



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS**  
**Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação Campus de Ciências Exatas e**  
**Tecnológicas**  
**Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do**  
**Cerrado**

**BELCHOLINA ELIAS DA SILVA**

**FERTILIZAÇÃO, MICROORGANISMOS E BIODIVERSIDADE: OS**  
**ESTUDOS EDÁFICOS NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DO**  
**CERRADO**

ANÁPOLIS –GO

2022

BELCHOLINA ELIAS DA SILVA

**FERTILIZAÇÃO, MICROORGANISMOS E BIODIVERSIDADE: OS  
ESTUDOS EDÁFICOS NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DO  
CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
*Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado, da  
Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título  
de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva

Coorientador: Prof. Dr. Jadson Belém de Moura

ANÁPOLIS –GO

2022

**BELCHOLINA ELIAS DA SILVA**

**FERTILIZAÇÃO, MICRORGANISMOS E BIODIVERSIDADE: OS  
ESTUDOS EDÁFICOS NO DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO DO CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado.

Aprovado (a): \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

Banca examinadora:

---

**Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva**  
Presidente da Banca  
Universidade Estadual de Goiás

---

**Carlos de Melo e Silva Neto**  
Membro Interno  
RENAC/UEG

---

**Maisa França Teixeira**  
Membro externo  
Faculdade Evangélica de Goianésia

---

**Giovanni de Araújo Boggione**  
Membro externo  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

---

**Murilo Mendonça Oliveira de Souza**  
Membro interno  
RENAC/UEG

ANÁPOLIS –GO

2022

“O sagrado da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio e as plantas, nutridas. “

*Ana Primavesi*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva, pelo incentivo e compreensão, pelo profissionalismo e competência demonstrados durante a orientação. Ter você como professor e orientador fez com que eu vencesse um grande obstáculo na minha vida de estudante por não ter tido, em toda a minha vida de estudante, um(a) professor(a) com a visão histórica que você me fez vislumbrar. Assim, me apaixonei pela história, e muito mais intensamente pela História Ambiental. Obrigada por cada sugestão durante nossas correções de rota.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Jadson Belém de Moura pelo conhecimento compartilhado, pelos insights sugeridos quando nossos pensamentos se encaixavam durante as conversas e pela parceria constante. Também pela forma criativa, jovial e dinâmica com que conduz seus projetos de pesquisa, inspirando os seus orientandos a darem e serem o melhor dentro daquilo ao qual se propõem.

Aos meus familiares, meus pais e meus filhos que, me inspiram a ser um ser humano cada vez melhor, reconhecendo minhas limitações e meu potencial e que, em muitos momentos, estiveram sozinhos para que eu me aprofundasse no conhecimento necessário para a conclusão desse projeto tão importante para qualquer profissional. Só vocês conhecem os desafios, os verdadeiros bastidores de tudo que enfrentei nesse percurso. E aos meus amigos que tiveram que despende de uma grande admiração pela minha pessoa para não me abandonarem e não retirarem o rótulo de amiga nessa longa e solitária jornada de pesquisadora.

Aos meus companheiros de pesquisa em capítulos específicos, a exemplificar o capítulo 4. A todos os docentes da Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis, que muito acrescentaram ao meu desenvolvimento no estudo técnico-ambiental.

Aos membros da banca durante a minha qualificação e banca avaliadora, que contribuíram relevantemente com o olhar experiente e pedagógico na elucidação de entendimentos técnicos e científicos que me escaparam aos olhos na redação do texto do projeto.

E, por fim, à Deus, que renovou minhas forças a cada etapa dos meus estudos, que me consolou durante os momentos de angústia e cansaço. À Ele toda honra e toda glória.

## RESUMO

O cerrado tem a sua denominação controversa desde o início da sua caracterização, tratada por alguns autores como Savana tropical, outros Sistema biogeográfico e outros como bioma, assim denominado também pelo Ministério do Meio Ambiente. O certo é que o Cerrado é um domínio fitogeográfico complexo, composto por fitofisionomia savânicas, campestres e florestais. Ocupando a região central do Brasil, esse bioma passou por extrema transformação nos últimos anos, ancorado por projetos governamentais como os Planos Nacionais de Desenvolvimento (PND), passa de terra inóspita, consideradas inférteis ou de baixa fertilidade pelo alto grau de alumínio no solo, e se transforma em região de muitos investimentos em pesquisa de solos com o destaque para a criação na década de 1970 da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária (EMBRAPA), como resultado dos investimentos a região dos solos Cerrados nas décadas de 1980 e 1990 passa a ser grande produtora de commodities e a maior estrela do agronegócio brasileiro. O objetivo dessa pesquisa é descrever os aspectos fitofisionômicos do Bioma Cerrado, discutindo sua posição como savana tropical e interligando-a com os temas: fertilização do solo e microrganismos com destaque para as micorrizas. O trabalho é composto por quatro capítulos: o primeiro capítulo traz uma descrição das características das fitofisionomias do Cerrado, descrição dos seus solos, ocupação da região, e o uso como savana tropical como espaço de avanço da fronteira agrícola no país; o segundo capítulo é uma cienciometria sobre fertilização do solo no cerrado e o seu uso agrícola, com informações que corroboram com histórico de pesquisas realizadas no bioma, como o aumento das pesquisas na década de 1980 e os temas mais relevantes. Outro resultado que o segundo capítulo traz, é sobre os periódicos onde essas pesquisas foram publicadas, destacando a maior quantidade proporcional de publicações, que foi o periódico Pesquisa Agropecuária Brasileira, que pertence a EMBRAPA. O terceiro capítulo refere-se a pesquisa bibliográfica sobre a história dos estudos relativos ao papel dos microrganismos na manutenção da qualidade do solo do Cerrado, com ênfase em Micorrizas e sua atuação facilitando a agregação das partículas do solo e na absorção de compostos como fósforo e Nitrogênio. O quarto capítulo aborda a Biologia do solo e a influência das comunidades fúngicas e bacterianas na recuperação de espaços que sofreram com fatores de estresse ambientais como a carência hídrica e incêndios florestais. O capítulo aborda ainda a influência de incêndios florestais e das variações sazonais sobre a dinâmica dos microrganismos totais em solo de cinco fitofisionomias de Cerrado.

**Palavras - chave:** Savana tropical; Cerrado; Agricultura; Micorrizas; Fertilização.

## ABSTRACT

The Cerrado has its controversial name since the beginning of its characterization, treated by some authors as tropical savannah, others Biogeographic system and others as a biome, so also named by the Ministry of the Environment. What is certain is that the Cerrado is a complex phytogeographic domain, composed of savanna, rural and forest phytophysiology. Occupying the central region of Brazil, this biome has undergone extreme transformation in recent years, anchored by government projects such as the National Development Plans (PND), passes from inhospitable land, considered infertile or of low fertility by the high degree of aluminum in the soil, and becomes a region of many investments in soil research with the emphasis on the creation in the 1970s of the Brazilian Agricultural Research Company (EMBRAPA), as a result of investments, the Cerrado soil region in the 1980s and 1990s became a major producer of commodities and the largest star of Brazilian agribusiness. The aim of this research is to describe the phytophysionomic aspects of the Cerrado Biome, discussing its position as a tropical savannah and linking it with soil fertilization themes and microorganisms with emphasis on mycorrhizas. The work consists of four chapters: the first chapter provides a description of the characteristics of the phytophysionomies of the Cerrado, description of its soils, occupation of the region, and the use as a tropical savannah as a space for the advancement of the agricultural frontier in the country; the second chapter is a scientometrics on soil fertilization in the Cerrado and its agricultural use, with information that corroborates the history of research conducted in the biome, such as the increase in research in the 1980s and the most relevant topics. Another result that the second chapter brings is about the journals where these studies were published, highlighting the largest proportional amount of publications, which was the journal *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, which belongs to EMBRAPA. The third chapter refers to the bibliographic research on the history of studies related to the role of microorganisms in the maintenance of soil quality of the Cerrado, with emphasis on Mycorrhizae and its action facilitating the aggregation of soil particles and the absorption of compounds such as phosphorus and nitrogen. The fourth chapter discusses soil biology and the influence of fungal and bacterial communities in the recovery of spaces that have suffered from environmental stress factors such as water deficiency and forest fires. The chapter also discusses the influence of forest fires and seasonal variations on the dynamics of total microorganisms in soil of five Cerrado phytophysionomies.

**Keywords:** Tropical savannah; Cerrado; Agriculture; Mycorrhizas, Fertilization

# Sumário

INTRODUÇÃO	8
<b>CAPÍTULO I - A HISTÓRIA E CARACTERIZAÇÃO DO CERRADO E O AVANÇO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA.</b>	<b>11</b>
1.1 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DO CERRADO	11
1.2 - CERRADO: HISTÓRICO SOBRE O TERMO, CONCEITOS E DEFINIÇÕES	13
1.3 - FITOFISIONOMIAS DO CERRADO	16
1.4 - SOLOS DO CERRADO	17
1.4.1 - ECOLOGIA DOS SOLOS E A OCUPAÇÃO DO CERRADO	21
A) ASPECTOS GERAIS E HISTÓRICOS	21
B) DE SOLOS "INFÉRTIS" AO GRANDE CENÁRIO DO AGRONEGÓCIO	26
<b>CAPÍTULO II - FERTILIZAÇÃO DOS SOLOS NO CERRADO: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA</b>	<b>29</b>
2 - INTRODUÇÃO	30
2.1 - METODOLOGIA	27
2.2 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
<b>CAPÍTULO III - MICRORGANISMOS E FERTILIZAÇÃO DO SOLO: PESQUISAS SOBRE FUNGOS MICORRIZAS NO CERRADO</b>	<b>42</b>
3 - INTRODUÇÃO	42
3.1 - BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO	45
3.2 - AS MICORRIZAS	47
3.3 - CLASSIFICAÇÃO DAS MICORRIZAS	48
3.4 - AS MICORRIZAS E A AGRICULTURA NO BRASIL	50
<b>CAPÍTULO IV - TOTAL MICROORGANISMS IN CERRADO SOIL UNDER THE INFLUENCE OF SEASONAL CHANGES</b>	<b>52</b>
4 - INTRODUCTION	53
4.1 - MATERIAL AND METHODS	54
4.2 - RESULTS AND DISCUSSION	56
4.3 - CONCLUSIONS	59
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>62</b>

## INTRODUÇÃO

Pesquisar sobre o Cerrado traz a oportunidade de retratar suas belezas, embora haja desafios que envolvem as investigações acerca desse bioma. A coleta de dados, seja sobre as espécies animais ou vegetais, deve levar em consideração as diferentes fitofisionomias e as mudanças climáticas, o que pode resultar em muitas variáveis a serem analisadas.

As etapas que norteiam esta pesquisa não seriam citadas também como um desafio se não fosse uma pandemia que não esperávamos e que em muito afetou a vida da humanidade. Em meados de março de 2020, após os primeiros encontros presenciais, fomos informados de que o curso seria paralisado até segunda ordem. Fato que ocorreu pouco tempo depois, determinando que as aulas ocorressem na modalidade a distância. A partir disso, as etapas, os temas, os locais e os personagens a serem citados nesta pesquisa científica precisaram ser reorganizados.

Pensando em todos esses fatores, antes de definir o objeto de estudo desta dissertação, reunimo-nos (professores, orientadores e mestrandos) para criar o melhor produto a ser deixado como legado no mundo acadêmico. Para esta pesquisa, em específico, foi necessária uma mudança de rota por mais de uma vez.

Inicialmente, a pesquisa de campo envolveria uma investigação para melhor compreensão de como se dava a relação mutualística entre as Orquídeas e os FMA (Fungos Micorrízicos Arbusculares). Em função disso, várias parcerias seriam feitas para transformar nossos questionamentos em dados científicos, uma vez que o intuito era compreender as trocas efetuadas entre ambos e como elas afetavam o desenvolvimento e a biodiversidade desses vegetais tão peculiares pela sua beleza e pelo poder de fixação em qualquer ambiente, desde que os fungos se fizessem presentes.

As pesquisas tiveram início e seguiram até julho de 2020. No entanto, devido à exploração ilegal, localizar orquídeas é um processo cheio de obstáculos, pois os lugares mais propícios a sua localização seriam os parques e se encontravam fechados. Além disso, os laboratórios de análise das faculdades, inclusive da Universidade Estadual de Goiás (UEG) e da Unievangélica de Goianésia, não poderiam participar de determinadas etapas dos estudos.

Entre agosto e setembro, após a exposição de todas as dificuldades, orientadores e orientandos optaram por mudanças na proposta de pesquisa recém-iniciada. O encantamento pela maneira como os FMA fazem simbiose com os vegetais não deixou de ser o foco do estudo. Então, por intermédio da parceria com o laboratório SEDMO (Solos, Ecologia e Dinâmica de Matéria Orgânica), vinculado à faculdade Evangélica de Goianésia, partimos para

a pesquisa de nativas do Cerrado e a relação destas com os fungos. Os vegetais a serem analisados seriam pequi, cajuzinho, buriti e orquídeas. Nesse projeto, o objetivo era avaliar a produtividade dessas nativas na presença dos FMA em cada uma das fitofisionomias que compõem o Cerrado.

A riqueza de espécies de frutos como caju, pequi e buriti e de flores como orquídeas no Cerrado torna-se objeto de interesse acadêmico, uma vez que, a partir disso, seria possível não somente desvendar os mistérios das relações entre fungos e plantas, mas também objetivo de ampliar as possibilidades de uso dessa interação para a agricultura. A escassez de estudos sobre os FMA no bioma e sua importância neste ecossistema torna fundamental a compreensão de como se deu a evolução dos vegetais com essa relação.

O efeito da micorriza arbuscular no crescimento das plantas vem sendo estudado pelos pesquisadores da Embrapa Cerrados desde 1977, gerando produtos como um substrato indicado para a utilização de mudas diversas, que é enriquecido com FMA selecionados e que, depois de inoculados, aumentam a capacidade da planta em absorver nutrientes do solo, principalmente o fósforo (Embrapa).

Os benefícios de inoculações com fungos com o objetivo de aumentar a produtividade também foi descrito por Muthukumar e Udaiyan (2000) e verificado a partir do estudo feito com bambus. Outro estudo demonstra que, dentro de uma variação de bambus, pode haver maior densidade de AMF do que em outra, embora não houvesse variação na taxa de colonização os fungos. Assim, os dados gerados servirão de base para os avanços nas pesquisas científicas (MOURA *et al.*, 2019). Analisando outros artigos, identificamos que é fundamental explorar as várias fitofisionomias do bioma Cerrado, a fim de melhor compreender o comportamento na dispersão das espécies de fungos.

Relatar a cronologia das investigações, o entendimento da evolução tecnológica e o legado deixado por especialistas é tão importante quanto analisar as relações mutualísticas entre os fungos e as plantas nativas do Cerrado.

As coletas de amostras de solo foram realizadas por parte do grupo que envolvia mestrandos e doutorandos da UEG e da Faculdade Evangélica e seriam matéria-prima de estudo de impacto na sobrevivência dessas espécies nativas colonizadas com os fungos. Os dados seriam analisados observando o aspecto das folhas, surgimento de flores e frutos em dois grupos: um com colonização expressiva e outro com privação parcial de fungos micorrízicos.

No entanto, vários fatores contribuíram para outra mudança de rota, já em 2021. Ainda pensando em taxa de sobrevivência e aumento de produtividade, envolvemos os FMA numa outra relação: fertilidade do solo do Cerrado e sua relação com os fungos micorrízicos.

Diante do exposto acima, esta dissertação divide-se 4 capítulos. O primeiro traz uma caracterização geral do Cerrado e uma discussão do ponto de vista histórico, abrangendo temas como conceitos, definições, ocupação do Cerrado e o uso dessa savana tropical como espaço de avanço da fronteira agrícola no país.

No segundo capítulo é apresentado um levantamento cienciométrico com a seguinte problemática: antes da década de 1970, o Cerrado era considerado como impróprio para a agricultura, por conta da baixa fertilidade do solo, da presença de muito alumínio, o que inviabilizava a produção de grãos e commodities. A partir da década de 1970, o bioma começa a ser estudado, e os estudos agrônômicos desenvolvidos por vários institutos, dentre eles a Embrapa, transformaram essa região em um grande celeiro agrícola. Buscamos responder quais foram as pesquisas científicas desenvolvidas sobre a fertilização do solo do Cerrado no período de 1975 a 1995.

Após a elaboração da discussão sobre o desenvolvimento dos solos Cerrados considerados inférteis ou de baixa fertilidade para um grande produtor de commodities, o terceiro capítulo veicula um levantamento bibliográfico sobre as pesquisas relacionadas ao papel dos micro-organismos na manutenção da qualidade do solo do Cerrado, com ênfase em Micorrizas e sua atuação, facilitando a agregação das partículas do solo e na absorção de compostos como fósforo e Nitrogênio.

Finalizando esta dissertação, o quarto capítulo traz uma abordagem sobre a biologia do solo e a influência das comunidades fúngicas e bacterianas na recuperação de espaços que sofreram com fatores de estresse ambiental, como a carência hídrica e os incêndios florestais, além de abordar a influência destes e das variações sazonais sobre a dinâmica dos microrganismos totais em solo de cinco fitofisionomias de Cerrado.

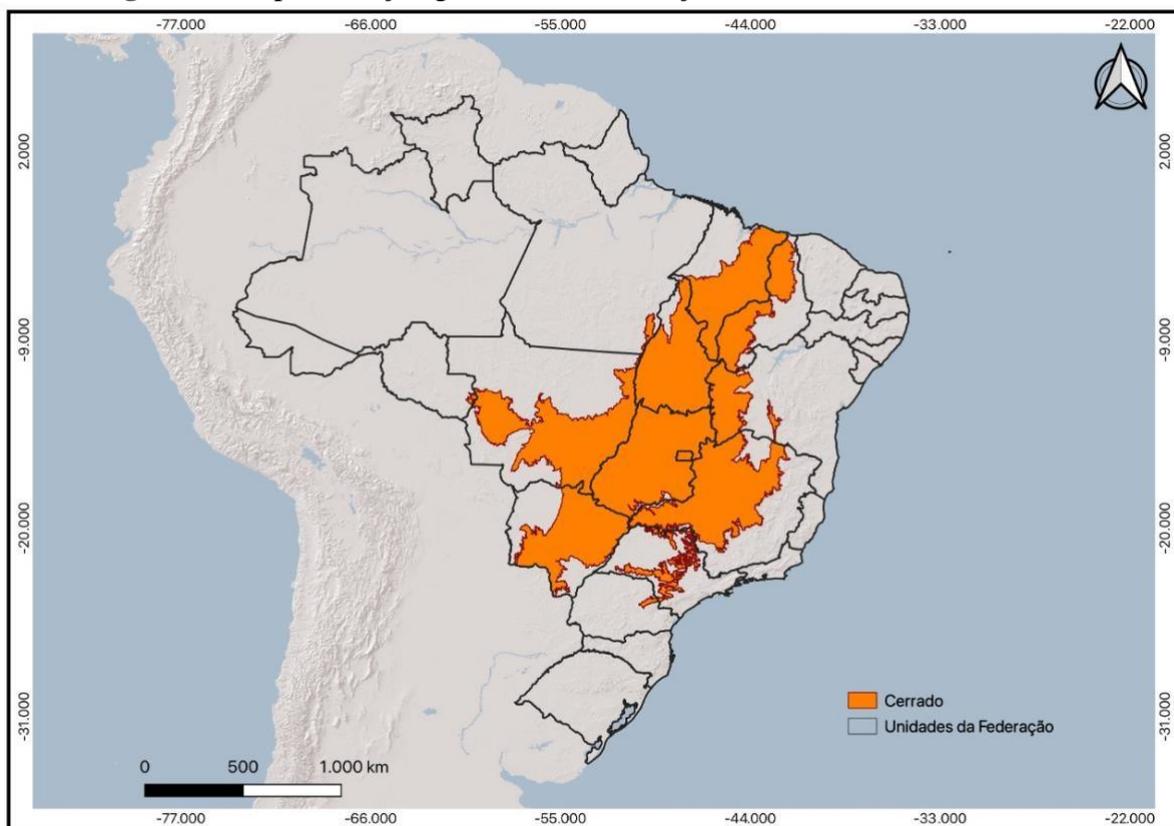
## **CAPÍTULO I - A HISTÓRIA E CARACTERIZAÇÃO DO CERRADO E O AVANÇO DA FRONTEIRA AGRÍCOLA.**

### **1 - Caracterização geral do Cerrado**

A savana entre os principais domínios fitogeográficos ou biomas do mundo, é considerada uma das mais controvertidas, em razão do alto número de definições que tem como base diversos conceitos. A literatura mundial traz uma diversidade de interpretações tornando o tema extremamente vasto, sendo o termo aplicado a todos os continentes mundiais, usando critérios e várias abordagens. As discussões conceituais em torno do termo savana não são de interesse somente acadêmico, mas tem implicação direta nas práticas relacionadas a conservação da vegetação (WALTER, 2006).

A segunda maior área de savanas e florestas abertas do mundo estão situadas nas regiões neotropicais (FURLEY, 1999). Esse tipo de vegetação ocupa regiões na América Central e Cuba, bem como grandes áreas que situam na América do Sul, separadas pela linha do equador (SOLBRIG, 1996 *apud* PINHEIRO 2006). No continente Sulamericano, o Brasil compreende o limite sul das savanas, sendo denominada pela flora do Cerrado, que ocupa a maior parte da região central brasileira contando com uma área total de 2.036.448 Km<sup>2</sup> (23,92% da área continental do Brasil), é a savana tropical mais rica do mundo em biodiversidade. Esse bioma, se estende pelos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal (SOUZA et al. 2021) (Figura 1).

**Figura 1** - Representação gráfica da distribuição do bioma Cerrado no Brasil



Fonte: Adaptado por Giovanni Boggione com base em Sano et al 2007

O Cerrado possui características da flora associadas a interações de fatores, dentre os quais pode ser citado os fatores climáticos, ligados a sazonalidade e precipitação; edáficos, como fatores físico-químicos, geomorfológico, pH ácido, concentração de alumínio, baixa fertilidade; e ainda fatores associados ao evento do fogo (EITEN 1990, COUTINHO 1978, RIBEIRO E WALTER, 1998).

Além das características supracitadas, o Cerrado ocupa uma posição de destaque devido a sua grande relevância ambiental recebendo reconhecimento de “berço das águas” em razão de deter as nascentes de seis das oito principais bacias hidrográficas do brasileiras e três das maiores da América do Sul, a citar, a bacia Araguaia-Tocantins, São Francisco, Parnaíba, Paraná-Paraguai, destacando que que a bacia do Rio Paraguai se une a do Paraná e formam a Bacia do Rio da Prata ou Bacia Platina ( LIMA; SILVA; KOIDE, 2007; LIMA E SILVA, 2008). É importante salientar ainda a extrema importância do cerrado na captação de águas provenientes das chuvas, que abastecem três importantes aquíferos, entre eles o Aquífero Guarani.

Em relação aos aspectos fisionômicos, o Cerrado se caracteriza por possuir fitofisionomias savânicas, florestais e campestres (RIBEIRO E WALTER, 2008; GAMARRA, 2021), que abrigam 1/3 da biodiversidade do Brasil (Aguiar et al., 2004). Outra característica importante são os solos deste bioma, constituído na sua maioria pelo tipo Latossolo (Reatto et al., 2008). Um dos papéis decisivos para a ocupação antrópica da região, foi a sua forma composta por extensas planícies e chapadões.

Nos últimos 50 anos a região denominada Cerrado, passou por uma intensa modificação tanto nos aspectos ambientais, como nos aspectos sociais e econômicos. Os Planos Nacionais de Desenvolvimento (PNDs) que iniciaram na década de 1970 e se expandiram até 1985, foram um dos grandes responsáveis pelas modificações ocorridas, esses planos pautavam como metas principais a organização do território do brasileiro, com embasamento em uma lógica geopolítica, e tinham como foco integrar rapidamente e de forma combinada os “vazios nacionais”, principalmente o Centro-Oeste e a Amazônia (FIGUEREDO, 2016).

As mudanças bruscas foram causadas por um intenso processo de ocupação humana, que ocorreu como resultado de intervenções dessas políticas, e dos avanços tecnológicos da agricultura. Essa soma foi o fator decisivo para transformar a savana brasileira em uma potência agrícola tal como é conhecida hoje (ROCHA, 2012). O processo de ocupação se intensificou em 1975 com a instalação da chamada *fronteira agrícola*. (CSR/IBAMA, 2009; SANO et al., 2008).

## **1.2 - Cerrado: histórico sobre o termo, conceitos e definições**

Desde a visita dos primeiros botânicos europeus que começaram a fazer a descrição da flora que dominava o planalto central do Brasil, a vegetação predominante dessa região tem recebido diversas denominações. Naquele período era conhecida popularmente como “Tabuleiros”, esse termo caiu em desuso na literatura botânica na segunda metade do século XIX, sendo substituído pela palavra “campo”. Essa região fitogeográfica brasileira passa a ser referida pelos autores como região dos campos ou região campestre, distinguindo as diversas formas como os campos limpos, os campos sujos e os campos cerrados (COUTINHO, 1978).

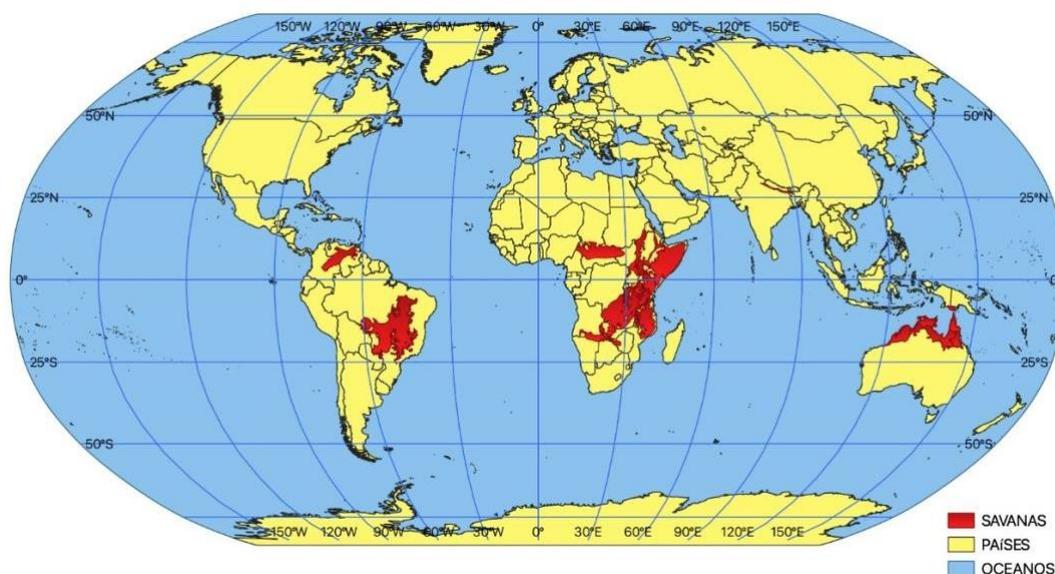
Outros autores como Schimper (1898) e Wettsteir (1970) utilizaram o termo “savana” em substituição ao termo campo. Diversos naturalistas entre eles Alexander Von Humbold

(1769-1859), abordavam o termo savana no sentido comum de campo ou estepe, para designar uma característica fitofisionômica de uma região desprovida de árvores. O botânico Grisebach (1872), pode ter sido o primeiro a utilizar o termo com o significado próximo ao que é conceituado no momento, ele menciona que “savanas diferem das estepes temperadas pela presença de vegetação arbórea”. O termo savana hoje designa “... formações vegetais muito diferentes...” (HUETZ-DE-LEMPS, 1970; BOURLIÈRE, 1983) e tem sido utilizado em vários sentidos (EITEN, 1968, 1972, 1982, 1986; RICHARDS, 1976, 1996; COLE, 1986; MISTRY, 2000, SANO, 2008). Segundo Mistry (2000), as definições de savana estão entre aquelas “climáticas” ou as “vegetacionais” (WALTER, 2006).

O termo savana é uma palavra de origem ameríndia, para o qual são registradas numerosas definições (RICHARDS, 1976, 1996; BOURLIÈRE e HADLEY, 1983; COLE, 1986; EITEN, 1986; COLLINSON, 1988; VELOSO, 1992, MISTRY, 2000; MARCHIORI, 2004; SANO, 2008). As definições de savana são agrupadas em duas escolas de pensamento, a escola Europeia que trata a savana como uma “formação tropical com domínio de gramíneas, contendo uma proporção maior ou menor de vegetação lenhosa aberta e árvores associadas” (COLLINSON, 1988), e a escola americana que adota a mesma definição em relação a fitofisionomia, porém o conceito é expandido para além das formações tropicais, “savanas são o tipo de vegetação mais comum nos trópicos e subtropicais”. Ainda que atualmente (no Brasil), o público leigo faça associação de savana a um domínio vegetacional do continente africano (e não do continente sulamericano) (SANO et al., 2008).

As savanas são um ecossistema muito dinâmico e heterogêneo, é encontrado em mais de 30 países, principalmente nos trópicos e subtropicais, ocupando uma área total de aproximadamente 20 milhões de km<sup>2</sup> (GOEDERT et al., 2008). Embora apresente heterogeneidade, as savanas possuem em comum a presença de uma camada contínua de vegetação herbácea e um dossel descontínuo de arbustos e árvores, e ainda um padrão de distribuição das chuvas, com uma estação chuvosa e outra seca (GOEDERT *et al.*, 2008). A grande parte das savanas estão situadas entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, sendo denominadas savanas tropicais (figura 2).

**Figura 2** - Distribuição das Savanas Tropicais no Globo Terrestre.



Fonte: Adaptado por Giovanni Boggione com base em Yong e Solbrig, 1993

Apresentando diversas composições fitofisionômicas, as savanas possuem nomenclaturas que tem variação de acordo com o país e continente de ocorrência: miombo na África Central e do Sul, savana na África Oeste/Leste e Austrália, llanos na Venezuela e cerrado no Brasil (COLE, 1986). Segundo Eiten (1972, 1977, 1978) o Bioma Cerrado não é como um todo savana, pois nele ocorrem florestas como, as Matas de Galeria, as Matas Secas e o Cerradão, porém é caracterizado primordialmente por uma típica vegetação de savana, ocupando de 80 % a 90% do Brasil Central. Sano *et al.* (2008) defende que, embora a proposta de Eiten seja sedutora, o Cerrado é uma savana. “Uma savana floristicamente rica.” A terminologia “cerrado” tem variados sentidos, como “fechado” ou “vegetação densa” por exemplo. Batalha (2011) definiu o cerrado em três sentidos, considerando os diversos significados em que a palavra pode ser utilizada:

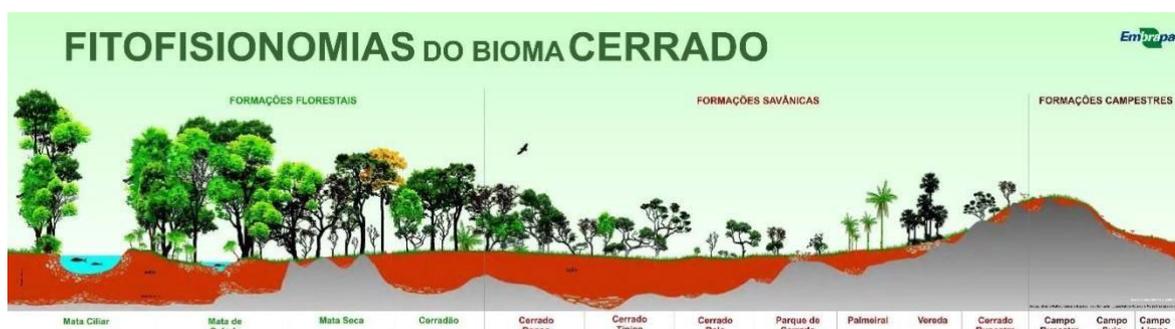
Assim, podemos usar a palavra “cerrado” em três sentidos: 1) Cerrado, com a inicial maiúscula, quando estivermos nos referindo ao domínio fitogeográfico do Cerrado, incluindo não só o cerrado *sensu lato*, mas também os outros tipos vegetacionais que ali se encontram; 2) cerrado *sensu lato* ou simplesmente cerrado, quando estivermos nos referindo ao cerrado enquanto tipo vegetacional, isto é, do campo limpo ao cerradão aqui há um complexo de biomas, bioma dos campos tropicais, das Savanas e das florestas estacionais; 3) cerrado *sensu stricto*, quando estivermos nos referindo a uma das fisionomias savânicas do cerrado *sensu lato*. É importante usarmos tais termos de forma precisa e acurada para que definamos aquilo que pretendemos estudar e para que conservemos esse complexo de biomas, com toda a biodiversidade que compõe o cerrado (BATALHA, 2011, p. 1-4).

Coutinho (2011), fala sobre a utilização do conceito Bioma, segundo autor o conceito no Brasil possui uma conotação florística o que seria um erro, pois o termo traz uma abordagem maior e mais complexa. O conceito de bioma para designar o cerrado *lato sensu*, alcançaria a formação de três biomas distintos, que seriam o campo tropical, a savana e a floresta estacional (DUTRA e SILVA & BARBOSA, 2020). Sendo assim Barbosa (2002), defende que a forma correta de conceituar o Cerrado seria como um “Sistema biogeográfico”. Entretanto de acordo com Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Cerrado se enquadra no conceito de bioma, por ser um “conjunto de vida constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças resultando em diversidade biológica própria”. (MMA, 2021, s/p)

### 1.3 - Fitofisionomias do Cerrado

São descritos 11 tipos principais fitofisionomias descritas para o bioma supracitado, enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre). Considerando também os subtipos neste sistema, são reconhecidas 25 fitofisionomias. A diferenciação dos tipos fitofisionômicos do Cerrado tem como base a estrutura, as formas dominantes de crescimento bem como as mudanças sazonais e ambientais, e ainda as alterações edáficas e a composição da vegetação (RIBEIRO & WALTER, 2008) (Figura 3).

**Figura 3** - fitofisionomia do bioma cerrado.



Fonte: Fitofisionomias do Bioma Cerrado. Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cerrados/colecaoentomologica/bioma-cerrado>. Acesso em 29 de julho de 2021.

Segundo Ribeiro e Walter (2008) a classificação das fitofisionomias do Cerrado é dividida em três formações paisagísticas. As Formações Florestais englobam formações com predominância de vegetação arbóreas que formam um dossel contínuo; as matas ciliares é um tipo de vegetação florestal

que acompanha rios de médio e grande porte no planalto central; as matas de galerias acompanham rios de pequeno porte e córregos no bioma Cerrado, esse tipo de mata forma corredores fechados como se fosse uma galeria mesmo sobre os cursos de água. As formações de Mata seca caracterizam as que não estão associadas aos cursos d'água, o Cerradão é incluído nesse tipo de formação. As formações savânicas característica principal do cerrado são descritas por Ribeiro e Walter (2008) como:

**Formações Savânicas:** As Formações Savânicas do Cerrado englobam quatro tipos fitofisionômicos principais: o Cerrado sentido restrito, o Parque de Cerrado, o Palmeiral e a Vereda. **Cerrado sentido restrito:** caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas. Os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes (Xilopódeos), que permite a rebrota após a queima ou corte. **Parque de Cerrado:** é uma formação savânica caracterizada pela presença de árvores agrupadas em pequenas elevações do terreno, algumas vezes imperceptíveis e outras com muito destaque, que são conhecidas como “murundus” ou “monchões”. **Palmeiral:** A formação savânica caracterizada pela presença única de espécie de palmeira arbórea é denominada de palmeiral. Nesta fitofisionomia praticamente não há destaque das árvores dicotiledôneas, embora elas possam ocorrer com frequência baixa (RIBEIRO; WALTER, 2008, p. 164180).

#### 1.4 - Solos do Cerrado

As rochas são apontadas como material de origem mais importante relacionado aos solos. A decomposição da rocha ocorre a partir de agentes intempéricos como clima, água e vento. Solos que se desenvolvem em rochas ricas em minerais ferromagnesianos como o basalto e diabásio normalmente são férteis, porém quando a rocha é um arenito ou um quartzito, de forma geral, esses solos apresentam baixa fertilidade que é consequência da pobreza de matérias que possuem origem em elementos químicos essenciais para os vegetais (LOBATO, 2016)

. Porém, a fertilidade do solo não depende somente da natureza da rocha que a originou. Em condições intempéricas intensas, os minerais que colaboram para a aumento da fertilidade do solo são eliminados. Em virtude disso, os solos podem ser divididos quanto grau de intemperismo, são considerados solos “jovens” (os menos intemperizados) e “velhos” (os mais intemperizados), como diferenças marcantes entre eles estão a profundidade e a fertilidade. Nos solos menos profundos não houve tempo para a ação do intemperismo na decomposição dos minerais primários, sendo assim tendem a ser mais ricos em nutrientes, são exemplos de solos jovens os Litólicos, Cambissolos e Terras roxas. A atividade intensa do intemperismo nos solos mais velhos, permitiu que os elementos como o cálcio e magnésio que são responsáveis pela fertilidade do solo, fossem facilmente removidos, resultando em solos com

baixa fertilidade. Sendo assim na ausência de insumos agrícolas como corretivos e fertilizantes, o solo jovem é mais adequado para a agricultura. Com a aplicação suficiente de insumos agrícolas o solo velho, se torna apropriado também para as culturas anuais (LOBATO,2016)

Acredita-se que a natureza tenha se encarregado das transformações sobre os solos da região mediterrânea do Brasil por cerca de 100 milhões de anos (LOBATO, 2016), de forma a intemperizá-los, e ter as características tais como conhecemos nos dias de hoje (DA MOTTA et al., 2002; FIGUEIREDO, 2016). Os solos do cerrado caracterizam-se pelo grau acentuado de intemperismo e acidez, o fato de possuir o relevo antigo traz a evidência de que seus solos foram trabalhando intensamente pelos agentes intempéricos. A lixiviação que é um dos processos intempéricos que ocorreu no cerrado em elevado grau, diminuiu a sua fertilidade ao longo tempo.

Outra consequência do intenso processo de intemperismo dos solos foi a perda de sílica, responsável pelo domínio dos óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio (hematita, goethita, gibbsita) de aluminossilicatos do tipo 1:1 (sílica:alumina) como a caulinita na fração argila desses solos (GOMES et al., 2004). O intemperismo ainda foi responsável pela perda de cátions de caráter básico (FAGERIA & GHEYI, 1999), destes alguns classificados como nutrientes vegetais (ARAÚJO et al., 2009).

Informações acumuladas de vários estudos realizados por pesquisadores, demonstram que os solos do Cerrado possuem limitações naturais para a agricultura como a alta acidez ativa, e elevada concentração de alumínio ( $Al^{3+}$ , tóxico às plantas) e os baixos teores de nutrientes como fósforo (P), potássio ( $K^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ) e magnésio ( $Mg^{2+}$ ) (GOMES, 2004).

O Cerrado é conhecido por ter solos naturalmente “inférteis”, porém esse bioma é detentor de grande biodiversidade (OLIVEIRA & MARQUIS, 2002; PENNINGTON & RATTER, 2006; BOAVENTURA, 2020). As áreas de cerrado são compostas por diversos tipos de rochas, as ricas em minerais ferromagnesianos (ferro e magnésio), basalto, gabro, granulitos ortoderivados. Os solos que se derivam de rochas básicas, em relevos planos e suave ondulados, são altamente intemperizados e possuem fertilidade naturalmente baixa, mas, mas com considerável riqueza em micronutrientes.

A classe de um solo é determinada com base no estudo de características morfológicas e físicas (estrutura, textura e cor), químicas (fertilidade, matéria orgânica e acidez), e ainda mudança abrupta de textura, variação no teor de matéria orgânica, porosidade e profundidade do solo. A classificação dos solos que é vigente no Brasil, vem de uma evolução de um sistema

antigo americano, formulado por Baldwin et al. (1938), alterada por Thorp e Smith (1949). A classificação foi nacionalizada baseada nos conceitos centrais do sistema americano, o sistema brasileiro atual de classificação, descende de modificações de critério, alterações de conceitos e criação de classes novas, as modificações iniciaram na década de 1950, com os primeiros levantamentos de estudos dos solos realizados pela então Comissão de solos do centro Nacional de Ensino e Pesquisas agronômicas (CNEPA). A classificação abaixo segue a as normas atuais de classificação dos solos (SANTOS, et al. 2018)

Os Solos do Cerrado são profundos, bem drenados, distróficos, ácidos, apresentando baixa fertilidade, e alta concentração de ferro e alumínio (ALHO e MARTINS, 1995). Prevalentemente classe de solo encontrado é a dos latossolos, representando aproximadamente de 48,66 % do bioma, são intemperizados, possuem de superfícies de topografia plana a suave ondulada, que denominadas “chapadas” (SANTOS, 2018). A sua morfologia apresenta solos minerais, não são hidromórficos, a coloração varia de vermelho escuro a amarelado. Um latossolo argiloso possui disponibilidade maior de água em comparação ao de textura média que tem comportamento que se assemelha ao dos solos arenosos.

Quimicamente a maior parte dos latossolos no Bioma Cerrado são ácidos com níveis de pH em torno de 4,0 a 5,3 (LOPES, 1984; ADÁMOLI ET AL., 1986). Os solos manejados de forma inadequada, pode apresentar a formação de sulcos e voçorocas (REATTO e SPERA, 1998). Sendo assim o solo desprotegido durante as chuvas pode carregar altas quantidades de partículas para regiões mais baixas e causar assoreamento em cursos d’água. Outro fator de desequilíbrio no ambiente é a monocultura (SANO, 2008). Outro fator de desequilíbrio no ambiente é a monocultura (SANO, 2008).

A classe Neossolo quartzarênico anteriormente denominada de Areia Quartzosa, é constituído por solos profundos, normalmente em relevo plano ou suave-ondulado. Ocupando cerca de 15% do Bioma Cerrado, a vegetação natural predominante é a de Cerrado e/ou de Campo Cerrado. São muito susceptíveis a erosão por possuir capacidade baixa agregação de partículas, devem ser preservados obrigatoriamente quando estão presentes em cabeceiras e adjacentes em mananciais.

O Neossolo litólico são rasos e associam-se a muitos afloramentos de rocha, ocorrem em locais muito acidentados, por serem muito rasos apresentam sérios problemas de penetração do sistema radicular, e alto risco de erosão (OLIVEIRA et al., 1992). corresponde a

aproximadamente 7,49% do Bioma Cerrado, as fitofisionomias típicas presentes nesses solos são Campo Limpo e Campo Rupestre. Esses solos são inaptos para agricultura, principalmente as que são mecanizadas o semimecanizadas devido a suas características.

A classe Argissolos que era antigamente classificada como Podzólicos, possui relevo ondulado e forte-ondulado, apresenta um alto teor de argila e solos minerais não hidromórficos, com coloração avermelhada e teores de óxidos ferro inferiores a 15%, nas regiões de Cerrado os tipos mais comuns de são o Argissolos Vermelho-Amarelo (PVA) e os Argissolos Vermelho (PV), quanto mais escuro o solo maior a quantidade de óxidos de ferro no PV. Em relação à capacidade de água disponível até 1,5 m de profundidade. No geral apresentam a fertilidade natural do solo variável, são encontrados em diversas fitofisionomias como Mata de Galeria, Mata Mesofítica, Cerradão, Cerrado Denso e Cerrado, estando essas fitofisionomias geralmente relacionadas ao caráter edáfico. Sérios problemas de erosão podem ser observados em Argissolos sem cobertura vegetal.

Os Nitossolos vermelhos ocorrem em aproximadamente 1,7 do Bioma Cerrado, possuem relevos ondulados e forte-ondulados, a vegetação normalmente é a Mata Seca Semidecídua. apresenta semelhança com os argissolos morfologicamente, sua cor varia de vermelha escura a arroxeada. Esses solos apresentam boa drenagem e disponibilidade de água em até 1,5 metros de profundidade, são buscados para exploração intensiva com agricultura e pecuária.

Os cambissolos estão presentes em aproximadamente 3,77% do Bioma Cerrado, estão associados a fitofisionomias do Cerrado e do Cerrado Ralo, possui relevo ondulado ou fortemente ondulados, superficialmente possui cor bruno-amarelada e subsuperficialmente vermelho-amarelada, observa-se ainda presença de cascalho em alguns perfis, possui baixa fertilidade, estes solos deveriam ser destinados a preservação permanente.

Os Plintossolos são hidromórficos, possui lento escoamento e são encontrados em áreas de alagamento temporário, presente em relevos planos e suave ondulados no Bioma Cerrado correspondem cerca de 9% ocorrem no Campo Limpo, Campo Sujo e Parque de Cerrado.

Gleissolo Háptico e Gleissolo Melânico são solos hidromórficos, geralmente presentes em depressão de paisagens onde pode ocorrer inundações, ou em áreas de várzea geralmente me terrenos planos onde há o acúmulo de água, podem ocorrer e m cabeceiras e ao longo de rios ou córregos são mal drenados. Compõe cerca de 1,61% do Bioma Cerrado, A vegetação

associada a esses solos hidromórficos são Campo Limpo Úmido (Campo de Várzea), Buritizal (Campo Higrófilo de Surgente) e Mata de Galeria, por serem sistemas que conservam as águas e que estão próximas a nascentes, é de extrema importância preservá-los para evitar o risco de comprometimento do reservatório hídrico da região.

**Tabela 1** - Classes de solos e vegetação típica do cerrado

<b>Classe de solos</b>	<b>Vegetação típica</b>
<b>Neossolo Quartzarênico (RQ)</b>	Cerrado Ralo, Cerrado Típico, Cerradão
<b>Neossolo litólico (RL)</b>	Campo Rupestre/Cerrado Rupestre
<b>Latossolo Vermelho (LV)</b>	Cerradão, Cerrado Denso, Cerrado Típico, Mata Seca, Semidecídua, Floresta Tropical Subcaducifólia
<b>Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)</b>	Cerrado Denso/Cerrado Típico
<b>Argissolo vermelho (PV)</b>	Mata Seca/ Mata Mesofítica Cerradão/Cerrado Denso/Cerrado Típico
<b>Nitossolo Vermelho (NV)</b>	Mata Seca
<b>Cambissolo (C)</b>	Floresta Tropical Subcaducifólia, Cerrado Típico, Cerrado Ralo, Cerrado Rupestre
<b>Plintossolo (PT)</b>	Campo Limpo, Campo Sujo e Parque de Cerrado.
<b>Gleissolo Háptico (GX)</b>	Vereda/Palmeiral/Parque de Cerrado/ Campo Limpo/Cerrado Ralo
<b>Gleissolo Melânico (GM)</b>	Vereda/Palmeiral/Cerrado Ralo/Mata de Galeria/Mata Ciliar

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1978); 1999

#### **1.4.1 - Ecologia dos solos e a ocupação do Cerrado**

##### **a) Aspectos gerais e históricos**

Antes da mineração o Cerrado era considerado como uma terra inóspita, pouco interessante, uma terra de habitantes selvagens e de difícil acesso. O Cerrado começa ser ocupado e explorado no início do século XVIII, quando ocorre a “descoberta” do ouro, pedras preciosas e escravização dos indígenas, o que atraiu além dos portugueses, todo velho mundo.

Em 1726 a exploração de ouro chega ao seu auge, depois desse período ocorre o seu declínio. Após a exaustão das reservas de ouro o cerrado começa a ser ocupado por criações de gado, por ter pastagens naturais que auxiliava para que a pecuária se desenvolvesse a um baixo custo, e a exploração da agricultura de baixa escala e subsistência (ALHO e MARTINS, 1995; PIRES, 2000; SANTOS, 2018). Durante um tempo o desenvolvimento da agricultura ficou limitado em razão da baixa fertilidade do solo (FERNANDO e PESSÔA).

O cerrado não teve sua ocupação intensiva ao acaso, ela foi precedida por uma série de pesquisas que deram base para o estabelecimento de programas direcionados à promoção de sua ocupação. A importância dos Cerrados cientificamente tem início no século XIX com a colaboração relevante de estudiosos, como europeus, com destaque para o naturalista alemão Carl Friederich Phillipp Von Martius (1794-1868) e o naturalista francês August de Saint-Hilaire.

Martius inicia sua expedição científica por terras brasileiras em julho de 1820, como resultado de uma longa exploração vem diversas obras, entre elas a *Flora brasiliensis* onde foram descritas várias espécies da flora do cerrado. Já Saint-Hilaire esteve no Brasil de 1816 a 1822, em 1825 foram publicadas as obras de sua autoria intituladas: Viagens pelas províncias do Rio de Janeiro e Minas Gerais e a Viagem a província Goiás.

É importante destacar que foi a obra do naturalista dinamarquês Euge Warming sobre os Cerrados de Minas Gerais em Lagoa Santa, que despertou interesse para o processo de pesquisa sobre os Cerrados (SANTOS, 1982).

Durante 50 anos, entre 1882 e 1942, a partir da publicação da obra de Warming, a ideia de que nos Cerrados a vegetação era limitada pela escassez de água persistiu de forma generalizada, até que o botânico alemão Félix Kurt Rawitscher e o Ecólogo brasileiro Mario Guimarães Ferri, ambos pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), discordaram dessa opinião. Foi a partir do primeiro trabalho sobre a ecologia dos Cerrados intitulado “Profundidade dos solos e vegetação dos Campos Cerrados do Brasil Meridional” dos pesquisadores, Rawitscher, Ferri e Mercedes Rachid, que inicia um novo olhar sobre o bioma cerrado, abrindo caminho para a possibilidade de utilização do mesmo (SANTO, 1982), esses estudiosos influenciaram uma geração de agrônomos, pedólogos e outros pesquisadores (SILVA, 2019).

Em meados da década de 1940, na Estação Experimental de Sete Lagoas, técnicos do Ministério da Agricultura trabalharam na criação de condições para exploração econômica dos solos ácidos e “pobres” do Cerrado brasileiro, realizado através da aplicação da calagem e da adubação verde, as duas técnicas já usadas desde o início do século XX nos Estados Unidos (BRASIL, 1964). Agrônomos norte americanos também cooperaram para que se desenvolvesse experimentos para identificar formas para que ocorresse a exploração e dos solos do Cerrado eficazmente, participaram também desses estudos de pesquisadores brasileiros que estudaram nos Estados Unidos (ABELSON e ROWE, 1987; SANTOS 2018).

Outros pesquisadores foram extremamente relevantes, como a tcheca naturalizada brasileira Johanna Döbereiner que liderou a pesquisa que desenvolveu um modo de a soja obter nitrogênio e fixá-lo no solo na década de 1960. A tecnologia aprimorada pela pesquisadora conhecida como fixação biológica de nitrogênio (FBN), foi essencial para a viabilização e expansão da agricultura nos solos dos Cerrados. As pesquisas de Johanna foram realizadas nos laboratórios do Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas em Seropédica (RJ), que hoje se tornou a Embrapa Agrobiologia, a pesquisadora trabalhou até morrer, em 2000 aos 76 anos. Seu trabalho foi tão importante que ela chegou a ser indicada ao Prêmio Nobel de Química em 1997.

Enquanto o cerrado começa a virar cada vez mais alvo de estudos, a ocupação e exploração desta região alcança seu o ápice no governo Getúlio Vargas com o advento do movimento Marcha para o Oeste na década de 1930. O movimento tinha como objetivo, na teoria, fazer a integração do Brasil central com o litoral, para escoamento mais rápido de produtos para o sul do país. O investimento em infraestrutura no centro do Brasil tem seu auge no governo de Juscelino Kubitschek com a construção de Brasília, além do grande desenvolvimento da malha rodoviária que permitiu a ligação ferroviária entre as cidades de São Paulo e Anápolis (GO), houve nesse período uma imigração em massa, é nesse contexto que inicia a exploração das terras do Cerrado:

Entretanto, foi somente a partir da década de 1950, com o surgimento de Brasília e de uma política de expansão agrícola, por parte do Governo Federal, que se iniciou uma acelerada e desordenada ocupação da região do cerrado em um modelo de exploração de forma fundamentalmente extrativista e, em muitos casos, predatória. (FERNANDES E PESSOA. 2011 p. 23)

Durante o Governo Militar, de 1964 a 1985 houve incentivo para ocupação do CentroOeste. O II Plano Nacional de desenvolvimento (II PND), em 1974, buscou fortalecer à agricultura nas regiões de Cerrado no centro do Brasil, para isso houve uma “correção” na

acidez do solo, o que viabilizou em larga escala da produção agrícola, e assim as ‘fronteiras agrícolas’ são abertas. Inicia nesse período o Programa de Desenvolvimento do Cerrado e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o desenvolvimento dos Cerrados, ambos programas concediam vantagens a agricultores que se enveredassem por essas terras com a finalidade de torná-las “produtivas”.

O potencial agrícola do Cerrado na produção de *commodities*, foi um marco histórico importante, onde o espaço físico do bioma começou a ser associado aos grandes projetos do governo ligados a modernização da agricultura (SILVA, 2019; DUTRA e SILVA & BARBOSA, 2020).

A partir do início da década de 1960 os resultados obtidos transformaram os solos do Cerrado, de baixa fertilidade, em local de agricultura comercial altamente produtiva, através da correção do solo ácido e da adubação química (ABELSON e ROWE, 1987; FERNANDES e PESSÔA, 2011; SANTOS, 2018).

Com o intuito de reunir pesquisadores e discutir pesquisas realizadas no cerrado, em 1961 houve a I Reunião Brasileira do Cerrado que reuniu aproximadamente 70 participantes, em 1962 ocorreu o primeiro “Simpósio Sobre o Cerrado”, já com cerca de 250 participantes, o encontro teve o financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Academia Brasileira de Ciências (ABC). O Simpósio contou com a presença de cientistas de todo o país, que trataram de questões de base para o conhecimento do bioma. Assim, houve a apresentação dos recursos naturais do Cerrado e sua caracterização.

Esses mesmos temas do I Simpósio, foram abordados nos próximos dois simpósios, que foram realizados em 1965 (patrocínio do CNPq e ABC) e 1971 (patrocínio da FAPESP, CNPq e ABC). Foi em 1976 a partir do quarto simpósio que a temática ficou voltada para o lado mais prático, para o uso dos recursos do Cerrado para a agropecuária, nesse período já havia pesquisas de base realizadas, pesquisas essas que cresceram, tanto que houve oito 8 reuniões todas listadas abaixo, a última representando o crescimento do interesse pelo bioma contando com aproximadamente 900 participantes a saber: Todas listadas abaixo (FERRI, 1980, SANTOS, 1982).

- a) I Reunião Brasileira do Cerrado (1961)

- b) I Simpósio sobre o Cerrado (1962)
- c) II Simpósio sobre o Cerrado (1965)
- d) II Reunião Brasileira do Cerrado (1967)
- e) III Simpósio sobre o Cerrado (1971)
- f) I Encontro da Universidade de Brasília: O Homem e o Cerrado (1975)
- g) IV Simpósio sobre o Cerrado (1976)
- h) V Simpósio sobre o Cerrado (1979)

O Governo Federal inicia o investimento alto em pesquisas nas áreas da agricultura e na pecuária, em 1967 foi criada a superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO), em 1971 o Programa de Desenvolvimento do Centro-Oeste (PRODOESTE), em 1973 a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e em 1975 Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária (EMGOPA). Houve ainda a cooperação de especialistas em solos tropicais como por exemplo agrônomos norte americanos e pesquisadores brasileiros que estudaram nos Estados Unidos como já foi citado acima, que desenvolveram experimentos para exploração eficaz dos solos do Cerrado.

O Cerrado consolida sua importância como fronteira agrícola, e produtora de *commodities* e cultivos essenciais para crescimento da balança comercial do Brasil entre as décadas de 1980 e 1990 (DUTRA e SILVA & BARBOSA, 2020)

A agricultura nessa região que antes era de subsistência, com a chegada da tecnologia passa a ser mecanizada, se tornando logo exportadora principalmente do cultivo de soja, milho, cana-de-açúcar e algodão, é nesse cenário que o Centro-Oeste começa a ser visto como provedor e importante na economia brasileira. O cerrado atualmente é responsável por aproximadamente 45% da área agrícola nacional, produzindo em torno de 35% do rebanho bovino, 52% da soja, 52% da cana-de-açúcar, 54% do milho e 96% do algodão (CONAB, 2018; IBGE, 2018; BOLFE et al., 2020). Essa ocupação do bioma resulta em um processo de desmatamento preocupante, pois além da exploração agrícola e pecuarista, houve busca de madeira para carvoejamento e a sustentação da indústria siderúrgica e celulósica de diversas regiões (MAZZETTO, 2009).

Silva (2020), chama atenção para a história do uso do bioma Cerrado, pelo fato da velocidade do impacto antrópico, situação observada raramente na história da humanidade em relação a outro bioma. Com modernização da agricultura e dos meios de transporte, as características físicas e ecológicas foram se modificando, os locais que eram compostos por vegetação densa, foram desmatados e transformados em enormes extensões de terras agricultáveis (AB'SABER, 2008; SILVA 2020).

De acordo com Santos (2018), a ocupação e o conhecimento sobre o bioma Cerrado foram marcados pela produção científica. Segundo a autora podemos exemplificar isso com uma simples busca no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao utilizar a palavra-chave “Cerrado”, tem como resultado produção bibliográfica, até a década de 1980, temas como fertilidade do solo, recursos hídricos, adubação, nutrição mineral, avaliação das fitofisionomias e estudos sobre a exploração do bioma voltado para área econômica.

#### **b) De solos “inférteis” ao grande cenário do Agronegócio**

Baseando na história ambiental dos Cerrados começamos a partir daqui um novo estudo, temos o objetivo de fazer uma análise sobre os processos fundamentais para mudança de pensamento de uma região que passa de imprópria como solo agricultáveis para uma das regiões brasileira de maior importância na produção de grãos e *comodities*. A fundamentação para essa análise vem das pesquisas agrônômicas relacionadas a infertilidade dos solos dos Cerrados, inicialmente buscando a importância das intuições e suas pesquisas que tiveram o papel fundamental para desenvolvimento da agricultura nesses solos, focando principalmente nas pesquisas desenvolvidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (EMBRAPA) e no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), sediada em Planaltina, Distrito Federal.

A “fertilidade natural” dos solos brasileiros que era resultado da derrubada de matas fez com que as a ciência básica de fertilização praticada no Ocidente com a utilização de fertilizantes (NPK: Nitrogênio, Fósforo e Cálcio) fosse colocada em prática no início do século XIX pelo químico alemão Justus Von Liebig (1803-1873). Essa prática agrícola voltada para o pensamento dessa fertilidade foi alvo de críticas por elites do Brasil e estudiosos viajantes do exterior que consideravam como uma forma atrasada o manuseio da agricultura baseado em

uso do fogo, que era praticado na agricultura por povos indígenas, caboclos e sertanejos (DEAN, 1995; SILVA, 2015).

O Brasil adotou uma política de modernização econômica baseada no modelo industrial, a partir dos anos 1950, isso possibilitou o aumento da produção de alimentos para abastecer os centros urbanos bem como *comodities* para exportar. Nesse contexto Speridião Faissol (1923-1997) o geógrafo do Conselho Nacional de Geografia, afirmou que desenvolvimento brasileiro se encontrava em dilema, ou fazia recuperação dos solos arrasados pelas práticas agrícolas tradicionais ou faziam o avanço para os solos dos Cerrados conhecidos por serem inférteis, onde seria necessário o desenvolvimento de tecnologias para conseguir tornar solos do centro do Brasil férteis.

A exploração das áreas de matas já acontecia desde antes da Segunda Guerra Mundial, as formações savânicas e campestres passam a ser exploradas depois da década de 50, antes disso elas não eram de muito interesse para uso agrícola, sendo utilizada mais para atividades de pastoreio (CRITICAL ECOSYSTEM, 2016, DUTRA E SILVA, 2017, SILVA 2018). Quando a percepção sobre a fertilidade muda, o avanço da agricultura acontece, relatórios técnicos mostram que a região passa por mudanças rápidas.

As primeiras pesquisas sobre a fertilidade dos solos do cerrado ocorreram entre as décadas de 1940 e 1950, porém nenhuma delas apontava para o desenvolvimento em larga escala da agricultura, as pesquisas foram desenvolvidas pelos brasileiros Mário Guimarães Ferri (1943), Álvaro Barcellos Fagundes, Paulo de Tarso Alvin, e Wilson Alves de Araújo, e o norte-americano Reeshon Feuer (1954) (MALAVOLTA, PIMENTEL-GOMES ALCARDE, 2002).

A história sobre a intervenção agrícola no Bioma Cerrado foi possibilitada através da convergência de variados projetos e agências públicas e privadas, que trouxe a aproximação ao longo de décadas de diversas áreas, principalmente agronomia, economia, ciências ambientais (BOAVENTURA, 2020). Sem dúvidas o maior desafio para a agricultura em larga escala no cerrado foi converter as áreas de solos “naturalmente” inférteis em aptos para a agricultura. O Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND) veio com o intuito de fortalecer o desenvolvimento agrícola a região do cerrado no centro do Brasil, para isso se fez a “correção” da acidez do solo, tornando viável a produção da agricultura em larga escala.

As “fronteiras agrícolas” do cerrado são abertas a partir de então, e assim nascem programas que concedem a agricultores vantagens ao que se enveredassem a fim de tornar improdutivas essas terras.

O Governo Federal nessa mesma época inicia alto investimento em pesquisas nas áreas da agricultura e na pecuária, através da criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), e da Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária (ENGOPA). Em meados de 1960, os resultados das pesquisas transformaram os solos do Cerrado que eram considerados naturalmente como de fertilidade baixa, em áreas de agricultura altamente produtiva, comercial e mecanizada, tudo isso sendo possível através da correção da acidez do solo e adubação química. Essa transformação desses solos “inférteis” em solos agricultáveis a monocultura especialmente a soja, a pecuária extensiva realizada na região junto a incentivos de migração, foram fatores que desencadearam o grande processo de ocupação desse território, o que intensificou a exploração econômica.

A partir das discussões sobre a Ecologia, solos e ocupação agrícola do Cerrado podemos considerar que é complexa a relação entre sociedade e natureza nesse bioma brasileiro. O Cerrado é interpretado de várias formas, é considerado por alguns autores como domínio morfoclimático, por outros como complexo vegetacional ou complexo de biomas, sistema biogeográfico, e ainda é denominado mais comumente como simplesmente Bioma. Essa região começa a ser ocupada expressivamente nos últimos anos depois de programas governamentais, o que possibilitou a transformação dos solos do Cerrado considerados inférteis em solos agricultáveis foi um conjunto de investimentos em pesquisas.

## CAPÍTULO II - FERTILIZAÇÃO DOS SOLOS NO CERRADO: UMA ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA

### 2 - Introdução

O Cerrado brasileiro (um ecossistema do tipo savana tropical) (VOURLITIS *et al.*, 2021), é o segundo maior bioma do território brasileiro, com área de aproximadamente 2 milhões de km<sup>2</sup>. Este bioma compõe um pouco mais de 23% do território nacional, e abrange áreas de 11 estados e do Distrito Federal (SOUZA *et al.* 2021; MATOSAK *et al.*, 2022).

Nos últimos 50 anos a região denominada Cerrado, passou por uma intensa modificação tanto nos aspectos ambientais, como nos aspectos sociais e econômicos. Um dos responsáveis por essa mudança foram os Planos Nacionais de Desenvolvimento (PNDs) que iniciaram na década de 1970, e pautavam como metas principais a organização do território brasileiro, com embasamento em uma lógica geopolítica, e tinham como foco integrar rapidamente e de forma combinada os “vazios nacionais”, principalmente o Centro Oeste e a Amazônia (FIGUEREDO, 2016).

O cerrado não teve sua ocupação intensiva ao acaso, ela foi precedida por uma série de pesquisas que deram base para o estabelecimento de programas direcionados à promoção de sua ocupação. Antes da década de 1970 o Cerrado era considerado como impróprio para a Agricultura, por conta da baixa fertilidade do solo, da presença de muito alumínio, o que inviabilizava a produção de grãos e *comodities*. A partir da década de 1970 o Cerrado começa a ser estudado e os estudos agrônômicos desenvolvidos por vários institutos, dentre eles a Embrapa, transformaram essa região em um grande celeiro agrícola.

Essa soma foi o fator decisivo para transformar a savana brasileira em uma potência agrícola tal como é conhecida hoje (ROCHA, 2012). O processo de ocupação se intensificou em 1975 com a instalação da chamada *fronteira agrícola* (CSR/IBAMA, 2009; SANO *et al.*, 2008).

O potencial agrícola do Cerrado na produção de *commodities*, foi um marco histórico importante, onde o espaço físico do bioma começou a ser associado aos grandes projetos do governo ligados a modernização da agricultura, sendo sua consolidação como produtora de *commodities* e cultivares essenciais para crescimento da balança comercial do Brasil entre as décadas de 1980 e 1990 (SILVA, 2019; DUTRA e SILVA & BARBOSA, 2020).

Buscando compreender esse processo de estabelecimento da agricultura em solos do Bioma Cerrado, esse artigo objetivou um levantamento cienciométrico das pesquisas relacionadas a fertilidade dos solos do Cerrado no período de 1970 a 1995, a pesquisa foi realizada nas Bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *Scielo*.

A ciencimetria é um estudo do tipo qualitativo que identifica irregularidades, padrões e tendências que podem ocorrer em publicações em um determinado domínio de investigação científica, tendo assim como objetivo esclarecer e aumentar a visibilidade do desenvolvimento da ciência e da tecnologia, identificando centralização dos assuntos científicos, compreendendo a troca de informações entre pesquisadores (MACIASCHAPULA, 1998; VANTI, 2002, BARBOSA et al., 2012; HOUWES, 2012; NOGUEIRA, 2015).

O estudo cienciométrico contribui significativamente para a pesquisa dos indicadores científicos, gerando informações e discussões, colaborando assim para a resolução de problemas encontrados na ciência moderna (SANTOS, 2003). Esse tipo de estudo não é um método analítico sobre determinado assunto, mas tem a capacidade de provocar maior visibilidade dos dados da pesquisa (LAURINDO e MAFRA, 2010). O que é o nosso objetivo.

## **2.1 - Metodologia**

O presente trabalho se configura como uma pesquisa fundamentada na ciencimetria. Para a busca de artigos usamos as bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *Scielo*, as bases de dados utilizadas foram acessadas através do Portal de Periódicos CAPES (plataforma CAFe).

A busca foi restrita considerando título e/ou resumo e/ou palavras-chave que continham os termos da pesquisa: (*Fertilization and Cerrado*) / (*Fertililty and Cerrado*) / (*Solo AND Cerrado*) / (*Soil and Cerrado*). Consideramos publicações de 1970 a 1995, por ser esse o período de ocupação do solo Cerrado, onde ele passa de considerado infértil ou de baixa fertilidade para o grande produtor de *Commodities*. Foi realizada esta delimitação, pois o objetivo deste trabalho foi levantar os artigos publicados que possuíam como recorte espacial informações sobre a fertilização do solo, assim foram descartados os artigos que não abordavam o assunto em questão, bem como os artigos que continham abordagem de revisão de literatura.

Foram tabulados em todas as bases um total de 64 artigos, a primeira base de dados pesquisado foi a *Web of Science*, seguida de *Scopus* e *Scielo* respectivamente, os artigos repetidos foram descartados, sendo assim as primeiras bases buscadas possuem um maior

número de artigos descritos. Na base de dados *Web of Science* foram encontrados 48 artigos, na *Scopus* 15 artigos e na *Scielo* 3 artigos, lembrando que os resumos foram lidos e os artigos que não constavam dentro da delimitação do tema fertilização do solo nos Cerrados foram descartados. Dos artigos selecionados levantamos as seguintes informações: (i) Autores, (ii) país de origem do primeiro autor, (iii) título do trabalho, (iv) periódico, (v) o fator de impacto, (vi) número de citações, (vii) ano de publicação, (viii) autores pesquisadores da EMBRAPA. Este último item (ix) foi selecionado por ser este ser o principal instituto brasileiro envolvido em pesquisas sobre o Cerrado, sendo inclusive criado com esse propósito.

Para as análises do número de citação e fator de impacto das revistas, foram consideradas somente as publicações indexadas no “*Web of Science*” e “*Scopus*”. O Fator de Impacto (FI) dos periódicos foi introduzido por Eugene Garfield e é publicado anualmente no *Journal of Citation Report (JCR)* e tem sido usada para medir, classificar e avaliar o desempenho das revistas científicas, é um método de verificação da qualidade e importância do trabalho realizado e do pesquisador individual (Glänzel and Moed 2002; Carvalho et al. 2005; LIMA, 2021), sendo a principal métrica de qualificação das publicações. O cálculo é realizado somando-se citações de artigos no ano do cálculo do FI, dividindo esse número pela quantidade de artigos publicados nos dois anos anteriores ao cálculo.

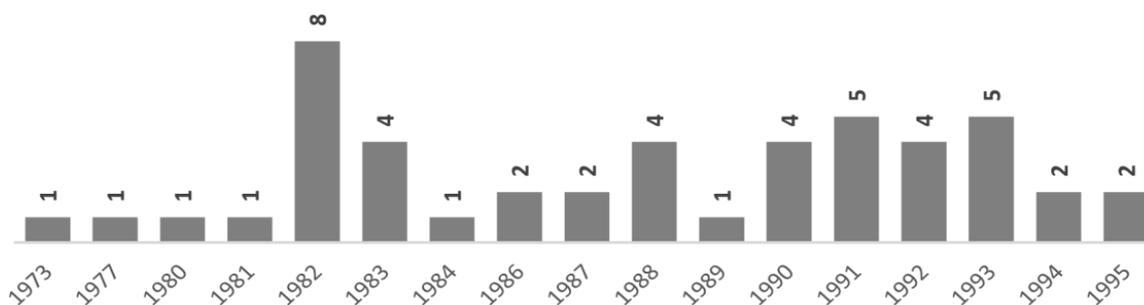
## **2.2 - Resultados e discussões**

Foi realizada uma triagem cautelosa e os artigos que não atendiam aos critérios citados na metodologia foram excluídos, os artigos que já constavam na seleção de Base de dados pesquisadas anteriormente foram excluídos. A partir das buscas envolvendo o tema Fertilização dos solos do bioma Cerrado usando a base de dados “*Web of Science*” obtivemos um total 48 artigos entre os anos de 1970 e 1995.

A década de 1980 foi o período de maior número de publicações de artigos relacionados ao tema pesquisado, o que não surpreende pois na década de 1960 e 1970 houve uma movimentação da comunidade científica inclusive com reuniões em Simpósios sobre o Cerrado que tiveram início com um número pequeno de pesquisadores contando com 70 participantes na I Reunião Brasileira do Cerrado, e já no I Simpósio sobre o cerrado (1962) um ano depois houve a participação de 250 pessoas, e ao final da totalidade de 8 reuniões do decorrer das duas décadas, em 1979 no V Simpósio sobre o Cerrado, houve a participação significativa de 900 pesquisadores. Essas informações nos traz a clareza sobre o crescimento

do número de publicações na década de 1980, esse período é resultado dessa movimentação voltada para pesquisa na região do Bioma Cerrado (Figura 4). O Cerrado consolida sua importância como fronteira agrícola, e produtora de *commodities* e cultivares essenciais para crescimento da balança comercial do Brasil justamente entre as décadas de 1980 e 1990 (DUTRA e SILVA & BARBOSA, 2020)

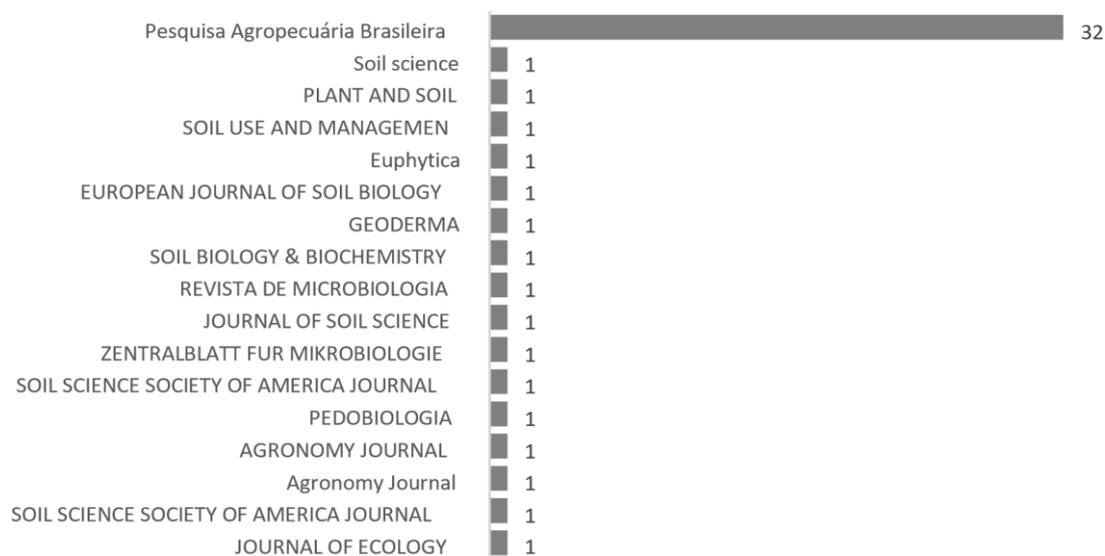
**Figura 4** - Distribuição temporal da produção científica sobre o tema pesquisado entre 1970 a 1995 na base de dados Web of Science.



Fonte: elaborada pela autora

Dentre os itens levantados, buscamos os periódicos que mais publicaram sobre o assunto, destas se destaca a Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, sendo a que mais publicou sobre o assunto abordado no período pesquisado, dos 48 artigos encontrados na base e tabulados, 32 artigos foram publicados na revista supracitada. O resultado corrobora com o histórico pois a revista em questão pertence a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária que inicia suas pesquisas no Brasil exatamente na década de 1970. (Figura 5) (Tabela 2).

**Figura 5** - Distribuição dos artigos quanto ao periódico. Base de dados *Web of Science*



Fonte: Elaborada pela autora

**Tabela 2** - Dados da busca avançada realizada na base de dados *Web of Science* em dezembro de 2021.

Ano de publicação	Título	Periódico	FI*	Primeiro Autor	País	EMBRAPA	Citações
1973	Brazilian Cerrado vegetation - fertility gradient	Journal of Ecology	6.256	Robert Goodland	Inglaterra		127
1977	Survey of fertility status of surface soils under Cerrado vegetation in Brazil	Soil Science society of America Journal	2.303	Alfredo S. Lopes	USA		123
1980	Nitrogen Fertilization of Maize on an Oxisol of the Cerrado of Brazil	Agronomy Journal	2.24	Grove L. Thurman	USA		21
1981	Effect of calcium, sulfur and other nutrients on dry-matter yield and nodulation of <i>Leucaena leucocephala</i> in a Cerrado soil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	C. Sanzonowicz	Brasil	X	2
1982	Phosphate rock and super-phosphate combinations for soybeans in a Cerrado oxisol	Agronomy Journal	2.24	THOMAS J. SMYTH	USA		5
1982	Enzyme-activities in Cerrado soils in Brazil	Pedobiologia	1.812	D. Kulinska	Polónia		3
1982	Effect of sulfur levels on 4 tropical grasses in Cerrado soils of Mato Grosso do Sul, Brazil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	José Carlos Casagrande	Brasil	X	8
1982	Cation-exchange capacity and phosphate adsorption of soils under Cerrado (Savannah) vegetation of Amapa Amazonian Region	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Ary Carlos Xavier Velloso	Brasil		2
1982	An economic-study of using phosphorus and lime in the Cerrado soils of Brazil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	D. D. G. Scolari	Brasil	X	0
1982	Nitrogen-fertilization, inoculation and soil liming dates for soybean cultivated in Cerrado soil*	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Maria Angeles Vargas	Espanha	X	18
1982	Sources and application of zinc on rice yield in Cerrado soils	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Morel Pereira Barbosa Filho	Espanha		4
1982	Phosphate rock dissolution and availability in Cerrado soils as affected by phosphorus sorption capacity	Soil Science society of America Journal	2.307	THOMAS J. SMYTH	USA		73
1983	Relation between nitrogen-fertilization and brown spot of rice in Cerrado soils	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	José Correia de Faria	Brasil	X	0

1983	Liming and phosphorus fertilization in some soils under Cerrado .2. Intervals between liming and phosphorus application	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Luiz Felipe Martins Souza	Brasil	X	0
1983	Liming and phosphorus fertilization in soils under Cerrado .1. Dry-matter accumulation and phosphorus uptake by sorghum	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Luiz Felipe Martins Souza	Brasil	X	0
1983	Heterotrophic nitrification by fungi isolated from Cerrado soils in Brazil	Zentralblatt für Mikrobiologie	N.C.	D. Kulinska	Polónia		3
1984	Seed quality in soybeans produced in virgin Cerrado soil, recuperated cerrado soil and soil of good fertility	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Justin Maeda	USA	x	1
1986	Effect of liming levels and ca-mg ratios on yield, nitrogen-content and nodulation of soybeans grown in acid Cerrado soil	Journal of Soil Science		Rosa M. Muchovej	USA		8
1986	Residual effect of fertilization with micronutrients under Cerrado soil on soybean yield and leaf contents	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Antônio Renan Berchol da Silva	Brasil	X	0
1987	Residual effects of lime and phosphorus sources in	Pesquisa Agropecuária	1.088	C. Sanzonowicz	Brasil	x	5
1987	Evaluation of rice cultivars for utilization of calcium and magnesium in the Cerrado soil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Nand Kumar Fageria	Brasil	X	
1988	Liming and phosphate fertilization for cassava in a dystrophic, very clayey, dark-red latosol, Cerrado phase	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Francisco Dias Nogueira	Brasil	X	1
1988	Effect of potassium fertilization on the cation equilibrium of a dystrophic dusky red latosol, under Cerrado vegetation	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Maria Inês Nogueira Alvarenga	Brasil	X	0
1988	<i>Leucaena leucocephala</i> as a green manure for bean growing in Cerrado soil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Juliana Macdo Chagas	Brasil	x	7

1988	Evaluation for tetracycline, kanamycin and chloramphenicol resistance of bradyrhizobium japonicum and bradyrhizobium of stylosanthes isolated from Cerrado soils	Revista de Microbiologia	0.073	Maria Rita m. Scotti	Brasil	x	4
1989	Quantification of the contribution of n-2 fixation to field-grown grain legumes - a strategy for the practical application of the n-15 isotope-dilution technique	Soil Biology & Biochemistry	7.609	Robert M. Boddey	Inglaterra	x	64
1990	Agronomic efficiency of rock phosphates, partially acidulated phosphates and thermophosphates in a Cerrado soil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Wenceslau J. Goedert		x	4
1990	Estimating nitrogen mineralization in a Cerrado dark-red latosol, by laboratory incubation, and the effect of soil sample disturbance	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	S. D Klausner	USA		1
1990	Management of Cerrado soils .1. Production of bean, wheat and rice in a dark-red latosol	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	José Ferrugem Moraes	Brasil		1
1991	Movement of nutrients in a dark red latosol	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	José Ferrugem Moraes	Brasil		6
1991	Doses of zinc in different acidity conditions of a Cerrado soil .1. dry-matter and grain-yield and soil critical-level	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Salatier Buzetti	Brasil		0
1991	Doses of zinc in different acidity conditions of a Cerrado soil .2. Plant critical-level	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Salatier Buzetti	Brasil		0
1991	Characteristics of phosphorus supply to sweet com grown on a Cerrado soil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	F.L.I.M. Silva	Brasil	X	0
1991	Effect of side-dressing nitrogen in irrigated wheat after soybean in Cerrado soil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Dijalma Barbosa da Silva	Brasil	x	1
1992	Application of micronutrients, cobalt and sulfur on seed yield of stylosanthes in a Cerrado soil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	E. Z. Galvão	Brasil	X	1

1992	Manganese deficiency in soybean due to excessive liming	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	R. T Tanaka	Brasil			11
1992	Effects of preparation systems on the physical-properties and on the corn crop in a soil under Cerrado vegetation	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	José Frederico Centurion	Brasil			7
1993	Mineral-composition of soya beans cultivated in a Cerrado acid soil, with 2 levels of liming	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Carlos Roberto Spehar	Brasil	X		5
1993	Evolution patterns of the soil organic-matter in some agricultural systems in the brazilian Cerrado region	EUROPEAN JOURNAL OF SOIL BIOLOGY	2.846	Vakirea Matos Nascimento	Brasil			8
1993	Soybean response to molybdenum in sandy soils of low fertility	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	R. T Tanaka	Brasil			2
1993	Critical-level and distribution of phosphorus in common bean cultivated in different soils under Cerrado vegetation	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Arminda Moreira Carvalho	Brasil			0
1994	Seed quality of soya bean based on mineral-composition of seeds of 45 varieties grown in a brazilian savanna acid soil	EUPHYTICA	1.895	Carlos Roberto Spehar	Brasil	x		14
1994	Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São-Paulo state, Brazil	SOIL USE AND MANAGEMENT	2.95	Igor Fernando Lepsch	Brasil			49
1994	The influence of organic soil amendments on sulfate adsorption and sulfur availability in a Brazilian oxisol	PLANT AND SOIL	4.192	Peter P. Motavalli	USA	x		12
1994	Organic-matter delays but does not prevent phosphate sorption by Cerrado soils from Brazil	Soil Science	1.112	E. Afif	Espanha			82
1995	Response of rice and common bean crops in succession to fertilization in Cerrado soil	Pesquisa Agropecuária Brasileira	1.088	Nand Kumar Fageria	Brasil	x		17

FI\*= Fator de Impacto

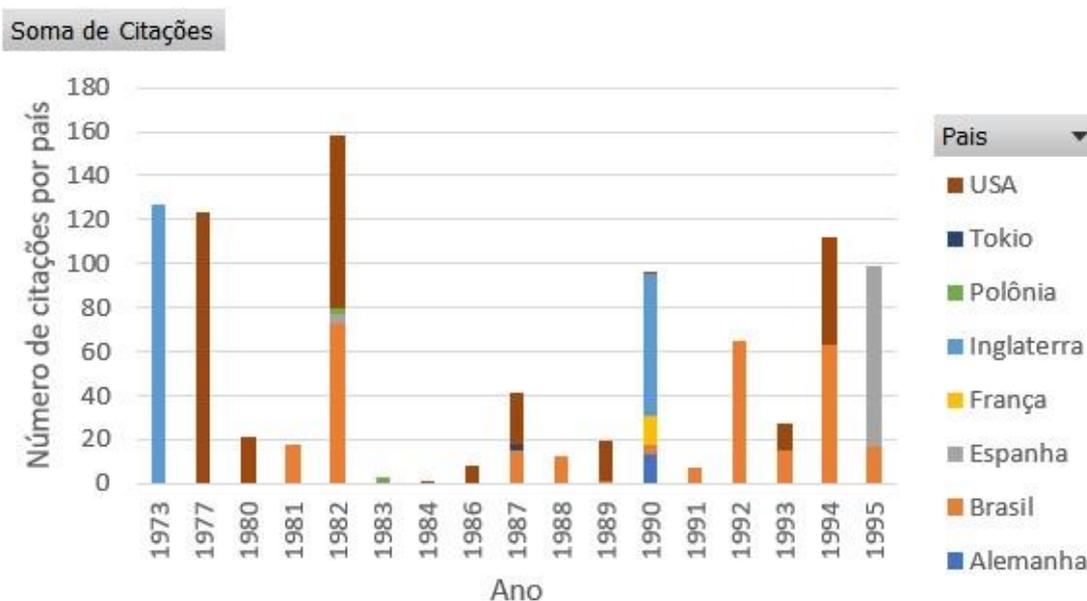
Fonte: Elaborado pela autora

Outra informação que encontramos foi em relação ao país de origem do primeiro autor das publicações, dos 48 artigos, 33 eram brasileiros, seguido por pesquisadores do Estados

Unidos, foram 8 autores deste país. Abelson e Rowel (1987) e Santos (2018), narram sobre a participação de pesquisadores Norte Americanos nas pesquisas sobre solos Cerrados. Técnicos do Ministério da Agricultura desde meados dos anos 1940, trabalharam na criação de condições para exploração econômica dos solos ácidos e “pobres” do Cerrado brasileiro, realizado através da aplicação da calagem e da adubação verde, as duas técnicas já usadas desde o início do século XX nos Estados Unidos.

Outro dado importante é que os artigos que receberam a maior quantidade de citações foram artigos publicados em revistas internacionais, cabe o destaque para a maior citação de publicações onde os primeiros autores eram pesquisadores que tinham como país de origem os Estados Unidos, mesmo quando publicaram em revistas nacionais. O artigo com maior número de citações foi o mais antigo encontrado durante a pesquisa na Base de dados web of Science, publicado em 1973 intitulado: *Brazilian Cerrado vegetation - fertility gradiente*, essa publicação no periódico *Journal of Ecology* que possui o fator de Impacto 6.256 o segundo maior entre os dados tabulados, obteve 127 citações, cujos resultados estão abaixo representados (Figura 6).

Figura 6 – Número de citações



Fonte: dados levantados pela autora

A segunda base de dados pesquisada foi a *Scopus*, como citado na metodologia e no primeiro parágrafo deste tópico, os artigos que foram tabulados na base *Web of Science* que foi a primeira base de levantamento, foram descartados durante a tabulação de dados da base *Scopus*, sendo assim foram tabulados 15 artigos conforme a descrição na Tabela 2. Na base de dados *Scopus* observa-se que as publicações na década de 1980 se destacam por ser em periódicos com alto fator de impacto, demonstrando mais uma vez a relevância das pesquisas realizadas neste Bioma no período. Outro dado a ser destacado é que o artigo publicado em 1988 intitulado: “*Plant adaptation to acid aluminum-toxic soils*” foi citado 415 vezes, e mais uma vez, o primeiro autor é do Estados Unidos, como observado nos dados da *Web of Science* o autor mais citado é um estrangeiro. O periódico que mais apareceu na pesquisa na base de dados *Scopus* foi o *Plant and Soil*.

**Tabela 3** - Dados da busca avançada realizada na base de dados *Scopus* em dezembro de 2021

Ano de publicação	Título	Periódico	FI*	Primeiro Autor	País	EMBRAPA	Citações
1974	Mycorrhiza in plants of the 'Cerrado	Plant and Soil	4.192	Lilian Isolde Thomazini Casagrande	Brasil		22
1979	Calcium problems in latin america	Communications in Soil Science and Plant Analysis	1.238	Euripedes Malavolta	Brasil		7
1980	Remote sensing techniques in the study of the agricultural potential of soils under the Cerrado vegetation (brazil)	Izvestiya VUZ: Radioelektronika	0.008	G. J.Garcia			1
1981	Aluminum Tolerance in Sorghum And Bean - Methods and Results	Journal of plant nutrition	1.707	Euripedes Malavolta	Brasil		7
1982	Calcium deficiency in clayey b horizons of savanna oxisols	Soil Science	1.112	Dale Kitchey	USA		84
1982	Influence of aluminum in nutrient solutions on chemical composition in upland rice cultivars	Plant and Soil	4.192	Nand Kumar Fageria	Brasil	x	41
1982	Nitrogen cycling in South American savannas	Plant and Soil	4.192	J. Pereira	Brasil	X	11
1987	Effects of green manure on isotopically exchangeable phosphate in a dark-red latosol in Brazil	Journal of Soil Science	4.109	P. H Lemare	Inglaterra	x	23
1987	Considerations on the evaluation of the fertility of oxisols in Brazil	Chemical Geology	4.015	Moe Miyake	Japão		0
1988	Plant adaptation to acid aluminum-toxic soils	Communications in Soil Science and Plant Analysis	1.238	Charles D. Foy	USA		415
1989	Aluminum effects on growth, grain yield and nutrient use efficiency ratios in sorghum genotypes	Plant and Soil	4.192	Virupax C. Baligar	USA	X	16
1990	The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem - I. The effect of pre-cropping and inoculation with VAM-fungi on plant growth and nutrition in the field	Plant and Soil	4.192	J.C. Dodd	13		
1990	Improved growth of Cajanus cajan (L.) Millsp. in an unsterile tropical soil by three mycorrhizal fungi	Plant and Soil	4.192	Christoph Diederichs	Alemanha	x	13
1992	Upland Rice, Common Bean, and Cowpea Response to Magnesium Application on an Oxisol	Communications in Soil Science and Plant Analysis	1.238	Nand Kumar Fageria	Brasil	x	13
1992	Fertilising eucalypt plantations on the brazilian savannah soils	South African Forestry Journal	1.668	Nairam F. Barros	Brasil		11

Fonte: elaborado pela autora

A busca na base de dados Scielo foi a que menos obtivemos artigos no período pesquisado, foram encontrados 4 artigos, dois da década de 1970 e dois da década de 1980, a base não informa o número de citações, a busca pelo de fator de impacto foi realizada na base de dados *Web of Science*, e sendo estes de 1.158 a 1.753, como são revistas brasileiras que publicam também em português esse fator de impacto é representativo, somente dois periódicos foram encontrados com publicação sobre o tema, a Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz e *Bragantia*.

**Tabela 4** - Dados da busca avançada realizada na base de dados *Scielo* em dezembro

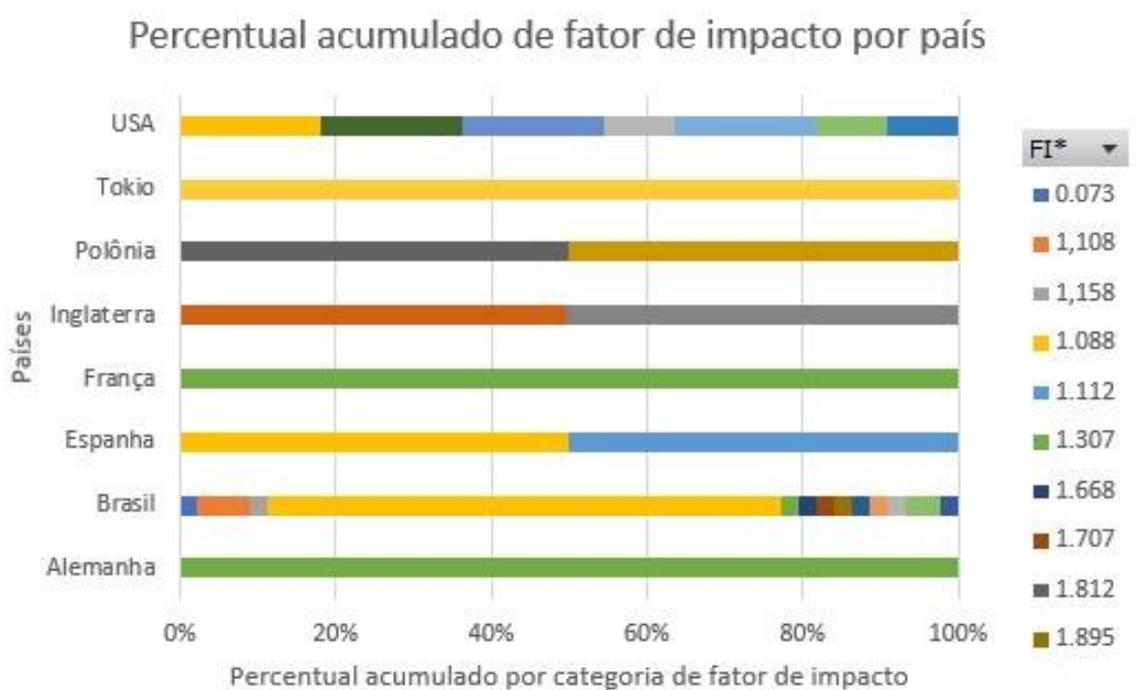
Ano de publicação	Título	Periódico	FI*	Primeiro Autor	País	EMBRAPA	Citações
1971	Mineral fertilization of soybeans ( <i>Glycine wightii</i> Verdc.): I - Fertilizer trial in "cerrado" soil	<i>Bragantia</i>	1.158	Luiz A. C. Lovadini	Brasil		
1976	The fertilization of maize in Lavras	Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz	1.753	f. Pimentel Gomes	Brasil		
1984	Sources and rates of phosphorous fertilizers in soybean crops cultivated on cerrado soils	Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz	1.753	Francisco Maximino Fernandes	Brasil		
1987	Response of corn plant to phosphorus fertilization on savannah soils	Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz	1.173	Luiz Carlos V. Borges	Brasil		

Fonte: Elaborada pela autora

Importante para o reconhecimento e visibilidade, o fator de impacto (FI) é uma métrica decisiva para qualificar uma publicação científica. Os dados referentes ao fator de impacto (FI) foram compilados (Figura 7) englobando os resultados das 2 plataformas possíveis já que a Scielo não informa as citações.

O resultado expressa os percentuais em relação a cada país em que os trabalhos foram publicados.

Figura 7 - Percentual acumulado de fator de impacto por país



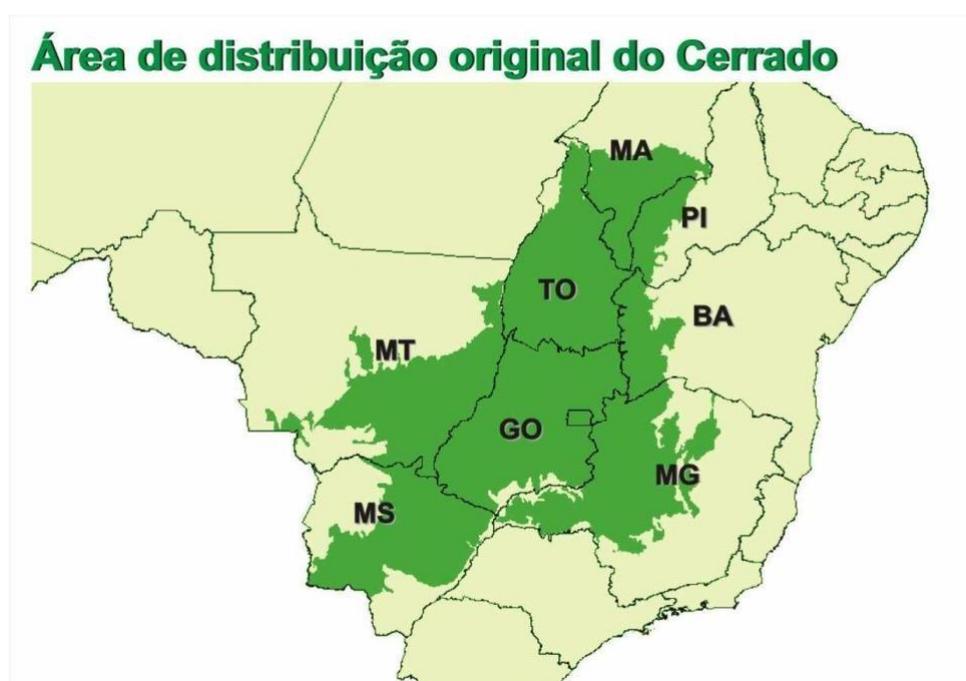
Fonte: gráfico elaborado pela autora

## CAPÍTULO III - MICRORGANISMOS E FERTILIZAÇÃO DO SOLO: PESQUISAS SOBRE FUNGOS MICORRIZAS NO CERRADO

### 3 - Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, o qual se estende por uma área de 2.045.064 km<sup>2</sup> e abrange oito estados do Brasil central: Minas Gerais, Goiás, Tocantins, Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Piauí e Distrito Federal (HUNKE et al. 2015), com vegetação variada (Figura 8). O bioma é cortado por três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul, com índices pluviométricos regulares que lhe propiciam grande biodiversidade (KLINK; MACHADO, 2005).

Figura 8 - Área de distribuição original do Cerrado



Fonte: Conservação Internacional Brasil

As classes de solos predominantes neste bioma são os latossolos e argissolos, ambos caracterizados pela baixa fertilidade natural, pela presença de ácidos e pelo intenso intemperismo; além de serem ricos em óxidos de ferro e alumínio e deficientes em fósforo (SANTOS *et al.*, 2018).

Essa baixa fertilidade do solo do Cerrado decorre da falta de nutrientes, da alta acidez e saturação de alumínio e da baixa troca catiônica mineral e orgânica. Nesse sentido, os resultados das pesquisas permitiram a aplicação de vários tipos de manejos alternativos aliados a diferentes tecnologias, além do uso de créditos e financiamentos ofertados pelo governo (BOAVENTURA, 2020).

Devido às suas peculiaridades, até os anos 1970, a região do Cerrado foi considerada como solo impróprio para a agricultura intensiva. No entanto, a partir dos anos 1970, milhares de agricultores, principalmente da Região Sul foram atraídos pela grande disponibilidade de terras e pelos preços muito baixos, em comparação ao restante do país. A partir disso, o bioma tem sido explorado financeiramente por pequenos e grandes agricultores (Figura 9) e por pesquisadores que deixaram seu legado para a pesquisa agropecuária (FIGUEREDO, 2016).

**Figura 9** - Imagem contrastante entre frações de Cerrado nativo e lavoura de soja em Chapadão do Céu - GO



Fonte: Arquivo da autora

Os Cerrados são ambientes que naturalmente oferecem condições abióticas adversas para o crescimento e o desenvolvimento de plantas. Com baixos níveis de fósforo e regime hídrico limitado, os vegetais dependem diretamente da atuação dos fungos micorrízicos e

outros organismos para resistirem e sobreviverem a tais condições (THOMAZINI, 1974; PORCEL; RUIZ-LOZANO, 2004; HUNKE et al., 2015; MOURA et al., 2017).

Além da agricultura, outras formas de degradação do solo provocam a perda de matéria orgânica, a liberação de gases do efeito estufa e a perda de diversidade genética, tais como a aplicação excessiva de fertilizantes, a erosão, a contaminação, a acidificação, a salinização. Essa degradação contínua do solo vem diminuindo, a longo prazo, a capacidade deste em fornecer serviços aos seres humanos (KOPITTKE et. al, 2019). Os processos de mineração, exercidos em grande parte do Cerrado brasileiro, também provocam a contaminação do ambiente, devido a uma mistura de metais potencialmente tóxicos (HUNTER et al., 1999), que podem reduzir consideravelmente a atividade microbiana no solo.

Diante do cenário de degradação provocada por ações antrópicas, tornaram-se necessária as pesquisas por conhecimentos que colaborassem para manejos que minimizassem os danos ambientais. Pesquisas recentes demonstram a capacidade dos fungos em reter parte dos metais pesados em seus micélios, reduzindo a absorção desses elementos pelas raízes das plantas (DENNY; WILKINS, 1987; COLPAERT; VAN ASSCHE, 1993; AGGANGAN et al., 1998).

Desde as décadas de 1950 e 1960, a agricultura brasileira adotou o raciocínio de uma agricultura baseada em produtos, e não em processos. As consequências disso foram não só as altas taxas de produtividade, mas também altamente a dependência das indústrias, além de custos energéticos e ambientais muito grandes (ALCÂNTARA, 2017).

Alguns agricultores que já manifestaram a preocupação com o solo e desde a década de 1920, tornaram-se precursores de agriculturas alternativas – menos visadas que a agricultura industrial ou convencional – como recurso importante para a manutenção da fertilidade plena do solo (ALCÂNTARA, 2017).

Em busca dessa manutenção, foram aplicados no solo, com o intuito de preservar a fertilidade, vários métodos de análise. Em um desses houve a adição de fósforo à adubação, quando não se fez a calibração, relacionando o rendimento de grãos com a disponibilidade de fósforo no solo (GALRÃO; VOLKWEISS, 1981; MADEIRA NETO; MACEDO, 1981). Outro método foi desenvolvido a partir da calibração de métodos de análise de solo para fósforo, níveis de adubação, efeito da calagem na utilização do fósforo pelas plantas, fontes de

fósforo que poderiam ser utilizadas, efeito residual da adubação, micorrizas existentes e eficiência de absorção do fósforo (EMBRAPA, 1981).

A micorriza é uma associação ecológica do tipo simbiose entre fungos e raízes de plantas, que são benéficos e específicos do solo, pois contribuem para que a absorção de nutrientes do solo pelas plantas seja elevada, especialmente do fósforo, através do aproveitamento de fertilizantes fosfatados, principalmente nos solos de baixa fertilidade. Os FMA são os mais importantes, por fazerem associações com a maioria das plantas, o que proporciona à planta tolerância maior aos estresses bióticos e abióticos. Nesse sentido, os FMA maximizam o uso de nutrientes no solo, como o fósforo, cobre e zinco, aumentam a fixação biológica do nitrogênio nas leguminosas e promovem a sustentabilidade do ambiente (JOHNSON & PFLEGER 1992).

Neste capítulo, abordaremos alguns estudos realizados sobre o papel das rizosferas, mas daremos maior ênfase às pesquisas relacionadas ao papel dos fungos micorrízicos no aumento da produtividade e na conservação do solo. Para a compreensão de como evoluiu a história ambiental no tocante à fertilização do solo, focaremos nas pesquisas feitas por impulsionadores do tema, como Johanna Dobereiner (Embrapa) e Ana Primavesi, e pesquisadores e instituições da atualidade que canalizaram energia em busca de conhecimento sobre o aumento da produtividade a partir da biocenose do solo.

### **3.1 - Bactérias fixadoras de Nitrogênio**

A manutenção da saúde do solo ou a promoção de sua recuperação aliadas à produtividade é uma preocupação tanto nas áreas usadas na agricultura familiar quanto nas produções de larga escala, como a de soja. Ao longo da história da agricultura, foi tornando-se cada vez mais evidente a necessidade de práticas de adição de matéria orgânica ao solo. Entre essas, destaca-se a adubação verde, reconhecida como uma alternativa viável na busca de sustentabilidade dos solos agrícolas. Para recuperar pastagens, por exemplo, essa prática se destaca pela importância e viabilidade, porque o uso de leguminosas permite a manutenção do teor de nitrogênio no solo, elemento essencial para a construção de moléculas orgânicas (ANDRADE *et al.*, 1984).

Essa preocupação levantou a iniciativa da Embrapa para investir esforços em pesquisas voltadas para os benefícios que os micro-organismos apresentavam em relação ao solo.

Inicialmente, um número pequeno de pesquisadores acreditava que a fixação biológica do nitrogênio (FBN) competiria com fertilizantes minerais, e é nesse cenário que Johanna Döbereiner iniciou um programa de pesquisas sobre aspectos que poderiam limitar a FBN em leguminosas tropicais e que as bactérias do gênero *Rhizobium* poderiam auxiliar no processo de fixação desse nitrogênio. Em 1954 inicia-se o programa brasileiro de melhoramento de soja (EMBRAPA, 2005).

A FBN, feita através da simbiose estabelecida com as plantas leguminosas, ocorre por conta das bactérias genericamente conhecidas como rizóbios. De acordo com Santos *et al.* (2008), atualmente são catalogados 12 gêneros e 62 espécies de rizóbios, cujos números podem ser revistos, considerando-se que a maioria das leguminosas ainda não foi estudada. As bactérias do gênero *Bradyrhizobium* se destacam por formar nódulos na soja durante a simbiose.

Sabe-se que a estrutura da comunidade bacteriana da rizosfera de genótipos de milho contrastantes no uso de fósforo é mais influenciada pelo teor de chumbo no solo do que pelo genótipo. E, em plantas de milho cultivadas em solo com baixo suprimento de chumbo, ocorre maior diversidade funcional de bactérias do que em solo sem deficiência desse elemento (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Em muitos solos tropicais, como os de campos cerrados que cobrem grandes áreas do Brasil, a escassez de fosfato disponível é o principal fator limitante do crescimento das plantas e não há resposta ao nitrogênio, até que a deficiência de fosfato seja aliviada. Em tais solos, a inoculação com um fungo micorrízico pode ser benéfica, embora a maioria contenha naturalmente alguns fungos que formam micorrizas vesicular-arbusculares (VA), (MOSSE, 1972).

Os avanços alcançados na agricultura brasileira ao longo dos últimos quarenta anos demonstraram a possibilidade de transformar grandes extensões de terras pobres e ácidas em terras férteis. Além disso, foi desenvolvida a plataforma de práticas sustentáveis sem igual no planeta, como a fixação biológica de nitrogênio (EMBRAPA, 2014).

A integração entre os micro-organismos e o solo fica evidente quando se observa os resultados os quais demonstram que a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares influenciou de modo expressivo as variáveis de crescimento, nodulação e densidade de

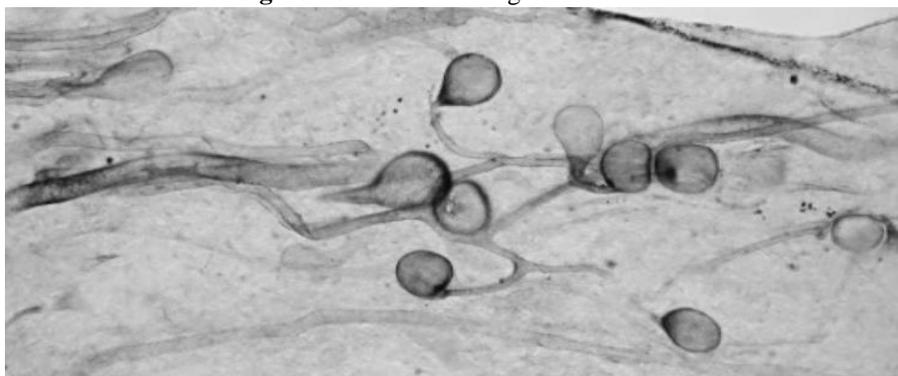
actinomicetos na rizosfera de soja, que apresentaram valores maiores do que as plantas sem o inóculo fúngico.

Antes de surgir a preocupação com adubação verde e técnicas sustentáveis, Johanna Dobreiner liderava grupos de pesquisa no precursor da Embrapa, o Instituto de Ecologia e Experimentação Agrícola, contrariando os princípios da adubação química. Segundo a pesquisadora, ir contra esses princípios soava quase como um sacrilégio. No entanto, suas pesquisas com a fixação biológica do nitrogênio levaram o Brasil a ampliar as técnicas de fertilização do solo sem o uso de adubos químicos e lhe renderam a indicação ao Prêmio Nobel em 1997 (Portal Embrapa, s.d.).

### 3.2 - As micorrizas

A sentença de J.L. Harley “Plantas não têm raízes, elas têm micorrizas” foi proferida com a intenção de alertar ecologistas e biólogos que, em condições naturais, grande parte das plantas apresentam a associação simbiótica mutualística micorrízica. Cabe ressaltar que a origem dessa simbiose, segundo os fósseis, teria ocorrido entre 460 e 500 milhões de anos (Figura 10). Fungos micorrízicos já eram utilizado historicamente, pois foram encontrados fósseis de esporas de fungos do filo *Glomeromycota* com 460 milhões de anos, que permitiram determinar que a origem e presença dos micorrizos fossem antigas (MOHAN *et al.*, 2014). As formas arbusculares já se encontravam presentes no momento da aparição das primeiras plantas vegetais superiores (REDECKER *et al.*, 2000a ; RUY, 2015).

**Figura 10** - Fóssil de fungo micorrízico



Fonte: Rhyne Chart Pictures<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.xs4all.nl/~steurh/engrhyn/eglomit2.html>. Acesso em: 10 set. 2021.

De acordo com Pirozynski (1981), a associação micorrízica com vegetais superiores teria iniciado sua evolução nas regiões tropicais, havendo inclusive espécies que são encontradas unicamente nestas regiões, embora hoje seja relatada sua presença em diferentes regiões do planeta, independentemente do tipo de clima (MOURA *et al.* 2017). A sobrevivência e a evolução dos vegetais superiores podem estar relacionadas a essa simbiose, uma interação harmônica que surgiu a milhares de anos (SMITH; READ, 2008).

Os FMA funcionam como uma extensão do sistema radicular e, assim, auxiliam na absorção de água e nutrientes minerais para a planta, principalmente aqueles elementos pouco móveis no solo, como fósforo, zinco e cobre (MOURA, 2015). As primeiras plantas terrestres, como *Rhynia major*, não possuíam raízes próprias, apresentando unicamente um caule subterrâneo do qual sobressaíam caules aéreos. A absorção de nutrientes, portanto, recaía quase exclusivamente sobre os micorrizos, mostrando sua necessidade para a conquista da terra firme e sua importância na fertilidade como constituinte de sua microflora na alimentação dos animais e da humanidade (RAVEN, 2014).

Os FMA exercem também a capacidade de favorecer a agregação do solo por meio da ação física do micélio fúngico e da ação química a partir da produção de uma glicoproteína denominada glomalina (TRUBER, 2013). O polissacarídeo que é exsudado também atua tanto na agregação do solo como na estimulação de bactérias produtoras de agentes cimentantes. Isso diminui a susceptibilidade a erosões, que são agravadas com a submissão dos solos a manejos intensivos e inadequados (MILLER; JASTROW, 1992; SIQUEIRA *et al.*, 1994). Em função dessas intervenções, durante o processo de cultivo, as populações de micorrizas se apresentam em menor número, tornando as plantas mais dependentes da micorrização e um maior número desses fungos pode ser atribuído ao menor estresse ambiental proporcionado pelo equilíbrio da vegetação nativa (MIRANDA, 2008).

### **3.3 - Classificação das micorrizas**

Os fungos micorrízicos pertencem à ordem das Mucorales e à família das Endogonaceas (MIRANDA, 1986). De acordo com o tipo de associação entre esses fungos e raízes, eles podem ser classificados como ectomicorrizas ou endomicorrizas. As classificações ectomicorriza e endomicorriza distinguem o fungo que não penetra nas células da planta hospedeira, desenvolvendo ligeiramente no córtex e amplamente na parte externa da superfície

da raiz (ecto), daquela onde o fungo entra nas células e forma estruturas fúngicas específicas, estabelecendo-se no córtex da raiz (endo) (MIRANDA; MIRANDA, 1997).

As ectomicorrizas se aglomeram ao redor da raiz e formam uma bainha fúngica no entorno desta denominada de rede de Hartig. Outra característica das infecções por ectomicorrizas é que o crescimento das raízes infectadas se estanca e adquire a forma de clava. Os micorrizos vesiculares e arbusculares têm numerosos hospedes; desta forma, infectam a maior parte dos cultivos agrícolas. Os gêneros importantes são *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Entrophospora* e *Scutellospora* (SILVA *et al.*, 2007).

Além de sua participação na absorção de nutrientes, os fungos ectomicorrizicos protegem as raízes das plantas contra o ataque de microorganismos patogênicos, fisicamente, pela presença da vasta manta hifal que envolve as raízes e, biologicamente, pela formação de uma micorrizosfera antagônica aos patógenos, através da formação de antibióticos (BERBARA *et al.*, 2006). Esse tipo de fungo é essencial para o crescimento e consequente produtividade, e são utilizados amplamente dos programas de reflorestamento, particularmente no Cerrado (VIEIRA; CARVALHO, 1994; MIRANDA, 2005).

Na endomicorriza, não ocorre a formação do manto hifal externo, mas sim desenvolvimento inter e intracelulares no córtex das raízes laterais absorventes, e não há alteração morfológica; formando, assim, estruturas fúngicas específicas nas células do córtex. São três as distinções das endomicorrizas: as Ericaleas, as Orchidaceas e as Vesículoarbusculares (MIRANDA; MIRANDA, 1997).

Fungos micorrízicos arbusculares pertencem em grande parte ao filo Glomeromycota que possui 4 ordens, 9 famílias e 18 gêneros catalogados. Eles representam a maioria das associações e possuem nenhuma ou pouca especificidade relacionada às plantas que colonizam, ocorrendo em cerca de 80% das plantas vasculares (REDECKER *et al.*, 2013).

Na região de Cerrado, foram descritas 43 espécies em 9 gêneros: *Acaulospora*, *Ambispora*, *Gigaspora*, *Cetraspora*, *Dentiscutata*, *Racosetra*, *Scutellospora*, *Glomus*, e *Paraglomus* (SOUZA *et al.*, 2010). As práticas agrícolas como o uso de fertilizantes químicos ou orgânico podem influenciar diretamente a comunidade de fungos micorrízicos avasculares (CARRENHO *et al.*, 2010). Em áreas de monocultivo, a diversidade é afetada de forma negativa, já a rotação de culturas e sistemas que tem integração de culturas e pastagens, a comunidade FMA, aumenta a riqueza de espécies (MIRANDA; MIRANDA, 2007).

### 3.4 - As micorrizas e a agricultura no Brasil

Os estudos sobre micorrizas e suas associações com as plantas começaram a ganhar importância do final do século XX, com a atuação de pesquisadores americanos, ingleses e alemães. O botânico alemão Albert Berthard Frank, em 1885 foi o primeiro a observar micorrizas que deixaram registro, foi ele quem propôs o termo micorrizas (mico: fungo; riza: raiz), entretanto eles são conhecidos desde a antiguidade em quase todos os cultivos.

Na França, em 1900, Noel Bernard estudou e publicou sua tese sobre a extrema importância na vida das orquídeas. A partir de 1955, com a publicação dos primeiros trabalhos de Bárbara Mosse, em East Malling, Grã-bretanha, os micorrizas voltaram ao seu status na evolução da vida e futura biotecnologia.

No Brasil, os primeiros relatos de ocorrência de fungos micorrizicos ocorreram entre 1906 e 1937, em plantações de Pinus, mas somente entre 1950 e 1970 foram identificados em Araucárias e em algumas espécies arbóreas da Amazônia (SIQUEIRA *et al.* 2010). Depois da década de 1960 houve muitos trabalhos sobre a atuação dos fungos da micorriza arbuscular em todo mundo, sobretudo nos trópicos, particularmente no Cerrado (CORDEIRO *et al.*, 2005).

A década de 1970 foi a que mais revolucionou o mundo das pesquisas com micorrizas, uma vez que o período ficou marcado pela publicação de vários trabalhos científicos, como o da Dra. Lilian Isolde Thomazzini, que, em 1974, por meio da revista *Plant and Soil*, divulgou ao mundo uma lista de 56 espécies vegetais que continham associação mutualística com os fungos micorrizicos. Dessas, duas espécies apresentavam associação ectomicorrizica e duas, associação ectoendomicorrizica.

Em 1976, Tasso Leo Krugner, professor da Universidade de São Paulo, concluiu doutorado na Carolina do Norte com pesquisas que também enfatizavam a relação mutualística entre FMA e os vegetais. Em 1978, o Instituto Agrônomo de Campinas organizou um curso sobre técnicas de pesquisas com micorrizas, o qual foi ministrado pela Dra. Bárbara Mosse e pelo Dr. David Hayman, que estudaram espécies micorrizicas na estação Experimental da Inglaterra.

Com a expansão agrícola, muitos levantamentos foram realizados em diferentes tipos de solo de Cerrado, demonstrando que os fungos micorrizicos arbusculares se associam a um

grande número de plantas nativas da região, englobando gramíneas, leguminosas e espécies arbóreas (MIRANDA, 2008). A partir daí, as pesquisas sobre o tema foram impulsionadas de maneira que as décadas de 1980 e 1990 consolidaram a ideia da importância do papel dessa relação mutualística (SIQUEIRA *et al.*, 2010)

Apesar de ainda necessitar de ampliação, os programas de pesquisa sobre esse conjunto de fungos o Brasil possuem atualmente mais de 20 grupos de estudo, com pesquisadores que se dedicam a compreender melhor a interação simbiótica micorrízica com as plantas do Cerrado. Se o século XX contou com Bárbara Mosse e Harley como precursores nessa investigação científica na agricultura, hoje contamos com estudos feitos por Miranda, com muitas contribuições através da Embrapa Cerrados e com outros nomes, como o professor Dr. Jadson Belém de Moura e o pesquisador Orivaldo José Saggin Junior.

**CAPÍTULO IV - TOTAL MICROORGANISMS IN CERRADO SOIL UNDER THE INFLUENCE OF SEASONAL CHANGES**

**Capítulo submetido à Revista African Journal of Microbiology Research como artigo a ser publicado.**

*Belcholina Elias Silva*

Universidade Estadual de Goiás

*Sandro Dutra e Silva*

Universidade Estadual de Goiás

*Rodrigo Fernandes de Souza*

Universidade Estadual de Goiás

*Wagner Gonçalves Vieira Junior*

Faculdade de Agricultura e Ciências Veterinárias – S P

*Leidiane dos Santos Lucas*

Universidade de Brasília

*José Mateus dos Santos*

Universidade Estadual de Goiás

*Luiz Cesar Lopes Filho*

Instituto Federal Goiano – Rio Verde

*Willian Marques Pires*

Instituto Federal Goiano – Rio Verde

*Walber Alves Ribeiro*

Faculdade Evangélica de Goianésia

*Jadson Belem de Moura*

Faculdade Evangélica de Goianésia

**TOTAL MICROORGANISMS IN CERRADO SOIL UNDER THE INFLUENCE OF SEASONAL CHANGES**

Belcholina Elias Silva<sup>1</sup>, Sandro Dutra e Silva<sup>1,2</sup>, Rodrigo Fernandes de Souza<sup>1,3</sup>, Wagner Gonçalves Vieira Junior<sup>4</sup>, Leidiane dos Santos Lucas<sup>5</sup>, José Mateus dos Santos<sup>2,3</sup>, Luiz Cesar Lopes Filho<sup>6</sup>, Willian Marques Pires<sup>7</sup>, Walber Alves Ribeiro<sup>3</sup>, Jadson Belem de Moura<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Graduate Studies in Natural Resources of the Cerrado, State University of Goiás, Anápolis, Goiás, Brazil.

<sup>2</sup>Graduate Studies in Social, Technological and Environment Science, Evangelical University of Goiás, Anápolis, Goiás Brazil.

<sup>3</sup>Sedmo - Soil Research Group, Ecology and Dynamics of Organic Matter, Evangelical College of Goianésia, Goianésia, Brazil.

<sup>4</sup>Graduate Studies in Agricultural microbiology, Faculty of Agricultural and Veterinary Sciences, Paulista State University “Júlio de Mesquita filho”, Jaboticabal SP, Brazil.

<sup>5</sup>University of Brasilia, UNB, Graduate Studies in Agronomy, Brasilia, Brazil

<sup>6</sup>Graduate Program in Agronomy/Phytosanity - Federal University of Goiás

<sup>7</sup>Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, Graduate Studies in Agricultural Sciences / Agronomy, Rio Verde, Goias, Brazil

### **Abstract**

The Cerrado is the second largest Brazilian biome and one of the main biodiversity hotspots on the planet and has recently gained prominence for being the last agricultural frontier with food production potential in the Americas. The cerrado soils are ancient, deep, poorly fertile, acidic and very weathered; however, they present a great richness of biodiversity of fungi and bacteria, which play fundamental functions for the resilience and maintenance of life in this biome. This biodiversity is adapted to the seasonal edaphoclimatic conditions of the cerrado, divided into a dry and rainy season, which also confer great resilience and high recovery power to situations of environmental stress, such as forest fires. Understanding how fungal and bacterial communities of cerrado soils work is fundamental to understanding the role of these organisms and their behavior in situations of stress such as lack of water and the involvement of forest fires. In view of the above, this study aims to verify the influence of forest fires and seasonal variations on the dynamics of total microorganisms in the soil of five cerrado phytophysionomies. Cerradão phytophysionomy presented the highest values of fungal and bacterial colony forming units when compared to other phytophysionomies. The floristic biodiversity of the cerradão River reflects a greater associated edaphic microbial biodiversity.

**Keywords:** Diversity, soil microbiology, climate change

### **4 - Introduction**

Soil microorganisms are fundamental in the maintenance and sustainability of natural ecosystems, as they act in essential processes, such as the promotion of plant growth, decomposition of organic matter and nutrient cycling, biological nitrogen fixation, phosphate solubilization and nutrient absorption (Romero Martins et al. 1999, Silveira and Freitas 2007, Meenu Saraf et al. 2013, Moura 2015, Moura et al. 2017, Moura and Cabral 2019).

The presence of microorganisms in the soil is essential for the conservation and recovery of the biological diversity of ecosystems that have experienced disasters, such as droughts and floods. These organisms play important roles in the recovery of these areas, reflecting the known resilience that the Cerrado Biome has to abiotic stresses such as moisture variations caused by the seasons (Delegá 2017, Ribeiro 2017, Vieira Junior et al. 2020).

The Cerrado has one of the greatest biodiversity on the planet because it is a transition biome that is in direct contact with other important biomes, such as the Amazon, Caatinga, Atlantic Forest and Pantanal. It is currently the main frontier of agricultural expansion in Brazil, and this has been the target of several criminal activities to deforest native areas to increase the productive area (Klink and Machado 2005).

Another important characteristic of the Cerrado is its climate, defined as humid tropical, with two well-defined seasons during the year, dry winter and humid summer. The dry season is usually between April and September, and the rainy season is between October and March (Cardoso et al. 2015).

This seasonality of rainfall has a direct influence on the population of fungi and bacteria in cerrado soils (Bouamri et al. 2014, Vieira Junior et al. 2020). Because microorganisms are more sensitive to any environmental changes, they are useful indicators of soil quality and the health of an ecosystem. Approximately 80 to 90% of soil biochemical processes are mediated by microorganisms, and such processes directly reflect on ecosystem recovery (Mataix-Solera et al. 2009).

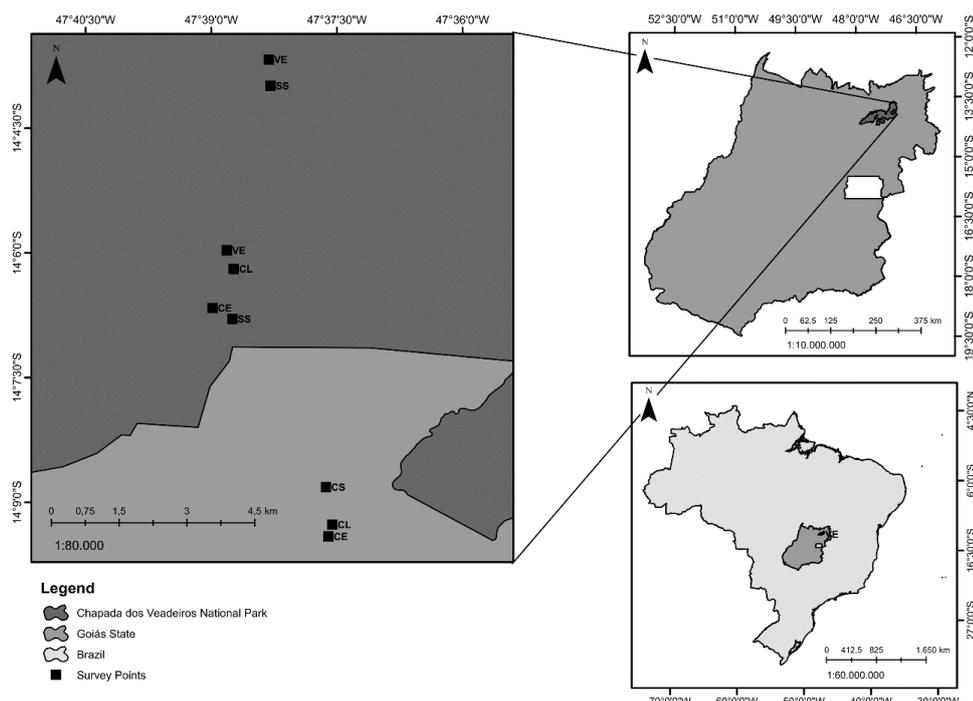
Due to its high sensitivity to environmental changes, soil microbial activity can be used as a bioindicator of the amount and severity of the impacts that these climate changes can have on ecosystems. With the importance of the current environmental paradigm of climate emergency and global warming, understanding the influence of seasonal variations on microbial activity has gained fundamental scientific prominence. With this, this work aims to verify the dynamics of soil microbial activity in five phytophysionomies of the Cerrado biome as a function of the seasonal variation in the dry and rainy seasons throughout the year.

#### **4.1 - Material and Methods**

The samples were taken in Chapada dos Veadeiros National Park, a permanent preservation area with native Cerrado areas without anthropic influence. The five main phytophysionomies of the Cerrado biome were chosen according to the classification of (Batalha, 2011): clean field, dirty field, cerrado sensu stricto, cerradão and Veredas (Figures 1 and 2). (Batalha 2011)



**Figure 1.** The five main phytogeographies of the Cerrado biome: *Campo Limpo* (a), *Campo Sujo* (b), *Cerrado strictu sensu* (c), *Cerradão* (d) and *Veredas* (e)



**Figure 2.** Chapada dos Veadeiros National Park Area. Sampling points of the areas with and without fire in Chapada dos Veadeiros National Park. CL - Clean Field; CS - Dirty Field; SS - strictu sensu; EC - cerradão; VE - veredas.

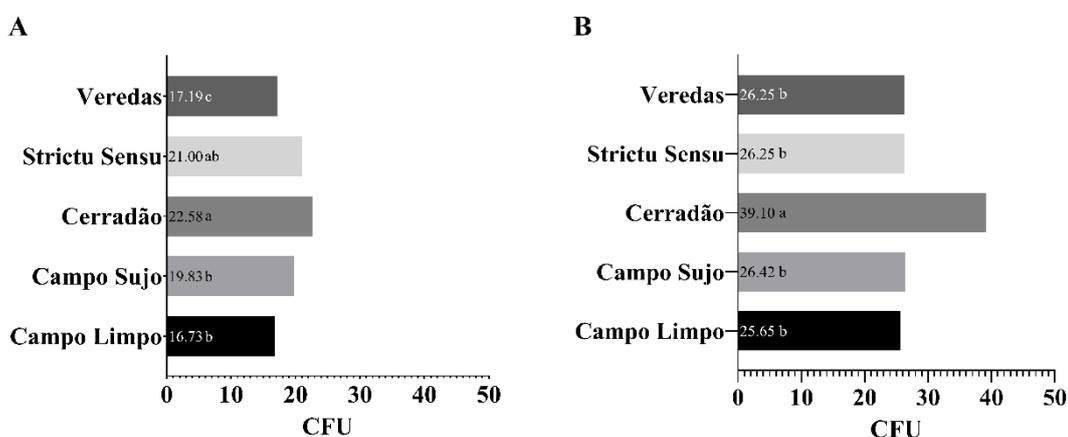
Four times were chosen for sampling, two in rainy periods, November 2017 and February 2018, and two in the dry season, June and September 2018. In each epoch, root and rhizosphere soil samples of each phytophysiognomy were collected (Figure 1). At each sampling point, 12 replicates were collected, and each repetition was composed of a sample composed of five simple samples.

The analyses were carried out in the laboratory of agricultural microbiology of the Evangelical College of Goianésia. The number of fungi and bacteria was determined by quantifying colony-forming units (CFU) and morphologically distinct colonies in BDA culture medium (Potato-Dextrose-Agar), with three replications by dilution of concentration of  $10^{-5}$ . The Petri dishes with the inoculated media were incubated at room temperature ( $\pm 28$  °C), with the counting of the colonies of fungi performed three days after incubation; the count of bacterial colonies will be performed 10 days after incubation.

The resulting data were submitted to variance analysis, and the means were broken down by the Tukey test at 5% probability. The maps were generated from the Quantum Gis 2.18 program (Marcuzzo et al. 2011, TEAM 2012, Santos and Brito 2018). The data were submitted to variance analysis by the Assistat program (SILVA 2008).

## 4.2 Results and Discussion

A significant difference was verified when investigating the values of colony forming units of fungi and bacteria in the different phytophysiognomies investigated (Figure 3).

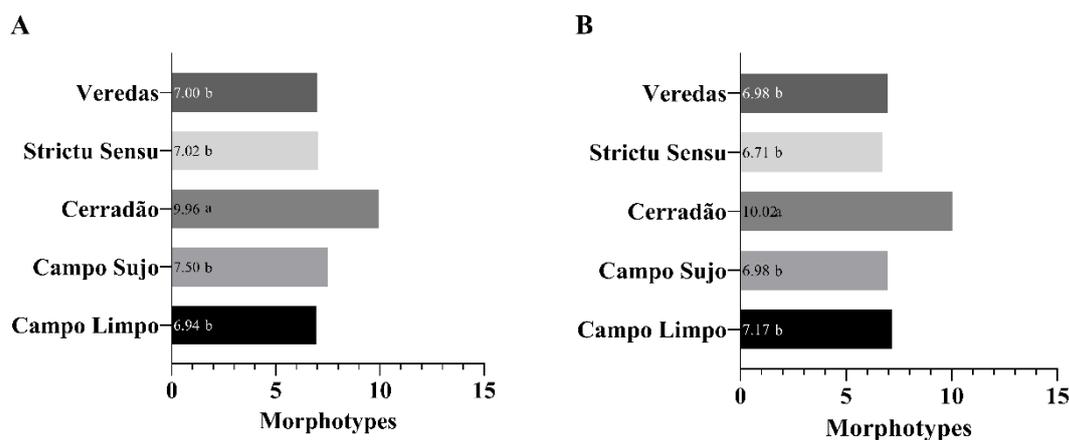


**Figure 3.** Colony forming units (CFU) of fungi (A) and bacteria (B) of five different phytophysiognomies of the Cerrado biome.

The amount of fungal CFUs in the cerradão phytophysiognomy was higher than those found in the other phytophysiognomies (Figure 3A). The same behavior was verified in bacterial CFUs (Figure 3B). This behavior is expected because of the floristic biodiversity found in this phytophysiognomy (Batalha, 2011). The vegetation of Cerradão is classified as a type of tropical forest, with dense vegetation and the presence of shrubby and tree species. This high floristic biodiversity is reflected in a rhizosphere with a high diversity of fungi and bacteria in the soil, higher than those observed in the areas of the veredas, which is a phytophysiognomy characterized by a type of lowland vegetation and flooded areas. The same biodiversity behavior was verified in cerradão areas when investigating the biodiversity of mycorrhizal fungi in different cerrado phytophysiognomies (Vieira Junior et al., 2020).(Batalha 2011)(Vieira Junior et al. 2020)

The cerrado is one of the biomes with the greatest richness of soil organisms in the world, and its area borders other important biomes of South America, which causes its biodiversity to be shared with these biomes (Moura et al., 2009, 2010, 2015a, 2015b; Souza et al., 2016).(Moura et al. 2009, 2010, 2015a, 2015b, Souza et al. 2016)

A significant difference was also verified when analyzing the number of morphologically distinct fungal and bacterial colonies in the different cerrado phytophysiognomies (Figure 4).

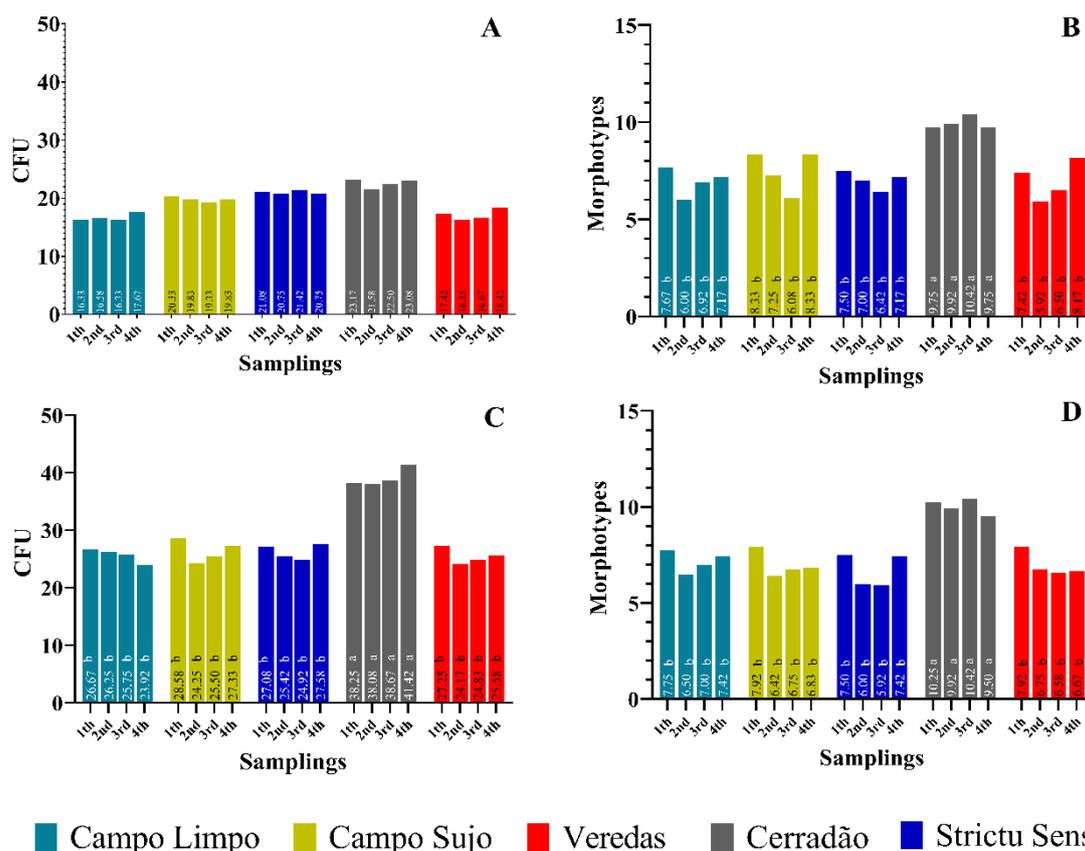


**Figure 4.** Diversity of morphotypes of fungal colonies (A) and bacteria (B) of five different phytophysionomies of the Cerrado biome.

Similar to the behavior of the number of colonies verified in the different phytophysionomies (Figure 3), the number of morphologically distinct colonies, classified as morphotypes, was higher in Cerradão than in the other phytophysionomies investigated. The areas of vegetative formation similar to savannas, such as the clean field, dirty field and strictu sensu, present lower floristic diversity than the areas of cerradão. The soil organisms present in the rhizosphere are a reflection of the plants that make up these biomes; the greater the diversity of plants on the surface is, the greater the amount of microorganisms in the soil (Dunfield et al. 2000, Bertin et al. 2003, Moura et al. 2015c, de Moura et al. 2017, Alrajhei et al. 2022)

The diversity of organisms in the soil is a reflection of the diversity of plants on the surface. Because of the greater floristic diversity found in cerradão phytophysionomies, the number of fungal and bacterial colony forming units, as well as the diversity of morphotypes found, were higher than those found in the other phytophysionomies.

When comparing the amount of fungal and bacterial CFUs and the amount of morphotypes in the five cerrado phytophysionomies at different periods of the year, it was possible to identify significant differences (Figure 5).



**Figure 5.** Colony forming units of fungi (A) and fungal morphotypes (B) and Colony Forming Units of Bacteria Colonies (C) and bacterial morphotypes (D) of five different phytophysionomies of the Cerrado biome at rainy times (1st and 4th) and in the dry season (2nd and 3rd).

When taking into account the behavior of the microbial community in the soil in relation to the seasonal variation throughout the year, it is possible to affirm that during the dry season (2nd and 3rd), both the amount of UCF and the diversity of morphotypes were negatively affected when compared to the samples collected during the rainy season (Figure 5).

The cerrado is a biome located in the South American tropical region and has two well-defined seasons, the rainy season between October and March and the dry season between April and September (Köppen, 1931; Cardoso et al., 2015). This seasonal difference directly reflects the ecosystem dynamics of this biome, where during the dry season, the vegetation is less vigorous and exuberant, and during the rainy season, the vegetation is green and vigorous (Vieira Junior et al., 2020; Marasca et al., 2021). (Köppen 1931, Cardoso et al. 2015) (Vieira Junior et al. 2020, Marasca et al. 2021)

This floristic behavior reflects the biodiversity of rhizospheric microorganisms, which, by their high sensitivity, present variation in their quantity and diversity (Arruda et al., 2021; Santos

Lucas et al., 2022; Moura et al., 2022).(Arruda et al. 2021, dos Santos Lucas et al. 2022, Moura et al. 2022).

### 4.3 – Conclusions

The different phytophysiognomies, as well as the seasonal variation in rainfall distribution in the cerrado region, directly affect the dynamics of soil microorganisms. The main influence of cerrado phytophysiognomies on soil microbial diversity is due to the floristic diversity of the biome. Phytophysiognomies with greater floristic diversity, such as Cerradão, present higher values of CFUs and different morphotypes of fungi and bacteria than less rich phytophysiognomies, such as clean fields and dirty fields. The dry season also negatively influenced the diversity of microorganisms, presenting lower values of CFUs and bacterial and fungal morphotypes than those observed in the rainy season.

### 4.4 References

#### References

- Alrajhei K, Saleh I, Abu-Dieyeh MH 2022. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in plant roots and rhizosphere soil from different arid land environment of Qatar. *Plant Direct* 6: e369.
- Arruda AB, Souza RF de, Brito GHM, Moura JB de, Oliveira MHR de, Santos JM dos, Dutra e Silva S 2021. Resistance of soil to penetration as a parameter indicator of subsolation in crop areas of sugar cane. *Scientific Reports* 11: 11780.
- Batalha MA 2011. O cerrado não é um bioma. *Biota Neotropica* 11: 1–4.
- Bertin C, Yang X, Weston LA 2003. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant and Soil* 256: 67–83.

- Bouamri R, Dalpe Y, Serrhini MM 2014. EFFECT OF SEASONAL VARIATION ON ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI ASSOCIATED WITH DATE PALM. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 977–986.
- Cardoso MRD, Marcuzzo FFN, Barros JR 2015. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. *Acta Geográfica* 8: 40–55.
- Delegá DM 2017. *Efeito do fogo sobre uma comunidade vegetal de cerrado sentido restrito*. Universidade Federal de Uberlândia.
- Dunfield KE, Siciliano SD, Germida JJ 2000. Microbial diversity in the rhizosphere of field grown herbicide-tolerant transgenic canola.
- Klink C a., Machado RB 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade* 1: 147–155.
- Köppen W 1931. *Grundriss der Klimakunde*. Berlin: W. de Gruyter.
- Marasca I, Jesus E da S de, Batistuzzi MM, Ventura MVA, Tavares RLM, Filho ACP de M, Moura JB de 2021. Effect of Cover Crops Associated With Lettuce Production Under No-Tillage System. *Journal of Agricultural Science* 14: p78.
- Marcuzzo FFN, de Andrade LR, Melo DCR 2011. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física* 06: 1275–1291.
- Mataix-Solera J, Guerrero C, García-Orenes F, Bárcenas GM, Pilar Torres M 2009. *Forest fire effects on soil microbiology*.
- Meenu Saraf, Aarti Thakkar, Urja Pandya, Mugdha Joshi, Jaina Parikh 2013. Potential of plant growth promoting microorganisms as biofertilizers and biopesticides and it's exploitation in sustainable agriculture. *J. Microbiol. Biotech* 3: 54–62.
- Moura JB 2015. *Diversidade e colonização micorrízica em diferentes usos do solo no Cerrado*. PhD Thesis, UNB.

- Moura JB, Cabral JSR 2019. Mycorrhizas in Central Savannahs: Cerrado and Caatinga. In: Pagano MC, Lugo MA (eds), *Mycorrhizal Fungi in South America*. Cham: Springer International Publishing. pp 193–202.
- Moura JB, Guareschi RF, Gazolla PR, Rocha A, CABRAL JSR 2010. PRODUÇÃO DE BIOMASSA E CAPACIDADE DE SUPRESSÃO DE PLANTAS INVASORAS PELA CULTURA DO MILHETO EM ADUBAÇÃO DE SISTEMA. *Revista Varia Scientia Agrárias* 1: 23–30.
- Moura JB, Marasca I, Meneses LA da S, Pires WM, Medeiros LC 2015a. RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO DO SOLO EM PASTAGEM CULTIVADA COM BRACHIARIA DECUMBENS SOB APLICAÇÃO DE DEJETOS LÍQUIDOS SUÍNOS E CAMA DE FRANGO. *Global Science and Technology*.
- Moura JB, Moreira RM, Jakoby ICMC, Castro CF de S, Soares MA, Andrade RDA, Souchie EL 2015b. Isolation of Microorganisms from a Swine Waste Stabilization Lake for Biodiesel Production. *American-Eurasian Journal of Environmental Sciences* 15: 1630–1636.
- Moura JB, Souza RF, Vieira-Júnior WG, Lucas LS, Santos JM, Dutra e Silva S, Marín C 2022. Effects of a megafire on the arbuscular mycorrhizal fungal community and parameters in the Brazilian Cerrado ecosystem. *Forest Systems* 31: e001–e001.
- Moura JB, Valentim NM, Ventura MVA, Junior WGV 2017. Taxa de colonização micorrízica sob diferentes sistemas de cultivo no cerrado em cana-de-açúcar. 2: 60–66.
- Moura JB, Ventura MVA, Cabral JSR, de Azevedo WR 2015c. Adsorção de Fósforo em Latossolo Vermelho Distrófico sob Vegetação de Cerrado em Rio Verde-Go. *Fronteiras* 4.

- de Moura JB, Ribeiro DA, Filho LCL, de Souza RF, Furquim C 2017. ARBUSCULAR MYCORRHIZAS IN SUGARCANE UNDER DIFFERENT PLANTING SYSTEMS AND SOURCES OF NITROGEN. 18: 10.
- Moura JB de, Guareschi RF, Correia AR, Gazolla R, Cabral JSR 2009. Produtividade do feijoeiro submetido à adubação nitrogenada e inoculação com *Rhizobium tropici*. *Global Science and Technology* 2: 66–71.
- Ribeiro G de FOD 2017. *Como queimadas em diferentes épocas do ano afetam a relação entre gramíneas invasoras e a vegetação nativa de cerrado?* Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- Romero Martins C, Claessen JC, Miranda D, Nobre L 1999. CONTRIBUTION OF NATIVE ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN THE ESTABLISHMENT OF *ARISTIDA SETIFOLIA* KUNTH IN DEGRADED AREAS IN THE CERRADO. 34: 665–674.
- Santos LCL, Brito GHM 2018. Delimitação das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio dos patos, go e identificação dos conflitos de uso de solo. *Ipê Agronomic Journal* 2: 53–60.
- dos Santos Lucas L, Neto AR, de Moura JB, de Souza RF, Santos MEF, de Moura LF, Xavier EG, dos Santos JM, Nehring R, Dutra e Silva S 2022. Mycorrhizal fungi arbuscular in forage grasses cultivated in Cerrado soil. *Scientific Reports* 12: 3103.
- SILVA F de A 2008. *ASSISTAT: Versão 7.7 beta*. Campina Grande-PB: DEAG-CTR-Universidade Federal de Campina Grande.
- Silveira APD Da, Freitas SDS 2007. *Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental*. Campinas: IAC.
- Souza BR, Moura JB, Oliveira TC, Ramos MLG, Lopes Filho LC 2016. Arbuscular Mycorrhizal fungi as indicative of soil quality in conservation systems in the region of

vale do São Patrício, Goiás. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CURRENT RESEARCH*  
8: 43307–43311.

TEAM QD 2012. *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation  
Project.

Vieira Junior WG, Moura JB de, Souza RF de, Braga APM, Matos DJ de C, Brito GHM, Santos  
JM dos, Moreira RM, Dutra e Silva S 2020. Seasonal Variation in Mycorrhizal  
Community of Different Cerrado Phytophysiomies. *Frontiers in Microbiology* 11.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A intensificação da exploração do uso do solo, principalmente em decorrência da expansão agrícola, tem alertado para a necessidade de manter a produtividade, mas manter também a sustentabilidade do bioma Cerrado. Essa intensa modificação tanto nos aspectos ambientais, como nos aspectos sociais e econômicos causa impacto direto na conservação do espaço físico, mas também na qualidade de vida da população vernacular.

Com a expansão agrícola, os estudos referentes ao solo do cerrado brasileiro se intensificaram e puderam dar espaço para as novas técnicas de fertilização de um solo que antes era considerado infértil, tornando-o não apenas fértil, como uma das grandes potências agrícolas do país. Sendo assim, como houve diversos estudos referentes ao bioma cerrado, fez-se necessário o estudo cienciométrico.

Foi observada durante o levantamento cienciométrico dados que confirmam a relação das pesquisas e consolidação do solo cerrado como fronteira agrícola e produtora de *Commodities*, os resultados demonstram que houve um aumento das publicações nas décadas de 1980. Destaca-se também a confirmação da EMBRAPA como uma empresa do estado brasileiro que foi um caso bem-sucedido no desenvolvimento do projeto agrícola, através do resultado de seu periódico: Pesquisa Agropecuária Brasileira ser o que mais publicou no período abordando o tema pesquisado e também pelo número de pesquisadores que foram os primeiros autores dos artigos.

Garantir a saúde do solo requer um conjunto de fatores bióticos e abióticos. A associação entre microrganismos e plantas, em especial os FMAs e as bactérias fixadoras de Nitrogênio, tem sido relatados como um dos fatores mais importantes para a manutenção e recuperação de solos do Cerrado, evitando sua compactação e o empobrecimento. Além disso, são importantes como barreira física para a entrada de fungos patogênicos nas raízes, aumento da resistência a fatores abióticos, como o estresse hídrico e melhora a resistência a doenças.

Conclui-se, portanto, que no manejo de sistemas de produção é importante e necessário considerar todas as práticas agrícolas que permitam a manutenção e o funcionamento do sistema micorrizicos, em virtude dos benefícios que este proporciona ao crescimento das plantas e à produtividade das culturas. No sistema de plantio direto, com a ausência do revolvimento do solo esse sistema é preservado e favorece a colonização radicular mais rápida

das plantas nos cultivos subsequentes. Além de se obter maiores retornos econômicos dos insumos utilizados, as condições ambientais, com o sequestro de carbono por meio da produção da glomalina pelos fungos micorrizicos arbusculares, e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas são preservadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 5 ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2008.
- ABELSON, P. H.; ROWE, James W. **A new agricultural frontier**. Science, v. 235, p. 14501452, 1987.
- AGUIAR, L. M. de S.; MACHADO, R. B.; MARINHO-FILHO, J. **A diversidade biológica do cerrado**. In: AGUIAR, L. M. de S.; CAMARGO, A. J. A. (Eds.). Cerrado - ecologia e caracterização. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.
- ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. de S. (Coautor). **De grão em grão, o cerrado perde espaço: cerrado, impactos do processo de ocupação. Fundo Mundial para a natureza: Sociedade de Pesquisas Ecológicas do Cerrado**. Brasília, p. 66, 1995.
- ALRAJHEI, K., SALEH, I., and ABU-DIEYEH, M. H. (2022). **Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in plant roots and rhizosphere soil from different arid land environment of Qatar**. Plant Direct 6, e369. doi: 10.1002/pld3.369.
- ARRUDA, A.B., SOUZA, R. F. de, BRITO, G. H.M., MOURA, J.B. de, OLIVEIRA, M. H. R. de, Santos, J.M. dos, et al. **Resistance of soil to penetration as a parameter indicator of subsolation in crop areas of sugar cane**. Sci. Rep. 11, 11780. Doi: 10.1038/s41598-02191186-3.
- BARBOSA, A. S. **Andarilhos da claridade: os primeiros habitantes do Cerrado**., Intituto do Trópico Subúmido, UCG, Goiânia, 2002.
- BARBOSA, A. S. **A ocupação humana no Cerrado**. In: GOMES, H. (Org.). O universo do Cerrado. Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 2008. v. 1.
- BARBOSA, A. S.; SCHIMIZ, P. I. **Ocupação indígena do cerrado: esboço de uma história**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998.
- BARBOSA, F. G., SCHNECK, F.; MELO, A. S. **Scientometrics of invasive species models**. Braz. J. Biol. v. 72, n 4, p. 821-829, 2012.

- BATTLE, M. A. (2011). **The cerrado is not a biome**. *Biota Neotropica* 11, 1–4.
- BERTIN, C., YANG, X., and WESTON, L. A. (2003). **The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere**. *Plant Soil* 256, 67–83. doi: 10.1023/A:1026290508166.
- BOUAMRI, R., DALPE, Y., and SERRHINI, M.M. (2014). **Effect of seasonal variation on arbuscular mycorrhizal fungi associated with date palm**. *Emir. J. Food Agric.* , 977–986. doi: 10.9755/ejfa.v26i11.18985.
- BERTRAN, P. **História da terra e do homem no planalto central: eco-história do distrito federal: do indígena ao colonizador**. Brasília: Verano, 2000.
- BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. *Embrapa Informática Agropecuária-Livro científico (ALICE)*, Brasília, 2020.
- BOTÂNICA, 2.; CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 29., 1978, Brasília/Goiânia. Resumos dos trabalhos. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, p. 1-37, 1978.
- BOURLIÈRE, F.; HADLEY, M. **Present-day savannas: an overview**. In: **BOURLIÈRE, F. (Ed.). Ecosystems of the world 13: Tropical savannas**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, p. 1-171, 1983.
- CARDOSO, M. R. D., MARCUZZO, F. F. N., and BARROS, J. R. (2015). **Köppen-Geiger climate classification for the state of Goiás and the Federal District**. *Geographical Minutes* 8, 40–55.
- CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (CSR/Ibama). **Monitoramento dos biomas brasileiros por satélite: Monitoramento do bioma Cerrado**. Dados Revisados. Brasília: CRS/ IBAMA, p. 67, 2009.
- COLE, M. M. **The savannas: biogeography and geobotany**. London: Academic Press. Londres, p.438, 1986.
- COUTINHO, L. M. **O conceito de Cerrado**. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 17- 23, 1978.

DE MOURA, J.B., RIBEIRO, D. A., FILHO, L.C. L., de SOUZA, R. F., and FURQUIM, C. (2017). **Arbuscular mycorrhizas in sugarcane under different planting systems and sources of nitrogen.** 18, 10.

DELEGÁ, D.M. (2017). **Effect of fire on a plant community of cerrado restricted sense.**

DOS SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., DOS ANJOS, L. H. C., DE OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ... & CUNHA, T. J. F. (2018). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018.

DUTRA & SILVA S.; BARBOSA, A. S. **Paisagens e fronteiras do Cerrado: ciência, biodiversidade e expansão agrícola nos chapadões centrais do Brasil. Estudos IberoAmericanos**, Dossiê: Escrevendo a história ambiental da América Latina: processos de ocupação, exploração e apropriação da natureza. v. 46, n. 1, p. e34028-e34028, Porto Alegre, 2020.

DUTRA, R. M. S. **Entre os impactos socioambientais da modernização da agricultura e as alternativas para transformação: uma análise a partir do Cerrado Goiano.** 89f. figs. tabs. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2015.

DOS SANTOS LUCAS, L., NETO, A. R., DE MOURA, J.B., DE SOUZA, R. F., SANTOS, M. E. F., DE MOURA, L. F., et al. (2022). **Mycorrhizal arbuscular fungi in forage grasses cultivated in Cerrado soil.** Sci. Rep. 12, 3103. Doi: 10.1038/s41598-022-07088-5.

DUNFIELD, K. E., SICILIAN, S. D., AND GERMIDA, J. J. (2000). **Microbial diversity in the rhizosphere of field grown herbicide-tolerant transgenic canola.** Available at: <https://harvest.usask.ca/handle/10388/9936> [Accessed January 4, 2022].

EITEN, G. **A sketch of vegetation of Central Brazil.** In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CONSERVAÇÃO. Brasília: MMA, 2005.

EITEN, G. **Cerrado vegetation of Brazil.** *Botanical Review*, New York, v. 38, p. 201341, 1972.

EITEN, G. **Delimitação do conceito de Cerrado.** *Arquivos do Jardim Botânico*, Rio de Janeiro, v. 21, p. 125-134, 1977.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

FERNANDES, P. A.; PESSÔA, V. L. S. **O Cerrado e suas atividades impactantes: Uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada**. Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia, v. 3, n. 7 (2011), p. 23. (5 de fevereiro de 2016).

FERNANDES, P. A.; PESSÔA, V. L. S. **O Cerrado e suas atividades impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada**. Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia, v. 3, n. 7, 2011.

FERRI, M. G. **Breve Histórico das mais Importantes Linhas de Pesquisa no Cerrado**. In: 96 MARCHETTI, D.; MACHADO, A. D. (Coautor). Cerrado: uso e manejo. Anais do V Simpósio Sobre o Cerrado. Brasília: Editerra, 1980. 761 p.

GALRÃO, E.Z. ; VOLKWEISS, S.J. **Disponibilidade de fósforo do solo para as plantas**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, p.11-8, 1981.

GLÄNZEL, W.; MOED, H. F. **Journal impact measures in bibliometric research**. **Scientometrics**, v. 53, n. 2, p. 171-193, 2002.

GOMES, J.B.V. (2004) **Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28 p. 137-153.

GRISEBACH, A. **Die vegetation der erde nach ihrer klimatischen anordnung**. Leipzig: [s.n.],1872. p.1335.

HAMMER, Ø. (2021). **Past 4.x - PAleontological STatistics**. Oslo: Natural History Museum, University of Oslo.

HOUWES, D. S. **Indicadores de Ciência do estado de Santa Catarina a partir de dados da Web of Science** / Daniele Houwes Silveira. – Florianópolis, 2012. 58f

LAMING-EMPERAIRE, A.; BAUDEZ, C. América. In: LEROI-GOURHAN, A. et al. **Pré-história**. São Paulo: Pioneira; Edusp, 1981.

LAURINDO, R.; MAFRA, T. Cienciometria da revista Comunicação & Sociedade identifica interfaces da área. Comunicação & Sociedade, n. 53, p. 233-260, 2010.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. da. **Recursos hídricos do bioma Cerrado: importância de atuação.** In: SANO et al. Cerrado Ecologia e Flora. Brasília, DF Embrapa Informações Tecnológicas, 2008.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M.; KOIDE, S. The Challenge in managing water resources in the Cerrado Biome, Brazil. In: IUGG General Assembly, 24, 2007, Perugia, Italy. Anais, 2007b. PENA, Rodolfo F. Alves. "**Cerrado: a caixa d'água do Brasil**". 2018.

LIMA, L. S. Produção Científica na área de Ciência Da Informação da UNESP : Colaboração, **Impacto e Visibilidade (2010-2019)** /Lidyane Silva Lima. -- Marília, 2021 134 p. : il., tabs. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Filosofia e Ciências, Marília.

KLINK, C. a., and MACHADO, R.B. (2005). **The conservation of the Brazilian Cerrado. Megadiversity** 1, 147–155. doi: 10.1590/S0100-69912009000400001.

KÖPPEN, W. (1931). **Grundriss der Klimakunde.** Berlin: Gruyter w.

MACIAS-CHAPULA, C. A. **O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional.** Ci. Inf., v. 27, n. 2, p. 134-140, 1998.

MADEIRA NETO, J. S.; MACÊDO J. **Contribuição para interpretação dos levantamentos de Solos.** Embrapa-CPAC, 1981

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: campos sulinos.** Porto Alegre. Edições, 2004. 110 p. il.

MATOSAK, B. M., FONSECA, L. M. G., TAQUARY, E. C., MARETTO, R. V., BENDINI, H. D. N., & Adami, M. **Mapping Deforestation in Cerrado Based on Hybrid Deep Learning Architecture and Medium Spatial Resolution Satellite Time Series. Remote Sensing,** v. 14, n. 1, p. 209, 2022.

MARASCA, I., JESUS, E. DA S. DE, BATISTUZZI, M.M., VENTURA, M. V. A., TAVARES, R. L.M., FILHO, A.C. P. DE M., ET AL. (2021). **Effect of Cover Crops Associated With Lettuce Production Under No-Tillage System.** Mr. J. Agric. Sci. 14, p78.

Doi: 10.5539/jas.v14n1p78.

MARCUZZO, F. F. N., DE ANDRADE, L. R., AND MELO, D.C. R. (2011). **Methods of Mathematical Interpolation in the Mapping of Rains of the State of Mato Grosso**. Rev. Bras. Geogr. Physics 06, 1275–1291. doi: 10.5935/1984-2295.20140015.

MATAIX-SOLERA, J., GUERRERO, C., GARCÍA-ORENES, F., BÁRCENAS, G.M., AND PILAR TORRES, M. (2009). **Forest fire effects on soil microbiology**. Doi: 10.1201/9781439843338-c5.

MAZZETTO SILVA, C. E. **Ordenamento Territorial no Cerrado brasileiro: da fronteira monocultora a modelos baseados na sociobiodiversidade**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 19, p. 89-109, jan. /jun. 2009

MEENU SARAF, AARTI THAKKAR, URJA PANDYA, MUGDHA JOSHI, AND JAINA PARIKH (2013). **Potential of plant growth promoting microorganisms as biofertilizers and biopesticides and it's exploitation in sustainable agriculture**. J Microbiol Biotech 3, 54–62.

MMA – Ministério do Meio Ambiente – Brasil. O Bioma Cerrado. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acessado em agosto de 2021.

MORALES, W. F. **Brasil Central: 12.000 anos de ocupação humana no médio curso do rio Tocantins**. São Paulo: Annablume; Porto Seguro: Acervo- Centro de Referência em Patrimônio e Pesquisa, 2008.

MOURA, J.B. (2015). **Mycorrhizal diversity and colonization in different land uses in the Cerrado**.

MOURA, J.B., AND CABRAL, J. S. R. (2019). **"Mycorrhizas in Central Savannas: Cerrado and Caatinga," in Mycorrhizal Fungi in South America Fungal Biology.**, eds. M.C. Pagano and M. A. Lugo (Cham: Springer International Publishing), 193–202. doi: 10.1007/978-3-030-15228-4\_10.

MOURA, J.B. DE, GUARESCHI, R. F., CORREIA, A. R., GAZOLLA, R., AND CABRAL, J. S. R. (2009). **Bean yield submitted to nitrogen fertilization and inoculation with *Rhizobium tropici***. Glob. Sci. Technol. 2, 66-71.

MOURA, J.B., GUARESCHI, R. F., GAZOLLA, P. R., ROCHA, A., AND CABRAL, J. S. R. (2010). **Biomass production and serousness of invasive plants by millet crop in system fertilization.** *Rev. Varia Sci. Apart.* 1, 23-30.

MOURA, J.B., MARASCA, I., MENESES, L. A. DA S., PIRES, W.M., AND MEDEIROS, L.C. (2015a). **Resistance to soil penetration in pasture cultivated with brachiaria decumbens under application of liquid waste pigs and chicken bed.** *Glob. Sci. Technol.* Available at: <http://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/455>.

MOURA, J.B., MOREIRA, R.M., JAKOBY, I.C.M.C., CASTRO, C. F. DE S., SOARES, M. A., ANDRADE, R. D. A., et al. **Isolation of Microorganisms from a Swine Waste Stabilization Lake for Biodiesel Production.** *Am.-Eurasian J. Environ. Sci.* 15, 1630–1636. doi: 10.5829/idosi.aejaes.2015.15.8.12756.

MOURA, J.B., SOUZA, R. F., VIEIRA-JÚNIOR, W. G., LUCAS, L. S., SANTOS, J.M., DUTRA E SILVA, S., et al. **Effects of a megafire on the arbuscular mycorrhizal fungal community and parameters in the Brazilian Cerrado ecosystem.** *Is. Syst.* 31, e001–e001. doi: 10.5424/fs/2022311-18557.

MOURA, J.B., VALENTIM, N.M., VENTURA, M. V. A., AND JUNIOR, W. G. V. (2017). **Mycorrhizal colonization rate under different cultivation systems in the cerrado in sugarcane.** 2, 60–66.

MOURA, J.B., VENTURA, M. V. A., CABRAL, J. S. R., AND DE AZEVEDO, W. R. (2015C). **Phosphorus adsorption in Dystrophic Red Latosol under Cerrado Vegetation in Rio Verde-GO.** *Borders* 4. doi: <http://10.21664/2238-8869.2015v4i3.p199-208>.

NOGUEIRA, C. A. **Cienciometria e análise da variabilidade genética de variedades de *Hancornia speciosa*** / Cássia Aparecida Nogueira. 72 f. il. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Goiás. Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado, 2015.

PIRES, M. O. **Programas Agrícolas na Ocupação do Cerrado.** *Sociedade e cultura*, Vol. 3, Núm. 1-2, 2000, PP. 111-131.

POSEY, D. A. **Manejo da floresta secundária, capoeiras, campos e cerrados (Kaiapó)**. In: RIBEIRO, B. G. (Coord.). *Suma etnológica brasileira: etnobiologia*. 3. ed. Belém: Editora da UFPA, 1997. v.

REATO, A.; MARTINS, E. S. **Classes de solo em relação aos controles da paisagem do bioma cerrado**. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Orgs.). *Cerrado: ecologia, biodiversidade e*

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. **Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P (Editoras). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: Embrapa – CPAC, 1998. 226 p.

RIBEIRO, J. F & WALTER, B. M. T. **As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora v. 2*. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. 876 p.

RICHARDS, P. W. **The tropical rain forest: na ecological study**. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. 450 p. (Reprinted first published 1952).

RICHARDS, P. W. **The tropical rain forest: na ecological study**. Cambridge: Cambridge University Press, New York, 1996. 2ed., 575 p. (with contributions by R. P. D. Walsh, I. C. Baillie and P. Greig-Smith).

ROCHA, G. F.; FERREIRA JR., L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E.; SILVA, G. N. F. **Distribuição espacial dos dados de alertas de desmatamentos do bioma cerrado para o período 2003-2007 (p. 2983-2988)**. In: XIV SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal-RN. *Anais do XIV SBSR. SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP: INPE, 2009*.

RIBEIRO, G. de F. O. D. (2017). How do fires at different times of the year affect the relationship between invasive grasses and native cerrado vegetation?

ROMERO MARTINS, C., CLAESSEN, J.C., MIRANDA, D., AND NOBRE, L. (1999). **Contribution of native arbuscular mycorrhizal fungi in the stablishment of *aristida setifolia kunth* in degraded areas in the cerrado**. 34, 665–674.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 1, 153-156, 2008.

SANTOS, C. A. **Esboço históricos das reuniões sobre os Cerrados**, Planaltina, EMBRAPA – CPAC, 1982. 28p. (EMBRAPA – CPAC. Documentos, 6).

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, L.C. L., AND BRITO, G. H.M. (2018). **Delimitation of permanent preservation areas in the duck river basin, go and identification of land use conflicts**. Ipê Agron. J. 2, 53-60.

SANTOS, R. N. M. dos. **Produção científica: por que medir? o que medir? Revista digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, v. 1, n. 1, 2003.

SANTOS, S. A. **As Unidades de Conservação no Cerrado Frente ao Processo de Conversão. Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2018.

SCHIMPER, A. F. W. **Plant geography: upon a physiological basis**. New York: Hafner, 1960. 839 p. Reprinted - original de 1898.

SILVA, C. M. **A face infértil do Brasil: ciência, recursos hídricos e o debate sobre (in) fertilidade dos solos do cerrado brasileiro, 1892-1942**. História, Ciências, SaúdeManguinhos, v. 26, p. 483-500, 2019.

SILVA, F. de A. (2008). **ASSISTAT: Version 7.7 beta**. Campina Grande-PB: DEAG-CTRN Federal University of Campina Grande.

SILVEIRA, A. P. D. DA, AND FREITAS, S. D. S. (2007). **Soil Microbiota and Environmental Quality**. Campinas: IAC.

SIQUEIRA, José Oswaldo; SOUZA, Francisco Adriano de; CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira; TSAI, Siu Mui. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. [S.l.: s.n.], 2010.

SOUZA, B. R., MOURA, J.B., OLIVEIRA, T.C., RAMOS, M. L. G., AND LOPES FILHO, L.C. (2016). **Arbuscular Mycorrhizal fungi as indicative of soil quality in conservation systems in the region of vale do São Patrício, Goiás.** Int. J. Curr. 8, 43307–43311.

TEAM, Q. D. (2012). **QGIS Geographic Information System.** Open Source Geospatial Foundation Project Available at: <http://qgis.osgeo.org>.

VANTI, N. A. P.; **Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento.** Ci. Inf., v. 31, n. 2, p. 152-162, 2002.

VELOSO, H. P. Sistema fitogeográfico. In: IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992. p. 9-38. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 1).

VIEIRA JUNIOR, W. G., MOURA, J.B. DE, SOUZA, R. F. DE, BRAGA, A. P.M., MATOS, D. J. DE C., BRITO, G. H.M., et al. **Seasonal Variation in Mycorrhizal Community of Different Cerrado Phytophysiomies (2020).** Front. Microbiol. 11. Doi: 10.3389/fmicb.2020.576764.

VOURLITIS, G. L. et al. **Tree growth responses to climate variation in upland and seasonally flooded forests and woodlands of the Cerrado-Pantanal transition of Brazil.** Forest Ecology and Management, v. 505, p. 119917, 2022. Digitais

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas.** 2006. 373f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília.