

Arsênio e cádmio em solos do cerrado: ocorrência, monitoramento e impactos ambientais

DOI: 10.5281/zenodo.19902706

Atos de Jesus Silva ^{a*}

The cerrado biome stands out as one of Brazil's main agricultural regions, driven by favorable climate, mechanization, and correction of naturally nutrient-poor soils. However, the continuous use of fertilizers and amendments may introduce toxic elements such as arsenic (As) and cadmium (Cd), promoting diffuse soil contamination. The mobility of these elements depends on factors such as pH, organic matter, and mineralogy. Studies in preserved areas indicate low natural levels of As and Cd, important as environmental reference values. Thus, agricultural sustainability in the cerrado biome depends on balancing productivity and conservation of natural resources.

O bioma cerrado destaca-se como uma das principais regiões agrícolas do Brasil, impulsionado por clima favorável, mecanização e correção de solos naturalmente pobres de nutrientes. Contudo, o uso contínuo de fertilizantes e corretivos pode introduzir elementos tóxicos, como Arsênio (As) e Cádmio (Cd), favorecendo contaminação difusa do solo. A mobilidade desses elementos depende de fatores como pH, matéria orgânica e mineralogia. Estudos em áreas preservadas indicam baixos teores naturais de As e Cd, importantes como valores de referência ambiental. Assim, a sustentabilidade agrícola no bioma cerrado depende do equilíbrio entre produtividade e conservação dos recursos naturais.

^aUniversidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: euatos1@gmail.com

Palavras-chave: Cerrado; fertilizantes; metais pesados; arsênio; cádmio.

Recebido em 12 de abril de 2026,

Aprovado em 26 de abril de 2026,

Publicado em 30 de abril de 2026.

Introdução

O cerrado destaca-se como uma das regiões mais importantes para a produção agrícola brasileira, sendo responsável pelo cultivo de alimentos essenciais ao consumo interno e por expressivas taxas de exportação de *commodities*, como a soja.¹ A expansão da fronteira agrícola nesse bioma contribuiu significativamente para a consolidação do Brasil no mercado global de alimentos, transformando o cerrado em um dos principais centros produtivos do país.² Entretanto, o avanço da produção em larga escala está associado a diversos impactos ambientais, entre eles a supressão da vegetação nativa, alterações nos ciclos hidrológicos, degradação física e química do solo e intensificação do uso de insumos agrícolas.¹ Nesse cenário, fertilizantes, corretivos e outros agentes químicos tornaram-se ferramentas fundamentais para sustentar elevados níveis de produtividade, especialmente em solos naturalmente pobres em nutrientes.³

Embora esses insumos desempenhem papel estratégico na agricultura moderna, sua utilização contínua pode introduzir ou acumular elementos potencialmente tóxicos no ambiente. Entre esses elementos, destacam-se o Arsênio (As) e o Cádmio (Cd), substâncias de interesse ambiental e toxicológico devido à sua persistência no solo, capacidade de

mobilização e potencial entrada na cadeia alimentar por meio das culturas agrícolas. Quando presentes em concentrações elevadas, esses contaminantes podem representar graves riscos à saúde humana e aos ecossistemas.⁴

Além das fontes antrópicas, As e Cd também podem ocorrer naturalmente nos solos em decorrência do material de origem e de processos geológicos, mesmo que em valores baixos.⁵ Dessa forma, distinguir concentrações naturais de contaminações decorrentes da atividade humana constitui um desafio técnico importante. Nesse contexto, estudos que estabelecem valores de referência ou concentrações de base tornam-se essenciais para programas de monitoramento e gestão ambiental.⁶

Com base nessas considerações, este trabalho propõe discutir os impactos ambientais associados ao uso de agentes químicos no solo do bioma cerrado, tomando como referência estudos sobre os teores naturais de Arsênio e Cádmio em áreas sem contaminação intencional, bem como relacionando esses dados à dinâmica de solos submetidos ao manejo agrícola intensivo.

Metodologia

A metodologia adotada baseou-se em pesquisa bibliográfica de caráter específico, utilizando palavras-chave como metais pesados, cerrado, agricultura, Arsênio, Cádmiio e contaminação do solo. A busca foi realizada em periódicos científicos e bases de dados como *Google Scholar*, SciELO e *ScienceDirect*. O acesso aos materiais foi viabilizado por meio do portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através da Comunidade Acadêmica Federada (CAFe), recurso disponibilizado gratuitamente aos estudantes da Universidade de Brasília (UnB). Complementarmente, utilizou-se como referência bibliográfica a obra *Heavy Metals in Soils*,⁵ empregada como fonte de dados para contextualização, quantificação de metais e análise de suas ocorrências em solos.

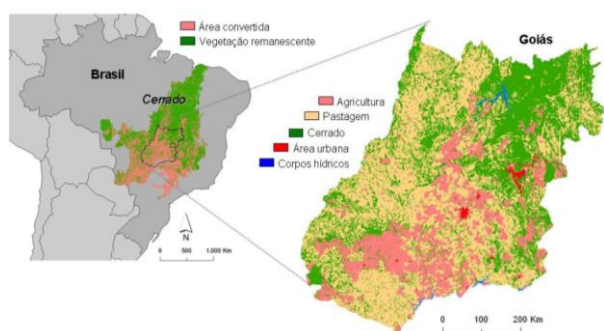
Resultados e discussão

Importância agrícola e expansão produtiva do cerrado

O cerrado consolidou-se como uma das regiões mais estratégicas para a agropecuária brasileira, desempenhando papel fundamental no abastecimento interno e na geração de excedentes destinados ao mercado externo. A elevada disponibilidade de terras agricultáveis, associada ao avanço tecnológico no manejo do solo e ao desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições climáticas da região, contribuiu para a expansão expressiva da produção agrícola nas últimas décadas.⁷ Culturas como soja, milho, algodão e a pecuária extensiva ganharam destaque econômico, tornando o bioma peça central na balança comercial brasileira.⁸ A Figura 1, apresenta as divisões e subdivisões regionais do cerrado utilizadas para caracterização territorial e estudos ambientais.

Figura 1. Localização e distribuição das classes de cobertura e uso da terra para o bioma cerrado e Estado de Goiás.

Extraído da referência 8.



Outro fator determinante para o sucesso agrícola do cerrado é seu regime climático bem definido, caracterizado por duas estações predominantes: uma chuvosa e outra seca. Essa

alternância sazonal favorece o planejamento das atividades agrícolas, permitindo maior previsibilidade para o preparo do solo, sementeira, desenvolvimento das culturas e colheita. O período chuvoso oferece condições favoráveis ao crescimento vegetal e à disponibilidade hídrica, enquanto a estação seca pode facilitar operações mecanizadas, colheita e manejo de determinadas áreas produtivas. A ascensão produtiva do cerrado está diretamente relacionada à modernização do setor agrícola, marcada pela mecanização, correção química dos solos e uso intensivo de fertilizantes e defensivos agrícolas.⁹

Solos originalmente considerados de baixa fertilidade natural passaram a sustentar elevadas produtividades por meio da aplicação de técnicas agrônômicas específicas voltadas à correção de limitações químicas e físicas. Entre essas práticas, destacam-se a calagem, utilizada para elevar o pH do solo, reduzir a toxicidade do alumínio trocável e aumentar a disponibilidade de nutrientes, e a adubação mineral, responsável pelo fornecimento de elementos essenciais como Fósforo (P), Nitrogênio (N) e Potássio (K).⁹ Contudo, muitos insumos agrícolas empregados nesses processos podem conter resíduos ou impurezas de elementos potencialmente tóxicos, como Arsênio (As) e Cádmiio (Cd), introduzidos a partir da matéria-prima utilizada em sua fabricação.¹⁰ Em solos do cerrado, marcados por elevada acidez e intensa dinâmica química, a presença desses elementos torna-se relevante, pois pode favorecer processos de retenção, mobilização ou absorção pelas plantas, dependendo das condições ambientais. Dessa forma, o manejo químico que viabilizou a alta produtividade também reforça a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade do solo e dos possíveis contaminantes associados à atividade agrícola.⁶

Fertilizantes como fonte difusa de contaminação ambiental

Tendo em vista que os solos do cerrado apresentam baixa fertilidade natural, os elevados índices de produtividade agrícola observados na região só se tornaram possíveis por meio da correção da acidez do solo, da adubação mineral e do melhoramento genético das culturas.¹¹ O uso intensivo de fertilizantes passou a representar um dos principais fatores associados à alteração química dos solos agrícolas, especialmente em sistemas de produção contínua e de alta demanda nutricional. Embora esses insumos sejam aplicados com a finalidade de suprir nutrientes essenciais às plantas, sua composição pode incluir impurezas minerais provenientes das matérias-primas utilizadas em sua fabricação, sobretudo no caso dos fertilizantes fosfatados. As rochas fosfáticas, amplamente empregadas na produção desses fertilizantes,

apresentam composição variável conforme sua origem geológica, podendo conter elementos potencialmente tóxicos em concentrações distintas. Entre os contaminantes mais frequentemente relatados destacam-se o Cádmio (Cd), o Arsênio (As) e o Cromo (Cr).¹⁰ Diferentemente de eventos pontuais de poluição, a introdução desses contaminantes ocorre de maneira gradual e distribuída ao longo do tempo, caracterizando um processo de contaminação difusa, decorrente do uso contínuo de fontes antropogênicas previamente mencionadas.¹² Em áreas agrícolas extensas, aplicações sucessivas podem promover o acúmulo progressivo desses elementos na camada superficial do solo, muitas vezes sem sinais visíveis imediatos de degradação ambiental.

O comportamento químico desses resíduos depende diretamente das propriedades do solo. Fatores como pH, teor de matéria orgânica, textura, mineralogia e capacidade de troca catiônica influenciam processos de adsorção, retenção, solubilização e mobilidade. Em condições favoráveis, parte desses elementos pode tornar-se biodisponível, aumentando a possibilidade de absorção pelas plantas ou de transporte para águas superficiais e subterrâneas.¹³ Dessa forma, a avaliação da qualidade dos fertilizantes e o monitoramento periódico dos solos agrícolas tornam-se medidas essenciais para prevenir o acúmulo de contaminantes e garantir que o aumento da produtividade não ocorra em detrimento da qualidade ambiental, como foi destacado anteriormente.⁶

Arsênio e Cádmio em solos do cerrado: ocorrência, mobilidade e riscos

A presença de Arsênio (As) e Cádmio (Cd) nos solos pode estar associada tanto a processos naturais quanto às atividades humanas. Entretanto, a determinação de teores verdadeiramente naturais desses elementos constitui um desafio técnico relevante, uma vez que grande parte da superfície terrestre já sofreu algum grau de interferência antrópica ao longo do tempo, seja por atividades agrícolas, deposição atmosférica, urbanização, mineração ou descarte de resíduos.⁵ A Tabela 1 apresenta valores médios observados em diferentes regiões do mundo para Arsênio (As) e Cádmio (Cd) em solos, permitindo contextualizar os resultados obtidos para o cerrado em relação ao cenário internacional.

Tabela 1. Concentrações medianas e máximas de metais pesados totais em solos superficiais de diferentes países e valores médios para solos do mundo (mg.kg⁻¹). Extraída da referência 7.

	Europa	EUA	Mundo
Nº de amostras	852	1,903	-
As	6.0 (< 27.3)	-	4,7
Cd	0.145 (< 14)	0,16 (<41)	1,1

Nessas condições, a literatura frequentemente adota o conceito de concentração de base (*background*), entendido como o valor encontrado em determinada área e período, utilizado como referência para programas de monitoramento ambiental.^{6, 14}

No contexto do cerrado, essa discussão torna-se especialmente importante em razão da rápida expansão agrícola observada nas últimas décadas. A intensificação do uso de fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas e resíduos orgânicos pode elevar progressivamente os teores de elementos potencialmente tóxicos no sistema solo, dificultando a distinção entre contribuições naturais e acréscimos decorrentes do manejo agrícola.⁹ Soma-se a isso a ainda limitada disponibilidade de estudos voltados à determinação de teores naturais e valores de referência para solos desse bioma, o que amplia a relevância de investigações nessa área. Dessa forma, estudos conduzidos em áreas sem contaminação intencional tornam-se essenciais para estabelecer valores comparativos confiáveis.

Com esse objetivo, o artigo utilizado como base teórica avaliou solos representativos de três sub-regiões do bioma cerrado: leste de Goiás (G), Triângulo Mineiro (T) e nordeste de Minas Gerais (N). As amostras foram coletadas em locais nunca cultivados e distantes de estradas, indústrias e outras fontes potenciais de contaminação, buscando minimizar interferências externas. Após preparo laboratorial, as determinações de As e Cd foram realizadas por digestão ácida em forno de micro-ondas (método USEPA 3051A) e quantificação por espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica.⁶

Os resultados, evidenciados na Tabela 2, mostraram baixos teores médios de Arsênio (As), com a seguinte ordem entre as sub-regiões: G (3,29 mg.kg⁻¹) > T (2,18 mg.kg⁻¹) > N (0,62 mg.kg⁻¹). Para o Cádmio (Cd), os maiores valores

ocorreram em G (2,45 mg.kg⁻¹) e T (1,88 mg.kg⁻¹), ambos superiores à sub-região N (1,16 mg.kg⁻¹). A Tabela 3 complementa essa análise ao apresentar a distribuição dos teores em função das classes de solo, evidenciando variações associadas às características pedológicas de cada ambiente. De modo geral, os autores observaram que os teores encontrados para os solos do cerrado são baixos quando comparados a diversos solos avaliados em outras regiões do mundo.^{6, 14}

Tabela 2. Teores médios de As e Cd para as sub-regiões G (Leste de Goiás), T (Triângulo Mineiro e N (nordeste de MG). Extraído da referência 6.

Sub-regiões	As	Cd
	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
G	3,29 A	2,45 A
T	2,18 B	1,88 A
N	0,62 C	1,16 B

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si a testes F e t, nível mínimo de significância a 5%.

Tabela 3. Teores médios de As e Cd para as sub-regiões G (Leste de Goiás), T (Triângulo Mineiro e N (nordeste de MG). Extraído da referência 6.

Classe de solo	As	Cd
	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Sub-região G		
CXbd	2,75 B	7,00 A
LAW	2,95 B	1,58 B
LVw	2,22 B	1,97 B
LVd	2,75 B	2,29 B
FFc	7,76 A	1,78 B
Sub-região T		
LVAd	3,79 A	1,27 B
LVd1	1,46 BC	1,39 B
LVd2	0,87 C	1,47 B
LVdf1	3,51 AB	3,32 A
Sub-região N		
LAd	1,37 A	1,45 A
LVAd	0,55 ABC	1,14 A
LVd1	0,45 BC	1,65 A
LVd2	1,03 AB	0,92 A
RQo	0,28 C	0,90 A

As comparações entre classes de solos dentro de cada sub-região foram testadas por meio dos testes F e t (p<0,05), sendo que médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si.

De acordo com os autores, o solo que apresentou maior teor de As foi o Plintossolo (FFc), o qual apresenta elevada presença de óxidos de ferro, característica que favorece a adsorção específica de arsênio devido à alta área superficial e à presença de grupos hidroxila reativos nesses minerais. Em contraste, o menor teor de As foi observado no Neossolo Quartzarênico (RQo) da sub-região N, o que está associado aos baixos teores de argila e óxidos de ferro, à reduzida área superficial específica e ao efeito de diluição característico de solos arenosos, que limita a retenção e favorece a remoção do elemento pela água infiltrada.⁶

Na sub-região G, ainda se observa predominância de sedimentos argilosos de cobertura, que favorecem a formação de solos mais desenvolvidos e ricos em frações finas, com maior presença de óxidos de ferro. Essas características aumentam a área superficial e a quantidade de sítios reativos no solo, o que intensifica a retenção de elementos traço, como o arsênio (As). Em contraste, na sub-região N, a predominância de materiais arenosos, como arenitos, resulta em solos menos desenvolvidos, com baixa fração argilosa e menor presença de óxidos de ferro. Essas condições reduzem a capacidade de adsorção e favorecem a remoção dos elementos pela água no solo, levando a menores concentrações de arsênio.⁶

A mobilidade de arsênio e cádmio no solo está diretamente relacionada às suas formas iônicas predominantes, que controlam suas interações com os constituintes do solo. O arsênio, em condições oxidantes, ocorre principalmente como arsenato (AsO₄³⁻), uma espécie aniônica que apresenta forte afinidade por óxidos de ferro e alumínio, sendo, portanto, mais facilmente adsorvida e menos móvel em solos ricos nesses minerais, o que caracteriza sua maior toxicidade. Por outro lado, o cádmio encontra-se predominantemente como Cd²⁺, uma espécie catiônica cuja retenção depende da capacidade de troca catiônica do solo. Em ambientes ácidos, comuns no Cerrado, essa retenção é reduzida, aumentando sua mobilidade na solução do solo. Dessa forma, a natureza iônica dessas espécies desempenha papel fundamental na determinação de seu comportamento, influenciando sua disponibilidade para as plantas e seu potencial de transporte no ambiente.^{15, 16}

Conclusões

Evidentemente o cerrado ocupa posição estratégica na produção agrícola brasileira, resultado da combinação entre extensão territorial, condições climáticas favoráveis e avanço tecnológico aplicado ao campo. A definição sazonal entre períodos chuvoso e seco, associada ao desenvolvimento de técnicas de manejo e ao melhoramento genético das culturas, contribuiu para consolidar o bioma como uma das principais fronteiras agrícolas do país. Contudo, essa elevada produtividade depende diretamente de intervenções químicas e físicas capazes de corrigir limitações naturais dos solos da região.⁹

Entre essas intervenções, destaca-se o uso intensivo de fertilizantes e corretivos, fundamentais para suprir nutrientes e elevar a eficiência produtiva. Entretanto, tais insumos também podem atuar como fontes difusas de elementos potencialmente tóxicos, introduzidos gradualmente no solo ao longo de sucessivas aplicações. Esse processo demonstra que o aumento da produtividade agrícola, quando dissociado de práticas de monitoramento e controle de qualidade, pode favorecer o acúmulo silencioso de contaminantes no ambiente.

No caso específico do Arsênio (As) e do Cádmio (Cd), observa-se que sua presença no solo não está vinculada exclusivamente às atividades humanas, podendo também decorrer também de processos geológicos. Essa dualidade torna complexa a distinção entre concentrações naturais e contaminação antrópica, reforçando a importância de estudos voltados ao estabelecimento de valores de referência. O artigo analisado demonstrou que solos preservados do cerrado apresentam baixos teores desses elementos, fornecendo parâmetros relevantes para futuras avaliações ambientais.⁶

Conclui-se então que a sustentabilidade da agricultura no cerrado depende do equilíbrio entre produtividade e conservação ambiental. A adoção de práticas agrícolas responsáveis, aliada ao monitoramento químico contínuo dos solos e ao uso criterioso de insumos, é essencial para garantir segurança alimentar, proteção dos ecossistemas e manutenção da capacidade produtiva do bioma em longo prazo.

Contribuições por Autor

A resenha sobre os artigos em referência e a inclusão de observações são de Atos de Jesus Silva.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Ao grupo PET-Química/IQ/UnB e à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC). Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 F.A. de Queiroz, "Impactos da sojicultura de exportação sobre a biodiversidade do cerrado," *Sociedade & Natureza*, 2009, **21**(2), 193–209.
- 2 N. Rada, "Assessing Brazil's cerrado agricultural miracle" *Food Policy*, 2013, **38**, 146–155.
- 3 A.P. Chagas, "A síntese da amônia: alguns aspectos históricos," *Quim Nova*, 2007, **30**(1), 240–247.
- 4 B. Gontijo, and F. Bittencourt, "Arsênio: uma revisão histórica," *An Bras Dermatol*, 2005, **80**(1), 91–95.
- 5 B.J. Alloway, *Heavy Metals in Soils : Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability*, Springer, 2013.
- 6 M.L. Campos, L.R.G. Guilherme, J.J.G. de S. e M. Marques, N. Curi, A.S.A. Araújo, D.J. Miquelluti, C. Lopes, and F.R. Spiazzi, "Teores de Arsênio e Cádmio em solos do bioma cerrado," *Rev Bras Cienc Solo*, 2013, **37**(1), 281–286.
- 7 L.G. Ferreira, M.E. Ferreira, G.F. Rocha, M. Nemayer, and N.C. Ferreira, "Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada," *Revista Brasileira de Cartografia*, 2009, **61**(2).
- 8 Embrapa, *Trajatória da agricultura brasileira*, <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira> (accessed April 10, 2026)
- 9 M. Siqueira Neto, M.D.C. Piccolo, E. Scopel, C. Costa Junior, C.C. Cerri, and M. Bernoux, "Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no cerrado," *Acta Sci Agron*, 2009, **31**(4).
- 10 M.R. de Carvalho, T.A. de Almeida, G.A.Z. van Opbergen, F.H.A. Bispo, L. Botelho, A.B. de Lima,

- P.E.R. Marchiori, and L.R.G. Guilherme, “Arsenic, cadmium, and chromium concentrations in contrasting phosphate fertilizers and their bioaccumulation by crops: Towards a green label?,” *Environ Res*, 2024, 263.
- 11 Embrapa, Artigo – Dia da agricultura: como a pesquisa científica transformou o cerrado em referência mundial de produtividade e sustentabilidade, <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias> (accessed April 10, 2026)
 - 12 B. Hussain, M.J. Umer, J. Li, Y. Ma, Y. Abbas, M.N. Ashraf, N. Tahir, A. Ullah, N. Gogoi, and M. Farooq, “Strategies for reducing cadmium accumulation in rice grains,” *J Clean Prod*, 2021, 286.
 - 13 J. Hu, Z. Wang, G.D.Z. Williams, G.S. Dwyer, L. Gatiboni, O.W. Duckworth, and A. Vengosh, “Evidence for the accumulation of toxic metal(loid)s in agricultural soils impacted from long-term application of phosphate fertilizer”, *Science of The Total Environment*, 2024, 907.
 - 14 S. Albanese, B. de Vivo, A. Lima, and D. Cicchella, “Geochemical background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy),” *J Geochem Explor*, 2007, **93**(1), 21–34.
 - 15 L.E. Deuel, and A.R. Swoboda, “Arsenic Solubility in a Reduced Environment,” *Soil Science Society of America Journal*, 1972, **36**(2), 276–278.
 - 16 Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado, <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/213856/consideracoes-sobre-a-acidez-dos-solos-de-cerrado> (accessed April 28, 2026)