre a relação dos distintos manejos do solo para com a Assistência Técnica. As cores roxo e azul indicam regiões em que a variável evento supera, em termos proporcionais, a variável base. No que diz respeito ao Plantio Direto – PD, observa-se que a região leste, norte e centro-sul do estado apresentam municípios em que esse sistema de manejo do solo supera em termos proporcionais o oferecimento da ATEC. Para SAF isso ocorre, sobretudo, na região oeste e norte; já para SPS isso se manifesta, principalmente na região norte do Estado e; para CM, observamos que a região nordeste e sul apresenta municípios que superam a adoção desse sistema de manejo sobre, sempre em termos proporcionais, o oferecimento de ATEC.

Perante as análises estatísticas e espaciais elaboradas, os resultados convergem ao evidenciar que manejos do solo conservacionistas do solo em MS possuem estrutura territorial heterogênea e baixa associação com a assistência técnica rural. As estatísticas descritivas, inferenciais, multivariadas, bayesianas e espaciais apontam um padrão que se mantém no território: o cultivo convencional, estabelecimentos rurais sem preparo de solo e com cultivo mínimo formam um núcleo abrangente do sistema produtivo estadual. Por outro lado, as práticas conservacionistas desempenham posições ainda em transição do ponto de vista estatístico, espacial e, também, territorial (KPOVIWANOU et al., 2024).

A análise PCA e a rede de correlação bayesiana reforçam a interpretação esboçada acima, revelando que a maior parte da variância dos dados é explicada pelos manejos de cultivo convencional e mínimo, ou seja, que envolvem baixa complexidade. O Plantio Direto e Sistemas Agroflorestais, apesar de apresentarem maior complexidade ao sistema solo, no que se refere ao fluxo de energia e matéria, ainda representam sistemas produtivos em implementação e não abrangentes.

As análises inferenciais indicam que as diferenças territoriais observadas se concentram sobretudo nos manejos de menor complexidade operacional, enquanto os sistemas conservacionistas apresentam distribuição mais restrita e heterogênea. Essa configuração é reforçada pela Análise de Componentes Principais e pela rede de correlação bayesiana, que identificam um núcleo estrutural fortemente ancorado no cultivo convencional, no cultivo mínimo e nos sistemas sem preparo do solo, responsáveis pela maior parcela da variância observada no sistema produtivo estadual.

Em face desses resultados, podemos concluir que um desafio que se vislumbra em MS é a transformação dos sistemas conservacionistas do solo, como PD e SAFs, em estratégias integradas e sistêmicas com apoio mais forte e evidente da assistência técnica rural no interior dos distintos territórios que conformam o Estado. As análises espaciais, nesse aspecto, reforçam esse resultado e permitem aprofundar a leitura do território ao traduzirem visualmente padrões consistentes de concentração territorial dos distintos manejos do solo com *hotspots* e *coldspots* bem delimitados.

As análises espaciais empíricas de Bayes, por seu turno, explicitam diversos territórios de MS em que a adoção do PD e de SAF superam, em termos proporcionais, a oferta de assistência técnica, sugerindo a hipótese de que esses manejos do solo se originam e se influenciam por outras dinâmicas já existentes nos territórios como cooperativas, redes locais, tradição ou iniciativa própria dos produtores rurais. O território enquanto síntese de diversas dinâmicas de territorialização ao longo do espaço, não são apenas suporte físico das políticas, mas sim, elemento ativo e influenciador que condiciona, potencializa ou limita os seus impactos (ASPROOTH et al., 2023).

Para os Sistemas Agroflorestais, a literatura brasileira evidencia potencial para geração simultânea de diferentes serviços ecossistêmicos, embora sua distribuição e o próprio conhecimento científico sobre esses sistemas ainda sejam espacialmente desiguais entre os biomas nacionais (SCHULER et al., 2022). Essa heterogeneidade reforça a importância de compreender a adoção dos SAFs a partir das particularidades ambientais e territoriais.

Apesar dos avanços observados em determinados territórios de MS, os resultados evidenciam que a consolidação de manejos conservacionistas ainda depende de processos mais amplos de articulação institucional, difusão tecnológica e fortalecimento das capacidades locais. Nesse contexto, práticas como o Plantio Direto e os Sistemas Agroflorestais não devem ser compreendidas apenas como técnicas isoladas de manejo, mas como componentes de uma transição produtiva associada à agricultura regenerativa, à intensificação sustentável e às diretrizes contemporâneas de sustentabilidade no meio rural (ROSÁRIO et al., 2022; TRANCHINA et al., 2024).

Esse resultado é compatível com estudos que demonstram que a adoção de práticas agrícolas sustentáveis é influenciada por múltiplos canais de informação e aprendizagem. A extensão rural e a capacitação são importantes, mas a troca de conhecimentos entre agricultores, a participação em organizações e as redes locais também podem exercer papel relevante na adoção e manutenção de práticas agroflorestais (GROVERMANN et al., 2023).

A baixa associação espacial entre esses manejos e a assistência técnica sugere que a adoção dessas práticas pode estar vinculada à atuação de redes territoriais de cooperação, capital social local e experiências acumuladas pelos produtores rurais. Assim, a construção de políticas públicas territorializadas, integradas à extensão rural, à pesquisa e às estratégias de governança ambiental, torna-se fundamental para ampliar a difusão de sistemas produtivos mais resilientes, capazes de promover conservação do solo, segurança hídrica, mitigação das mudanças climáticas e maior sustentabilidade socioeconômica no espaço agrário sul-mato-grossense (ABDUL-SALAM et al., 2022).

A relação entre assistência técnica e adoção tecnológica pode, contudo, variar entre sistemas produtivos e territórios. Em propriedades canavieiras brasileiras, por exemplo, escolaridade, tamanho da propriedade e acesso à assistência técnica apresentaram associação positiva com a adoção de tecnologias de agricultura de precisão (CARRER et al., 2022). A baixa associação observada nesta pesquisa para PD e SAF sugere, portanto, que o papel da assistência técnica pode depender do tipo de inovação e das características territoriais em que sua adoção ocorre.

A transição para sistemas regenerativos envolve, além das práticas de manejo propriamente ditas, fatores econômicos, ambientais, sociais e valores relacionados à conservação dos solos e dos ecossistemas. Assim, a adoção desses sistemas deve ser compreendida como um processo socioecológico, e não somente como substituição de técnicas produtivas (FRANKEL-GOLDWATER et al., 2024).

Uma abordagem sistêmica para compreensão do território e contribuição à manejos do solo mais sustentáveis implica, portanto, abordagens mais territorializadas e políticas de assistência técnica que auxiliem na divulgação e implementação desses manejos. Do ponto de vista metodológico, a abordagem sistêmica aqui proposta, com auxílio de perspectivas estatísticas e espaciais, possui o potencial de ferramenta importante para análise integrada de fenômenos e dinâmicas agrárias complexas, possibilitando revelar não apenas a localização dos fenômenos e suas associações, mas também, a lógica territorial e o efeito espacial de diferentes práticas de manejo do solo (KHANGURA et al., 2023).

A abordagem sistêmica se conforma, portanto, em uma aproximação. As análises estatísticas e espaciais são procedimentos, ou seja, mediações que possibilitam um desvendamento para além do plano das aparências. Entretanto, todo modelo é sempre limitado. É necessário um esforço conjunto que integre Estatística e Estatística Espacial em múltiplas escalas e, levando em conta, o tempo, o processo histórico. A proposta aqui discutida possui potencialidade para outras áreas do planejamento territorial, para além da discussão agrária, podendo auxiliar, também, na área da saúde, educação, economia, políticas públicas, dentre outras. Um caminho promissor é a união entre elaborações bayesianas na estatística e na estatística espacial para apreendermos múltiplos cenários e o complemento da incerteza e da probabilidade entre diversas variáveis.

Considerações finais

No presente artigo realizamos uma abordagem sistêmica, com apoio em análises estatísticas e espaciais, sobre distintos manejos do solo em municípios de MS. Verificamos a existência de um eixo bem delimitado entre os cultivos sem preparo do solo, cultivo convencional e cultivo mínimo. A influência da assistência técnica não é homogênea e os cultivos se espacializam em agrupamentos específicos entre os municípios.

A baixa probabilidade posterior de inclusão da variável assistência técnica nos modelos explicativos, bem como a ausência de efeitos diretos e indiretos estatisticamente robustos, indicam que sua influência não se manifesta de maneira sistemática no território. Essa evidência sugere que a difusão de práticas como o plantio direto e os sistemas agroflorestais não pode ser compreendida como um efeito linear ou automático das políticas de assistência técnica, apontando para a presença de outras dinâmicas territoriais subjacentes.

Os resultados permitiram identificar padrões estatísticos e espaciais distintos entre os sistemas de manejo do solo e a assistência técnica rural nos municípios de Mato Grosso do Sul. Observou-se um eixo mais definido entre os sistemas sem preparo do solo, cultivo convencional e

cultivo mínimo, enquanto o Plantio Direto e os Sistemas Agroflorestais apresentaram distribuição territorial mais heterogênea. A assistência técnica, por sua vez, não demonstrou associação sistemática e robusta com a adoção dos manejos conservacionistas analisados.

Além disso, os resultados reforçam a necessidade de compreender os manejos conservacionistas do solo a partir de uma perspectiva integrada entre território, governança e sustentabilidade. Em um contexto de crescente demanda por sistemas produtivos mais resilientes frente às mudanças climáticas e às exigências ambientais contemporâneas, práticas como o Plantio Direto e os Sistemas Agroflorestais assumem importância estratégica não apenas pela conservação do solo e da água, mas também por seu potencial de contribuição à agricultura regenerativa, à mitigação das emissões de carbono e à manutenção dos serviços ecossistêmicos. Nesse sentido, a adoção desses manejos depende menos de mecanismos lineares de difusão tecnológica e mais da articulação entre políticas públicas territorializadas, redes locais de cooperação, assistência técnica qualificada e dinâmicas históricas próprias de cada território rural.

Conflitos de interesse

Não houve conflito de interesses.

Contribuição dos autores

Os autores contribuíram de forma equitativa e substancial em todas as etapas de desenvolvimento do manuscrito, incluindo a concepção e elaboração do trabalho, a redação do texto, a revisão crítica de seu conteúdo intelectual e a organização geral da versão final submetida para publicação.

Referências bibliográficas

- ABDUL-SALAM, Y.; OVANDO, P.; ROBERTS, D. Understanding the economic barriers to the adoption of agroforestry: a real options analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 302, art. 113955, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113955>
- ASPROOTH, L.; NORTON, M.; GALT, R. The adoption of conservation practices in the Corn Belt: the role of one formal farmer network, practical farmers of Iowa. **Agriculture and Human Values**, v. 40, p. 1559-1580, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10460-023-10451-5>
- CARRER, M. J.; SOUZA FILHO, H. M.; VINHOLIS, M. M. B.; MOZAMBANI, C. I. Precision agriculture adoption and technical efficiency: an analysis of sugarcane farms in Brazil. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 177, art. 121510, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121510>
- FRANKEL-GOLDWATER, L.; WOJTYNIA, N.; DUEÑAS-OCAMPO, S. Healthy people, soils, and ecosystems: uncovering primary drivers in the adoption of regenerative agriculture by US farmers and ranchers. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1-21, 2024. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1070518>
- FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; SOARES JUNIOR, D.; MELO, T. R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 208, art. 104877, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104877>

- GROVERMANN, C.; REES, C.; BEYE, A.; WOSSEN, T.; ABDOLAYE, T.; CICEK, H. Uptake of agroforestry-based crop management in the semi-arid Sahel – analysis of joint decisions and adoption determinants. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 7, p. 1-17, 2023. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1042551>
- HARRIS, J. A.; EVANS, D. L.; MOONEY, F. J. A new theory for soil health. **European Journal of Soil Science**, v. 73, n. 4, p. 1-7, 2022. <https://doi.org/10.1111/ejss.13292>
- KPOVIWANOU, M. R. J. H.; SOUROU, B. N. K.; OUINSAVI, C. A. I. N. Challenges in adoption and wide use of agroforestry technologies in Africa and pathways for improvement: a systematic review. **Trees, Forests and People**, v. 17, art. 100642, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100642>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual do Recenseador – Censo Agropecuário 2017**. Brasília: Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, 2017. <https://censoagro2017.ibge.gov.br/divulgacao-censo-agro-2017/midia-online.html?view=mediaibge&catid=2199&id=1056>
- KHANGURA, R.; FERRIS, D.; WAGG, C.; BOWYER, J. Regenerative Agriculture - a literature review on the practices and mechanisms used to improve soil health. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 1-41, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15032338>
- PASSOS, A. M. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. Sistema de plantio direto. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. (Eds.). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação**. Brasília, DF: Embrapa, cap. 3, p. 61-104, 2018. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1101765>
- ROSÁRIO, J.; MADUREIRA, L.; MARQUES, C.; SILVA, R. Understanding farmers' adoption of sustainable agriculture innovations: a systematic literature review. **Agronomy**, v. 12, n. 11, p. 1-19, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112879>
- SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. 4ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2017.
- SCHULER, H. R.; ALARCON, G. G.; JONER, F.; SANTOS, K. L.; SIMINSKI, A.; SIDDIQUE, I. Ecosystem services from ecological agroforestry in Brazil: a systematic map of scientific evidence. **Land**, v. 11, n. 1, p. 1-19, 2022. <https://doi.org/10.3390/land11010083>
- SILVA, I. C. **Sistemas Agroflorestais: Conceitos e Métodos**. Itabuna: SBSAF, 2013.
- TRANCHINA, M.; REUBENS, B.; FREY, M.; MELE, M.; MANTINO, A. What challenges impede the adoption of agroforestry practices? a global perspective through a systematic literature review. **Agroforestry Systems**, v. 98, p. 1817-1837, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00993-w>

Recebido em 27 de maio de 2026

Retornado para ajustes em 1 de setembro de 2026

Recebido com ajustes em 2 de setembro de 2026

Aceito em 8 de setembro de 2026