



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Panorama das pesquisas sobre Plintossolos, Petroplintitas e Plintitas

Michele Ribeiro Ramos<sup>1</sup>, Matheus Santos Silva Figueiredo<sup>2</sup>, Ramon Machado Loureiro<sup>3</sup>, Grace Bungenstab Alves<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Professora no Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital da Universidade Federal do Tocantins e Universidade Estadual do Tocantins-Palmas, Tocantins. E-mail: michele.rr@unitins.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4818-4713>; <sup>2</sup>Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências - Salvador, Bahia. E-mail: matheusssf@ufba.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6472-8626>; <sup>3</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - Alegre, Espírito Santo. E-mail: ramonmachado@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9387-9913>; <sup>4</sup>Professora de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Bahia, Departamento de Geografia - Salvador, Bahia. E-mail: alves.grace@ufba.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7598-0467>.

Artigo recebido em 28/05/2024 e aceito em 23/02/2025

### RESUMO

As acumulações de ferro são características de regiões tropicais com sistemas hídricos contrastados, podendo ser identificadas como plintitas ou petroplintitas e encontradas principalmente em Plintossolos, classificados como o quarto tipo de solo mais abundante no Brasil. Este estudo realiza uma análise bibliométrica detalhada sobre os Plintossolos, com um enfoque particular no Brasil, utilizando dados do Web of Science referentes a artigos publicados entre 1990 e 2023. Identificamos 317 publicações, com os Estados Unidos, Austrália e Brasil como os principais estudiosos do tema. O número de publicações tem crescido desde a década de 1990, com ênfase em áreas como geologia, agricultura e geoquímica. No contexto brasileiro, observa-se que Minas Gerais lidera as pesquisas, seguido por Goiás, Pará e Distrito Federal, estados intimamente ligados às atividades de mineração e agrícolas. Preocupações relacionadas ao manejo, conservação e impactos ambientais se destacam, com instituições da França, Austrália, Brasil e Estados Unidos liderando os esforços. As revistas científicas *Catena*, *Geoderma* e *Revista Brasileira de Ciência do Solo* são os principais veículos para a divulgação destas pesquisas. Avanços significativos em técnicas de caracterização e modelagem dinâmica se sobressaem, refletindo um compromisso com a sustentabilidade e adoção de tecnologias como o sensoriamento remoto. Apesar dos progressos alcançados, a colaboração internacional, especialmente envolvendo pesquisadores brasileiros, ainda é limitada, indicando uma necessidade crucial de maior engajamento. Isso ressalta a crescente importância global das pesquisas sobre a dinâmica dos solos tropicais, sublinhando a urgência de uma abordagem integrada para avançar na compreensão e no manejo destes ecossistemas complexos.

Palavras-chave: Acumulação de Ferro; Análise Bibliométrica; Solos e Paisagem; Solos tropicais; Ferricrete.

## Overview of the research on Plinthosols, Petroplinthites, and Plinthites

### ABSTRACT

Iron accumulation is a prevalent phenomenon in tropical regions, manifesting as plinthite or petroplinthite within water seasonality systems. These formations, predominantly found in Plinthosols (Plintossolos in the Brazilian soil classification), represent the fourth most abundant soil type in Brazil. This study employs a bibliometric analysis focused on Plinthosols, particularly within the Brazilian context, utilizing Web of Science data spanning from 1990 to 2023. We identified 317 relevant publications, with notable contributions from the USA, Australia, and Brazil. The trajectory of publications has shown consistent growth since the 1990s, with research emphasis spanning geology, agriculture, and geochemistry. In Brazil, Minas Gerais emerged as the primary research hub, followed by Goiás, Pará, and the Federal District—states intimately tied to mining and agricultural activities. Concerns regarding management, conservation, and environmental impacts stood out, with institutions from France, Australia, Brazil, and North America spearheading efforts in these domains. Leading journals such as *Catena*, *Geoderma*, and *Revista Brasileira de Ciência do Solo* serve as primary outlets for research dissemination in this field. Advancements in characterization techniques and dynamic modeling underscore a concerted effort toward sustainable management practices, underscored by the integration of technologies like remote sensing. Despite commendable progress, international collaboration, particularly involving Brazilian researchers, remains limited, signaling a critical need for broader engagement. This underscores the burgeoning global significance of research on tropical soil dynamics, emphasizing the imperative of an integrated approach to advance understanding and management strategies for these complex ecosystems.

Keywords: Iron accumulation; Bibliometric analysis; Soils and Landscape; Tropical Soils; Ferricrete.

## Introdução

Buchanan em 1807 foi o primeiro pesquisador a propor o termo laterita para as acumulações alumino-ferruginosas existentes no terço final da vertente e nos solos da Índia. Esse material friável tornava-se extremamente duro quando seco e tinha ampla utilização na construção civil. Atualmente, esse mesmo material apresenta diversas denominações, no entanto, consideramos neste trabalho apenas aquelas relacionadas às acumulações de ferro, são elas: ferricrete, duricrust de ferro (ironcrust), crostas ferruginosas, petroplintita, Plintossolo, entre outras.

Os Plintossolos são definidos por apresentarem um horizonte diagnóstico mineral com característica plíntica, litoplíntica ou concrecionária. Tais materiais apresentam feições nodulares ferruginosas com diferentes graus de dureza e individualização, conhecidas como plintitas, iniciando dentro de 40cm da superfície do solo (Santos et al., 2018). Segundo os autores, o horizonte plíntico deve apresentar plintita em quantidade igual ou superior a 15% e espessura mínima de 15cm; o petroplíntico deve possuir petroplintita contínua com tamanho mínimo de 20cm, e finalmente, o concrecionário precisa atender o critério de pelo menos 50% ou mais de seu volume com predominância de petroplintitas, do tipo nódulos ou concreções de Fe, ou Fe e Al.

Contudo, há um equívoco muito grande no que se refere à denominação do segundo nível categórico, que inclui as subordens Pétricos, Argilúvicos e Háplicos. Eles são definidos por apresentarem horizonte concrecionário ou litoplíntico, horizonte plíntico e horizonte B textural ou caráter argilúvico e o último quando não se enquadram em nenhuma das opções. Essas definições estão muito claras no Sistema Brasileiro de Classificação de solos (SiBCS), porém em muitas publicações diversos autores acabam por chamar de Plintossolos o objeto de estudo e não designam o segundo nível categórico. Suas subordens são bem distintas entre si. Acentuando o problema, está o fato de que na natureza a ocorrência de plintitas e petroplintitas não se dá de forma tão exata como apresentado no sistema de classificação (Santos et al., 2018).

Outro problema está na definição dos conceitos de plintita e petroplintitas, principalmente esta última, que na literatura é encontrada com diversas denominações, como lateritas, couraças ferruginosas, ferricretes, duricrusts de ferro, nódulos, pisólitos, crostas ferruginosas, carapaças, couraças, Plintossolos, petroplintitas, solos ferruginosos de ambientes tropicais (Tardy, 1992). Essa variada nomenclatura dificulta muitas vezes o entendimento e a própria

Ramos, M. R.; Figueiredo, M. S. S.; Loureiro, R. M.; Alves, G. B.

divulgação das pesquisas e, sobretudo, por conta das definições que são amplas e diversificadas, o que promove equívocos na interpretação dos resultados e até mesmo na comparação de outros materiais similares.

A história da evolução do termo petroplintitas permite entender que há equívocos, desde a origem do termo, quando Sys (1968) sugeriu a classificação dos solos tropicais com material lateríticos e introduziu o termo petroplintitas. Na classificação americana os materiais moles de plintita já eram contemplados, contudo, os materiais duros de ferro não. Há que se considerar que os EUA possuem apenas uma pequena parte de seu território em região tropical, não tendo em seu território ocorrência expressiva destes materiais.

Na África Tropical, esses materiais ferruginosos são bastante comuns e tinham lugar no sistema de classificação, considerando que a maior parte dos estudos efetuados no século XX foram realizados por pesquisadores de diferentes nacionalidades por conta da transformação destas áreas em colônias. Esta dominação ainda se manteve/mantém por muito tempo devido à influência dos países europeus na formação e desenvolvimento dos estudos científicos destas áreas.

Na classificação francesa (C.P.C.S., 1967) a presença dessas lateritas concessionárias ou crostas lateríticas eram diagnósticas em nível de subgrupo, dentro dos grupos de solos ferralíticos; nos solos tropicais ferruginosos lixiviados são sugeridos subgrupos concrecionários e endurecidos. Na classificação do Congo a presença desses materiais lateríticos eram consideradas em nível de família (Sys et al., 1961).

Sys (1968) questionava a inclusão desses materiais nos sistemas de classificação, já que as crostas aluminosas eram contempladas. Assim, ele sugere a introdução do termo petroplintitas, e usa a definição correspondente às lateritas endurecidas sugerida por Alexander e Cady (1962). Desta forma, as petroplintitas originadas do endurecimento de plintitas se fundem com a petroplintitas litomórficas. A laterita já foi considerada uma rocha (Alleva, 1994), enquanto muitos outros pesquisadores afirmavam que ela era produto do intemperismo, portanto, formado por processos pedogenéticos (Widdowson, 2009; Eze et al., 2014).

D' Hoore (1954) tentou explicar a laterita seguindo conceitos de acumulação relativa (alóctone) ou absoluta (autóctone) de Ferro (Fe) e/ou Alumínio (Al), mas para Alleva (1986) era inconcebível que elas fossem puramente alóctones

ou autóctones. Este considerava que ela poderia ser formada por meio dos dois processos, ou seja, frequentemente mistas, apesar de Tardy (1993) ter encontrado indícios de que havia movimentação vertical e lateral de Ferro (Fe) ao longo de perfis na África. Não é por acaso que Webster (2004) considera que esse tema é um dos mais complexos da ciência do solo. As pesquisas evoluíram ao longo do tempo, contudo os termos utilizados geram um certo conflito conceitual.

Neste artigo, a bibliometria entra como ferramenta para entender o cenário das pesquisas associadas aos Plintossolos, seja de forma direta ou indireta. Sabe-se que os estudos com esses materiais de terminologia tão ampla têm se transformado ao longo dos anos, mas não se sabe exatamente como. A escolha pelos Plintossolo permite o recorte de pesquisas que tendem a utilizar uma perspectiva pedológica voltada para classificação de solos, já que este é o termo empregado no SiBCS, Soil Taxonomy e WRB.

Objeto de estudo de geógrafos, pedólogos, geólogos, geomorfólogos, e por apresentarem ampla ocorrência no mundo, os Plintossolos vem sendo tema de muitas pesquisas, e o que se tem observado é a pouca clareza na definição dos materiais de estudo. O que mais tem interessado os pesquisadores é entender sua gênese, uso, manejo, conservação, processos de transformação pedológica, geoquímica, geologia, estudos voltados para solo-paisagem?

Desta forma, objetivou-se com o trabalho apresentar um panorama das pesquisas que envolvem os Plintossolos no mundo, com ênfase nas realizadas no Brasil.

## Material e métodos

Os conceitos utilizados na definição das petroplintitas, plintitas, Plintossolos, dentre outros termos que os envolvem, como explicitado no tópico anterior, vêm sendo usados na literatura científica com significados distintos, o que dificulta o entendimento deste termo e a utilização de metodologias adequadas para seu estudo.

Neste artigo, a meta foi identificar qual é a amplitude das pesquisas existentes sobre Plintossolos (petroplintitas e plintitas) em escala global. No Brasil, buscou-se reconhecer em quais áreas do conhecimento as pesquisas se concentram, qual é o foco desses estudos sobre Plintossolos, e a quantificação das diferentes abordagens por meio de uma análise bibliométrica.

Através da base de dados levantada foi construída uma linha do tempo, cujo objetivo foi compreender a evolução das pesquisas dentro da temática dos Plintossolos, identificando as instituições e pesquisadores envolvidos. Foram

avaliadas as primeiras publicações relacionadas ao tema, com o intuito de reconhecer os autores pioneiros e entender como definiam o termo. O levantamento bibliométrico foi realizado na plataforma Web Of Science (WoS), considerando termos referentes ao material friável (plintita) e endurecido (petroplintitas). Para tanto, inicialmente foram usados os termos “soil AND plinthite AND petroplinthite”, que resultaram em 8 ocorrências. Na segunda tentativa substituiu-se o operador booleano AND por OR: Soil AND plinthite OR petroplinthite, e o resultado foi de 8 para 86 ocorrências. Desta forma, foram incluídas outras denominações utilizadas por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, e realizada nossa pesquisa utilizando as seguintes palavras chaves: soil AND ferricretes OR petroplinthite OR plinthite OR plinthosols OR pisolith e assim obtidas 350 ocorrências, sendo, 332 artigos, dos quais 56 foram realizados no Brasil. Nesta revisão, foram utilizados apenas artigos científicos.

A delimitação temporal das publicações abrangeu o período de 1900 a 2023, considerando o material disponível até 20 de outubro de 2023, e o acesso remoto via CAFE (Comunidade Acadêmica Federada) via login pela através da utilização da Plataforma Periódicos Capes (<https://www-periodicos-capes-gov-br>) disponibilizados pela Universidade Estadual do Tocantins. Para a realização das buscas foram utilizados os seguintes campos: Título, Resumo e Palavras-Chaves.

Posteriormente, para visualização de tendências dos dados obtidos na WoS, foram baixados os resultados em formato txt para análise no software VOSviewer 1.6.17. Com isso, foi possível criar uma nuvem de palavras através da identificação dos principais termos encontrados. Além disso, foram obtidos os dados referentes às publicações por país, e posteriormente para os estados brasileiros em formato txt. Para definição dos estados brasileiros, foram considerados o local da área de estudo. Em seguida, por meio do software Excel os dados foram organizados com as informações sobre a quantidade e cronologia das publicações. Por fim, recorreu-se ao QGis 3.28.4 para espacialização e construção de mapas das tendências quantitativas da produção de trabalhos, tendo como fonte dos dados em SIG o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o portal Eurostat em escala de 1 para o milionésimo em ambos.

## Resultados e discussão

As acumulações ferruginosas podem ser denominadas de Plintitas ou Petroplintitas (SiBCS, 2018), e resultam sobretudo da acumulação de

Ferro em ambiente tropical. Nosso levantamento demonstrou que das 317 ocorrências analisadas, se destacaram os Estados Unidos, Austrália e o Brasil como países que mais publicaram artigos sobre essa temática, todos com mais de 55 publicações (Figura 1).

O final da década de 1990 teve como marco o início das publicações que envolvem a temática dos Plintossolos (Figura 2). A menor quantidade de publicação de trabalhos sobre

Plintossolos ocorreu nos anos de 1992 e 1995, tendo o ano de 2020 como de maior relevância para o tema, com 23 publicações. Das 317 publicações sobre o tema Plintossolos, os 10 trabalhos mais citados na WoS estão destacados na Tabela 1. Pode-se observar que o trabalho mais citado é na área de geologia, indicando que pesquisas com Plintossolos estão sendo muito referenciadas nessa área de conhecimento.

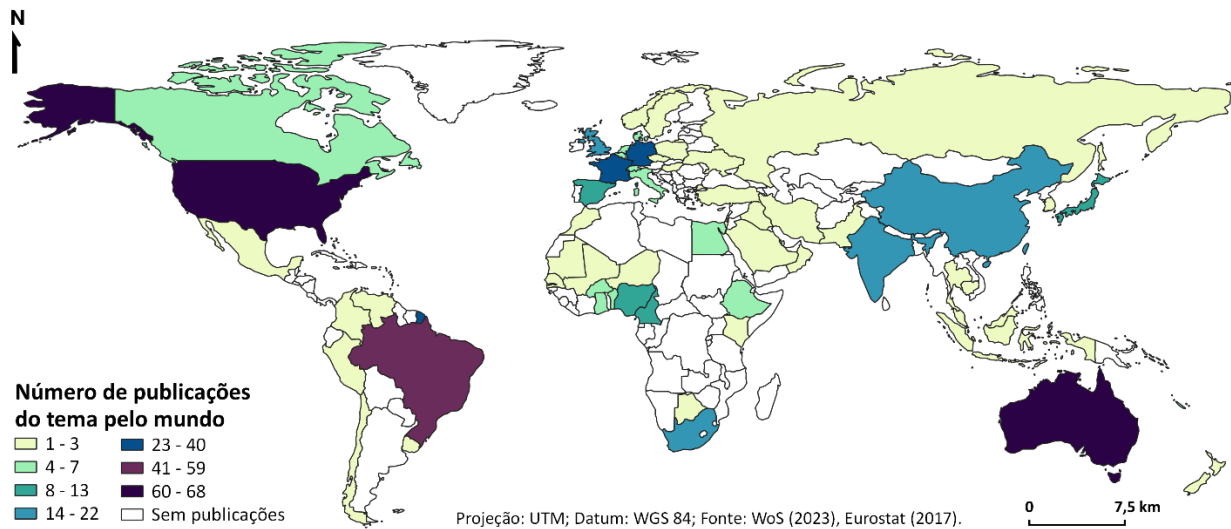


Figura 1. Distribuição das Publicações sobre o tema no mundo entre 1990 e 2023, segundo a base de dados do WoS.

Compreender os processos geoquímicos que envolvem a degradação desses materiais parece ser uma temática bastante importante no meio científico, considerando que muitos dos solos (Plintossolos Pétricos) são produtos do desmantelamento desses materiais. Sobretudo, porque há uma tendência de pressão de uso sobre esses solos, o que justifica a concentração de trabalhos na área de agricultura.

O segundo artigo mais citado está relacionado com agricultura, cujo objetivo é

verificar o processo de sorção de fosfatos em goethitas e ferricretes, a fim de explicar o fenômeno da baixa disponibilidade de Fe em solos oxidicos (Torrent, 1992). Observamos ainda entre os artigos destacados, temos uma revisão sobre os diferentes tipos de solo e seu potencial de armazenamento de carbono, levando em conta o uso e as condições climáticas onde se desenvolveram (Kögel-Knabner et al., 2021). Os demais, estão relacionados diretamente com uso agrícola e manejo do solo.

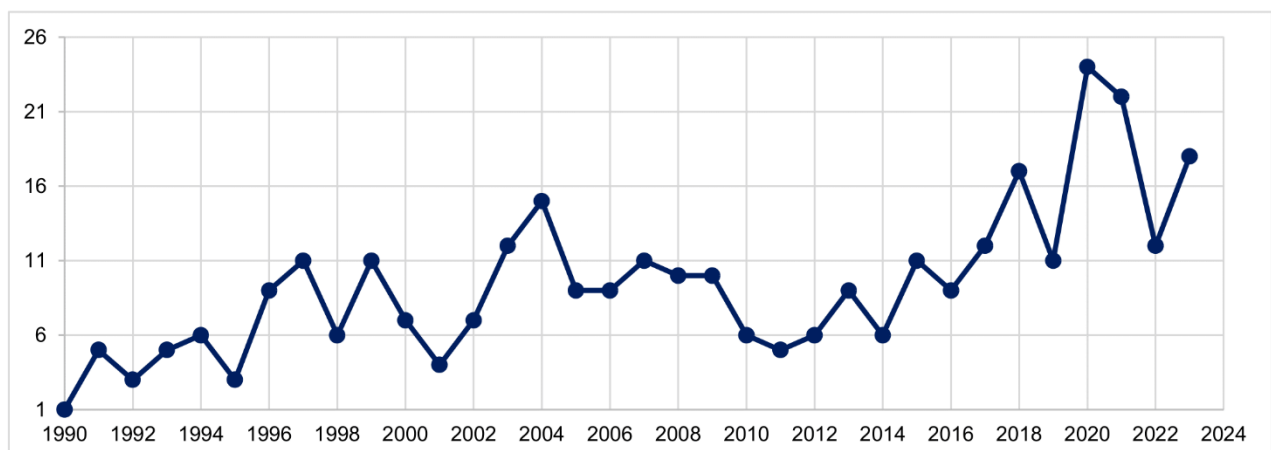


Figura 2. Número de publicações por ano no mundo, conforme a base de dados do WoS.

Marques et al. (2004) apresenta como as atividades antrópicas têm provocado erosão nesses ambientes e solos, através de uma compreensão completa da geoquímica dos oligoelementos. Além disso, o trabalho indica a presença de minerais facilmente intemperizáveis, a atividade biológica e

o fluxo iônico lateral seguido de alta evapotranspiração, como principais responsáveis pelo elevado teor de bases trocáveis nos Plintossolos, que ocupam aproximadamente 3% de todo Cerrado (Marques et al., 2004).

Tabela 1. Trabalhos mais citados em pesquisas que envolvem Plintossolos no Mundo, segundo o WoS.

Nº	Trabalhos (autor, título, periódico, ano)	Nº de citação <sup>1</sup>	Nº de citação <sup>2</sup>	FI	DOC	Área de Conhecimento
1	Muttoni, G. et al. Opening of the Neo-Tethys Ocean and the Pangea B to Pangea A transformation during the Permian. <i>GeoArabia</i> , 2009.	265	272	1,25	Artigo	Geology
2	Torrent, J. et al. Fast and slow phosphate sorption by goethite-rich natural materials. <i>Clays and Clay Minerals</i> , 1992.	144	153	0,5	Artigo	Geology Mineralogy Agriculture
3	Pain, C.F. et al. Inversion of relief — a component of landscape evolution. <i>Geomorphology</i> , 1995.	95	98	1,07	Artigo	Geography Geology
4	Munk, L. et al. Sorption of trace metals to an aluminum precipitate in a stream receiving acid rock-drainage; Snake River, Summit County, Colorado. <i>Applied Geochemistry</i> , 2002.	90	93	0,95	Artigo	Geochemistry & Geophysics
5	Gleeson, S. A. et al. The mineralogy and geochemistry of the Cerro Matoso SA Ni laterite deposit, Montelibano, Colombia. <i>Economic Geology</i> , 2004.	83	89	1,64	Artigo	Geochemistry & Geophysics Mineralogy
6	Marques, J. J. et al. Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. <i>Geoderma</i> , 2004	78	86	1,55	Artigo	Agriculture
7	Kögel-Knabner, I et al. Soil organic matter in major pedogenic soil groups. <i>Geoderma</i> , 2021.	74	77	1,55	Artigo	Agriculture
8	Beauvais, A. Geochemical balance of lateritization processes and climatic signatures in weathering profiles overlain by ferricretes in Central Africa. <i>Geochimica et cosmochimica acta</i> , 1999.	74	76	1,52	Artigo	Geochemistry & Geophysics
9	Moraes, J. M. et al. Water storage and runoff processes in plinthic soils under forest and pasture in Eastern Amazonia. <i>Hidrological Processes</i> , 2006.	73	76	0,73	Artigo	Water Resources
10	Oikeh, S.O. et al. Growth and distribution of maize roots under nitrogen fertilization in plinthite soil, Field crop Research 1999.	10	79	1,97	Artigo	Agriculture

<sup>1</sup> WoS; <sup>2</sup> Scopus, Dimensions e Lens; FI – Fator de Impacto (JCR); DOC – Tipo de Documento

Paim et al. (1995) apresentam a influência da presença de ferricretes na evolução do relevo, evidenciando como ocorreria a inversão de relevo devido à resistência desses materiais. Essa abordagem também é discutida em outro artigo de revisão que destaca o papel das acumulações endurecidas de Ferro (Fe), Alumínio (Al), e Sílica (Si) como agentes responsáveis por controlar o relevo local, influenciando em sua esculturação e forma, destacando a inversão de relevo nas paisagens africanas (Guillocheau et al., 2018) e australianas (Twidale & Bourne, 1998).

Dentre os trabalhos destacados, a maioria trata de pesquisas realizadas na chamada zona de rubefação, que coincide com a área intertropical de formação de laterita. Tardy (1993) e Schellmann

(1981) indicam que a área de ocorrência de lateritas está associada a climas quentes e úmidos. Embora estes materiais estejam concentrados nas áreas tropicais, pesquisadores de todo mundo têm se dedicado a estudar essas feições. A Figura 3 exibe o mapa das conexões de pesquisa entre países, demonstrando uma interação entre pesquisadores de diversas nações. Destaca-se uma concentração significativa nos países França, Austrália, Brasil e Estados Unidos, localizados no centro da figura e representados por círculos maiores. Entre os idiomas empregados, o inglês lidera com 309 publicações, seguido pelo português com 18 artigos publicados, enquanto o francês e o espanhol contam com pouco mais de 6 publicações.

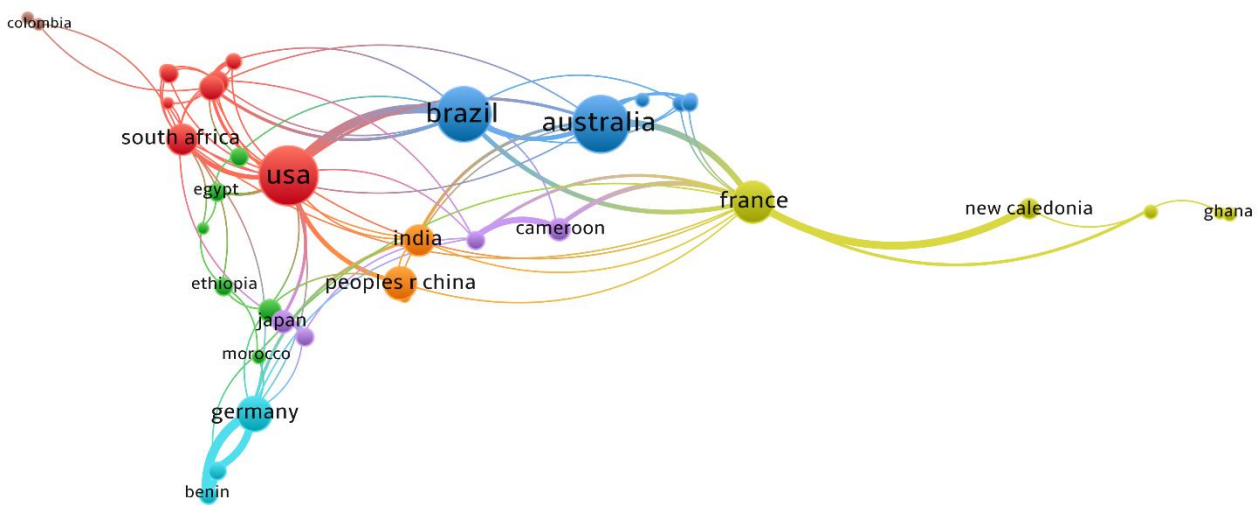


Figura 3. Conexões em rede das publicações entre 1990 e 2023, de acordo com a base do WoS.

Os cinco institutos de pesquisa e ensino que mais se destacaram foram o Institut de Recherche Pour Le Développement (IRD) e Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) ambos na França; Commonwealth Scientific Industrial Research Organisations (CSIRO), Udice French Research Universities e Australian National University, na Austrália. A Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) aparece posteriormente, assim como a Universidade de São Paulo (USP). Portanto, se destacaram institutos australianos, franceses, brasileiros e norte-americanos (Tabela 2).

Entre os periódicos com maior número de publicações, destacam-se: Catena, com 24 artigos; Geoderma e Revista Brasileira de Ciência do Solo, ambos com 17 artigos cada; Australian Journal of Earth Sciences, com 12 artigos; e Geomorphology, com 10 artigos (conforme apresentado na Tabela 3).

As áreas de pesquisa que mais publicaram foram Geociências e Ciência do Solo com mais de 100 publicações cada. Seguidas das áreas sobre água, Ciências Ambientais, Geologia, Geografia Física, Geoquímica, Agronomia e Ciências das Plantas (Tabela 4). As Ciências Multidisciplinares geralmente abrangem uma diversidade de áreas que tem por objetivo estudar assuntos complexos.

Dentro da Ciência do Solo, as temáticas estão intimamente relacionadas com perfis de solo, cuja gênese está diretamente ligada aos processos geológicos, geomorfológicos e geoquímicos que envolvem a relação solo-paisagem. Desta forma, era de se esperar essa ampla abrangência do tema. Essa constatação é evidente, considerando que o tema é bastante discutido em diversas áreas do conhecimento, considerado complexo, sobretudo por não apresentar coerência nas terminologias utilizadas, desta forma, as publicações ficam dispersas.

Tabela 2. Relação das instituições de pesquisa dentro da temática dos Plintossolos, segundo o WoS.

<b>Instituição (s)</b>	<b>Nº de publicações</b>
Institut de Recherche Pour Le Développement Ird	17
Centre National de La Recherche Scientifique	14
Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation	13
Udice French Research Universities	13
Universidade de São Paulo	12
Embrapa	12
Australian National University	12
University of Adelaide	12
University of Western Australia	11
United States Department of Agriculture	8

Tabela 3. Relação dos periódicos dentro da temática dos Plintossolos, segundo o WoS.

<b>Revista (s)</b>	<b>Nº de publicações</b>
Catena	24
Geoderma	17
Revista Brasileira de Ciência do Solo	17
Australian Journal of Earth Sciences	12
Geomorphology	10
Journal of African Earth Sciences	9
Soil Science Society of America Journal	7
Sedimentary Geology	6
Zeitschrift für Geomorphologie	6
Applied geochemistry	5

Tabela 4. Relação das áreas de conhecimento dentro da temática dos Plintossolos, segundo o WoS.

<b>Tema (s)</b>	<b>Nº de publicações</b>
Geosciences Multidisciplinary	119
Soil Science	104
Water Resources	31
Geography Physical	30
Geochemistry Geophysics	29
Environmental Sciences	25
Geology	22
Agronomy	19
Plant Sciences	19
Multidisciplinary Sciences	15

### ***Plintossolos no Brasil***

Com base na análise bibliométrica realizada no contexto brasileiro, a Figura 4 evidencia os estados onde as pesquisas sobre o tema foram conduzidas, apontando que as regiões Nordeste e Sul foram as que registraram menor quantidade de estudos. Dentre 55 publicações analisadas, Minas Gerais se estabelece como o estado com maior número de estudos sobre os Plintossolos, seguida por Goiás, Pará e Distrito Federal.

No Brasil, as pesquisas relacionadas à agricultura se destacam, ressaltando a intensa

pressão de uso desses solos no setor agrícola do país (conforme apresentado na Tabela 5). Dentre os 10 artigos mais citados, se destacam as publicações que estudaram a região Amazônica, com 6 trabalhos. Esses artigos trazem uma abordagem voltada para uso e manejo, mas principalmente conservação dos solos. São estudos de caracterização química e mineralógica em pedossequências (Davies, 1997; Seyler et al., 2003; Lima et al., 2006; Garcia et al., 2013; Guedes et al., 2015; Rocha et al., 2023).

Moraes et al. (2006) estudaram como o efeito da mudança do uso do solo (Floresta-Pastagem) afeta a porosidade e a condutividade

hidráulica dos Latossolos e Plintossolos Háplicos/Argilúvico, presentes em duas bacias hidrográficas. Outros trabalhos abordam a toxicologia dos elementos traços contidos na plintita, caracterização da mineralogia, gênese e

geoquímica do ferro (Lima et al., 2006; Benedetti et al., 2011; Quesada et al., 2020). Também está presente um estudo de revisão que examina a contaminação do solo e da água na região amazônica (Davies, 1997).

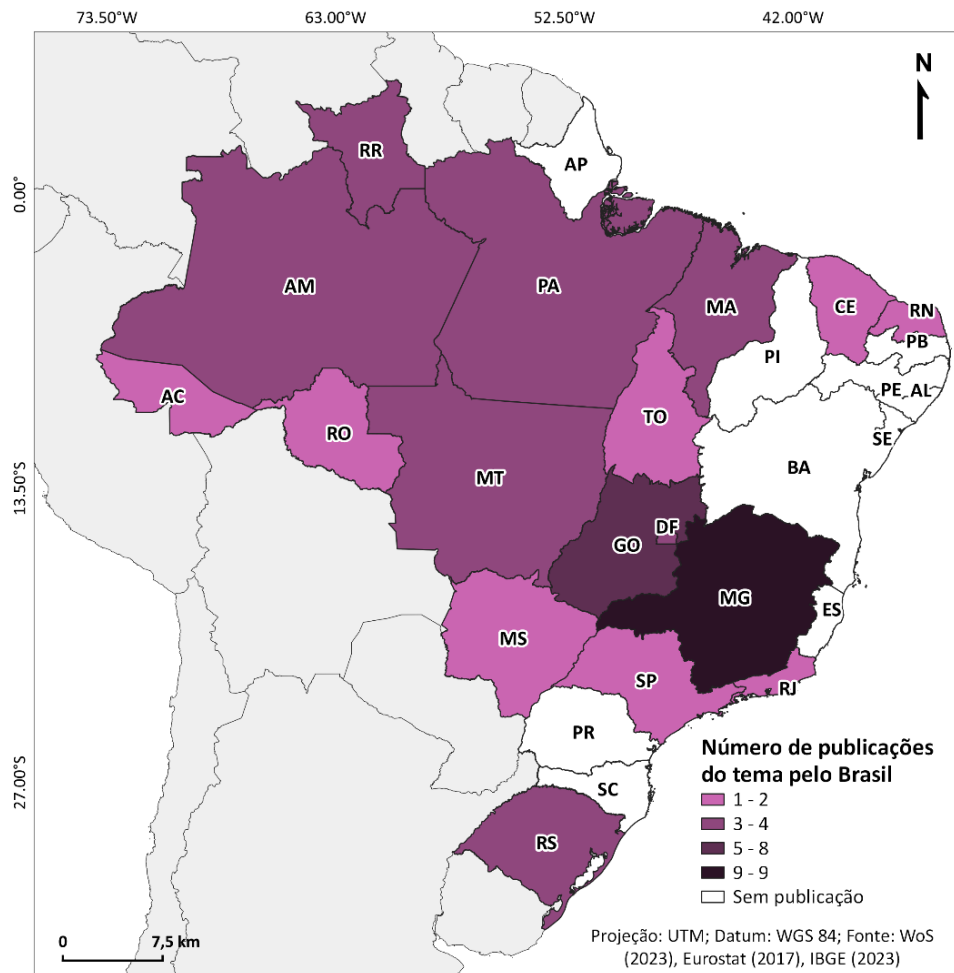


Figura 4. Distribuição das publicações sobre o tema no Brasil entre 1990 e 2023, de acordo com a base do WoS.

Observa-se que, na maioria dos casos, os estudos de caracterização desses solos não concentram sua atenção nos Plintossolos especificamente, mas os consideram dentro do contexto mais amplo das relações entre solo e paisagem. Este é o caso dos ambientes amazônicos que são alvo de estudos ambientais, permitindo que os Plintossolos sejam objeto de estudo de muitos pesquisadores. No entanto, o desconhecimento sobre o comportamento e gênese destes solos também pode ser um fator que tem contribuído para que seja apenas citado nos trabalhos, sem um verdadeiro aprofundamento no seu entendimento.

Além da Amazônia, três artigos foram conduzidos no bioma Cerrado, que engloba a região Centro-Oeste e parte da região Sudeste do Brasil. Minas Gerais se destaca com trabalhos

sobre a gênese e formação das ferricretes de origem autóctones e alóctones (Spier et al., 2019), evolução geomórfica da paisagem, destaque nos processos de ferralitização (Muggler & Burman, 2000), e os impactos da ocupação do cerrado tendo como consequência a erosão em três superfícies geomorfológicas (Marques et al., 2004). Este artigo ocupa a sexta posição entre os mais citados globalmente e já foi destacado em outro tópico.

Ao contrário do que foi notado na região amazônica, as pesquisas realizadas no Estado de Minas Gerais abrangem uma variedade de temas, incluindo agricultura, geologia, geoquímica e mineralogia. Enquanto isso, na região amazônica, o foco está na caracterização do solo, muitas vezes com ênfase em questões ambientais relacionadas ao uso da terra. Além de um trabalho sobre a

formação e evolução de Plintossolos em pedossequência no estado do Maranhão (Dos Anjos et al., 1995).

A maioria das publicações brasileiras está centrada na área da Agricultura, totalizando 39 artigos, seguida pelas áreas de Geologia e Recursos Hídricos (Tabela 6). A Geologia apresenta algum

destaque porque muitos geólogos entendem que os Plintossolos são produto da degradação de materiais endurecidos de ferro, denominados de couraças, resultantes do processo de laterização no nível de alteração da rocha, e, portanto, acabam sendo de interesse desse grupo de pesquisadores.

Tabela 5. Trabalhos mais citados em pesquisas que envolvem Plintossolos no Brasil, segundo o WoS.

Nº	Trabalhos (autor, título, periódico, ano)	Nº de citação <sup>1</sup>	Nº de citação <sup>2</sup>	FI	DOC	Área de Conhecimento
1	Marques, J. J. et al. Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. <i>Geoderma</i> , 2004	78	86	1,55	Artigo	Agriculture
2	De Moraes, J. M. et al. Water storage and runoff processes in plinthic soils under forest and pasture in Eastern Amazonia. <i>Hydrological Processes</i> , 2006.	73	76	0,73	Artigo	Water Resources
3	Lima, H. N. et al. Mineralogy and chemistry of three soils along a topossequence from the upper Solimoes Basin, western Amazonia. <i>Revista Brasileira de Ciência do Solo</i> , 2006	35	41	0,32	Artigo	Agricultura
4	Dos Anjos, L. H. C. et al. Formation of Soils with Plinthite on A Toposequence in Maranhão State, Brazil. <i>Geoderma</i> , 1995	35	37	1,55	Artigo	Agriculture
5	Benedetti, U.G. et al. Genesis, Chemistry and Mineralogy of soils derived from Plio-Pleistocene Sediments and from Volcanic Rocks in Roraima - North Amazonia	32	37	0,32	Artigo	Agriculture
6	Davies, B. E. Deficiencies and toxicities of trace elements and micronutrients in tropical soils: Limitations of knowledge and future research needs. <i>Environmental Toxicology and Chemistry</i> , 1997.	29	31	0,78	Artigo de Revisão	Environmental Sciences & Ecology Toxicology
7	Fritsch, E. et al., From Plinthic Acrisols to Plinthosols and Gleysols: iron and groundwater dynamics in the tertiary sediments of the upper Amazon basin, <i>European Journal of Soil Science</i> , 2007	28	30	0,84	Artigo	Agriculture
8	Muggler, C. C. Burman, P. Erosion, sedimentation and pedogenesis in a polygenetic oxisol sequence in Minas Gerais, Brazil. <i>Catena</i> , 2000.	28	29	1,56	Artigo	Geology, Agricultur, Water Resources
9	Quesada, C. A. et al. Variations in soil chemical and physical properties explain basin-wide Amazon Forest soil carbon concentrations. <i>Soil</i> , 2020.	26	26	1,34	Artigo	Agriculture
10	Oikeh, S.O. et al. Growth and distribution of maize roots under nitrogen fertilization in plinthite soil, <i>Field crop Research</i> 1999.	19	19	1,54	Artigo	Geochemistry & Geophysics Mineralogy

<sup>1</sup>WoS; <sup>2</sup>Scopus, *Dimensions e Lens*; FI – Fator de Impacto (JCR); DOC – Tipo de Documento.

Tabela 6. Grande área e as categorias de publicação dentro da temática dos Plintossolos, segundo o WoS.

Área do conhecimento	Categorias	Nº de publicações	Nº total de publicações
Agriculture	Soil Sciences: Geosciences	31	39
	Multidisciplinary:	8	
Geology	Water Resources: Agriculture	6	11
	Multidisciplinary:	5	
Water Resources	Agronomy: Geochemistry	4	8
	Geophysics:	4	
Geochemistry	Plant Sciences: Biodiversity	4	6
	Geophysics	Conservation:	
Plant Sciences	Environmental Sciences: Forestry:	2	4
		2	

Além disso, as explorações do minério de ferro em algumas jazidas no Brasil, principalmente no estado do Pará e Minas Gerais, compõem um cenário que justifica o interesse por estes materiais nestas regiões do país, em detrimento de outras.

Por outro lado, quando se analisa as categorias dentro da Web of Science, a Ciência do Solo aparece em 31 publicações, seguida da área de Geociências Multidisciplinares e Hidrologia. Nota-se que Agricultura Multidisciplinar e Agronomia encontram-se no quarto e quinto lugar, respectivamente. Essa sequência indica que os artigos publicados na categoria da Ciência do Solo

abordam aspectos voltados para a grande área da agricultura.

Ao observar o histórico das publicações, nota-se que as pesquisas tiveram início em 1993 e ganharam impulso a partir de 2015, com picos de publicação em 2016 e 2020, mantendo uma média de 4 artigos por ano. Destacam-se entre as revistas mais proeminentes a Revista Brasileira de Ciência do Solo (RBCS), com 17 artigos publicados, seguida pela Revista Catena com 5 publicações, e pôr fim a Revista Geoderma com 3 artigos (conforme demonstrado na Tabela 7).

Tabela 7. Revistas que mais publicaram na temática dos Plintossolos no Brasil, segundo o WoS.

Revista	Nº de publicações
Revista Brasileira de Ciência do Solo	17
Catena	5
Geoderma	3
Ciência Florestal	2
Ciência Rural	2
Geoderma Regional	2
Journal of South American Earth Sciences	2
Pesquisa Agropecuária Brasileira	2
Acta Botanica Brasilica	1
AgriEngineering	1

Dentre os artigos publicados na RBCS, podemos citar Gomes et al. (2007), que ao estudar os Plintossolos Pétricos e Cambissolos Háplicos do leste de Goiás constataram que a ocorrência de petroplintita nas bordas das chapadas atuam como estabilizadores da paisagem por limitarem a erosão, e ainda contribuírem para aumentar o teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> destes solos. Todavia, a redução da drenagem lateral promove

pedoambientes mais úmidos, dissolução de hematita e formação preferencial de goethitas no sistema (processo de xantização), resultando em cores amareladas nos solos associados.

No estudo de Moreira e Oliveira (2008), foram investigados Plintossolos Pétricos concrecionários em Goiás. Os autores concluíram que a origem desses solos é parcialmente autóctone, resultante da alteração do metatonalito

in situ, com contribuições de material coluvial externo, incluindo material petroplíntico e outros sedimentos, na porção superior. A origem deste material foi atribuída à desagregação de sedimentos relacionados à antiga superfície de aplainamento Sul Americana.

Entre os 10 autores que mais publicaram sobre essa temática, destacam-se Curi, Oliveira, Pereira, Schaefer e Vidal-Torrado, cada um com 4 publicações. A ordem apresentada segue apenas a ordem alfabética, visto que todos possuem o mesmo número de artigos publicados (Tabela 8).

Tabela 8. Autores que mais publicaram na temática dos Plintossolos no Brasil, conforme o WoS.

<b>Autores</b>	<b>Nº de publicações</b>
Curi, N.	4
Oliveira, V.A.	4
Pereira, M.G.	4
Vidal-Torrado, P.	4
Schaefer, C.E.G.R.	4
Vale, J.F.	3
Ker, J.C.	3
Pedron, F.D.	3
Santos, G.G.	3
Schulze, D.G.	3

Das pesquisas conduzidas por Oliveira, merece destaque a investigação de três artigos publicados com colaboradores. Esses estudos abordaram a dinâmica e características do processo de endurecimento das plintitas e petroplintitas, formadas nas várzeas do rio Araguaia, além da avaliação da estabilidade, resistência desses materiais e a reversibilidade desse fenômeno (Martins et al., 2018a; 2018b; Santos et al., 2022). Através de análises e ensaios laboratoriais, puderam concluir que as petroplintitas apresentam grau de endurecimento, estabilidade e resistência superior às plintitas, e demonstraram que a reversibilidade do processo nas condições ambientais da região sobre o período avaliado é praticamente nula.

Com base nos resultados da análise bibliométrica, as conexões e intercâmbios de pesquisas no Brasil com outros países ocorrem principalmente com os Estados Unidos e a Austrália. Esse dado sugere que a internacionalização das pesquisas relacionadas aos Plintossolos ainda é bastante limitada. Levando em conta que diversos países situados em zonas intertropicais de clima quente e úmido também investigam essa temática, como muitos países africanos, é relevante observar que as petroplintitas são excelentes indicadores da evolução da paisagem. Elas fornecem informações sobre mudanças no nível de base, inversões de

relevo, paleoclimas, entre outros aspectos importantes.

Quanto aos centros de pesquisa, as conexões estão restritas principalmente às Universidades de Viçosa (UFV) e de São Paulo (USP). É importante ressaltar que atualmente estão em andamento trabalhos de pesquisa na Universidade Federal de Goiás, além de outras investigações envolvendo a Universidade de São Paulo (USP-ESALQ), Universidade Federal e Estadual do Tocantins (UFT e UNITINS) e Embrapa de Palmas, cujos resultados ainda não foram publicados.

Entre os autores, pode-se observar conexões entre Virlei Álvaro de Oliveira, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Marcos Gervásio Pereira, do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), e Glenio Guimarães Santos, da Universidade Federal de Goiás (UFG). Em contrapartida, entre os pesquisadores que não apresentam conexões, destacam-se Carlos Ernesto Schaefer, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), e Nilton Curi, da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Ao analisar todas as pesquisas conduzidas no Brasil, observa-se que aquelas realizadas na região Norte estão focadas em processos geoquímicos, geomorfologia, geologia, interações solo-paisagem e em estudos de conservação do solo e da vegetação, muitas vezes envolvendo

unidades de conservação. Notavelmente, metade dos artigos aborda os Plintossolos como tema principal.

Destaca-se o estado do Amazonas por seus estudos sobre a gênese dos Plintossolos por meio de análises que integram aspectos do solo e da paisagem (Fritsch et al., 2007; Garcia et al., 2013; Lima et al., 2006). Seguido de Roraima com estudos em unidades de conservação, relacionando solo-planta e relevo (Schaefer et al., 2019; Feitosa et al., 2016). Posteriormente, o estado do Pará se destaca com pesquisas focadas nas lateritas das minas de ferro (Henne et al., 2020; Angélica & Costa, 1993).

Os trabalhos desenvolvidos na região Centro-Oeste, em grande parte também têm os Plintossolos como o foco central da pesquisa. Estes trabalhos abordam temas voltados para caracterização química, física e mineralógica dos solos (Gomes et al., 2007), gênese e evolução (Moreira & Oliveira, 2008), dureza e estabilidade de plintitas e petroplintitas, bem como a compreensão do seu processo de endurecimento e reversibilidade (Martins et al., 2018). No entanto, além destes, há artigos em que os Plintossolos não são o objeto principal. Nestes os autores buscam compreender propriedades hidráulicas dos solos (Campos et al., 2010), potenciais de toxicidade (Campos et al., 2013), geoquímica e geomorfologia (Marques et al., 2004), recuperação de áreas e indicadores de qualidade (Lima et al., 2018; De Souza et al., 2019).

Em contraste, na região Sudeste, grande parte dos artigos não focam diretamente nos Plintossolos, colocando-os em segundo plano com temas que destacam a condutividade hidráulica, porosidade de ferricretes (Oliveira e Bacellar, 2023) e características mineralógicas e geoquímicas de petroplintitas (Spier e Rosière, 2019). As publicações concentram-se em pesquisas relacionadas a processos geoquímicos, gênese de petroplintitas e relações solo-paisagem. Além disso, há um foco significativo em estudos que abordam a gestão de áreas úmidas e a dinâmica hídrica. Nos trabalhos em que os Plintossolos são o foco principal, a gênese de perfis plínticos emerge como tema central (Coelho e Vidal-Torrado, 2003).

As regiões Nordeste e Sul apresentam o menor número de artigos, com 5 e 3, respectivamente. A maioria dos trabalhos nessas regiões concentra-se nos Plintossolos, especialmente em sua gênese, caracterização e classificação. Os trabalhos do Nordeste (Maranhão e Ceará), envolvem a influência do relevo na formação e evolução do solo, associado ao processo de plintização (Souza et al., 2016). Ainda, por meio de nova classificação, sugerem

adequação ou não ao SiBCS (Dos Anjos et al., 2007; Ferreira et al., 2015). Já os artigos do Sul (especificamente o Rio Grande do Sul) buscam caracterizar os materiais plínticos e petroplínticos por meio dos seus atributos químicos, físicos e mineralógicos (Miguel et al., 2013), assim como, compreender como as feições redoximórficas estão associadas a gênese e evolução destes materiais (Almeida & Santos, 2021).

### **Tendências**

Atualmente, verificamos que as investigações estão se tornando cada vez mais aprimoradas na caracterização e classificação de Plintossolos, plintitas e petroplintitas, cujas técnicas vêm apresentando inovações nas análises mineralógicas, químicas e físicas, e fundamentando-se na utilização de tecnologias avançadas, como espectroscopia e microscopia de alta resolução, proporcionando uma compreensão mais detalhada da formação, composição e estrutura desses solos (De Lucena et al., 2014; Gomes et al., 2007; Moreira & Oliveira, 2008; Nascimento et al., 2015; Miguel et al., 2013).

O uso e avanço de modelos dinâmicos estão direcionados para simular e compreender os processos de formação e distribuição dos Plintossolos, levando em conta as interações complexas entre fatores climáticos, geológicos e biológicos ao longo do tempo. A integração de dados climáticos históricos, análises geoquímicas e estudos microbiológicos podem contribuir para uma visão mais holística sobre a evolução desses solos (Novais et al., 2023). Esta abordagem holística considera uma avaliação dos impactos ambientais, abrangendo não apenas a erosão e degradação do solo (Nascimento et al., 2015), mas também investigando os efeitos sobre a qualidade da água, ciclos biogeoquímicos (Campos et al., 2013; Marques et al., 2004) e interações ecossistêmicas (Lima et al., 2018). Estudos mais abrangentes podem revelar consequências ambientais até então não consideradas, proporcionando subsídios para práticas de manejo mais eficientes.

Pesquisas inovadoras têm sido direcionadas às práticas de manejo sustentável específicas para Plintossolos, e solos com presença de plintitas e petroplintitas, visando otimizar a produção agrícola (Souza et al., 2019). Isso inclui o desenvolvimento de técnicas de conservação do solo adaptadas a esses ambientes, promovendo a produtividade agrícola enquanto se preserva a integridade do solo e minimiza os impactos ambientais. A integração de diversas tecnologias de monitoramento junto às pesquisas atuais é de suma importância, como sensoriamento remoto

avançado, geotecnologias e inteligência artificial, para estabelecer uma abordagem integrada ao estudo da distribuição espacial destes solos (Novais et al., 2023). A implementação de sistemas de monitoramento em tempo real pode fornecer dados precisos e atualizados, facilitando a gestão eficiente desses solos e a tomada de decisões sustentáveis.

Além disso, tendências temáticas proeminentes, abordando amplamente a importância ambiental das áreas úmidas tropicais na recarga de aquíferos e sua sensibilidade a mudanças ambientais (Furlan et al., 2021), bem como de ênfase na caracterização química e mineralógica de feições ferruginosas, fornecendo insights sobre processos pedogenéticos (Coelho & Vidal-Torrado, 2003). Estudos sobre a formação de petroplintitas e os processos de intemperismo, juntamente com pesquisas sobre a micromorfologia dos solos e a estrutura interna de petroplintitas, contribuem para uma compreensão mais profunda da dinâmica do solo e origem destes materiais (Zinn et al., 2015). A diversidade de solos ao longo de topossequências, a avaliação dos níveis naturais de elementos tóxicos em solos do bioma Cerrado e a investigação da condutividade hidráulica e porosidade de ferricretes evidenciam a amplitude de abordagens nos estudos dos Plintossolos (Pereira et al., 2022; Campos et al., 2003; Oliveira & Bacellar, 2023).

### Conclusões

Os estudos analisados revelaram diversas abordagens sobre Plintossolos, englobando sobretudo aspectos pedológicos, mineralógicos, geológicos, geoquímicos, micromorfológicos e hidráulicos. São poucos ou mesmo raros os trabalhos com foco nas relações entre Plintossolos e Paisagens, tal fato está relacionado a falta de consenso sobre as terminologias adotadas, e a necessidade de mais estudos para compreensão de sua gênese na paisagem.

A análise bibliométrica contribuiu para a compreensão da amplitude dessas pesquisas sobre Plintossolos em escala global, nas quais se destacam as investigações conduzidas no Brasil, onde se concentram em constituição, processos de plintização e uso, manejo e conservação e relações com a cobertura vegetal de áreas úmidas, sobretudo na região do Cerrado. Quando aparecem suas relações com as paisagens, frequentemente estas não constituem escopo da pesquisa, mas complemento.

Nesse sentido, os poucos trabalhos, quando feitos, frequentemente se referem à inversão do relevo, devido estes materiais se encontrarem na atualidade em posições mais elevadas nas

paisagens, sustentando superfícies cimeiras, dificultando sua dissecação erosiva. Isto sugere que sua formação não se deu na paisagem atual.

Como conclusão, foram identificadas duas principais lacunas nos estudos, que incluem a necessidade de uma abordagem interdisciplinar e integrada, além do avanço na compreensão das interações complexas entre os processos pedogenéticos, hidrológicos e geoquímicos, juntamente com a evolução das paisagens onde ocorrem os Plintossolos.

Nesse sentido, a gestão sustentável destes solos depende de pesquisas mais aprofundadas com este tipo de abordagem citada que leve em consideração não apenas atributos morfológicos e constitucionais visando sua classificação taxonômica, mas também a dinâmica dos processos que ocorrem ao longo do tempo e do espaço e que influenciam na formação e evolução dos Plintossolos na paisagem.

### Agradecimentos

Agradecimento à CAPES pela disponibilização do acesso à base Web of Science através do Portal de Periódicos Capes, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), a Fundação de Apoio à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pelas concessões das bolsas de pós-graduação e a Universidade Estadual do Tocantins.

### Referências

- Aleva, G.J.J. 1986. Classifications of laterites and their textures. Geological Survey of India Memoir, 120. v. 120, p.8-28.
- Alexander, L.T.; CADY, J.G. 1962. Genesis and hardening of laterite in soils. US Department of Agriculture.
- Almeida, J.A.; Santos, P.G. 2021. Epi and endosaturation affecting redoximorphic features and pedogenesis in subtropical soils with high textural contrast developed from sedimentary rocks. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, p. e0210044, <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210044>
- Angélica, R.S.; Costa, M.L. 1993. Geoquímica dos elementos terras raras em rochas lateríticas superficiais e solos do complexo Maicuru, Pará, Brasil. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 47, n. 1-3, p. 165-182, ISSN 0375-6742. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(93\)90064-S](https://doi.org/10.1016/0375-6742(93)90064-S)
- Anjos, L.H.C.; Franzmeier, D.P.; Schulze, D.G. 1995. Formation of soils with plinthite on a toposequence in Maranhão State, Brazil. *Geoderma*, v. 64, n. 3-4, p. 257-279, 1995. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)00022-3](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)00022-3)

- Anjos, L.H.C.D.; Pereira, M.G.; Pérez, D.V.; Ramos, D.P. 2007. Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1035-1044, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500020>
- Beauvais, A. 1999. Geochemical balance of lateritization processes and climatic signatures in weathering profiles overlain by ferricretes in Central Africa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 63, n. 23-24, p. 3939-3957, [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00173-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00173-8)
- Benedetti, U. G.; Vale Júnior, J. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Melo, V. F.; Uchôa, S. C. P. 2011. Genesis, chemistry and mineralogy of soils derived from Plio-Pleistocene sediments and from volcanic rocks in Roraima North Amazonia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 299-312, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200002>
- Campos, M. L.; Guilherme, L. R. G.; Marques, J.J.G.S.; Curi, N.; Araújo, A. S. A.; MIQUELLUTI, D. J.; LOPES, C.; Spiazzi, F. R. 2013. Teores de arsênio e cádmio em solos do bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 281-286, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100029>
- Carneiro, M.A.C.; Paulino, H.B.; Pacheco, L.P.; Laroca, J.V.D.S. 2019. Soil quality indicators after conversion of “murundu” fields into no-tillage cropping in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 54, p. e00374, <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00374>
- Coelho, M. R.; Vidal-Torrado, P. 2003. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru: I-química. *Revista brasileira de ciência do solo*, v. 27, p. 483-494, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300010>
- Coelho, M. R.; Vidal-Torrado, P. 2003. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru: II-mineralogia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 495-507, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000300011>
- Comission De Pédologie Et De Cartographie Des Sols (CPCS). 1967. *Classification des Sols Travaux, 1963-1967. Laboratoire de Géologie-Pédologie de l' I.N.S.A. de Grignon, France.*
- Davies, B.E. 1997. Deficiencies and toxicities of trace elements and micronutrients in tropical soils: limitations of knowledge and future research needs. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, v. 16, n. 1, p. 75-83, <https://doi.org/10.1002/etc.5620160108>
- D'Hoore, J., 1954. Essai de classification des zones d'accumulation des zones d'accumulation de sesquioxides libres sur de bases genetiques. *Sols Africains*, v.3, p. 66-80.
- Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2006. Brasília: Embrapa -SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 306p.
- Eze, P.N.; Udeigwe, T.K.; Meadows, M.E. 2014. Plinthite and its associated evolutionary forms in soils and landscapes: a review. *Pedosphere*, v. 24, n. 2, p. 153-166, [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60002-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60002-3)
- Feitosa, K.K.A.; Vale Júnior, J.F.D.; Schaefer, C.E.G.R.; Sousa, M.I.L.D.; Nascimento, P.P.R.R. 2016. Relações solo-vegetação em "ilhas" florestais e savanas adjacentes, no nordeste de Roraima. *Ciência Florestal*, v. 26, p. 135-146, <https://doi.org/10.5902/1980509821098>
- Ferreira, E.P.; Anjos, L.H.C.D.; Pereira, M.G.; Valladares, G.S.; Cipriano-Silva, R.; Azevedo, A.C. D. 2016. Genesis and classification of soils containing carbonate on the Apodi Plateau, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150036>
- Fritsch, E.; Herbillon, A.J.; Nascimento, N.R.; Grimaldi, M.; Melfi, A.J. 2007. From Plinthic Acrisols to Plinthosols and Gleysols: iron and groundwater dynamics in the tertiary sediments of the upper Amazon basin. *European Journal of Soil Science*, v. 58, n. 5, p. 989-1006, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00877.x>
- Furlan, L.M.; Rosolen, V.; Moreira, C.A.; Bueno, G.T.; Ferreira, M.E. 2021. The interactive pedological-hydrological processes and environmental sensitivity of a tropical isolated wetland in the Brazilian Cerrado. *SN Applied Sciences*, v. 3, n. 2, p. 144, <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04174-7>
- Garcia, C.H.P.; Lima, H.N.; Silva, F.W.R.; Neves Junior, A.F.; Teixeira, W.G.; Macedo, R.S. Tavares, S.G. 2013. Chemical properties and mineralogy of soils with plinthite and petroplinthite in Iranduba (AM), Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 936-946,

- <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000400011>
- Gleeson, S.A.; Herrington, R.J.; Durango, J.; Velásquez, C.A.; Koll, G. 2004. The mineralogy and geochemistry of the Cerro Matoso SA Ni laterite deposit, Montelíbano, Colombia. *Economic Geology*, v. 99, n. 6, p. 1197-1213, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.99.6.1197>
- Gomes, J.B.V.; Curi, N.; Schulze, D.G.; Marques, J.J.G.D.S.; Ker, J.C.; Motta, P.E.F.D. 2007. Mineralogia e micromorfologia de solos esqueléticos do bioma cerrado, no leste de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 875-886, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500005>
- Guedes, R.S.; Fernandes, A.R.; Souza, E.S.D.; Silva, J.R.R.E. 2015. Maximum phosphorus adsorption capacity adjusted to isotherm models in representative soils of eastern Amazon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 46, n. 20, p. 2615-2627, <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1089264>
- Guillocheau, F.; Simon, B.; Baby, G.; Bessin, P.; Robin, C.; Dauteuil, O. 2018. Planation surfaces as a record of mantle dynamics: the case example of Africa. *Gondwana Research*, v. 53, p. 82-98, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.05.015>
- Henne, A.; Craw, D.; Gagen, E.J.; Southam, G. 2020. Contribution of bacterially-induced oxidation of Fe-silicates in iron-rich ore to laterite formation, Salobo IOCG mine, Brazil. *Chemical Geology*, v. 539, p. 119499, <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119499>
- Kögel-Knabner, I.; Amelung, W. 2021. Soil organic matter in major pedogenic soil groups. *Geoderma*, v. 384, p. 114785, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114785>
- Lucena, I.C.; Amorim, R.S.S.; Lobo, F.D.A.; Baldoni, R.N.; Matos, D. M. D. S. 2014. Spatial heterogeneity of soils of the Cerrado-Pantanal ecotone. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, p. 673-682, <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000400005>
- Lima, E.M.; Curcio, G.R.; Bonnet, A.; Uhlmann, A.; Palma, V.H. 2018. Crescimento inicial de espécies arbóreas nativas em solos degradados e com presença de plintita no Bioma Cerrado, Brasília-DF. *Nativa*, v. 6, p. 787-794, <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i0.6210>
- Lima, H.N.; Mello, J.W.V.D.; Schaefer, C.E.G.; Ker, J.C.; Lima, A.M.N. 2006. Mineralogy and chemistry of three soils along a topossequence from the Upper Solimões Basin, western Amazonia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 59-68, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100007>
- Marques, J.J.; Schulze, D.G.; Curi, N.; Mertzman, S.A. 2004. Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, v. 119, n. 3-4, p. 179-195, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00260-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00260-X)
- Martins, A.P.B.; Santos, G.G.; Oliveira, V.Á.D.; Maranhão, D.D.C.; Collier, L.S. 2018. Reversibility of the hardening process of plinthite and petroplinthite in soils of the araguaia river floodplain under different treatments. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, p. e20170191, <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170191>
- Martins, A.P.B.; Santos, G.G.; Oliveira, V.Á.D.; Maranhão, D.D.C.; Collier, L.S. 2018. Hardening and stability of plinthic materials of the Araguaia River floodplain under different drying treatments. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, p. e0170190, <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170190>
- Miguel, P.; Dalmolin, R.S.D.; Pedron, F.D.A.; Fink, J.R.; Moura-Bueno, J.M. 2013. Caracterização de plintitas e petroplintitas em solos da Depressão Central do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v. 43, p. 999-1005, <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000065>
- Moreira, H.L.; Oliveira, V.Á. 2008. Evolução e gênese de um Plintossolo Pétrico concrecionário êutrico argissólico no município de Ouro Verde de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1683-1690, <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400033>
- Moraes, J.M.; Schuler, A.E.; Dunne, T.; Figueiredo, R.D.O.; Victoria, R.L. 2006. Water storage and runoff processes in plinthic soils under forest and pasture in Eastern Amazonia. *Hydrological Processes: An International Journal*, v. 20, n. 12, p. 2509-2526, <https://doi.org/10.1002/hyp.6213>
- Muggler, C.C.; Buurman, P. 2000. Erosion, sedimentation and pedogenesis in a polygenetic oxisol sequence in Minas Gerais, Brazil. *Catena*, v. 41, n. 1-3, p. 3-17, [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00103-X)
- Munk, L.; Faure, G.; Pride, D.E.; Bigham, J.M. 2002. Sorption of trace metals to an

- aluminum precipitate in a stream receiving acid rock-drainage; Snake River, Summit County, Colorado. *Applied Geochemistry*, v. 17, n. 4, p. 421-430, [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(01\)00098-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00098-1)
- Muttoni, G.; Gaetani, M.; Kent, D.V.; Sciunnach, D.; Angiolini, L.; Berra, F.; Zanchi, A. 2009. Opening of the Neo-Tethys Ocean and the Pangea B to Pangea A transformation during the Permian. *GeoArabia*, v. 14, n. 4, p. 17-48, <https://doi.org/10.2113/geoarabia140417>
- Nascimento, A.F.; Furquim, S.A.; Graham, R.C.; Beirigo, R.M.; Junior, J.C.O.; Couto, E.G.; Vidal-Torrado, P. 2015. Pedogenesis in a Pleistocene fluvial system of the Northern Pantanal—Brazil. *Geoderma*, v. 255, p. 58-72, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.04.025>
- Novais, J.J.; Poppiel, R.R.; Lacerda, M.P.; Oliveira, M.P.; Demattê, J.A. 2023. Spectral Mixture Modeling of an ASTER Bare Soil Synthetic Image Using a Representative Spectral Library to Map Soils in Central-Brazil. *AgriEngineering*, v. 5, n. 1, p. 156-172, <https://doi.org/10.3390/agriengineering5010011>
- Oliveira, N.C.M.; Bacellar, L.A.P. 2023. Hydrological behavior of distinct types of ferricretes (“cangas”) of the southeast region of the iron quadrangle, Minas Gerais, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 123, p. 104242, <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104242>
- Oikeh, S.O.; Kling, J.G.; Horst, W.J.; Chude, V.O.; Carsky, R.J. 1999. Growth and distribution of maize roots under nitrogen fertilization in plinthite soil. *Field crops research*, v. 62, n. 1, p. 1-13, [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00169-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00169-5)
- Pain, C.F.; Oilier, C.D. 1995. Inversion of relief— a component of landscape evolution. *Geomorphology*, v. 12, n. 2, p. 151-165, [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(94\)00084-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(94)00084-5)
- Pereira, M.G.; Silva, R.C.; Junior, C.R.P.; Oliveira, F.S.; Silva Neto, E.C.; Fontana, A.; Araújo Pedron, F. 2022. Soil genesis on the soft slopes of ancient coastal plains, southeastern Brazil. *Catena*, v. 210, p. 105894, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105894>
- Pupim, F.N.; Bierman, P.R.; Assine, M.L.; Rood, D.H.; Silva, A.; Merino, E.R. 2015. Erosion rates and landscape evolution of the lowlands of the Upper Paraguay river basin (Brazil) from cosmogenic <sup>10</sup>Be. *Geomorphology*, v. 234, p. 151-160, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.01.016>
- Quesada, C.A.; Paz, C.; Mendoza, E.O.; Phillips, O.L.; Saiz, G.; Lloyd, J. 2020. Variations in soil chemical and physical properties explain basin-wide Amazon Forest soil carbon concentrations. *Soil*, v. 6, n. 1, p. 53-88, <https://doi.org/10.5194/soil-6-53-2020>
- Rocha, F.I.; Conceição Jesus, E.; Teixeira, W.G.; Lumberras, J.F.; Clemente, E.P.; Motta, P.E.F.; Oliveira, A.P. 2023. Soil type determines the magnitude of soil fertility changes by forest-to-pasture conversion in Western Amazonia. *Science of the Total Environment*, v. 856, p. 158955, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158955>
- Santos, D.P.; Santos, G.G.; Oliveira, V.Á.; Silva, G.C.; Flores, R.A.; Azevedo, A.C.; PEREIRA, M.G. 2022. Probable causes of hardening of redoximorphic features in Plinthosols of the Araguaia River floodplain, Central region of Brazil. *Geoderma Regional*, v. 31, p. e00583, <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00583>
- SOUZA, E.D.D.; SILVA, C.R.M.D.; PINTO, F.A.;
- Schellmann, W. 1981. Considerations on the definition and classification of laterites. In: *Proceedings of the International Seminar on Lateritisation Processes*, Trivandrum, India, 1981. AA Balkema, p. 1-10.
- Schwarz, T. 1994. *Laterites: Concepts, Geology, Morphology and Chemistry*. Compilado por ALEVA, G.J.J. Aleva. Wageningen: ISRIC, 169 p. (Clay Minerals, v. 31, n. 3). ISBN: 90.6672.053.0. doi:10.1180/claymin.1996.031.3.15
- Seyler, P.T.; Pinelli, M.; Boaventura, G.R. 2003. A first quantitative estimate of trace metal fluxes from Amazon River and its main tributaries. In: *Journal de Physique IV (Proceedings)*. EDP sciences, p. 1213-1218. <https://doi.org/10.1051/jp4:20030519>
- Spier, C.A. ; Levett, A.; Rosière, C.A. 2019. Geochemistry of canga (ferricrete) and evolution of the weathering profile developed on itabirite and iron ore in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Mineralium Deposita*, v. 54, p. 983-1010, <https://doi.org/10.1007/s00126-018-0856-7>
- Souza, J.J.L.; Castro, F.E., Andrade, C.V.P.A.; Ker, J.C.; Perez Filho, A. 2023. Brazilian semiarid soils formed during the last glacial maximum. *Catena*, v. 223, p. 106899, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106899>

- Sys, C. 1968. Suggestions for the classification of tropical soils with lateritic materials in the American classification.
- Sys, A.C.; Van Wambeke, R.; Frankart, P.; Gilson, P.; Jongen, A.; Pecrot, J.-M.; Berce, M. J. 1967. La cartographie des sols au Congo: ses principes et ses méthodes. Publication INEAC, Série technique, N° 66. INEAC, Bruxelles.
- Tardy, Y. 1993. Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. Paris: Masson,
- Tardy, Y. 1992. Diversity and terminology of lateritic profiles. In: Developments in earth surface processes. Elsevier, p. 379-405.
- Torrent, J.; Schwertmann, U.; Barron, V. 1992. Fast and slow phosphate sorption by goethite-rich natural materials. Clays and clay minerals, v. 40, n. 1, p. 14-21, doi:10.1346/CCMN.1992.0400103
- Webster, R. 2004. Book Review: Alexandre, J. Les cuirasses latéritiques et autres formations ferrugineuses tropicales. Exemple du Haut Katanga. Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgium, 2002. 118 pp. Annales–Sciences Géologiques–Volume 107. ISSN 0368-489X.
- Widdowson, M. Laterite. 2009. In: Enciclopedia of Paleoclimatology na Ancient Environments. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Netherlands: Springer, p. 514-517.
- Zinn, Y.L.; Carducci, C.E.; Araujo, M.A. 2015. Internal structure of a vermicular ironstone as determined by x-ray computed tomography scanning. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p. 345-349, <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140423>.