

# Atributos físico-químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico sob uso florestal e agrícola no Cerrado Brasileiro

Autor: Diego dos Santos Pereira

---

Tesis doctoral UDC / Año 2023

Directores: Manuel López Vicente (Universidade da Coruña)

Rafael Montanari (Universidade Estadual Paulista)

Tutor: Manuel López Vicente (UDC)

Programa de doctorado en Investigación Agraria y Forestal



UNIVERSIDADE DA CORUÑA





**UNIVERSIDADE DA CORUÑA**

**Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal**

**Tesis doctoral**

**Atributos físico-químicos de um LATOSSOLO  
VERMELHO Distrófico sob uso florestal e  
agrícola no Cerrado Brasileiro**

**Diego dos Santos Pereira**

Octubre 2023



## **DEDICATÓRIA**

A minha família, por serem meu exemplo de vida, e me darem força para seguir em frente e lutar pelos meus objetivos.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelas bênçãos que me tem proporcionado, por fortalecer minha fé, e minha esperança e por ter iluminado esta caminhada tão importante.

Ao Prof. Dr. Manuel López Vicente (UDC), Prof. Dr. Antonio Paz González (UDC), e Prof. Dr. Rafael Montanari (UNESP), pelo exímio incentivo e dedicação nas correções, sou muito grato, pelos ensinamentos e o tempo doado para orientação.

Aos colegas Douglas Bandeira e Hernandes Andrade Queiroz pela ajuda na coleta, e transporte das amostras para Espanha.

A Universidade da Coruña (UDC), e a Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Ilha Solteira do estado de São Paulo.

A todos os demais profissionais envolvidos nesta pesquisa, presto os meus agradecimentos e reafirmo a certeza que vou, para sempre, tê-los por lembranças.





“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”

**Cora Coralina**



## **RESUMO (em português):**

O objetivo do trabalho foi avaliar atributos físico-químicos de um LATOSSOLO VERMELHO, sob quatro sistemas no Cerrado brasileiro, e verificar qual é o mais conservacionista. As áreas são: cultivo de pinus (PN), eucalipto (EUC), mata nativa (MN), e soja-milho (AM), sendo que as três espécies florestais foram plantadas em 1986, e a agrícola em 2017. O delineamento experimental foi o DBC, com quatro tratamentos e repetições. Foram realizadas amostragens do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, nas áreas florestais, e de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, na área agrícola, sendo avaliados: macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds), argila, silte e areia, estoque de carbono (Est C), macro e micronutrientes, matéria orgânica (MO), pH (CaCl<sub>2</sub>), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0, soma de bases (SB) e a saturação por bases (V). O EUC mostrou-se promissor em manter a qualidade do solo, e pode ser considerado o mais sustentável entre os sistemas avaliados, devido ao menor valor da Ds, maior Est C, MO, CTC, K, Mg, Mn, Fe e Cu. Proporcionando maior proteção ao solo contra erosão, maior fertilidade do solo, e condições mais favoráveis para ciclagem de nutrientes.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L., *Eucalyptus camaldulensis*, *Pinus caribaea*, Mata Ciliar Reflorestada, agricultura sustentável.

**RESUMO (en galego):**

O obxectivo deste traballo foi avaliar os atributos fisicoquímicos dun LATOSOL VERMELLO, baixo catro sistemas no Cerrado brasileiro, e verificar cal é o máis conservacionista. As zonas son: cultivo de piñeiro (PN), eucalipto (EUC), bosque autóctono (BA) e cultivo de soia-millo (AM), sendo as tres especies forestais plantadas en 1986 e a agrícola en 2017. O deseño experimental foi DBC, con catro tratamentos e repeticións. A mostraxe do solo realizouse nos estratos 0-0,10 e 0,10-0,20 m, nas zonas forestais, e 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, na zona agraria, avaliando se: macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), densidade do solo (Ds), arxila, limo e area, stock de carbono (SC), macro e micronutrientes, materia orgánica (MO), pH (CaCl<sub>2</sub>), acidez potencial (H+Al), capacidade de intercambio catiónico (CIC) a pH 7,0, suma de bases (SB) e saturación de bases (V ). O EUC mostrouse prometedor no mantemento da calidade do solo e pódese considerar o máis sostible entre os sistemas avaliados, debido ao menor valor de Ds, o máis alto Est C, MO, CIC, K, Mg, Mn, Fe e Cu. Proporcionar unha maior protección do solo contra a erosión, unha maior fertilidade do solo e condicións máis favorables para o ciclo dos nutrientes.

**Palabras chave:** *Glycine max* L., *Eucalyptus camaldulensis*, *Pinus caribaea*, Mata Ciliar Reflorestada, agricultura sostible.

## **RESUMEN (en español):**

Este trabajo evaluó los atributos fisicoquímicos de un LATOSOLO ROJO, bajo cuatro sistemas agrícolas en el Cerrado brasileño, para identificar el más conservacionista. Los usos son: pino (PN), eucalipto (EUC), bosque nativo (MN) y soja-maíz (AM). Las tres áreas forestales sembradas en 1986 y la agrícola en 2017. El diseño experimental fue DBC, con cuatro tratamientos y repeticiones. Los muestreos de suelo se realizaron en las capas de 0-0,10 y 0,10-0,20 m en las áreas de bosque, y de 0-0,05; 0,05-0,10 y 0,10-0,20 m en el área agrícola, siendo evaluados: macroporosidad (Ma), microporosidad (Mi), porosidad total (Pt), densidad del suelo (Ds), arcilla, limo y arena, stock de carbono (SC), macro y micronutrientes, materia orgánica (MO), pH (CaCl<sub>2</sub>), acidez potencial (H+Al), capacidad de intercambio catiónico (CIC) a pH 7.0, suma de bases (SB) y saturación de bases (V). El EUC se mostró prometedor en el mantenimiento de la calidad del suelo y puede considerarse el más sostenible entre los sistemas evaluados, debido a los valores bajos de Ds, y altos de SC, MO, CIC, K, Mg, Mn, Fe y Cu. EUC proporcionó una mayor protección del suelo contra la erosión, una mayor fertilidad y mejores condiciones para el ciclo de nutrientes.

**Palabras clave:** *Glycine max* L., *Eucalyptus camaldulensis*, *Pinus caribaea*, Mata Ciliar Reflorestada, agricultura sostenible.

**ABSTRACT (in English):**

The objective of this work was to evaluate the physicochemical attributes of a RED LATOSOL, under four agricultural systems in the Brazilian Cerrado, and verify which is the most conservationist. The areas are: pine (PN), eucalyptus (EUC), native forest (MN) and soybean-corn (AM) cultivation, with the three forest species planted in 1986 and the agricultural one in 2017. The experimental design was DBC, with four treatments and repetitions. Soil sampling was carried out in the 0-0.10 and 0.10-0.20 m layers in the forest areas, and 0-0.05, 0.05-0.10 and 0.10-0.20 m in the agricultural area, being evaluated: macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (Pt), bulk density (Bd), clay, silt and sand, carbon stock (CS), macro and micronutrients, organic matter (OM), pH (CaCl<sub>2</sub>), potential acidity (H+Al), cation exchange capacity (CEC) at pH 7.0, sum of bases (SB) and base saturation (BS). The EUC showed promise in maintaining soil quality and can be considered the most sustainable among the evaluated systems, due to the lowest value of Bd, and the highest of CS, MO, CIC, K, Mg, Mn, Fe and Cu. Provide greater soil protection against erosion, greater soil fertility and more favorable conditions for nutrient cycling.

**Keywords:** *Glycine max* L., *Eucalyptus camaldulensis*, *Pinus caribaea*, Reforested riparian forest, sustainable agriculture.

## **RESUMEN EXTENSO (en español):**

### INTRODUCCIÓN

Los LATOSOLOS son el tipo de suelo más común en Brasil y en el Cerrado brasileño, el segundo bioma más grande de América del Sur, y son responsables de aproximadamente el 60% de la producción agrícola brasileña. Se trata de suelos meteorizados, con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), pobres en nutrientes y con un pH ácido. Sin embargo, generalmente son suelos con buena estructura, profundos, de topografía relativamente plana, ideales para la agricultura. El Cerrado se ha convertido en una región adecuada para la agricultura y ha ayudado a Brasil a seguir siendo el mayor productor de soja del planeta. En este contexto, también se ha ido expandiendo el cultivo forestal, con eucaliptos y pinos, principalmente para proporcionar materia prima para la producción de madera, leña, carbón vegetal y celulosa. Asociado a la expansión agrícola en Brasil, que trajo beneficios económicos, hay un coste ambiental que puede causar impactos negativos a largo plazo en la sociedad y el crecimiento económico. En este caso, la intensificación del uso del suelo cultivable ha deteriorado sus atributos físicos y químicos. La degradación física del suelo puede afectar a la disponibilidad de agua y nutrientes, la dinámica de la materia orgánica, la formación de complejos de elementos tóxicos y micronutrientes, el intercambio gaseoso y la actividad microbiana, los cuales se relacionan con el desarrollo y productividad de los cultivos. El manejo y uso del suelo alteran los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo, y su evaluación puede indicar la magnitud de estas modificaciones. En este sentido, este trabajo pretende acercar información regionalizada sobre el uso del suelo, y comprender las posibles debilidades de estos ambientes, ya que la disponibilidad de nutrientes en el suelo está estrechamente ligada a la física y a la capacidad de los suelos para producir de manera sostenible. Así, surge la necesidad de determinar los atributos físico-químicos de un LATOSOLO, bajo uso forestal y agrícola en el Cerrado brasileño, y verificar qué sistema de uso del suelo es el más conservacionista, con el fin de preservar un suelo de calidad y sus nutrientes.

### ESTADO DE LA CUESTIÓN

#### *Atributos físicos y químicos del suelo*

Los suelos son el medio físico para el crecimiento de las plantas, almacenan agua, aire y actúan como sustrato nutricional. Para realizar sus funciones, el suelo necesita estar en condiciones adecuadas. Por lo tanto, se debe tener en cuenta la calidad del suelo, la

cual se determina a través de la medición de atributos físicos, químicos y biológicos, que permiten monitorear los cambios en el corto, medio y largo plazo. Los atributos físicos del suelo influyen en el desarrollo radicular del cultivo y su productividad. La densidad del suelo (Ds) evalúa la calidad estructural y es un indicador de dureza. Otros atributos físicos, como la Macroporosidad (Ma) y la Microporosidad (Mi), se usan en la definición del manejo ideal del suelo, ya que se relacionan con la aireación, la permeabilidad y el almacenamiento de agua. Los atributos químicos del suelo permiten diagnosticar la capacidad del mismo para promover el desarrollo de las plantas, manteniendo la productividad de los cultivos y la calidad ambiental. Los principales atributos químicos cuyos cambios pueden ocurrir con el tiempo son: potencial de hidrógeno (pH), contenido en nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), aluminio (Al) y también el carbono orgánico (Corg). Estos atributos son los más utilizados en estudios para el corto plazo, debido a sus efectos inmediatos. Por lo tanto, el conocimiento de los atributos físico-químicos que indican la calidad del suelo en ambientes en explotación es fundamental para mantener las funciones ambientales que desempeñan los suelos y para mantener su capacidad de producción.

### *El Cerrado*

La región del Cerrado es hoy vista como uno de los pilares de la economía nacional, con gran énfasis en el sector agrícola y, más recientemente, en el creciente mercado energético. La explotación de sus recursos naturales se puede medir por el uso intensivo del terreno para la agricultura, incluida la tala de árboles para producir carbón vegetal. El cambio de estos ambientes nativos a zonas de producción agrícola ha provocado el deterioro del suelo. Los estudios estiman una pérdida de cobertura vegetal nativa de entre el 40% y el 54%. Para superar estos problemas, en los últimos años se han realizado varios esfuerzos para comprender mejor este bioma, ya que, incluso con atributos químicos inadecuados para la agricultura (alta acidez, pH de 4,0 a 5,3, altas concentraciones de Al y Mn, baja CIC y deficiencia de nutrientes como P, Ca y Mg), los suelos típicos de la región, como son los LATOSOLOS, cuando se corrigen químicamente –incluye fertilizantes–, presentan un gran potencial para la agricultura.

### *Bosque*

La expresión bosques/bosques de ribera comprende todo tipo de vegetación arbórea ligada a las riberas de los ríos. Se trata de vegetación forestal a orillas de cursos de agua, y de zonas directamente afectadas por la construcción de centrales



hidroeléctricas, la apertura de carreteras en regiones de topografía accidentada y la implementación de cultivos agrícolas y pastos. La devastación de los bosques de ribera ha suscitado gran preocupación, porque garantizan la estabilidad de las zonas ribereñas de los ríos, evitando la colmatación de los embalses, el empobrecimiento del suelo y, en consecuencia, la reducción de la biodiversidad local. Conservados por el hombre, cumplen cinco funciones: servir de refugio a innumerables especies, proporcionar alimento a la fauna, proteger el curso de agua, prevenir la erosión del suelo y preservar la biodiversidad. Por su ubicación, los bosques de ribera actúan de corredores naturales que conectan fragmentos de bosque y reservas; desempeñando un papel fundamental en el mantenimiento de la calidad del agua, la conservación de la biodiversidad y el patrimonio genético de la flora y fauna. Su mantenimiento reduce la aparición de escorrentía superficial, que puede provocar erosión y transporte de sedimentos y nutrientes a los cursos de agua. El estudio y la recuperación de áreas forestales perturbadas en los trópicos ha ido recibiendo cada vez más atención, impulsado también por los problemas causados por el intenso crecimiento poblacional humano. Por lo tanto, es importante resaltar que pocos estudios en la literatura han estudiado los diferentes usos del suelo en el Cerrado, en LATOSSOLO, como el de este trabajo.

### *Eucalipto*

En las últimas décadas, el cultivo de eucalipto se ha expandido por todo Brasil, llevando a este cultivo a una posición destacada en la agroindustria para la producción de papel y celulosa, y la venta como madera en rollo. Actualmente, Brasil es un importante productor en el sector forestal, debido a sus características edafoclimáticas y a su disponibilidad de suelos adecuados para este cultivo, siendo uno de los pocos países capaces de abastecer al mundo de commodities agrícolas (bienes provenientes de la agroindustria, que pasan por procesos antes ser comercializados). Las plantaciones de eucalipto se encuentran principalmente en los estados de Minas Gerais (27,6%), São Paulo (18,1%) y Mato Grosso do Sul (15,1%). En los últimos siete años, el crecimiento promedio del área de eucalipto fue del 1,1% anual, con Mato Grosso do Sul liderando esta expansión, que por sí solo presentó una tasa de crecimiento promedio del 7,4% anual. Entre las especies más plantadas actualmente en Brasil se encuentran: *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. urophylla* y *E. urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*). Además de su importancia económica, el eucalipto también juega un importante papel ambiental, al ser un cultivo sostenible. Los bosques plantados

contribuyen a la preservación del medio ambiente, ya que reducen la deforestación de los bosques naturales y contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad.

### *Pino*

Las plantaciones de *Pinus* sp. abastecen de materias primas al mercado interno y también se destinan a la exportación. Debido a la rusticidad y tolerancia a diferentes condiciones edafológicas y climáticas, y a la adaptación de esta especie a los suelos ácidos de Brasil, posibilitó la implementación de extensas áreas de plantaciones comerciales, volviéndola favorable para el establecimiento en la región del Cerrado. Hoy en día, el pino se cultiva ampliamente en este bioma. Sólo en 2020, las plantaciones de pino representaron el 18% de la superficie total, de 1,7 millones de hectáreas. El género *Pinus* sp. tiene alrededor de 105 especies, fisiológicamente resistentes a la sequía y muy exigentes con la luz. Presentan diferentes requisitos en cuanto a fertilidad, textura y profundidad del suelo. Por su gran versatilidad, las plantaciones están ubicadas en los Estados de Paraná (733,2 mil ha), Santa Catarina (413,6 mil ha), Rio Grande do Sul (295,2 mil ha), São Paulo (175,9 mil ha), Minas Gerais (66,1 mil ha), Goiás (6,7 mil ha) y Mato Grosso do Sul (4,0 mil ha). *Pinus caribaea* comprende tres variedades (*hondurensis*, *bahamensis* y *caribaea*) y son de rápido crecimiento. *P. caribaea* var. *hondurensis* se encuentra entre los pinos tropicales más plantados, y recomendado en toda la región tropical brasileña. Las especies de pino, como el eucalipto, son muy tolerantes a los suelos ácidos, lo que significa que no es necesario corregir el pH del suelo.

### *Soja e Maíz*

La soja (*Glycine max* L. Merrill) es la semilla oleaginosa más importante cultivada en el mundo y es un importante producto agrícola para la alimentación. Combinado con los altos precios de la soja en los últimos años, la producción de soja se ha extendido por todo el territorio brasileño, como en el Cerrado, anteriormente considerado una frontera lejana, con difícil acceso y suelos de baja fertilidad. Debido a su expansión, el cultivo enfrenta desafíos para obtener alta productividad, necesitando encontrar formas de superar obstáculos tecnológicos. La mejora genética ha permitido implementar este cultivo en regiones de baja altitud, desarrollando cultivares de floración tardía, incluso en condiciones ambientales desfavorables, además del desarrollo de cultivares altamente adaptados, que presentan caracteres agronómicos deseables. Cuando se busca una alta productividad de soja, el manejo de la fertilidad es fundamental para el éxito del cultivo,

es decir, es necesario diagnosticar constantemente la capacidad del suelo para proporcionar nutrientes a la planta.

El maíz (*Zea mays* L.) ha sido considerado una de las principales fuentes de alimento desde la antigüedad. Y forma parte de los cereales más cultivados en todo el mundo, incluido Brasil. A pesar de los avances tecnológicos disponibles, la productividad media de los maizales brasileños ronda los 5.617 kg ha<sup>-1</sup>. Detrás de EE.UU. (11.390 kg ha<sup>-1</sup>), China (6.510 kg ha<sup>-1</sup>) y la Unión Europea (7.430 kg ha<sup>-1</sup>). Entre los principales factores que influyen en la baja productividad en Brasil, podemos mencionar el clima tropical, con variaciones climáticas muy intensas, y las plagas que utilizan puentes verdes para sobrevivir entre estaciones, situaciones diferentes a los países de clima templado, que tienen nieve y hielo en invierno que eliminan las posibles plagas y enfermedades fuera de temporada. Además, los suelos tropicales son naturalmente más pobres que los suelos templados. Con precipitaciones elevadas y variaciones elevadas de temperatura, la erosión del suelo y las rocas se produce más rápidamente. Esto provoca que los suelos sean más pobres en nutrientes y con mayor concentración de acidez, como se observa en el Cerrado LATOSOLO. Esta característica demuestra la necesidad de buscar técnicas de manejo para aumentar la productividad y en consecuencia garantizar ganancias al productor manteniendo la sostenibilidad de estas áreas.

## OBJETIVO DE LA TESIS

Identificar el uso más sostenible del terreno en un LATOSOLO, bajo diferentes usos forestales y agrícolas en el Cerrado brasileño, a través de la evaluación de diversos atributos fisicoquímicos y de la disponibilidad de macro y micronutrientes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó en condiciones de campo, en el municipio de Selvíria, ubicado en el estado de Mato Grosso do Sul (MS), Brasil. Con coordenadas geográficas 20°20'35" S y 51°24'04" W, y una altitud media de 358 m. El experimento se realizó durante los años agrícolas 2016/17 y 2017/18, en un área experimental originalmente ocupada por vegetación de Cerrado (51° 22" W, 20° 22" S, y 335 m de altitud). El suelo en el sitio fue clasificado como un típico LATOSOLO ROJO distroférrico muy arcilloso.

La vegetación natural predominante en la región es el cerrado. En 1977 se inició la deforestación de toda la zona. Posteriormente se produjo una mecanización agrícola intensiva, con el uso de rastras pesadas y ligeras, para la siembra de cultivos anuales. En 1986, parte del área de cultivos anuales fue reemplazada por pinos (PN), eucaliptos (EUC), bosque ribereño reforestado (MN) y pastos. En agosto de 2017 se realizó la preparación inicial del área, que luego sería utilizada en los trabajos como soja-maíz (MA), con subsolado hasta 0,30 m de profundidad. Después del subsolado se procedió al encalado y enlucido. En 2017/18 se sembró el cultivo de soja BMX Potência RR y en la segunda cosecha se utilizó durante la siembra el híbrido de maíz AG 7098.

Se recolectaron muestras de suelo alteradas y no alteradas en capas de 0-0,10 y 0,10-0,20 m de profundidad en áreas forestales, y de 0-0,05; 0,05-0,10 y 0,10-0,20 m de profundidad en el área agrícola, para determinar los contenidos de Ma, Mi, Pt, Ds, Est C y arena, limo y arcilla. Se midió el pH, H+Al, y los contenidos de MO, P, Ca, Mg, K y se calcularon la CTC, SB y V, por resina, y los contenidos de P, Ca, Mg, K, Mn, Fe, Cu y Zn mediante Mehlich-3. El análisis estadístico de los datos incluye el análisis de varianza y las medias se compararán para determinar la significancia entre tratamientos y años.

## RESULTADOS: INFLUENCIA DE LOS USOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES SOBRE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO.

El valor promedio de Ma más alto se obtuvo en el tratamiento AM, en comparación con MN y PN, debido a la perturbación del suelo. En el tratamiento con PN, Ma puede indicar problemas de compactación y dificultad para que las raíces realicen el intercambio gaseoso. Hubo una reducción de Ma con un aumento de Ds, al aumentar la profundidad, debido a la mayor cantidad de MO presente en la capa superficial. Los sistemas de uso del suelo, la historia del área, especialmente en lo que respecta al tráfico de máquinas, pueden haber influido en los resultados de Ma, Ds y consecuentemente la relación con Mi y Pt. El valor promedio más alto de Mi se obtuvo en MN y PN. Y el menor valor promedio de Mi observado en el tratamiento AM, provocó perturbación del suelo, en 2017. En el caso de MN, la acumulación de hojarasca también debe haber influido positivamente en el aumento de Mi, ya que hay mayor proliferación de raíces finas, las cuales buscan absorber directamente los nutrientes liberados de la MO.

Los tratamientos presentaron valores de Pt similares entre las capas, los valores más altos se obtuvieron en el tratamiento MN. El área con cultivos anuales, AM, fue la que presentó la relación Ma/Mi más cercana a una condición óptima para el desarrollo del cultivo, probablemente debido a la alteración más reciente del suelo. En relación a Ds se observaron diferencias significativas entre tratamientos. El valor medio más bajo se obtuvo en el tratamiento MN, en comparación con AM, EUC y PN. Probablemente, en nuestro estudio, el menor valor de Ds en la zona MN se deba al mayor contenido y variedad de materia orgánica en el suelo.

Los tratamientos EUC, PN y MN mostraron una disminución en Est C al aumentar la profundidad. Esto ya era de esperar, dado que el contenido de MO en la superficie del suelo es mayor. En este sentido, las áreas EUC y MN probablemente puedan presentar una mayor diversidad de microorganismos del suelo, lo que contribuye a la mayor o menor dinámica de la MO y la incorporación de carbono al sistema. Los tratamientos AM y MN presentaron los mayores contenidos promedio de arcilla. Estos resultados pueden contribuir a una mayor estabilidad de los agregados del suelo. Además, estos resultados pueden explicar el mayor volumen de Mi en el tratamiento MN y pueden estar relacionados con la posición de las áreas experimentales en la toposecuencia.

En cuanto al contenido de arena, la zona del PN presentó el mayor contenido en ambas capas. Lo cual tiene sentido, dado que se trata de un suelo con menor predominio arcilloso. Además, el área del PN puede ser más susceptible a la pérdida de suelo por erosión, debido a una menor capacidad de agregación. Nuestros resultados demuestran la importancia de utilizar especies forestales que tengan un aporte de residuos vegetales cercano al bosque nativo, que presenten mayor calidad/cantidad y diversidad de residuos orgánicos, como los EUC, que son esenciales para mantener la calidad del suelo en zonas con mayor arena, como se observa en PN.

En conclusión, la macroporosidad más alta y la microporosidad más baja se observaron en la capa de 0-10 cm, mostrando la típica relación inversa entre los dos atributos. Sin embargo, el tratamiento soja-maíz presentó una mejor relación macro/microporosidad, debido a la alteración más reciente del suelo. Por otro lado, el área de bosque nativo, que presenta simultáneamente mayor microporosidad y menor densidad de suelo, debido a la mayor cantidad de hojarasca en el suelo, presentó los mayores valores de porosidad total. En general, los eucaliptos, pinos y bosques nativos mostraron una disminución en las reservas de carbono del suelo al aumentar la profundidad. El

eucalipto tuvo los valores de existencias más altas, seguido del bosque nativo. De esta manera, los eucaliptos y el bosque nativo pueden presentar una mayor diversidad de microorganismos del suelo, que contribuyen a la incorporación de carbono al sistema. Nuestros resultados indican que el área con plantación de eucalipto es más similar al área de bosque nativo, brindando condiciones para preservar la MO, aumentando el stock de carbono del suelo, ya que presentan mayor calidad y diversidad de residuos orgánicos, y siendo, por tanto, el uso más sostenible entre los tratamientos evaluados. Por otro lado, la zona de pino, debido al mayor contenido de arena y menor contenido de materia orgánica en el suelo, es la más susceptible a la pérdida de suelo por erosión, y la menos apta para el uso de LATOSOLOS en el Cerrado.

## RESULTADOS: EFECTO DE LOS USOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES SOBRE LOS MACRONUTRIENTES Y PARÁMETROS QUÍMICOS ASOCIADOS.

Los mayores contenidos de MO se obtuvieron en los tratamientos MN y EUC, en comparación con AM y PN. Para AM es posible observar un rango menor de valores de MO del suelo, ya que es una zona con menor diversidad vegetal, menor tiempo de acumulación de material orgánico, debido a la perturbación del suelo, lo que favorece la descomposición de la materia orgánica. El valor de pH promedio más alto se observó en el tratamiento AM, en comparación con EUC, MN y PN. Estos resultados evidencian la necesidad de corregir el suelo con cal (aplicada en la zona AM), en áreas cultivadas con PN y EUC.

Los valores más altos de SB se obtuvieron en el tratamiento AM. Dichos valores de SB, así como el pH, se relacionan con mayores contenidos de bases (Ca, Mg y K), debido a la aplicación de caliza y fertilización de la plantación con K. El valor de CTC más alto se obtuvo en el tratamiento EUC y MN, en comparación con AM. Debido al mayor contenido de MO, obtenido a partir de la mayor producción de hojarasca, se sugiere que EUC es la zona con las condiciones menos estresantes. Los valores más altos de V% y los más bajos de H+Al se observaron en AM, debido al encalado.

Los mayores valores de P se obtuvieron en el tratamiento AM, probablemente causado por el uso de fertilizantes en las capas más superficiales, durante la siembra. Los mayores valores de Ca observados en la EUC se pueden atribuir a la absorción de nutrientes por parte del eucalipto en capas más profundas del suelo, ya que esta planta

tiene un sistema radicular profundo, con retorno vía descomposición de la hojarasca. Mientras que en AM los valores más altos de Ca y Mg están relacionados con la aplicación de cal para corregir el suelo.

Los mayores contenidos de K se obtuvieron en los tratamientos AM, EUC y MN. Los valores más altos de K se deben al ciclo de nutrientes, con origen en la hojarasca (en el caso de EUC y MN). En el caso del tratamiento AM, el mayor valor de K está relacionado con la fertilización con K durante la siembra. Por otro lado, se observó una baja concentración de este nutriente en la NP, lo que podría estar relacionado con la persistencia de la hojarasca. Dado que las agujas tienen una superficie específica baja, se contribuye a bajas concentraciones de nutrientes en el suelo a través de la descomposición de la MO.

En conclusión, el mayor contenido de materia orgánica en el suelo se observó en la capa de 0-10 cm, siendo el tratamiento con eucalipto el de mayor valor, seguido del área de bosque nativo. El área con soja-maíz y pino presentó los niveles más bajos debido a la mayor perturbación del suelo, en el primero, y a la pequeña superficie específica de las acículas, junto con la alta relación C:N de estos residuos, en el segundo, lo que dificulta la descomposición por los microorganismos. Los mayores niveles de fósforo, calcio, magnesio y potasio se observaron en el tratamiento soja-maíz, provocado por la fertilización y corrección del suelo con caliza, además, dicho manejo proporcionó el mayor valor de pH del suelo, menor  $H^+Al$ , suma de bases y saturación de bases. Por otro lado, la mayor capacidad de intercambio catiónico del suelo se observó en los tratamientos de eucalipto y bosque nativo. Dichos resultados, combinados con el comportamiento similar del MO, entre ambas zonas, arrojaron valores similares entre la suma de bases, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases, contenidos de calcio, magnesio y potasio, por lo que el eucalipto puede brindar mayor sostenibilidad de uso del suelo, indicando menores cambios y condiciones menos estresantes, entre los sistemas evaluados, debido a la similitud con la fertilidad del bosque nativo.

## RESULTADOS: ANÁLISIS POR MEHLICH-3 DE MACRO Y MICRONUTRIENTES EN SUELOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES: EFECTO DEL USO DEL SUELO.

Los valores medios de Mg más altos se obtuvieron en el tratamiento EUC, AM y MN, en comparación con el tratamiento PN. Según la literatura, la EUC tiene tasas más altas de ciclo de Mg a través de la hojarasca, mientras que la plantación de pinos provoca

una caída significativa en el contenido de K, Ca y Mg. Los mayores contenidos de K se obtuvieron en la capa de 0-10 cm. Además, los valores más altos se obtuvieron en los tratamientos AM y EUC, en comparación con PN. Estos resultados se pueden atribuir a la absorción de nutrientes por parte del eucalipto en las capas más profundas y su retorno vía descomposición de la hojarasca, principalmente K, y fertilización de la plantación en el área AM durante la siembra.

En relación al P y Ca se observaron diferencias significativas entre la interacción de tratamientos y profundidades. En general, los mayores contenidos de P y Ca se observaron en la capa de 0-10 cm. Y, los mayores niveles de P y Ca también se obtuvieron en el tratamiento AM, como resultado de la aplicación de cal durante la preparación del área, y del fertilizante de siembra al momento de la siembra. En nuestro trabajo, si bien el contenido de Ca en eucalipto no difirió con relación al MA, en la capa de 0-10 cm los valores fueron mayores que en las plantaciones de pino. Como las plantaciones forestales como el eucalipto tienen un sistema de raíces profundo, las raíces absorben Ca a mayor profundidad y lo devuelven a la superficie del suelo a través de la hojarasca. Por lo tanto, incluso en ausencia de diferencias significativas, el área EUC mostró el comportamiento de aumento de Ca, en las capas superficiales, descrito en la literatura, causado por el retorno de Ca vía descomposición foliar.

En relación con otros micronutrientes catiónicos (Mn, Fe, Cu y Zn), se observaron diferencias significativas entre la interacción de tratamientos y profundidades. En general, el área con EUC presentó los valores más altos de Mn, Fe y Cu, en comparación con los tratamientos AM, MN y PN. Probablemente debido al mayor requerimiento nutricional de la EUC, hubo una mayor acumulación de micronutrientes en las hojas, y en consecuencia un mayor retorno al suelo, vía descomposición de la hojarasca. En la literatura existen reportes de empobrecimiento del suelo en términos de nutrientes, debido a la introducción de pino en áreas de pastizales nativos. Causado por la liberación de ácidos orgánicos de las acículas durante la descomposición, mayor absorción de cationes que de aniones y reducción de la MO del suelo.

Las diferencias encontradas entre los contenidos de micronutrientes de diferentes zonas se pueden explicar por el diferente comportamiento entre especies vegetales, en cuanto a la absorción de nutrientes del suelo, deposición y calidad de los residuos en la superficie y velocidad de descomposición de la hojarasca y liberación de nutrientes, que alteran el ciclo y los niveles de estos elementos en el suelo. Respecto al Zn, en la capa 0-



10 cm, el área con AM presentó el valor más alto, en comparación con los tratamientos EUC, MN y PN. Probablemente el efecto residual de la fertilización con Zn en la zona soja-maíz influyó en el mayor valor de este micronutriente en el suelo.

## CONCLUSIONES

La conservación y preservación de áreas en proceso de regeneración y remanentes son cruciales para detener los crecientes índices de erosión del suelo en el Cerrado, en su actual escenario de deforestación. Los usos de tierras agrícolas con estrategias de manejo inadecuadas agotan los recursos del suelo, disminuyendo la productividad agrícola, lo que, a su vez, afecta la seguridad hídrica, alimentaria y energética a nivel global, ya que Brasil juega un papel importante en la producción mundial de alimentos.

En cuanto a los macronutrientes, los mayores contenidos de fósforo, calcio, magnesio y potasio se observaron en la capa de 0-10 cm. Para fósforo y calcio, el tratamiento soja-maíz presentó los valores más altos, debido a la fertilización vía siembra y la aplicación de encalado durante el manejo del suelo. Para el potasio, el eucalipto tuvo el mayor contenido entre los tratamientos evaluados, debido a la absorción de nutrientes del suelo por parte del eucalipto, en las capas más profundas, y su retorno vía descomposición de la hojarasca. Para el magnesio, se observaron en la capa de tratamiento de pino los valores más bajos, debido a la mayor tolerancia de las acículas a la descomposición y a la liberación de este nutriente al suelo. En relación a los micronutrientes, los mayores niveles de manganeso, hierro y cobre se observaron en el tratamiento con eucalipto, debido al retorno del contenido de Mn y Fe, principales micronutrientes presentes en la hojarasca de eucalipto, y que regresan al suelo a través de la descomposición de la hojarasca. Para el Zn hubo un efecto residual de la fertilización con Zn en el área soja-maíz, aportando mayores valores de este micronutriente en el suelo. Por lo tanto, el eucalipto proporcionó un mayor retorno de micronutrientes al suelo, vía descomposición de la hojarasca, brindando un ambiente más sostenible en comparación con el área de bosque nativo, pino y soja-maíz.



# ÍNDICE

<i>Capítulo 1.</i> ....	1
<i>Introdução, hipótese e objetivos.</i> .....	1
<b>1.1. LATOSSOLOS E USOS DA TERRA NO CERRADO BRASILEIRO</b> .....	2
<b>1.2. FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO NOS PRINCIPAIS USOS DA TERRA</b> .....	11
1.2.1. Atributos físicos e químicos do solo .....	11
1.2.2. O Cerrado: região de alta biodiversidade.....	13
1.2.3. Mata ciliar.....	15
1.2.4. Eucalipto .....	18
1.2.5. Pinus .....	20
1.2.6. Soja .....	22
1.2.7. Milho.....	24
<b>1.3. HIPÓTESE</b> .....	25
<b>1.4. OBJETIVOS</b> .....	26
1.4.1. Objetivo geral .....	26
1.4.2. Objetivos específicos (OE).....	26
<i>Capítulo 2.</i> .....	27
<i>Área de estudo, amostragem dos atributos do solo e análise estatística.</i> .....	27
<b>2.1. ÁREA EXPERIMENTAL</b> .....	28
2.1.1. Instalação da população de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i> .....	30
2.1.2. Instalação da população de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .....	31
2.1.3. Instalação da Mata Ciliar Reflorestada .....	34
2.1.4. Instalação da área agrícola cultivada com Soja e Milho .....	35
<b>2.2. CRONOGRAMA DE AMOSTRAGEM DOS ATRIBUTOS DO SOLO</b> .....	37
<b>2.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS</b> .....	37
<i>Capítulo 3.</i> .....	39
<i>Efeito dos usos agrícolas e florestais nas principais propriedades físicas e químicas do solo.</i> .....	39
<b>3.1. ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO</b> .....	40
3.1.1. Amostragem do solo .....	40
3.1.2. Avaliação dos atributos físico-químicos do solo .....	41
<b>3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS</b> .....	43
3.2.1. Porosidade e densidade .....	43

3.2.2. Estoque de carbono do solo .....	49
3.2.3. Textura do solo.....	51
3.3. <b>CONCLUSÕES</b> .....	54
<b>Capítulo 4.</b> .....	<b>55</b>
<i>Efeito dos usos agrícolas e florestais nos macronutrientes e parâmetros químicos associados.</i> .....	<b>55</b>
<b>4.1. MACRONUTRIENTES E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.</b> .....	<b>56</b>
4.1.1. Amostragem do solo .....	56
4.1.2. Avaliação dos macronutrientes e atributos químicos do solo .....	56
<b>4.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO.</b> .....	<b>59</b>
<b>4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS MACRONUTRIENTES DO SOLO</b> .....	<b>64</b>
<b>4.4. CONCLUSÕES</b> .....	<b>68</b>
<b>Capítulo 5.</b> .....	<b>69</b>
<i>Análise por Mehlich-3 de macro e micronutrientes em solos agrícolas e florestais: efeito do uso da terra.</i> .....	<b>69</b>
<b>5.1. MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES DO SOLO.</b> .....	<b>70</b>
5.1.1. Amostragem do solo .....	70
5.1.2. Mehlich-3 .....	72
5.1.3. Avaliação dos macronutrientes e micronutrientes do solo .....	73
<b>5.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS MACRONUTRIENTES DO SOLO.</b> .....	<b>73</b>
<b>5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO DE OUTROS MICRONUTRIENTES.</b> .....	<b>77</b>
<b>5.4. CONCLUSÕES</b> .....	<b>80</b>
<b>Capítulo 6.</b> .....	<b>81</b>
<i>Conclusões gerais e específicas, e pesquisas futuras.</i> .....	<b>81</b>
<b>6.1. CONCLUSÕES ESPECÍFICAS</b> .....	<b>82</b>
<b>6.2. CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	<b>82</b>
<b>6.3. PESQUISAS FUTURAS</b> .....	<b>82</b>
<b>Capítulo 7.</b> .....	<b>85</b>
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....	<b>85</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Latossolo Vermelho (a), e tipos de solos do Brasil (b).....	2
<b>Figura 2.</b> Perfis dos principais tipos de solo do Brasil: Vertissolo Ebânico (a), Argissolo Vermelho (b), Neossolo Litólico (c), Cambissolo Háplico (d), Plintossolo Argilúvico (e), e Gleissolo Melânico (f). .....	3
<b>Figura 3.</b> Perfis das classes de solos do Brasil. Luvisso Crômico (a), Chernossolo Argilúvico (b), Espodossolo (c), Nitossolo Vermelho (d), Organossolo Fólico (e), e Planossolo Háplico (f).. .....	4
<b>Figura 4.</b> Infográfico sobre o uso e ocupação do Cerrado, no Brasil, de 1985-2021.....	7
<b>Figura 5.</b> Infográfico sobre o uso e ocupação dos biomas, incluindo o Cerrado, no Brasil, de 1985-2021. ....	15
<b>Figura 6 –</b> Desenvolvimento do eucalipto.....	19
<b>Figura 7 –</b> Estádios fenológicos da soja. ....	23
<b>Figura 8 –</b> Estádios fenológicos do milho. ....	25
<b>Figura 9 –</b> Localização das áreas em Selvíria-MS, Brasil.....	28
<b>Figura 10 –</b> Vista aérea das áreas: 1. Pinus, 2. Eucalipto e 3. Mata Ciliar Reflorestada, no município de Selvíria-MS.....	30
<b>Figura 11.</b> Densidade de raízes finas ( $\text{g dm}^{-3}$ ), no perfil do solo, para <i>Eucalyptus urophylla</i> com 10 anos de idade. ....	32
<b>Figura 12.</b> Vista das áreas: Pinus (a) e (b), Eucalipto (c) e (d), Mata Ciliar Reflorestada (e) e (f), Área agrícola cultivada com Soja e Milho (g) e (h), e sucessão, no município de Selvíria-MS.....	33
<b>Figura 13.</b> Vista aérea da Mata Ciliar Reflorestada após 20 anos de plantio, em um Latossolo Vermelho, no município de Selvíria-MS. ....	35
<b>Figura 14.</b> Cronograma da instalação da área agrícola cultivada com soja e milho, em sucessão. ....	36
<b>Figura 15.</b> Coleta das amostras indeformadas de solo (a) e (b), no município de Selvíria-MS. ....	40
<b>Figura 16.</b> Laboratório de Física do solo (a) e (b), na UNESP de Ilha Solteira/SP. ....	41
<b>Figura 17.</b> Análise das amostras indeformadas de solo, para obtenção da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Mesa de tensão (a), e anéis indeformados (b). ....	42
<b>Figura 18.</b> Análise da granulometria do solo, com a proporção da areia, silte e areia, para obtenção da textura do solo. Tempo de sedimentação dos solos na pipeta (a), lavagem do solo (b).....	43
<b>Figura 19.</b> Ponto amostral na área sob eucalipto, no município de Selvíria-MS. ....	56
<b>Figura 20.</b> Análise das amostras indeformadas de solo, para obtenção do pH e H+Al. Uso do pH-Meter E 520 (a), detalhe do pH-Meter E 520 (b), e análise das amostras (c). ....	58
<b>Figura 21.</b> Análise das amostras indeformadas de solo, para obtenção do teor de MO do solo, por espectrofotometria. ....	58
<b>Figura 22.</b> Análise das amostras indeformadas de solo, para obtenção do teor K, Ca e Mg do solo, por espectrometria de absorção atômica. ....	59
<b>Figura 23.</b> Coleta das amostras indeformadas de solo, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade na área sob Pinus (a), Eucalipto (b), e mata ciliar reflorestada (c), no município de Selvíria-MS.....	70
<b>Figura 24.</b> Secagem das amostras indeformadas de solo (a), e amostra indeformada de solo, seca, peneirada e identificada (b).....	71
<b>Figura 25.</b> Preparo das 36 amostras indeformadas de solo enviadas para Espanha (a) e (b), para análise na UDC. ....	71

## ÍNDICE DE TABELA

<b>Tabela 1.</b> Atributos físicos e químicos do solo de Silva <i>et al.</i> (2009), de 0-10 cm. ....	5
<b>Tabela 2.</b> Atributos físicos e químicos do solo de Araújo <i>et al.</i> (2007), de 0 até 30 cm. 5	
<b>Tabela 3.</b> Recomendação de adubação de milho para grãos, em função da análise de solo e da produtividade esperada. ....	8
<b>Tabela 4.</b> Recomendação de adubação de soja, em função da análise de solo e da produtividade esperada. ....	9
<b>Tabela 5.</b> Recomendação de adubação do eucalipto e pinus, em função da análise de solo e da textura do solo. ....	10
<b>Tabela 6.</b> Descrição morfológica do solo da área experimental, Selvíria-MS, Brasil... 29	
<b>Tabela 7.</b> Biomassa de raízes finas (kg ha <sup>-1</sup> ) e densidade de raízes finas (cm cm <sup>-3</sup> ) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de <i>Pinus taeda</i> L. com 15 anos.31	
<b>Tabela 8.</b> Biomassa de raízes finas (kg ha <sup>-1</sup> ) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> com 10 anos. ....	31
<b>Tabela 9.</b> Resultados de trabalhos de quantificação de biomassa aérea e subterrânea em diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado. ....	34
<b>Tabela 10.</b> Cronograma do atividades realizadas durante os anos 2016 e 2023.....	37
<b>Tabela 11.</b> Análise de variância dos atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	44
<b>Tabela 12.</b> Atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	45
<b>Tabela 13.</b> Análise de variância dos atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	52
<b>Tabela 14.</b> Atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	53
<b>Tabela 15.</b> Análise de variância dos atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	60
<b>Tabela 16.</b> Atributos químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.....	61
<b>Tabela 17.</b> Análise de variância dos atributos macronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	65
<b>Tabela 18.</b> Macronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	66
<b>Tabela 19.</b> Análise de variância dos macronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	74
<b>Tabela 20.</b> Macronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	75
<b>Tabela 21.</b> Análise de variância dos micronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	77
<b>Tabela 22.</b> Micronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus. ....	78

# Capítulo 1

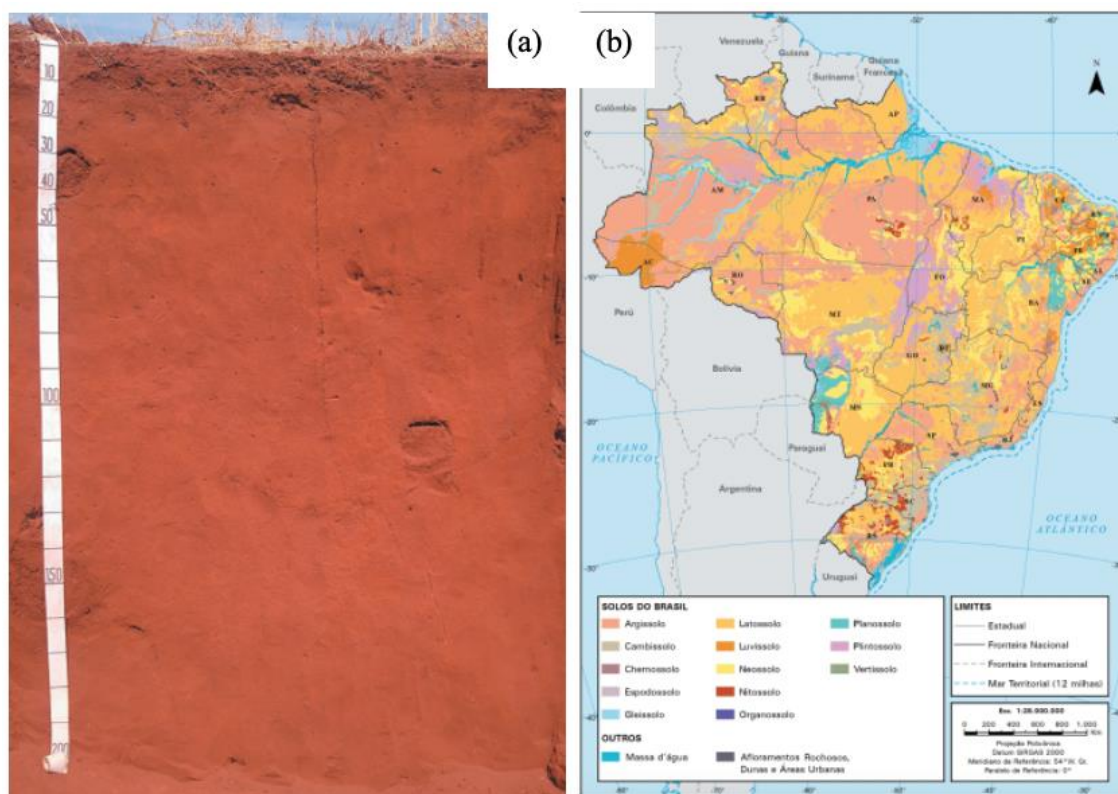
## Introdução, hipótese e objetivos

---



## 1.1. LATOSSOLOS E USOS DA TERRA NO CERRADO BRASILEIRO

Os Latossolos (classificação brasileira: Latossolos; classificação FAO: Ferralsols) são o tipo de solo mais comum no Brasil (Figuras 1, 2 e 3), ocupando aproximadamente 39% da área de 8,48 milhões de km<sup>2</sup> (SANTOS *et al.*, 2011).

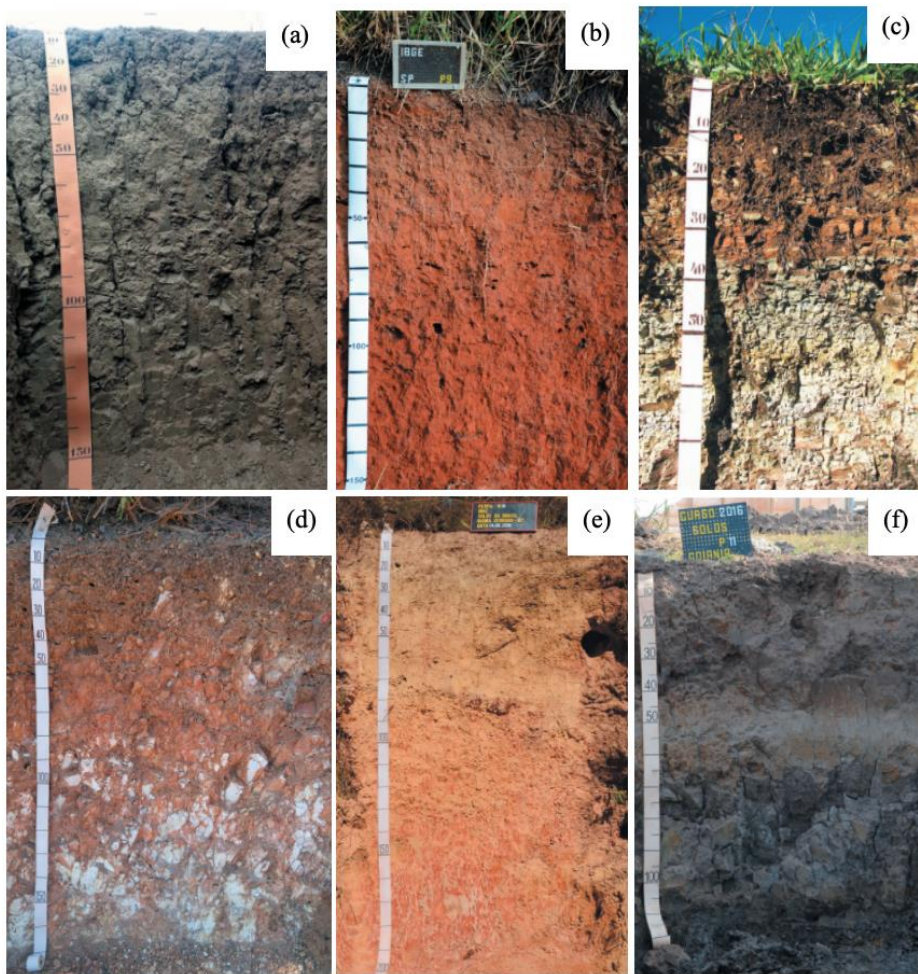


**Figura 1.** Latossolo Vermelho (a), e tipos de solos do Brasil (b). Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (2019).

Além de ser o principal tipo de solo do Brasil, os Latossolos são a classe de solo mais comum no Cerrado brasileiro (RAIJ *et al.*, 2004; JAMES *et al.*, 2019), o segundo maior bioma da América do Sul (LIMA *et al.*, 2008), que cobre, total ou parcialmente, 1.389 municípios de 11 estados (Goiás, Maranhão, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins, Mato Grosso, Piauí, São Paulo, Bahia, Paraná e Rondônia), além do Distrito Federal (IBGE, 2004; BOLFE, SANO e CAMPOS, 2020), e é responsável por aproximadamente 60% da produção agrícola brasileira (SOUZA JÚNIOR *et al.*, 2019). Contribuindo, para que o país se mantenha como um dos maiores produtores de arroz, milho, soja, feijão e algodão do mundo (FAO, 2021; ARAGÃO e CONTINI, 2021).



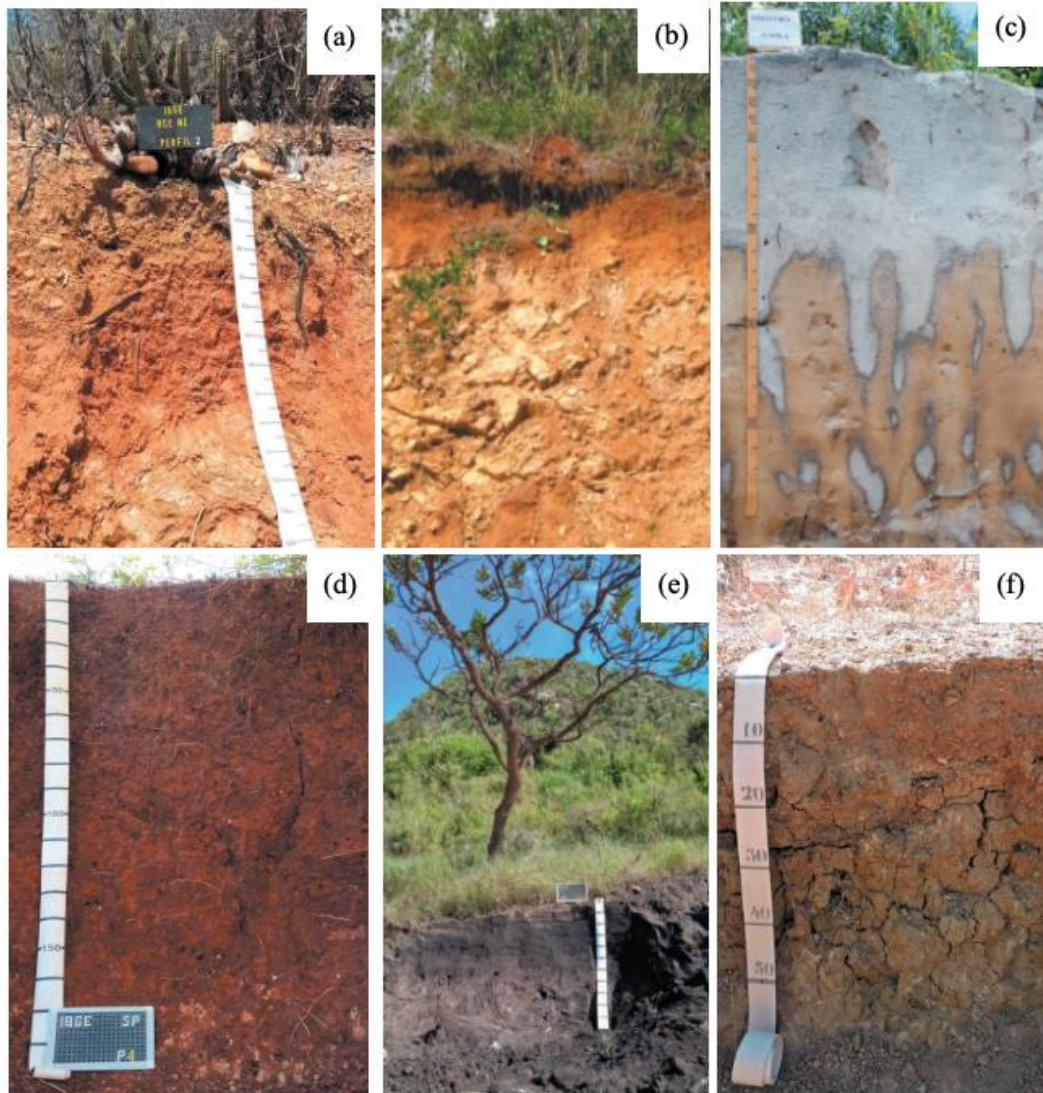
A maioria dos Latossolos são bem drenados, com permeabilidade de 20,7 até 82,0  $\text{cm h}^{-1}$  (HENKLAIN, 1980), profundamente intemperizados, com baixa capacidade de troca de cátions (CTC; valor médio de 3,9 a 13,9  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) (FERREIRA, 2016), pobres em nutrientes, especialmente o fósforo (P;  $>1 \text{ mg dm}^{-3}$ ), e com níveis de pH em torno de 4,0 a 5,3 (REATTO *et al.*, 2008). Geralmente apresentam cor vermelha ou amarela, textura fina, boa estrutura e alta condutividade de água (BATLLE-BAYER, BATJES e BINDRABAN, 2010).



**Figura 2.** Perfis dos principais tipos de solo do Brasil: Vertissolo Ebânico (a), Argissolo Vermelho (b), Neossolo Litólico (c), Cambissolo Háptico (d), Plintossolo Argilúvico (e), e Gleissolo Melânico (f). Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (2019).

São solos com desenvolvimento pedogenético avançado, em algumas situações, podem se desenvolver influenciados pelo clima e pelo tipo de litologias distintas, em um

ambiente com maior intemperismo, proporcionando maior desestabilização e alteração de seus minerais seguidos de intensa lixiviação (perda), e assim maior desenvolvimento do perfil (Figura 1a). Devido à perda de minerais durante o processo de lixiviação, são solos, geralmente, pouco férteis (IBGE, 2019).



**Figura 3.** Perfis das classes de solos do Brasil. Luvisolo Crômico (a), Chernossolo Argilúvico (b), Espodossolo (c), Nitossolo Vermelho (d), Organossolo Fólico (e), e Planossolo Háptico (f). Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (2019).

Diante dessa série de limitações ao crescimento das plantas, algumas estratégias viabilizam a agricultura na região do Cerrado, como a calagem (aplicação de um material alcalinizante ao solo, para reduzir sua acidez e aumentar a disponibilidade de nutrientes,

especialmente Cálcio (Ca), e magnésio (Mg), normalmente de uma rocha sedimentar composta principalmente por carbonato de cálcio,  $\text{CaCO}_3$ ), uso de gesso agrícola, adubação com nitrogênio (N), P, potássio (K), micronutrientes, manganês (Mn), zinco (Zn), boro (B), e cobre (Cu), e o manejo da matéria orgânica do solo (MO) (SOUZA JÚNIOR *et al.*, 2019). Devido a essas características e o potencial de cultivo que o bioma possui, atualmente cerca de 45% da vegetação natural já foi convertida para diferentes tipos de usos antrópicos: 29,5% vinculados às pastagens cultivadas, 12% às culturas agrícolas anuais e perenes e 1,5% à silvicultura (BOLFE, SANO e CAMPOS, 2020).

Em relação aos atributos físicos e químicos, Araújo *et al.* (2007), e Silva *et al.* (2009), encontraram os seguintes resultados para densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), MO e CTC (Tabelas 1 e 2), ao avaliarem Latossolos, em suas respectivas pesquisas.

**Tabela 1.** Atributos físicos e químicos do solo de Silva *et al.* (2009), de 0-10 cm.

Tratamento	Atributos físicos				Atributos químicos	
	Ds	Ma	Mi	Pt	MO	CTC
	$\text{g cm}^{-3}$	----- % -----	----- % -----	----- % -----	$\text{g kg}^{-1}$	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Eucalipto	0,91	32,2	31,8	64,1	29	11,2
Pinus	0,87	40,8	26,2	67,0	30	8,6
Cerrado	0,78	35,8	34,8	70,7	39	9,6

**Tabela 2.** Atributos físicos e químicos do solo de Araújo *et al.* (2007), de 0 até 30 cm.

Tratamento	Atributos físicos		Atributos químicos	
	Ds	Pt	MO	CTC
	$\text{kg dm}^{-3}$	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$	$\text{g kg}^{-1}$	$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$
Cerrado	0,75 até 0,83	0,64 até 0,67	35,4 até 45,2	5,96 até 11,12
Cultivo convencional	0,85 até 0,98	0,60 até 0,65	31,7 até 34,5	6,53 até 7,41
Pinus	0,67 até 0,75	0,69 até 0,72	30,1 até 38,5	5,38 até 7,77

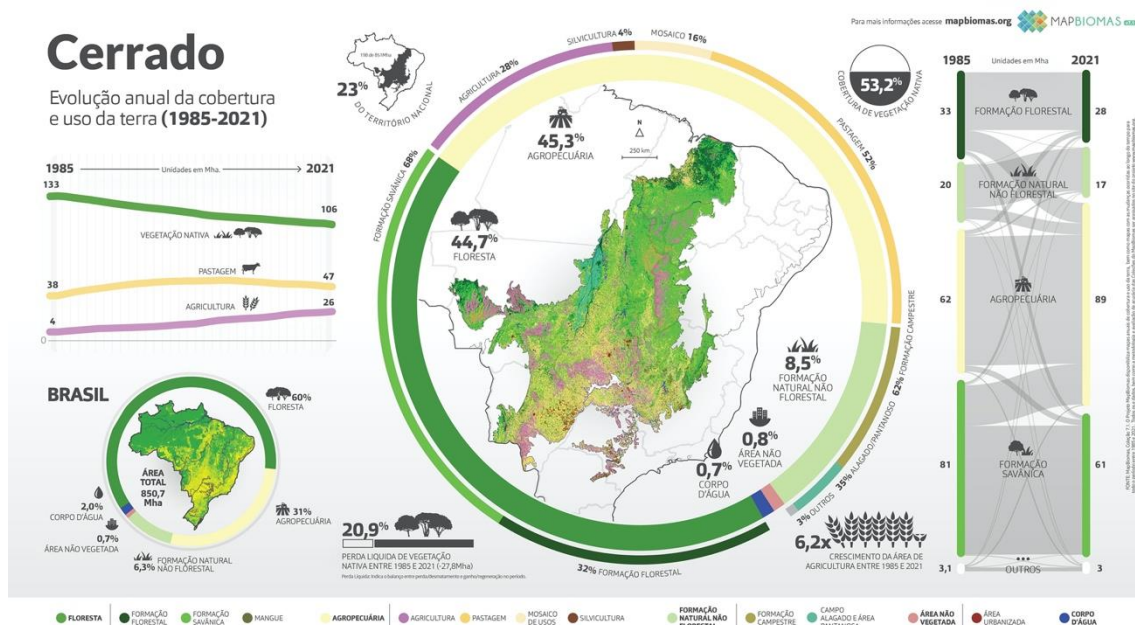
Araújo *et al.* (2004), avaliando a qualidade física de um Latossolo Vermelho, observaram que o solo sob cultivo com culturas anuais apresentou maiores valores de densidade do solo (Ds), e menores valores de porosidade total (Pt), e de macroporosidade (Ma), comparado com o solo sob mata nativa. Resultados semelhantes foram obtidos por

Araújo *et al.* (2007), estudando a qualidade de solo (QS) de um Latossolo, em área de Cerrado nativo, e áreas sob diferentes usos, assim, os autores obtiveram valores do QS ordenados da seguinte forma: Cerrado nativo > pastagem natural > florestamento de pinus > pastagem plantada > cultivo convencional com milho. Com valores mais altos para a Ds e, conseqüentemente, mais baixos para Pt nas áreas sob pastagem plantada (1,05 kg dm<sup>-3</sup> e 0,55 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), e cultivo convencional (0,98 kg dm<sup>-3</sup> e 0,60 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Para MO, os autores observaram valores mais elevados registrados para as áreas de pastagens (47,3 e 48,8 g kg<sup>-1</sup>) e Cerrado nativo (47,3 g kg<sup>-1</sup>), ficando o reflorestamento de pinus (38,5 g kg<sup>-1</sup>), num patamar intermediário, com cultivo convencional (31,7 g kg<sup>-1</sup>), apresentando os menores valores. É importante destacar, que poucos trabalhos na literatura estudaram os diferentes usos de solo no Cerrado, em Latossolo, como o do presente trabalho, demonstrando a importância do nosso estudo.

O Cerrado tornou-se uma região ideal para a intensificação da agricultura, o que acabou por favorecer a entrada de novos cultivos em sua área nativa (LOPES, 2013), e que tem contribuído para o Brasil se manter como o maior produtor de grãos de soja do planeta, sendo responsável por ~37% da produção mundial (USDA, 2022). Nesse contexto, o cultivo de monoculturas florestais, com eucalipto e pinus, vem se expandindo, principalmente para suprir o setor energético (DUBOC, 2008; FERNANDES *et al.*, 2016), o fornecendo matéria-prima para a produção de madeira, lenha, carvão e celulose (SILVA *et al.*, 2019). Fazendo o Brasil referência mundial quando o assunto é produtividade de plantio florestal. Visto que em 2020, a área total de árvores plantadas totalizou 9,55 milhões de hectares. Com 78% da área composta pelo cultivo de eucalipto e 18% de pinus (IBA, 2021).

Associado à expansão agrícola no Brasil (Figura 4), que trouxe diversos benefícios econômicos, está um custo ambiental que pode causar impactos negativos de longo prazo na sociedade e no crescimento econômico. Nesse caso, a intensificação do uso de terras aráveis tem compactado e deteriorado os atributos físicos (HAMZA e ANDERSON, 2005; FALCÃO *et al.*, 2020), e químicos do solo (FREITAS *et al.*, 2012) (Tabela 1 e 2). A degradação física do solo pode afetar a disponibilidade de água e nutrientes, a dinâmica da MO, a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, as trocas gasosas (O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>) e a atividade microbiana (SILVA *et al.*, 2007; BAYER e MIELNICZUK, 2008; RABOT *et al.*, 2018), que estão intrinsecamente relacionadas ao adequado desenvolvimento e produtividade das culturas.

Os manejos e uso do solo alteram os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos (CARNEIRO *et al.*, 2009; FREITAS *et al.*, 2012). E a avaliação dos atributos do solo, como a Pt, Ds, resistência à penetração, condutividade hidráulica saturada e a estabilidade de agregados (DMP e DMG) (RABOT *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2021), podem indicar o nível dessas alterações. Além disso, atributos relacionados a fertilidade do solo, como a acidez (pH e H+Al), o teor de nutrientes, elementos fitotóxicos (Al<sup>3+</sup>), e determinadas relações como a saturação de bases (V), e de alumínio (m), são bastante sensíveis às mudanças no uso e nas práticas de manejo e conservação do solo (ARAÚJO *et al.* 2012; BREJDA *et al.* 2000), e também podem ser usadas para mensurar a modificação causado pelo cultivo agrícola.



**Figura 4.** Infográfico sobre o uso e ocupação do Cerrado, no Brasil, de 1985-2021. Fonte: MAPBIOMAS, 2022.

Ainda, o teor de carbono (C), ou MO, são frequentemente utilizados como indicadores chaves e eficientes para avaliação da qualidade biológica do solo, tanto em sistemas agrícolas como em áreas de vegetação nativa, o que se deve a influência direta dessa variável com os demais atributos físicos e químicos do solo (XAVIER *et al.*, 2006; MARTINS *et al.*, 2010). Como exemplo, solos com maiores teores de MO aumentam a distribuição de Mi e Ma do solo, aeração, capacidade de infiltração e retenção de água.

Além disso, há melhor estruturação e redução da Ds, favorecendo a exploração de maior volume de solo pelas raízes (SANTOS *et al.*, 2010).

Em relação a fertilidade dos solos do Cerrado, entre os macronutrientes, o P e o K são dois importantes elementos para cultivos nesse bioma, uma vez que, a disponibilidade do P é baixa em condições naturais, devido a elevada fixação desse nutriente no solo (Tabela 3, 4 e 5). O K em Latossolos pode sofrer movimentação para camadas mais profundas, por serem de formação mais antiga, assim, os solos do Cerrado sofrem com lixiviação e, conseqüentemente, disponibilizam baixos teores de K para as plantas cultivadas, que acaba restringindo o crescimento inicial das plantas, prejudicando a produtividade das culturas (GRANT *et al.*, 2001; KINPARA, 2003).

**Tabela 3.** Recomendação de adubação de milho para grãos, em função da análise de solo e da produtividade esperada.

Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	P resina (mg dm <sup>-3</sup> )		K <sup>+</sup> trocável (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		Classe de resposta a N	
	<16	16-40	<1,6	1,6-3,0	Alta	Média e baixa
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>		K <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>		N kg ha <sup>-1</sup>	
<6	90	60	70	40	90	60
6-8	100	70	90	50	120	90
8-10	120	90	100	70	160	120
10-12	-	110	110	90	200	140
>12	-	120	120	100	220	160

S e Micronutrientes		
Nutriente	Dose (kg ha <sup>-1</sup> )	
	S	20
Zn	2	4
B	2	-

Fonte: Cantarella *et al.* (2022).

**Tabela 4.** Recomendação de adubação de soja, em função da análise de solo e da produtividade esperada.

Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	P resina (mg dm <sup>-3</sup> )		K <sup>+</sup> trocável (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
	<16	16-40	<1,6	1,6-3,0
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	
<3	120	80	100	60
3-4	140	100	120	80
4-5	160	120	140	100
>5	-	140	160	120

S e Micronutrientes	
Nutriente	Dose (kg ha <sup>-1</sup> )
S	15 -
Zn	5 -
B	1 -
Cu	2 -
Mn	2,5 5
Co	0,05 -
Mo	0,003-0,005 -

Fonte: Cantarella *et al.* (2022).

Em relação aos micronutrientes, o Mn, Zn, B e o Cu, embora exigidos em pequenas quantidades, são essenciais para a planta completar seu ciclo vegetativo e, suas deficiências provocam diminuição na produtividade. No Brasil, a deficiência de micronutrientes tem se apresentado com maior frequência nos solos sob Cerrado (LUCHESE *et al.*, 2004). Níveis inadequados de B no solo pode acarretar uma série de alterações, como a diminuição do crescimento das plantas (SILVEIRA; MALAVOLTA, 2000; SILVEIRA *et al.*, 2007; MATTIELLO, 2009). Além disso, a presença de micronutrientes em níveis recomendados, como o Mn, atua na proteção contra doenças fúngicas que acometem as raízes e a parte aérea das plantas (TAIZ e ZEIGER, 2013). Enquanto o Zn auxilia em diferentes ciclos biogeoquímicos das plantas, desde a síntese

de clorofila até na produção de auxinas, atuando também na composição estrutural de várias enzimas, e como ativador de algumas reações metabólicas (AGNOL *et al.*, 2022).

**Tabela 5.** Recomendação de adubação do eucalipto e pinus, em função da análise de solo e da textura do solo.

Teor de argila (g kg <sup>-1</sup> )	Gênero	P resina (mg dm <sup>-3</sup> )		K <sup>+</sup> trocável (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	
		<3	3-4	0-0,5	0,6-0,9
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )		K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	
150	Eucalipto	40	40	140	120
	Pinus	30	20	70	60
150-350	Eucalipto	50	40	160	140
	Pinus	30	30	80	70
>350	Eucalipto	70	50	180	160
	Pinus	40	30	90	80

Gênero	Matéria orgânica do solo (g dm <sup>-3</sup> )		
	<16	16-30	>30
	Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )		
Eucalipto	60	40	20
Pinus	30	20	0

Micronutriente	
Nutriente	Dose (kg ha <sup>-1</sup> )
B	0,002- 0,005

Fonte: Cantarella *et al.* (2022).

Conforme relatado por Santos *et al.* (2010), o aumento da intensidade do uso do solo e a diminuição da cobertura vegetal nativa têm levado à degradação dos recursos naturais e, em especial, à diminuição da fertilidade do solo. Assim, a avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos são importantes para elucidar as modificações do solo, pois a qualidade desses atributos influenciam diretamente no crescimento das plantas (FRANCO *et al.*, 2016; SILVA e SIQUEIRA, 2022), e seu monitoramento a curto



e longo prazo são importantes para o melhor manejo visando à sustentabilidade do sistema agrícola e florestal (CARNEIRO *et al.*, 2009).

Há alguns anos, não existiam grandes subsídios ou práticas de agricultura promovidas pelo governo no estado para preservação do solo, principalmente em áreas florestais. A partir de 2021, com a criação do PROSOLO (Plano Estadual de Manejo e Conservação de Solo e Água), houve a criação de uma estratégia para conservação das águas em Mato Grosso do Sul. Que compreende o desenvolvimento de atividades de contenção de processos erosivos, como terraceamento, e restauração da vegetação nativa visando conservar rios e nascentes do Estado. Com o PROSOLO o governo colocou como ponto crítico a necessidade de um programa estrutural e de conservação do solo e da água (IMA SUL, 2023). Nesse sentido, trabalhos como o nosso, que podem trazer informações regionalizadas sobre o uso do solo, demonstram estar em sincronia com as políticas públicas de conservação do solo e da água do Estado. Nesse contexto a determinação dos atributos físico-químicos, tornam-se relevantes para o entendimento de possíveis fragilidades desses ambientes, resultados de estudos sobre estas variáveis são valiosas fontes de dados, uma vez que a disponibilidade de nutrientes no solo está intimamente ligada a física do solo. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar os atributos físico-químicos de um LATOSSOLO VERMELHO, sob uso florestal e agrícola no Cerrado brasileiro, e verificar qual o sistema de uso de solo é considerado o mais conservacionista do ponto de vista das boas práticas agrícolas e ambientais.

## **1.2. FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO NOS PRINCIPAIS USOS DA TERRA**

### **1.2.1. Atributos físicos e químicos do solo**

Os solos são capazes de dar sustentação aos vegetais, pelo fato de estarem associados a germinação, crescimento radicular, armazenamento de água, aeração, atuando, como substrato nutritivo e na dinâmica de nutrientes (MONTANARI, 2015; TROLEIS, 2020), mas para que exerça suas funções é necessário que solo esteja em condições adequadas. Visto que, o uso sem planejamento e controle podem ocasionar a redução da sua estrutura e fertilidade, tornando necessário adubações cada vez mais elevadas com a intenção de alcançar altas produtividades (RIBEIRO, 2021).

Dessa forma, deve se levar em consideração a qualidade do solo, que é determinada através da mensuração de atributos físicos, químicos e biológicos, que permitem o monitoramento de mudanças, a curto, médio e longo prazo (MARCHINI *et al.*, 2015; TROLEIS, 2020). Afinal, variações nos atributos do solo estão diretamente ligadas à sua qualidade, e sua avaliação após a mudança para o sistema de uso é importante, podendo indicar a capacidade de funcionamento do solo (RIBEIRO, 2021).

Nesse contexto, os atributos físicos do solo têm influência direta no desenvolvimento radicular das culturas, na sua produtividade (SILVA, 2000; SIQUEIRA *et al.* 2006), e na qualidade dos produtos, como sementes, fibras e madeira (RIGATTO *et al.*, 2004). A Ds é considerada um atributo avaliador da qualidade estrutural do solo, sendo muito utilizada como indicadora de sua estrutura e dureza. Desta forma, alterações dos seus valores refletem em modificações da estrutura do solo, devido à relação que existe entre a Ds e a Pt (DORAN *et al.*, 1994; MONTANARI, 2015). Em estudos realizados por Stolf *et al.* (2011), foi verificado que avaliar apenas a Ds não é suficiente para definir o estado de compactação do solo agrícola. A Ma permitiria uma melhor indicação do estado de compactação de um solo do que a Ds (STOLF, 1987). Portanto, a avaliação dos atributos físicos, Ma e Mi têm sido parâmetros auxiliares mais consistentes na definição do manejo ideal do solo, por relacionarem melhor com a aeração, permeabilidade e armazenamento de água no solo (THURLER, 1989; SILVA *et al.*, 2022).

Os atributos químicos do solo também são avaliados para que se possa diagnosticar a sua capacidade em promover o desenvolvimento das plantas, mantendo a produtividade das culturas e a qualidade ambiental do sistema usado. Esses atributos são sensíveis às variações provocadas pelo uso da terra e se relacionam com as funções desempenhadas pelo solo (DUVAL *et al.*, 2018).

Os principais atributos químicos cujas alterações podem ocorrer no tempo são: potencial hidrogeniônico (pH), N, P, K, Ca, Mg, alumínio (Al) e carbono orgânico (C<sub>org</sub>). Estes atributos são os mais utilizados em estudos realizados em curto espaço de tempo, em função de seus reflexos imediatos e a ferramenta mais utilizada para esse diagnóstico tem sido a análise do solo (MARTINAZZO, 2006). Então, o conhecimento dos atributos indicadores da qualidade do solo, em ambientes explorados, é fundamental, tanto para manutenção das funções ambientais que os solos desempenham, como também para

manter a capacidade de produção das culturas (STEFANOSKI *et al.*, 2013; TAVARES *et al.*, 2022).

### **1.2.2. O Cerrado: região de alta biodiversidade**

A região do Cerrado é tida hoje como um dos pilares da economia nacional, com grande destaque para o setor agropecuário e, mais recentemente, no crescente mercado energético (PINTO *et al.*, 2005; OMETTO, RAMOS e LOMBARDI, 2007; FERREIRA *et al.*, 2009). A exploração de seus recursos naturais, pode ser medida pelo intenso uso do solo para a agricultura, incluindo o corte de árvores para a produção de carvão vegetal. A mudança desses ambientes nativos para áreas de produção agrícola tem levado à deterioração do solo em consequência de sua intensa exploração (LEITE *et al.*, 2010; FREITAS, 2022).

Levantamentos contabilizam uma perda de sua cobertura vegetal nativa entre 40% e 54% (SANO *et al.*, 2008; MACHADO *et al.*, 2004). Para contornar esses problemas, têm sido vários os esforços empreendidos nos últimos anos para se compreender melhor este bioma, no que diz respeito, por exemplo, à sua dinâmica de ocupação e principalmente aos impactos ambientais decorrentes destas (FERREIRA *et al.*, 2011).

O avanço da agricultura no Brasil tem sido feito principalmente nas áreas do Cerrado (Figura 5), cujos solos têm atributos físicos e a topografia relativamente plana, ideal para a agricultura e a mecanização (FERREIRA *et al.*, 2009). Entre 1985 e 2021, a área ocupada por lavouras de soja no Cerrado cresceu 1443%, ocupando quase 20 milhões de hectares, ou 10% do bioma. É o que aponta recente levantamento do Mapbiomas (MAPBIOMAS, 2022), cujos dados mostram que, nestes 37 anos, as atividades agrícolas aumentaram em 508%, passando de 4 milhões de hectares para quase 25 milhões de hectares no Cerrado. Em 2021, apenas metade do bioma (53,1%) ainda estava coberto por vegetação nativa. Foram 27,9 milhões de hectares de vegetação nativa perdidos entre 1985 e 2021.

Mesmo apresentando atributos químicos inadequadas para a agricultura (elevada acidez, pH de 4,0 a 5,3, altas concentrações de Al e Mn, baixa CTC e deficiência de nutrientes, como P, Ca e Mg), os solos típicos da região, como os Latossolos (Figura 1), quando corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial para uma agricultura de

elevada produtividade (SOUSA e LOBATO, 2004; PARENT e GAGNÉ, 2010; MONTANARI, 2015).

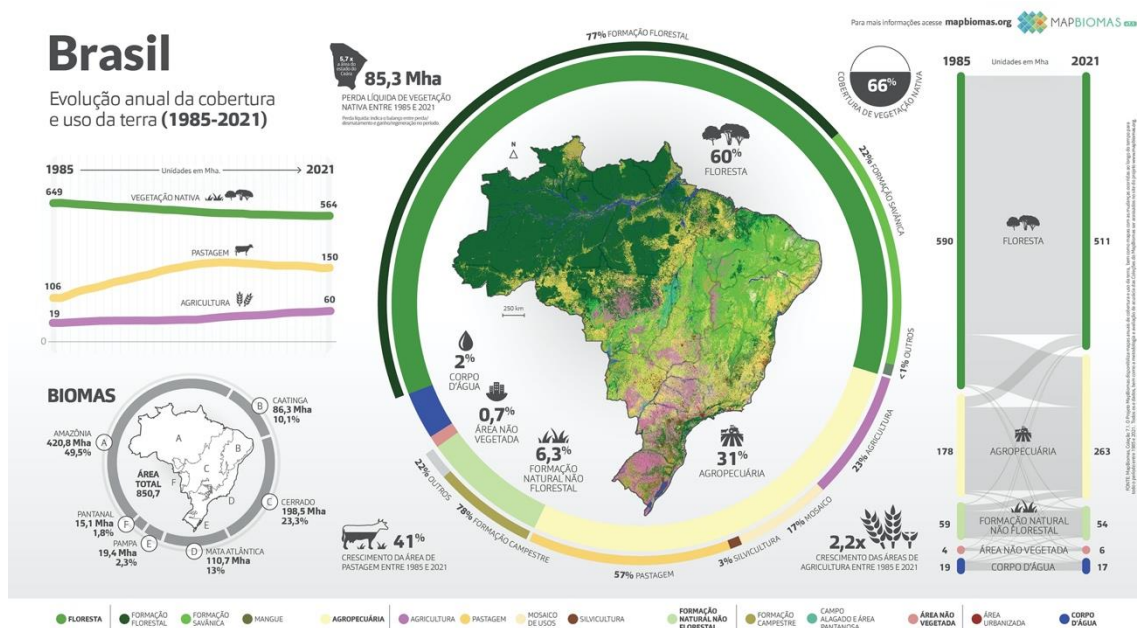
Estudos anteriores mostram as diferentes necessidades nutricionais para as diferentes culturas de interesse. Os gêneros *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. podem exigir grandes quantidades de fertilizantes e corretivos para seu cultivo. Com necessidades de 30-60 kg ha<sup>-1</sup> de N, para seu desenvolvimento (doses maiores para o teor de MO <16 g dm<sup>-3</sup>). Para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, a recomendação é baseada no teor de argila do solo, sendo o eucalipto mais exigente (até 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), do que o pinus (até 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). O mesmo vale para o K<sub>2</sub>O, o eucalipto pode exigir até 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, enquanto o a exigência do pinus atinge até 90 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. Em relação aos micronutrientes, para o B, recomenda-se a aplicação de 2 a 5 g de B por planta (CANTARELLA *et al.*, 2022).

Em relação as culturas anuais, a recomendação de adubação para o milho é a partir da análise do solo, e da produtividade esperada. O milho, pode exigir até 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, para um teor de P resina < 16 mg dm<sup>-3</sup>, e teor de K<sup>+</sup> trocável <1,6 mmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Em relação ao N, a exigência da cultura pode atingir 220 kg ha<sup>-1</sup>. Para S a exigência é de 20-40 kg ha<sup>-1</sup>, e para Zn e B a exigência é de 2-4 kg ha<sup>-1</sup> e 2 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A soja, pode exigir até 160 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 160 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, para um teor de P resina < 16 mg dm<sup>-3</sup>, e teor de K<sup>+</sup> trocável <1,6 mmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Para S a exigência é de 15 kg ha<sup>-1</sup>. Para micronutrientes, a exigência de Zn é 5 kg ha<sup>-1</sup>, B é 1 kg ha<sup>-1</sup>, Cu é 2 kg ha<sup>-1</sup>, Mn de 2,5-5 kg ha<sup>-1</sup>, cobalto é 0,05 kg ha<sup>-1</sup> e para molibdênio é 0,003-0,005 kg ha<sup>-1</sup> (CANTARELLA *et al.*, 2022).

Graças a geração de tecnologias, e os avanços nas técnicas de cultivo, tem se verificado que é possível transformar solos altamente intemperizados, ácidos e pobres em solos agricultáveis. Quando combinadas ao uso adequado de corretivos e fertilizantes, com a época adequada de instalação das culturas, pode-se obter boa produtividade. Contudo, são necessários grandes investimentos em correção e no curto, médio e longo prazos, fazendo a chamada “construção” da fertilidade (criação de um ambiente ideal para o cultivo ao longo do perfil do solo), desde o início de sua ocupação, promovendo assim, desenvolvimento adequado dos sistemas produtivos (FONSECA *et al.*, 2019; LONDERO *et al.*, 2020; FREITAS, 2022).

É necessário usar o solo de acordo com sua aptidão agrícola, e o manejo da fertilidade é a estratégia inicial para garantir adequada produtividade e qualquer tipo de

solo. Alguns cuidados básicos devem ser tomados, como: o uso do sistema de plantio direto (SPD), que visa manter o solo sempre que possível coberto por palhada ou culturas, especialmente no início das chuvas, e observar o teor de argila do solo a ser cultivado, pois, quando >15%, característicos de solos arenosos, deve-se tomar cuidado com manejos intensivos, principalmente em sistemas irrigados por conta da percolação da água no perfil, erosão e lixiviação de nutrientes (N e K) (TIECHER, 2016; FREITAS, 2022).



**Figura 5.** Infográfico sobre o uso e ocupação dos biomas, incluindo o Cerrado, no Brasil, de 1985-2021. Fonte: MAPBIOMAS, 2022.

### 1.2.3. Mata ciliar

A expressão matas/florestas ciliar envolve todos os tipos de vegetação arbórea vinculada a margens de rios. Trata-se da vegetação florestal às margens de cursos d'água (AB`SABER, 2004). A mata ciliar está compreendida em áreas de preservação permanente, prevista no Código Florestal Brasileiro, que consiste em uma faixa de preservação de vegetação estabelecida ao longo dos cursos d'guas, nascentes, reservatórios, destinados à manutenção da qualidade das águas. Da mesma forma, a Lei 7.754, de 14/04/1989, considera área de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural existentes nas nascentes dos rios (LEANDRO; VIVEIROS, 2003). Embora sejam áreas de preservação permanente, protegidas por legislação estadual

e federal (BARBOSA *et al.*, 1992), as matas ciliares vêm sofrendo alterações significativas, estando em geral extremamente degradadas (MARTINS, 1989). De acordo com Kageyama e Dias (1982), o desmatamento pode levar ao desaparecimento de diversas espécies florestais de importância ecológica e comercial em várias regiões, com sério comprometimento de seu potencial genético. Sendo assim, a sua restauração, utilizando-se espécies vegetais adequadas a esta finalidade, é uma necessidade importante para a conservação dos recursos naturais (SALVADOR, 1989).

As matas ciliares são alvos de todo tipo de degradação. São áreas diretamente afetadas por construção de hidrelétricas, aberturas de estradas em regiões com topografia acidentada e implantação de culturas agrícolas e de pastagem (MARTINS, 2001). E considerando que muitas cidades foram formadas as margens dos rios, eliminando todo tipo de vegetação ciliar, e muitas sofrem hoje com constantes inundações, causadas pelas modificações da paisagem.

A devastação das matas ciliares tem despertado grande preocupação, porque garantem a estabilidade das áreas que margeiam os rios, evitando o assoreamento de reservatórios, o empobrecimento do solo e, conseqüentemente, a redução da biodiversidade local (PINHEIRO, FISCH e ALMEIDA, 2004). A implantação de matas ciliares às margens dos reservatórios das usinas tem sido uma preocupação das empresas ligadas ao setor de geração de energia, com o objetivo de minimizar a erosão e os impactos ambientais causados pela criação dos reservatórios, como a submersão de matas nativas (DAVIDE *et al.*, 1996). A partir de 1990, foi observado um aumento das iniciativas de recuperação de áreas degradadas, principalmente em áreas ciliares.

As matas ciliares, quando preservadas pelo homem, possuem cinco funções: servir de abrigo para inúmeras espécies, fornecer alimento a fauna, proteger o curso d' água, evitar erosões nos solos e preservar a biodiversidade. Pela sua localização, as matas funcionam como corredores naturais de ligação entre fragmentos e reservas florestais; exercendo papel fundamental na manutenção da qualidade da água, na conservação da biodiversidade e do patrimônio genético da flora e da fauna (CRESTANA *et al.*, 2004).

As matas ciliares ocupam, na maioria das vezes, áreas mais sensíveis da bacia hidrográfica, como as margens ao redor das nascentes e áreas saturadas, por conseguinte, a sua manutenção ocorre para diminuir a ocorrência de escoamento superficial, que pode causar erosão e arraste de sedimentos e de nutrientes para os cursos d'água, além de

desempenhar um efeito de filtragem superficial e subsuperficial dos fluxos de água para os canais (MARTINS, 2004).

Recentemente o estudo e a recuperação de áreas florestais perturbadas nos trópicos, vêm tomando cada vez mais espaço no cenário científico, movidos também pelos problemas causados pelo intenso crescimento populacional. Um deles, a destruição das florestas das margens de rios e reservatórios, protegidas por lei, tem colocado em risco o abastecimento de água para consumo humano em muitas cidades.

Nogueira (1977) foi um dos primeiros trabalhos sobre reflorestamento heterogêneo com essências arbóreas nativas, onde adotou um reflorestamento aleatório sem preocupação com as espécies e proporção entre elas. Com a evolução do conhecimento sobre a estrutura e o funcionamento das matas ciliares naturais, foram sendo elaborados modelos e indexadas diretrizes para plantios de recuperação da mata ciliar (SILVEIRA; DURIGAN, 2004).

Na definição das espécies a serem plantadas e do esquema de distribuição, algumas questões devem ser consideradas: quantas e quais as espécies devem ser utilizadas, quantos indivíduos de cada espécie e qual o melhor arranjo para a distribuição das espécies. Dentre os critérios de distribuição das espécies propostas para a implantação de povoamento misto, o sistema baseado na sucessão secundária é o que vem obtendo mais êxito, por promover o rápido recobrimento do solo e favorecer a regeneração natural. A presença das espécies pioneiras é essencial para o sucesso do plantio, visto que pelo seu rápido desenvolvimento fornece proteção ao solo e condições microclimáticas necessárias ao estabelecimento das espécies dos estágios sucessionais posteriores (BOTELHO, DAVIDE e FARIA 1996).

Para recomposição de áreas perturbadas e/ou degradadas o ideal seria empregar espécies nativas da área-problema. Entretanto, havendo falta de informações sobre a composição florística da área, e não existindo áreas remanescentes, fica difícil o emprego dessas espécies. Uma saída seria a introdução de espécies com características funcionais conhecidas. Muitos trabalhos, visando contornar este tipo de necessidade, procuram separar as espécies de mata de galeria em grupos com características distintas e com funções diferentes. Assim, a partir dessas informações, são estabelecidos os modelos para a reconstituição da área em locais críticos, formados por mais de duas diferentes espécies. Essas espécies devem ser complementares entre si, ou seja, aquelas que desempenham

funções de sombreadoras e aquelas que necessitam de sombra para o seu desenvolvimento (REZENDE, 1998). Tendo em vista esta preocupação Durigan e Nogueira (1990) sugeriram que os plantios fossem heterogêneos, combinando espécies dos diferentes estádios de sucessão (pioneiras, secundárias e clímax), adaptadas às condições locais, onde a distribuição das mudas deve ser tal que as espécies pioneiras e secundárias iniciais, de rápido crescimento, venham a sombrear as mudas das espécies que se desenvolvem melhor à sombra. É importante destacar, que poucos trabalhos na literatura estudaram os diferentes usos de solo no Cerrado, em Latossolo, com uma área de mata nativa, como o do presente trabalho. Demonstrando a importância do nosso estudo, principalmente pelo uso da mata ciliar.

#### **1.2.4. Eucalipto**

Nas últimas décadas, a cultura do eucalipto se expandiu pelo Brasil, o que levou a cultura a um ponto de destaque no agronegócio pela produção de papel e celulose (SPEROTTO, 2014; BORGES, 2022). Atualmente, o Brasil se mostra como um importante produtor no setor florestal, devido as suas características edafoclimáticas, e sua disponibilidade de terras, sendo um dos poucos países capazes de fornecer ao mundo *commodities* agrícolas (são mercadorias originadas do agronegócio, que passam por poucas intervenções industriais em seus processos, ou seja, são comercializadas praticamente em seu estado natural, como soja, milho e carne bovina), energia e uma gama de bioprodutos florestais (IBÁ, 2015).

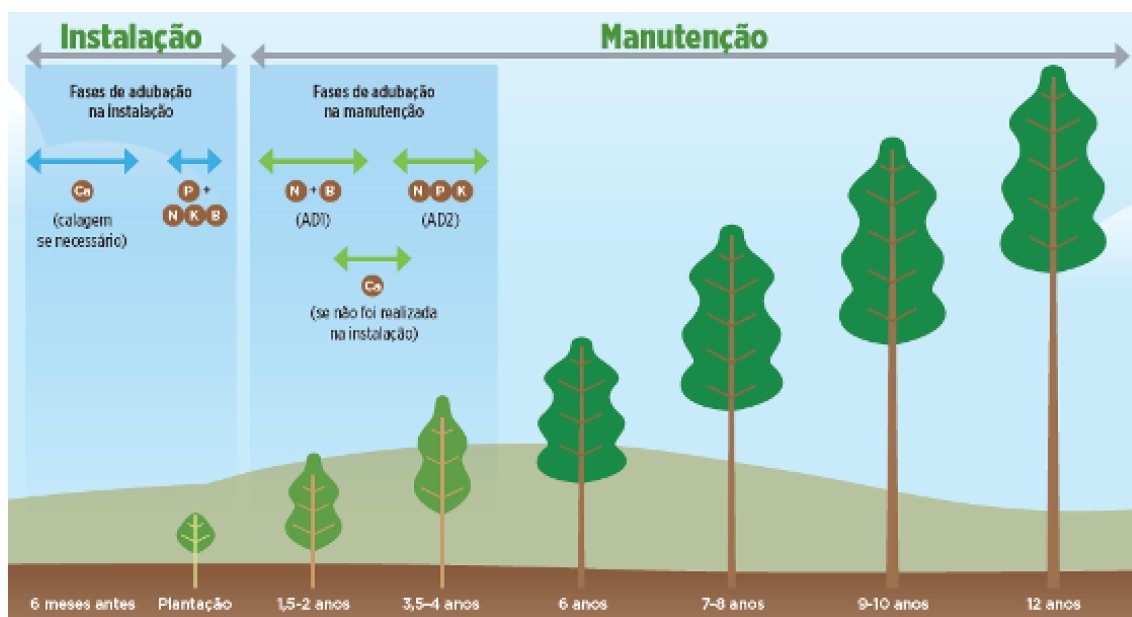
Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (2021), no ano de 2020 as áreas ocupadas por plantações florestais foram de 9,55 milhões de hectares, um recuo de 1,4% em relação a 2019, que ficou em 9,69 milhões de hectares. Entre as espécies, 78% da área é composta pelo cultivo de eucalipto, com 7,47 milhões de hectares; e 18% de pinus, com aproximadamente 1,7 milhão de hectares. Enquanto o PIB do país cresceu apenas 2,7% de 2010 à 2020, além disso, o valor adicionado do setor de árvores cultivadas apresentou incremento de 10,2%, no mesmo período (IBÁ, 2021).

Os plantios de eucalipto estão localizados principalmente nos Estados de Minas Gerais (27,6%), São Paulo (18,1%) e Mato Grosso do Sul (15,1%) (IBÁ, 2021). Nos últimos sete anos, o crescimento médio da área de eucalipto foi de 1,1% ao ano, com o Mato Grosso do Sul liderando esta expansão, que sozinho apresentou uma taxa média de crescimento de 7,4% ao ano (IBÁ, 2019; GUIDUGLI, 2022). As espécies mais plantadas



atualmente no Brasil são: *Eucalyptus camaldulensis*, *Corymbia citriodora* (Eucalipto-citriodora), *E. grandis*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. globulus*, *E. deglupta*, *E. tereticornis*, *E. pellita*, *E. moorei*, *E. smithii*, *E. urophylla* e *E. resinifera*. Além dessas espécies, são desenvolvidos os híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (CIB, 2008; GUIDUGLI, 2022).

São vários os destinos possíveis provindos da madeira do eucalipto, que vão desde a celulose e papel como na obtenção de energia (lenha e carvão), biorredutor na siderurgia, produção de base de madeira reconstituída (aglomerados e chapas de fibra), madeira roliça (postes, mourões e estacas), até a produção de sólidos madeiráveis a partir de serrados (PALUDZYSZYN *et al.*, 2011). Ainda, algumas espécies também produzem óleos essenciais que possuem várias aplicações na indústria (SANTAROSA *et al.*, 2014) (Figura 6). Além da versatilidade de produtos, as atividades da indústria brasileira de árvores contribuíram para a geração de mais de 536 mil empregos diretos e 1,5 milhão de postos de trabalho indiretos. Ano anterior eram cerca de 1,3 milhão de postos de trabalho direto e indireto (IBÁ, 2021).



**Figura 6** – Desenvolvimento do eucalipto. Fonte: Produtores Florestais (2021).

Além da grande importância econômica ao setor produtivo do país, o eucalipto também exerce um importante papel ambiental, pois é considerada uma cultura sustentável (BORGES, 2022). As florestas plantadas contribuem com a preservação

ambiental, pois reduzem o desmatamento de florestas naturais, oferecem benefícios ambientais quando implantadas obedecendo aos princípios de boas condutas agronômicas, como a conservação do solo, volume e qualidade de água e manutenção da biodiversidade (SANTAROSA *et al.*, 2014; BORGES, 2022).

#### 1.2.5. Pinus

O Brasil é referência mundial quando o assunto é produtividade de plantios florestais, com alto volume de produção anual de madeira por área e um curto ciclo (IBÁ, 2021). As florestas plantadas de *Pinus* sp. fornecem matéria prima ao mercado interno e para exportação, além de contribuir para vários segmentos socioeconômicos, ao agregar valor desde o pequeno produtor até grandes segmentos industriais. O pinus está presente nas cadeias produtivas de diversos produtos, como resina, madeira serrada, celulose e papel, painéis, geração de biocombustíveis e energia (PEZZUTTI *et al.*, 2016; MARTINS, 2020).

Em razão da rusticidade e tolerância a diferentes condições edafoclimáticas, e a adaptação das espécies aos solos ácidos do Brasil, possibilitou a implantação de extensas áreas de plantios comerciais (KRONKA *et al.*, 2005), tornando favoráveis ao estabelecimento de plantios nas décadas de 1970 e 1980 na região do Cerrado (JUVENAL e MATTOS, 2002). Ainda hoje, o pinus é amplamente cultivado no bioma (SILVA *et al.*, 2021), e é o segundo gênero mais plantado no Brasil (FERRO *et al.*, 2018; MARTINS, 2020). Somente em 2020, os plantios de pinus representaram 18% a área total, de 1,7 milhão de hectares (IBÁ, 2021).

O gênero *Pinus* sp. apresenta cerca de 105 espécies identificadas, que são fisiologicamente resistentes à seca, muito exigentes em luz. Apresentam diferentes exigências quanto à fertilidade, textura e profundidade do solo. Devido à sua grande versatilidade possibilita o plantio em diferentes condições de ambiente (AUER, GRIGOLLETI JUNIOR e SANTOS, 2005; SILVA *et al.*, 2019). No Brasil, os plantios estão localizados principalmente nos Estados do Paraná (733,2 mil ha), Santa Catarina (413,6 mil ha), Rio Grande do Sul (295,2 mil ha), São Paulo (175,9 mil ha), Minas Gerais (66,1 mil ha), Goiás (6,7 mil ha) e Mato Grosso do Sul (4,0 mil ha) (IBÁ, 2021).

O *Pinus caribaea* compreende três variedades (*hondurensis*, *bahamensis* e *caribaea*), são de rápido crescimento e produtoras de madeira resinosa, de grande

utilidade para o processamento mecânico (TRIANOSKI, 2009). Sendo que, o *P. caribaea* var. *hondurensis* está entre os pinus tropicais mais plantados no mundo. Recomendada em toda a região tropical brasileira, devido às suas características morfológicas e silviculturais. O plantio comercial com esta variedade tem expandido para as regiões Sudeste e Centro-Oeste e algumas áreas das regiões Norte e Nordeste. Sua madeira é de densidade moderada a baixa, mas de grande utilidade geral. Além disso, ela produz resina em quantidade viável para a exploração comercial (TRIANOSKI, 2009).

As espécies de pinus, assim como os eucaliptos, são altamente tolerantes a solos ácidos, não se fazendo necessária a correção do pH do solo. Em locais mais secos, o K é visto como o nutriente relacionado às melhores produtividades da cultura. Apesar de ser considerado de baixa exigência nutricional, o *Pinus caribaea* var. *caribaea* responde bem à adubação com N, P, K, B e Zn (SILVA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2021). Entretanto, o pinus demonstra uma excelente capacidade de aproveitamento dos recursos nutricionais em áreas de baixa fertilidade (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2005; RUIZ, 2016).

Comparando plantios de eucalipto e de pinus, Silva e Braga (2015), observaram maior alteração nos atributos químicos do solo sob cultivo de pinus, notadamente maior acidez, teor de Al e redução de bases trocáveis. Braga *et al.* (2014) relatam condição similar de fertilidade do solo sob cultivo de eucalipto e mata nativa no longo prazo. Lima (1996), afirma que povoamentos nativos de eucalipto na maioria das vezes apresentam solos com boa fertilidade natural.

Diversos autores, como Corrêa (2007), Reissmann e Wisniewski (2005), Rigatto (2002), estudaram os fatores de solo e as suas relações com o estado nutricional e a produtividade dessa espécie e observaram estreita interdependência entre essas variáveis. Constatou-se também que, apesar do pinus ser considerado pouco exigente quanto à fertilidade do solo, níveis diferenciados de produção têm sido observados quando se plantam espécies em condições edáficas distintas (BALLONI, 1984; RIGATTO, 2004). Diante da boa produtividade da cultura, e da qualidade da madeira, a utilização da espécie têm feito com que ela seja uma das mais procuradas para produção de madeira em regiões tropicais (FLORSHEIM, 2010; RUIZ, 2016).

### 1.2.6. Soja

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo, é um importante produto agrícola para alimentação animal e humana e outros usos, devido aos seus altos níveis de proteína (40%) e óleo (20%) que estão associados a alta de produção de alimentos (SEDIYAMA *et al.*, 2009; MARQUES, 2022). Os seus produtos e subprodutos podem ser utilizados de diversas formas, como é o caso da casca de soja, que pode ser utilizada tanto para alimentação de ruminantes, como para produção de biodiesel (SILVA *et al.*, 2019; MORAES, 2022).

No mundo, a oleaginosa ocupou, na safra de 2020/2021, uma área de 127,842 milhões de hectares, o que contabilizou uma produção de 362,947 milhões de toneladas. No Brasil, na mesma safra, a área plantada foi de 38,502 milhões de hectares, com produção de 135,409 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2021; SILVA *et al.*, 2022). Tornando-se nos dias atuais o carro chefe das exportações brasileiras correspondendo por 40% do comércio mundial de grãos (MARQUES, 2022).

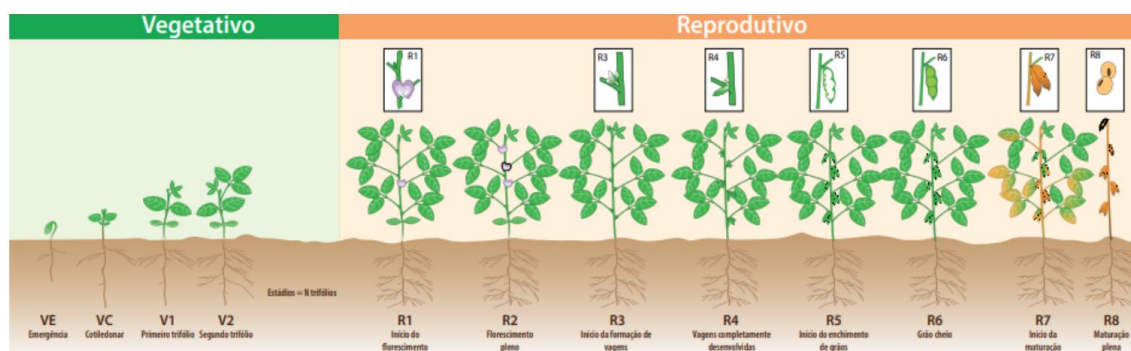
Aliado aos altos preços da soja nos últimos anos (MARQUES, 2022), a produção de soja tem se espalhado pelo território brasileiro a cada ano, onde antes era inviável a produção, como o Cerrado, antes considerado como uma fronteira distante, com difícil acesso e solos de baixa fertilidade (ZILIO, 2019; MORAES, 2022). Frequentemente, devido a sua expansão por todo o território, a cultura encontra desafios para obtenção de altas produtividades, precisando encontrar maneiras para driblar os obstáculos tecnológicos (FREITAS, 2022). Além disso, o avanço da produção brasileira advém da adoção de tecnologias que auxilia em uma maior sustentabilidade, produtividade e lucratividade do sistema, contribuindo também para melhorias nas características do solo (VERNETTI JUNIOR, 2013; MORAES, 2022).

Para tanto, o melhoramento genético, possibilitou a implantação da cultura em regiões de baixa altitude, desenvolvendo cultivares com o florescimento mais tardio, mesmo em condições ambientais desfavoráveis, além do desenvolvimento de cultivares altamente adaptados, que apresentem caracteres agrônômicos desejáveis. Também houve a necessidade de desenvolver cultivares resistentes a pragas e doenças que atacam a cultura durante todo o seu ciclo, diminuindo a sua produtividade (FREITAS, 2011 FREITAS, 2022). Outra ferramenta de grande auxílio para o produtor de soja, é a sua associação com bactérias diazotróficas, na qual possuem a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>) para as plantas, reduzindo o uso de fertilizantes nitrogenados

e consequentemente o custo da lavoura, tornando a produção mais sustentável (BULEGON *et al.*, 2016; FREITAS, 2022).

A oleaginosa (Figura 7), pode ser cultivada em sistema de plantio direto (SPD) e convencional (caracterizado por utilizar processos como aração e gradagem, revolvendo o solo, com o principal objetivo de fornecer condições ideais para o desenvolvimento da cultura) (ALVARENGA *et al.*, 2008). No entanto, o uso constante do cultivo convencional ocasiona diversos efeitos negativos ao solo e por isso, vem sendo substituído pelo SPD, uma técnica conservacionista onde se utiliza os resíduos vegetais como cobertura para o próximo cultivo, proporcionando assim, a preservação da qualidade física, química e biológica do solo (SILVA *et al.*, 2022).

De acordo com Kluthcouski e Stone (2003), a soja é uma das culturas mais adaptadas ao SPD, e uma das principais opções para compor o sistema de integração lavoura pecuária, em função de seus aspectos econômicos e ambientais, além apresentar excelente simbiose com bactérias fixadoras de N<sub>2</sub>. Essa leguminosa domina programas de rotação nas regiões de Cerrado, juntamente com o SPD, o qual se destaca pela manutenção da temperatura e da umidade do solo, condições que favorecem a infecção e o desenvolvimento das bactérias que realizam a fixação biológica de nitrogênio (FBN) na cultura (FREITAS, 2022).



**Figura 7** – Estádios fenológicos da soja. Fonte: Fehr *et al.* (1971).

A produtividade da soja irá depender basicamente da interação da planta com o ambiente e o manejo adequado da cultura, sendo necessárias condições favoráveis e cultivares adaptados para cada região (PEREIRA JÚNIOR *et al.* 2010). Sendo assim, quando se objetiva altas produtividades de soja, o manejo da fertilidade é essencial para

o sucesso da lavoura, ou seja, precisa-se diagnosticar constantemente a capacidade do solo de fornecer nutrientes para a cultura a ser instalada. Uma vez que quase todo território de Cerrado possui problemas com acidez, alta concentração de  $Al^{3+}$ , baixos teores de Ca e Mg, diminuindo assim a capacidade da planta absorver água e nutrientes na quantidade adequada para seu pleno desenvolvimento (BROCH *et al.*, 2008; FREITAS, 2022).

### 1.2.7. Milho

O Milho (*Zea mays* L.) é considerado uma das principais fontes de alimento desde os tempos remotos (ALI *et al.*, 2015). E faz parte dos cereais mais cultivados em todo o mundo, inclusive no Brasil. É um dos principais cereais cultivados como alimento e forragem em todo o mundo, sendo esse a principal fonte alimento em países em desenvolvimento (UNDIE *et al.*, 2012).

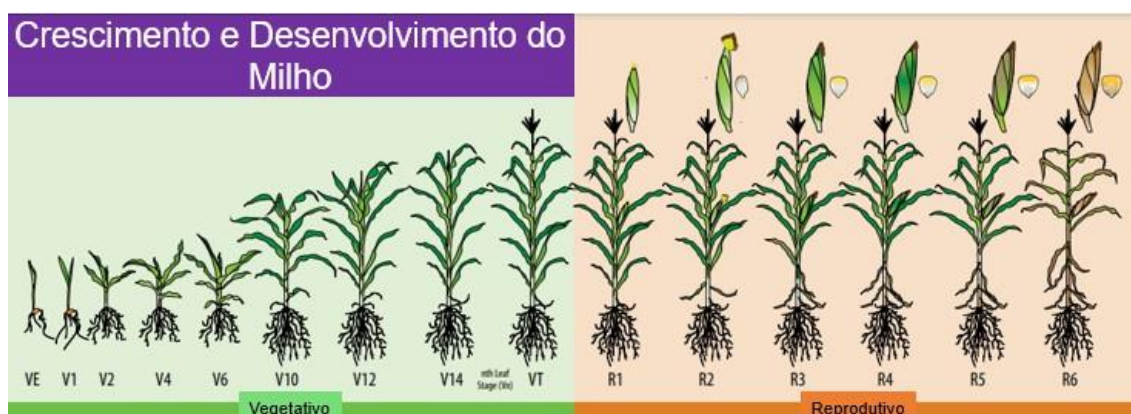
A produção de milho no Brasil tem-se caracterizado pela divisão em duas épocas de semeadura (Figura 8). A semeadura de verão ou primeira safra é realizada na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto na região Sul e até os meses de outubro a novembro no Sudeste e no Centro Oeste. A segunda safra, ou “safrinha”, caracterizada pela semeadura entre os meses de janeiro a março. Essa semeadura ocorre sempre após a colheita da safra, visando o aproveitamento das chuvas remanescentes antes do período da seca, com predomínio na região Centro-Oeste (GALINDO, 2015).

Apesar dos avanços tecnológicos disponíveis, a produtividade média brasileira está em torno de  $5.617 \text{ kg ha}^{-1}$  (CONAB, 2023a). Atrás de dos EUA ( $11.390 \text{ kg ha}^{-1}$ ), China ( $6.510 \text{ kg ha}^{-1}$ ), União Europeia ( $7.430 \text{ kg ha}^{-1}$ ), Argentina ( $7.710 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (USDA, 2023a). Entre os principais fatores que influenciam a baixa produtividade no Brasil, podem ser citados o clima tropical, com as variações climáticas muito intensas, e com pragas usando pontes verdes para sobreviver entre as temporadas, situações diferentes de países de clima temperado, que contam com neve e gelo no inverno, o que contribui para eliminar possíveis pragas e doenças na entressafra, cenário oposto ao do Brasil. E a fertilidade do solo, os solos tropicais são naturalmente mais pobres do que os solos dos EUA. Chove muito, o sol é muito forte e isso causa um fenômeno chamado de intemperismo. Isso faz com que sejam mais pobres em nutrientes e com concentração maior de acidez, como o Cerrado, áreas difíceis de serem cultivadas sem tecnologia. Isso

demonstra a necessidade de buscar técnicas de manejo para obter incremento de produtividade e por consequência garantir lucros ao produtor (GALINDO, 2015).

Segundo a USDA (2023b), na safra 2021/2022, o Brasil produziu 116,0 milhões de toneladas. Sendo que a produção de milho de segunda safra tem maior importância nesse cenário. Segundo estimativas da CONAB (2023a), a produção de milho segunda safra deve atingir 94,9 milhões de toneladas, enquanto a primeira safra deve atingir 26,4 milhões de toneladas.

Apesar do sucesso na produção de milho, alguns fatores limitam o aumento de rendimento da cultura. No cultivo de segunda safra, é comum ocorrer escassez de água. Como visto recentemente, o sul do País vem sofrendo com perdas nas produtividades do milho, chegando 100% em algumas áreas, devido às altas temperaturas e ao déficit hídrico (CONAB, 2023a).



**Figura 8** – Estádios fenológicos do milho. Fonte: Kansas State University (2016).

### 1.3. HIPÓTESE

No mesmo tipo de solo e em condições fisiográficas comparáveis, o uso do solo por espécies florestais e agrícola pode provocar alterações nos atributos físico-químicos do solo com implicações para sua sustentabilidade ambiental e agrônômica.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo geral**

Identificar o uso mais sustentável da terra em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, sob usos florestais e um uso agrícola no Cerrado brasileiro, através de avaliação de vários atributos físico-químicos e a disponibilidade de macro e micronutrientes.

### **1.4.2. Objetivos específicos (OE)**

OE1. Avaliar os principais atributos físico-químicos do solo (Ma, Mi, Pt, Ds, teores de argila, silte e areia, estoque de C) e a influência de diferentes usos da terra sobre sua magnitude.

OE2. Avaliar os macronutrientes e os atributos químicos do solo (MO, nitrogênio total, pH, H+Al, P, K, Ca, Mg, S, CTC, SB, V) e a influência de diferentes usos da terra.

OE3. Por Mehlich-3, avaliar os macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) do solo, e a influência de diferentes usos da terra.

OE4. Análise abrangente dos resultados de OE1, OE2 e OE3 para identificar a gestão mais sustentável tendo em conta as necessidades nutricionais das culturas estudadas.



## Capítulo 2

### Área de estudo, amostragem dos atributos do solo e análise estatística

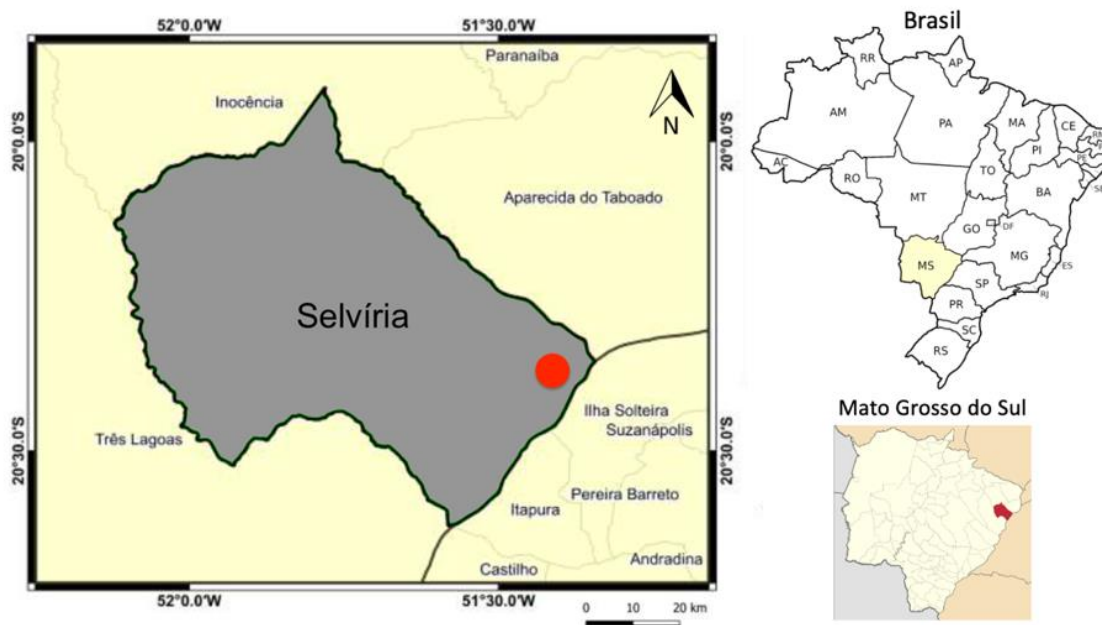
---



## 2.1. ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado em condições de campo, no município de Selvíria, situado no estado de Mato Grosso do Sul (MS), Brasil, apresentando as coordenadas geográficas de 20°20'35" S e 51°24'04" W, com altitude de 358 m. O experimento foi realizado durante os anos agrícolas de 2016/17 e 2017/18, na área experimental originalmente ocupada por vegetação de Cerrado (51° 22" O, 20° 22" S e 335 m de altitude), pertencente a Universidade Estadual Paulista (UNESP) (Figuras 9, 10, 12 e 13).

O solo do local foi classificado como um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico muito argiloso, com argila é de baixa atividade e denominada essencialmente pela gibsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) e caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ), muito profundo, moderadamente ácido, com declividade homogênea de  $0,055 \text{ m m}^{-1}$  (Tabela 6) (DEMATTE, 1980; MONTANARI, 2009; SILVA, 2007).



**Figura 9** – Localização das áreas em Selvíria-MS, Brasil. Fonte: Adaptado de Prates (2021).

A vegetação natural predominante na região é o cerrado. Em 1977 a área da FEPE foi cedida pela Companhia Energética do Estado de São Paulo (CESP) em comodato para a UNESP, para que fossem desenvolvidas as pesquisas agrônômicas. Já em 1977 iniciou-se o desflorestamento de toda a área cedida até a margem do rio Paraná. Antes da

instalação do reflorestamento com mata ciliar, esta área sofreu intensiva mecanização agrícola, com grade pesada e leve, para o plantio de culturas anuais (SILVA, 2007). No ano de 1986, parte da área de culturas anuais foi substituída por pinus, eucalipto, mata ciliar reflorestada e pastagem (CAVENAGE *et al.*, 1999).

**Tabela 6.** Descrição morfológica do solo da área experimental, Selvíria-MS, Brasil.

Horizonte	Profundidade (cm)	Descrição
Ap	0-15	bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4); argila; granular, pequena a média, moderado a forte; duro, firme, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.
A <sub>3</sub>	15-30	bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4); argila; blocos e granular, moderado; friável, plástico e pegajoso; transição plana e difusa.
B <sub>21</sub>	30-100	vermelho escuro acinzentado (10 R 3/4); franco-argilo arenoso; maciço, poroso, muito fraco; macio, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.
B <sub>22</sub>	100-170+	vermelho escuro acinzentado (10 R 3/6); franco-argilo arenoso; maciço, muito fraco; macio, muito friável, plástico e pegajoso.

Horizonte		Composição granulométrica da TFSA			Relação	Densidade
Símbolo	Profundidade	areia	silte	argila	silte/argila	do solo
	cm	g kg <sup>-1</sup>				kg dm <sup>-3</sup>
Ap	0-15	230	120	650	0,185	1,30
A <sub>3</sub>	15-30	210	120	670	0,179	1,20
B <sub>21</sub>	30-100	160	130	710	0,183	1,20
B <sub>22</sub>	100-170+	160	120	720	0,167	1,10

Horizonte		Complexo sortivo										
Símbolo	Profundidade	P	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SB	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	CTC	V%	m%	MO
	cm	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>									g dm <sup>-3</sup>
Ap	0-15	1,0	17,0	15,4	0,8	33,2	1,0	40,0	74,2	45	3	16,6
A <sub>3</sub>	15-30	0,0	1,5	1,6	0,5	3,6	8,0	33,0	4,46	8	69	13,6
B <sub>21</sub>	30-100	1,0	0,5	0,4	0,4	1,3	5,0	32,0	3,83	3	79	10,2
B <sub>22</sub>	100-170+	0,0	1,0	0,8	0,5	2,3	2,0	28,0	3,23	7	47	4,1

Horizonte		pH			Ataque sulfúrico				Ki	Kr
Símbolo	Profundidade	H <sub>2</sub> O	KCl	ΔpH	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>		
	cm	dag kg <sup>-1</sup>								
Ap	0-15	5,1	4,8	-0,3	20,60	15,17	28,21	4,06	2,31	1,05
A <sub>3</sub>	15-30	4,9	4,3	-0,6	21,35	16,98	26,18	4,03	2,13	1,07
B <sub>21</sub>	30-100	4,9	4,2	-0,7	23,58	32,28	28,30	3,61	1,14	0,75
B <sub>22</sub>	100-170+	5,3	4,6	-0,7	22,59	16,84	27,89	3,67	2,28	1,10

Fonte: Demattê (1980).



**Figura 10** – Vista aérea das áreas: 1. Pinus, 2. Eucalipto e 3. Mata Ciliar Reflorestada, no município de Selvíria-MS. Fonte: Google Earth (2017).

### 2.1.1. Instalação da população de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*

A população de pinus foi instalada em 16 de junho de 1986, sendo o plantio foi realizado sob um espaçamento de 3 x 3 metros. As sementes de *P. caribaea* var. *hondurensis* utilizadas para o plantio das mudas foram coletadas em um pomar de sementes clonal do Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais - CCGMPT, localizado em Aracruz-ES, na latitude 19°49'S e longitude 40°16'W, apresentando uma altitude de 50 metros em do mar. Essas sementes foram cedidas pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF-ESALQ/USP – Piracicaba-SP. As mudas foram produzidas na Companhia Agroflorestal “Monte Alegre” - CAFMA, atual Duratex S.A., em Agudos-SP (SANTOS, 2014).

Inicialmente a população de *P. caribaea* var. *hondurensis* era composto por 3.000 plantas. Em 1998 (após 12 anos do plantio) foi realizado um desbaste seletivo adotando-se intensidade de seleção 60%. Em 2014 a área apresentava 1.484 plantas, correspondendo a uma taxa de sobrevivência de 82,44% considerando um total de 1.800 plantas remanescentes após o desbaste (SANTOS, 2014). Lopes *et al.* (2013), avaliando a densidade e a biomassa de raízes em *Pinus taeda* L. com 15 anos observou maior concentração na cama até 0,10 m, devido a maior fertilidade na camada superficial do solo, diminuindo com a profundidade.

**Tabela 7.** Biomassa de raízes finas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e densidade de raízes finas ( $\text{cm cm}^{-3}$ ) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de *Pinus taeda* L. com 15 anos.

Profundidade (cm)	Densidade de raízes finas ( $\text{cm cm}^{-3}$ )	Biomassa de raízes finas ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
0-10	2,39	1412,23
10-20	1,28	621,92
20-30	0,90	422,95
30-40	0,58	268,75

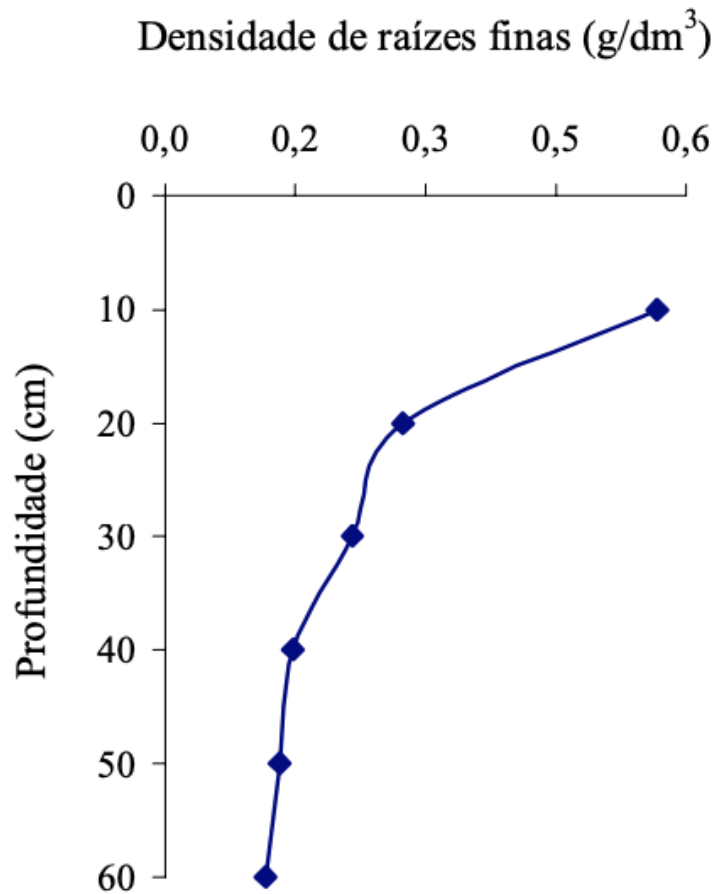
### 2.1.2. Instalação da população de *Eucalyptus camaldulensis*

A população de *E. camaldulensis* foi instalada em 26 de abril de 1986. As sementes que constituem a população foram fornecidas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Florestas (CNPQ) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). As mudas foram produzidas no viveiro da Companhia Energética de São Paulo (CESP), em Ilha Solteira, SP (SILVA, 2010).

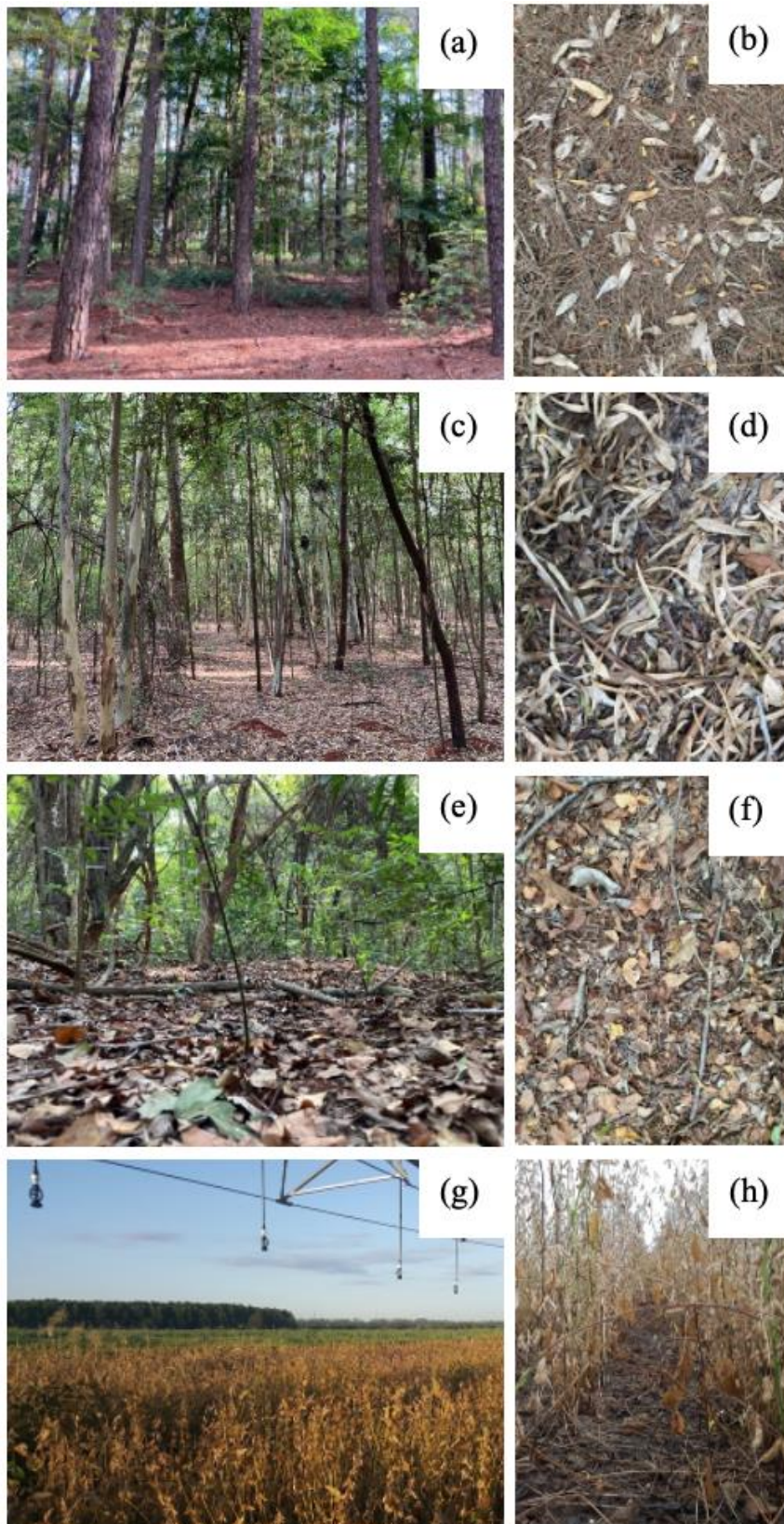
A população de Eucalipto corresponde a 1500 árvores, no espaçamento de 4 x 4 metros. Em 2006 (após 20 anos) a população apresentou sobrevivência de 83,31% e em 2007 (após 21 anos) de 83,08%. Ainda em 2007, foi realizado um desbaste (com intensidade de 83,33%), permanecendo dessa forma, 250 indivíduos. E após o desbaste seletivo não ocorreu morte de árvores na população, com 100% de sobrevivência até 2009 (SILVA, 2010).

**Tabela 8.** Biomassa de raízes finas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) nas diferentes profundidades do solo, em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* com 10 anos.

Profundidade (cm)	Biomassa de raízes finas ( $\text{kg ha}^{-1}$ )
0-10	566,80
10-20	274,00
20-30	215,60
30-40	147,60



**Figura 11.** Densidade de raízes finas ( $\text{g dm}^{-3}$ ), no perfil do solo, para *Eucalyptus urophylla* com 10 anos de idade.



**Figura 12.** Vista das áreas: Pinus (a) e (b), Eucalipto (c) e (d), Mata Ciliar Reflorestada (e) e (f), Área agrícola cultivada com Soja e Milho (g) e (h), e sucessão, no município de Selvíria-MS. Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 2.1.3. Instalação da Mata Ciliar Reflorestada

O reflorestamento ciliar foi plantado nos meses de fevereiro e março de 1986. As mudas foram doadas pela CESP. A área é composta por 21 espécies (*Albizia lebbbeck*, *Holocalyx balansae*, *Morus nigra*, *Myroxylon peruiferum*, *Spondias lutea*, *Peltophorum dubium*, *Ficus guaranítica*, *Psidium guajava*, *Parapiptadenia rígida*, *Tabebuia sp.*, *Tabebuia roseo-alba*, *Tabebuia impetiginosa*, *Plinia trunciflora*, *Alibertia edulis*, *Jacaranda cuspidifolia*, *Machaerium acutifolium*, *Syzygium cumini*, *Licania tomentosa*, *Ceiba speciosa*, *Koelreuteria paniculata*, *Enterelobium contortisiliquum*, *Hovenia dulcis*), sendo que o espaçamento utilizado no plantio foi de 2 x 3 metros, conforme recomendação da EMBRAPA, os espaçamentos mais usuais utilizados como estratégia de recuperação em plantio de mudas são 2 x 2 metros (2.500 plantas ha<sup>-1</sup>) e 3 x 2 metros (1.667 plantas ha<sup>-1</sup>). O reflorestamento ciliar, desde 2006 (após 20 anos de plantio), está completamente formado a mata à margem do rio Paraná (Figura 13) (SILVA, 2007). São poucos os estudos de determinação da biomassa vegetal (aérea e radicular) em fitofisionomias do Cerrado (Tabela 9). A quantidade de estudos desta natureza pode ser atribuída à dificuldade de mensuração dos seus componentes de biomassa, devido, principalmente, às características das espécies adaptadas a esses ambientes, como a tortuosidade do tronco e a profundidade no solo atingida pelo sistema radicular.

**Tabela 9.** Resultados de trabalhos de quantificação de biomassa aérea e subterrânea em diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado.

Fitofisionomia	Autores	Biomassa radicular (Mg ha <sup>-1</sup> )
Cerradão	Morais <i>et al.</i> (2013)	7,22
Campo Sujo	Castro e Kauffman (1998)	30,10
Campo Limpo	Castro e Kauffman (1998)	16,30





**Figura 13.** Vista aérea da Mata Ciliar Reflorestada após 20 anos de plantio, em um Latossolo Vermelho, no município de Selvíria-MS. Fonte: Silva (2007).

#### **2.1.4. Instalação da área agrícola cultivada com Soja e Milho**

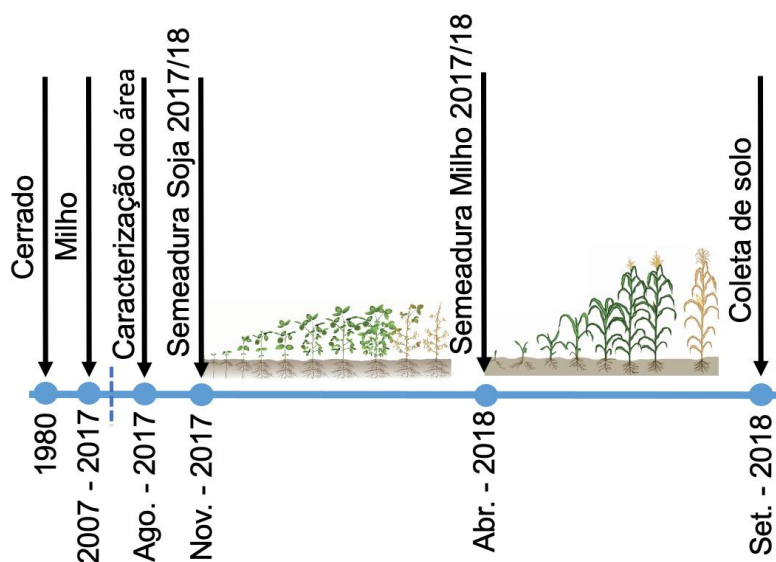
Em agosto de 2017 (Figura 14), foi realizada a amostragem do solo na camada de 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade, para caracterização física (TEIXEIRA *et al.*, 2017) e química do solo (RAIJ *et al.*, 2001). Em seguida, realizou-se o preparo inicial da área, com uma subsolagem até 0,30 m de profundidade, e a divisão da área em unidades experimentais constituídas com 10 metros de comprimento e 3,15 de largura, totalizando 31,5 m<sup>2</sup> por parcela. Após a subsolagem, em setembro de 2017, realizou-se a calagem (2,2 t ha<sup>-1</sup> com o objetivo de elevar a saturação por bases para 70%) e a gessagem (1,8 t ha<sup>-1</sup>) de acordo com as recomendações de Cantarella, Raij e Camargo (1997) e Raij *et al.* (1997).

Para safra 2017/18, realizou-se a dessecação da cobertura vegetal, com glifosato –herbicida de amplo espectro– (1.800 g ha<sup>-1</sup>) e 2,4-D (670 g ha<sup>-1</sup> do i.a.). Antes da semeadura, as sementes foram tratadas utilizando os fungicidas tiofanato metílico + piraclostrobina (5 g + 45 g do i.a. por 100 kg de semente) e o inseticida fipronil (50 g do i.a. por 100 kg de semente), conforme recomendação contida na bula dos produtos para essas culturas. Após a secagem, as sementes foram inoculadas com estirpes: SEMIA 5019 (*Bradyrhizobium elkanii*) e SEMIA 5079 (*Bradyrhizobium japonicum*), com garantia de 5 x 10<sup>9</sup> unidades formadoras de colônias g<sup>-1</sup>, na dose de 100 g de turfa para 50 kg de

sementes, adicionado 1% de açúcar na calda. Além disso, as sementes foram tratadas utilizando 2,72 g ha<sup>-1</sup> de cobalto (Co) e 27,2 g ha<sup>-1</sup> de Mo.

Para a semeadura da cultura da soja, utilizou-se 16 kg ha<sup>-1</sup> de N (na forma de ureia), 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo) e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) (MASCARENHAS; TANAKA, 1997). E foram aplicados 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de B (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) e 5,0 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (ZnSO<sub>4</sub>). A semeadura foi realizada no dia 25 de novembro de 2017, utilizando o cultivar de soja BMX Potência RR, e no dia 14 de abril de 2018, com o híbrido de milho AG 7098 na segunda safra, utilizando a população de 400.000 e 73.333 plantas por hectare.

Antes da semeadura do milho (safra 2017/18), foi feito o tratamento das sementes utilizando os mesmos fungicidas e inseticidas utilizados na semeadura da soja, safra 2017/18. Na adubação de semeadura do milho de segunda safra, foram aplicados 26 kg ha<sup>-1</sup> de N (na forma de ureia), 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato triplo) e 51 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio). Ainda, foi aplicado 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de B (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) e 2,0 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (ZnSO<sub>4</sub>). Sendo que, na cultura do milho foi realizada a adubação nitrogenada de cobertura com 90 kg ha<sup>-1</sup> de N (na forma de ureia), cerca de três semanas após a germinação das plantas (DUARTE; CANTARELLA; RAIJ, 1997).



**Figura 14.** Cronograma da instalação da área agrícola cultivada com soja e milho, em sucessão. Fonte: Elaboração do próprio autor.

## 2.2. CRONOGRAMA DE AMOSTRAGEM DOS ATRIBUTOS DO SOLO

Para avaliação dos atributos físico-químicos do solo, realizou-se a amostragem no dia 8 de novembro de 2016, nas áreas de pinus e de mata ciliar reflorestada, no dia 13 de maio de 2017, na área de eucalipto, e no dia 15 de setembro de 2018, na área agrícola, cultivada com soja e milho, em sucessão. A amostragem do solo na área agrícola, foi realizada após a colheita, para verificar a fertilidade do solo após o ciclo completo da cultura. As atividades realizadas durante o período de avaliação estão descritas na tabela 10.

**Tabela 10.** Cronograma do atividades realizadas durante os anos 2016 e 2023.

Atividades	2016			2017			2018			2019			2020			2021			2022			2023		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
A1			X		X				X									X						
A2				X		X				X									X	X				
A3				X		X				X														
A4				X		X				X											X			

A1. Amostragem de Solo; A2. Preparo e envio das amostras de Solo para o Laboratório; A3. Análises Físicas; e A4. Análises Químicas. Quadrimestre: 1. janeiro, fevereiro, março e abril; 2. maio, junho, julho e agosto; e 3. setembro, outubro, novembro e dezembro.

## 2.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados serão submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 0,01 e 0,05 de probabilidade, nos casos em que o teste F foi significativo entre os tratamentos e os anos de avaliação. A análise estatística foi realizada utilizando software R (R CORE TEAM, 2019). Não foi realizado análise não paramétrica quando a distribuição dos dados não é normal.



## Capítulo 3

# Efeito dos usos agrícolas e florestais nas principais propriedades físicas e químicas do solo

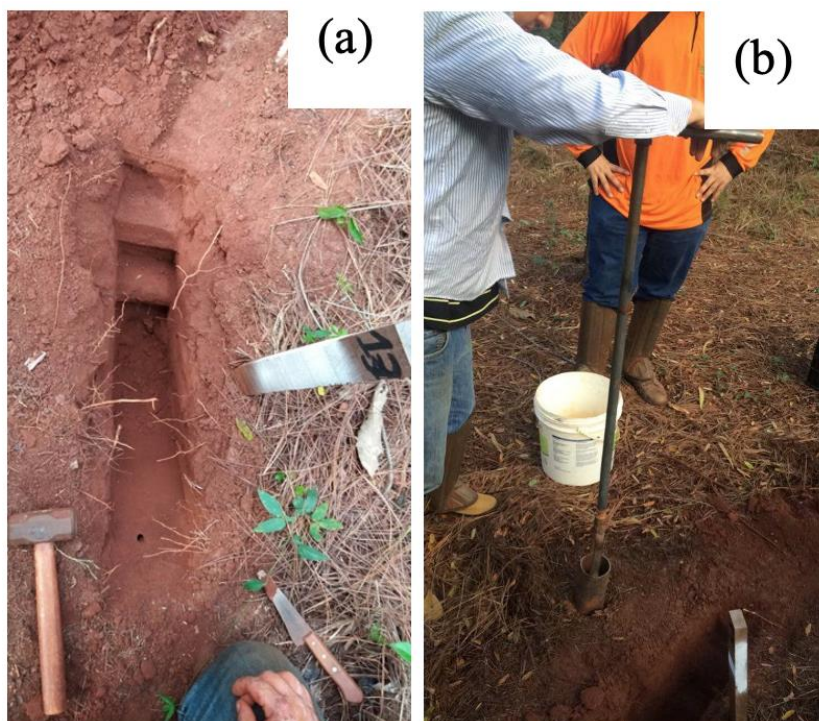


### 3.1. ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO

#### 3.1.1. Amostragem do solo

Foram coletadas amostras de solo deformadas e indeformadas (Figura 15a), nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, nas áreas florestais, e de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, na área agrícola, para determinação da macroporosidade ( $M_a$ ,  $m^3 m^{-3}$ ), microporosidade ( $M_i$ ,  $m^3 m^{-3}$ ), porosidade total determinada ( $P_t$ ,  $m^3 m^{-3}$ ), densidade do solo ( $D_s$ ,  $kg dm^{-3}$ ).

E deformadas, com o auxílio de um trado holandês e de caneco (Figura 15b), para granulometria do solo (argila, silte e areia,  $g kg^{-1}$ ), nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, nas áreas florestais sob uso de pinus, eucalipto e mata ciliar reflorestada, e de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, na área agrícola, cultivada com soja e milho, em sucessão. Foram coletadas 36 amostras de solo no total. Sendo 12 na área agrícola, 8 no eucalipto, 8 no pinus e 8 na mata ciliar reflorestada. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do solo, da UNESP de Ilha Solteira/SP (Figura 16a e b).



**Figura 15.** Coleta das amostras indeformadas de solo (a) e (b), no município de Selvíria-MS. Fonte: Elaboração do próprio autor.



**Figura 16.** Laboratório de Física do solo (a) e (b), na UNESP de Ilha Solteira/SP. Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 3.1.2. Avaliação dos atributos físico-químicos do solo

Os atributos físicos do solo foram determinados seguindo as recomendações de da Teixeira *et al.* (2017) (Figura 17). A densidade do solo ( $D_s$ ;  $\text{kg dm}^{-3}$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico, utilizando a equação 1:

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad \text{Eq. 1}$$

onde,  $M_s$  corresponde à massa de solo seco em estufa (kg); e  $V_t$ , ao volume do anel ( $\text{dm}^3$ ).

Em anéis de Kopecky com volume aproximado de  $69,3 \text{ cm}^3$ , foram coletadas as amostras de solo indeformadas para definir a  $M_a$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ),  $M_i$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e  $P_t$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), submetendo-as a mesa de tensão, por 24 h, à tensão de 6 kPa; essas foram secas em estufa à temperatura de  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 h, sendo utilizados as equações 2, 3 e 4 para o cálculo:

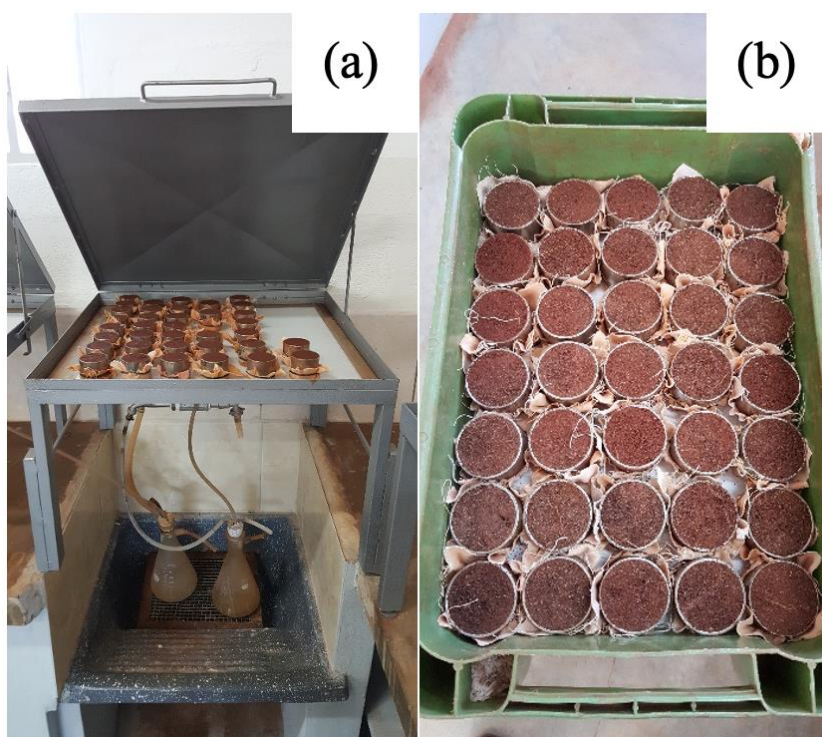
$$M_a = \frac{S_{st} - S_u}{V_t} \quad \text{Eq. 2}$$

$$M_i = \frac{S_u - S_s}{V_t} \quad \text{Eq. 3}$$

$$P_t = \frac{S_{st} - S_u}{V_t} \quad \text{Eq. 4}$$

onde,  $S_{st}$  corresponde à condição de solo saturado;  $S_u$ , ao solo úmido com teor de água correspondente à tensão de 6 kPa na mesa de tensão;  $S_s$ , ao solo seco em estufa; e  $V_t$ , ao volume do anel.

Para definir a granulométrica do solo, foi utilizado o método da pipeta, encontrando a fração correspondente de areia, silte e argila. Assim, a partir dos 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) de cada amostra, foram adicionados 20 mL de hidróxido de sódio na concentração de  $1 \text{ mol L}^{-1}$  e 50 mL de água destilada, agitando pelo período de 16 h em Mesa Agitadora Orbital SOLAB, na frequência de 200 rpm. Durante o processo, as frações das amostras de solo foram lavadas em peneiras ( $\text{Ø} = 0,053 \text{ mm}$ ) com água destilada, retendo a areia total ( $\text{Ø} = 2,00 \text{ a } 0,05 \text{ mm}$ ), e secas em estufa à  $105 \text{ °C}$ , por 24 h. A solução proveniente da lavagem da amostra foi colocada em proveta volumétrica e completado o volume com água destilada, até obter 500 mL, agitando, manualmente, 30 s com o auxílio do anel perfurado, e deixando em repouso por 3 h e 30 min.

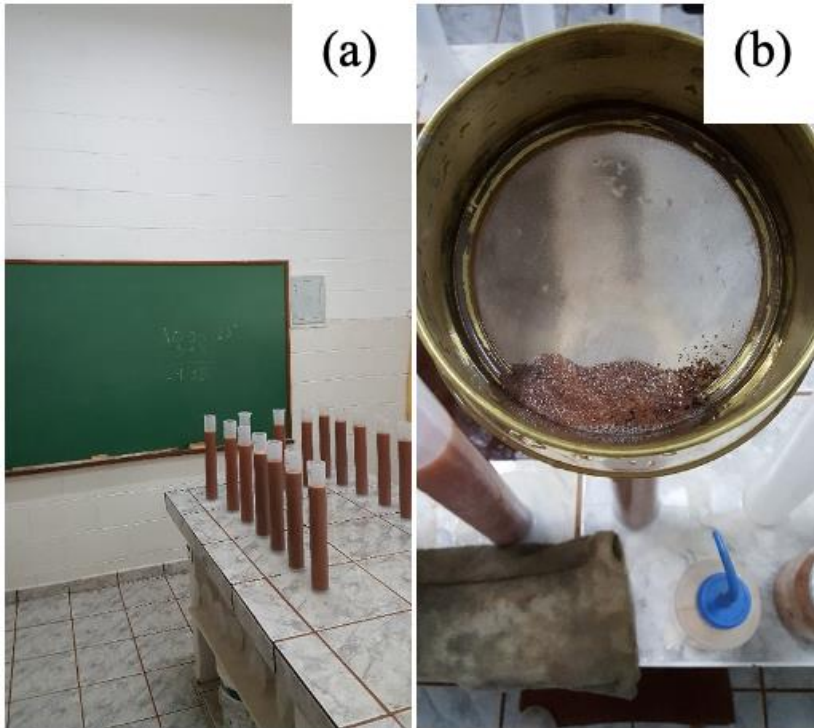


**Figura 17.** Análise das amostras indeformadas de solo, para obtenção da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo. Mesa de tensão (a), e anéis indeformados (b). Fonte: Elaboração do próprio autor.

No fim do processo, coletaram-se 10 ml da solução, em uma profundidade máxima de 0,05 m para a argila, depositando em béquer. Posteriormente, encaminharam-se para a secagem em estufa ( $105 \text{ °C}$ ) por 24 h (Figura 18). Pesaram-se as amostras de areia, em balança semianalítica, e as de argila, em balança analítica, determinando-se o



teor de cada atributo, sendo a areia, o silte e a argila, segundo análise descrita por Teixeira *et al.* (2011).



**Figura 18.** Análise da granulometria do solo, com a proporção da areia, silte e areia, para obtenção da textura do solo. Tempo de sedimentação dos solos na pipeta (a), lavagem do solo (b). Fonte: Elaboração do próprio autor.

O Est C foi calculado pelo método de Carvalho *et al.* (2009).

$$\text{Est C} = \frac{C_{org} \times D_s \times \left(\frac{D_{ref}}{D_s} \times h\right)}{10} \quad \text{Eq. 5}$$

onde, Est C = estoque de carbono ( $\text{t ha}^{-1}$ );  $D_s$  = densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ );  $D_{ref}$  = densidade do solo de uma área de referência ( $\text{kg dm}^{-3}$ );  $h$  = espessura da camada amostrada (cm);  $C_{org}$  = teor de carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ).

## 3.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS

### 3.2.1. Porosidade e densidade

Em relação a Ma (Tabela 11 e 12), foi observado diferenças significativas entre as camadas, com o maior valor médio na camada de 0-10 cm ( $0,076 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) em comparação com a camada de 10-20 cm ( $0,061 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

**Tabela 11.** Análise de variância dos atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atrib.		Teste F	Atrib.		Teste F
	Trat.	0,004**		Trat.	0,000**
	Prof.	0,0141*		Prof.	0,919 <sup>NS</sup>
Ma	Trat. x Prof.	0,268 <sup>NS</sup>	Ds	Trat. x Prof.	0,085 <sup>NS</sup>
	CV1	45,23%		CV1	3,73%
	CV2	21,31%		CV2	3,49%
	Trat.	0,000**		Trat.	0,000**
	Prof.	0,000**		Prof.	0,000**
Mi	Trat. x Prof.	0,215 <sup>NS</sup>	Est C	Trat. x Prof.	0,000**
	CV1	9,45%		CV1	7,58%
	CV2	3,96%		CV2	5,73%
	Trat.	0,001**			
	Prof.	0,170 <sup>NS</sup>			
Pt	Trat. x Prof.	0,037*			
	CV1	6,01%			
	CV2	4,09%			

**Nota:** \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. Ma = Macroporosidade. Mi = Microporosidade. Pt = Porosidade total. Ds = Densidade do Solo. Est C = Estoque de carbono do solo. CV = Coeficiente de variação (%). CV1 = Tratamento, CV2 = Profundidade. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Também foi observado diferenças significativas entre os tratamentos, o maior valor médio no tratamento AM ( $0,111 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), em comparação com MN ( $0,050 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e PN ( $0,037 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). Resultados diferentes foram observados por Matias *et al.* (2012), os autores obtiveram maior Ma em solo área sob mata nativa (17,40 até  $25,94 \text{ cm cm}^{-3}$ ), superando significativamente os demais sistemas de plantio (plantio direto, convencional e plantio de seringueira, variando de 11,01 até  $17,97 \text{ cm cm}^{-3}$ ). Segundo os autores, a

redução da Ma nos sistemas de plantio em relação a mata nativa está relacionada, provavelmente, ao tipo de manejo, ao aumento da Ds e ao menor teor de MO do solo.

**Tabela 12.** Atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atributo	Prof. (cm)	Tratamento				Média
		AM	EUC	MN	PN	
Ma (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0-10	0,123 <b>aA</b>	0,080 <b>aA</b>	0,057 <b>aA</b>	0,042 <b>aA</b>	0,076 <b>A</b>
	10-20	0,095 <b>aA</b>	0,077 <b>aA</b>	0,042 <b>aA</b>	0,032 <b>aA</b>	0,061 <b>B</b>
	Média	0,111 <b>a</b>	0,07 <b>ab</b>	0,050 <b>b</b>	0,037 <b>b</b>	-
Mi (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0-10	0,270 <b>aA</b>	0,307 <b>aA</b>	0,395 <b>aA</b>	0,372 <b>aA</b>	0,336 <b>B</b>
	10-20	0,275 <b>aA</b>	0,342 <b>aA</b>	0,420 <b>aA</b>	0,400 <b>aA</b>	0,359 <b>A</b>
	Média	0,272 <b>c</b>	0,325 <b>b</b>	0,407 <b>a</b>	0,386 <b>a</b>	-
Pt (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0-10	0,392 <b>bA</b>	0,387 <b>bB</b>	0,447 <b>aA</b>	0,412 <b>abA</b>	-
	10-20	0,367 <b>cA</b>	0,417 <b>bA</b>	0,462 <b>aA</b>	0,427 <b>abA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
Ds (kg dm <sup>-3</sup> )	0-10	1,490 <b>aA</b>	1,475 <b>aA</b>	1,332 <b>aA</b>	1,567 <b>aA</b>	1,466 <b>A</b>
	10-20	1,557 <b>aA</b>	1,472 <b>aA</b>	1,340 <b>aA</b>	1,487 <b>aA</b>	1,464 <b>A</b>
	Média	1,527 <b>a</b>	1,473 <b>a</b>	1,336 <b>b</b>	1,527 <b>a</b>	-
Est C (t ha <sup>-1</sup> )	0-10	13,22 <b>dA</b>	24,32 <b>aA</b>	19,35 <b>bA</b>	15,40 <b>cA</b>	-
	10-20	12,20 <b>bcA</b>	14,35 <b>aB</b>	13,67 <b>abB</b>	11,25 <b>cB</b>	-
	Média	-	-	-	-	-

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. Valores sem letras, e seguidos de mesma letra minúscula, na horizontal não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade. AM = Soja e milho, EUC = Eucalipto, MN = Mata nativa, PN = Pinus. Ma = Macroporosidade. Mi = Microporosidade. Pt = Porosidade total. Ds = Densidade do Solo. Est C = Estoque de carbono do solo. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em nosso estudo, a maior Ma no tratamento AM está relacionada, provavelmente, ao tipo de manejo de solo durante o preparo da área. De acordo com Tollner, Hargrove e Langdale (1984), o revolvimento do solo aumenta o número de poros drenáveis. Constatado neste trabalho pelo aumento no volume de macroporos na AM.

Como evidenciado por Tormena, Roloff e Sá (1998), os macroporos são a classe de poros menos estáveis e sofrem colapso quando submetidos aos estresses aplicados

pelos sistemas de preparo e tráfego. O valor mínimo do espaço ocupado pelo ar deve ser de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , para que haja um desenvolvimento satisfatório do sistema radicular (BAVER, GARDNER e GARDNER, 1972), sem diminuição das trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo, acarretando o menor desenvolvimento da planta (MATIAS *et al.*, 2012). Como o tratamento PN, a  $M_a$  variou de 0,032 e 0,042  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ , isso pode indicar problemas com compactação e dificuldade das raízes realizarem trocas gasosas.

Observando a profundidade (Tabela 11 e 12), também é possível notar a redução da  $M_a$  com o aumento da  $D_s$ . Essa tendência de diminuição da  $M_a$  também é observado nos trabalhos de Rodrigues, Maltoni e Cassiolato (2007), Matias *et al.*, (2012) e Cavenage *et al.* (1999). Os sistemas de uso e manejo de uma área têm grande influência sobre os atributos físicos de qualidade do solo, especialmente nas camadas mais superficiais, onde a compressão mecânica parece ser mais atuante (ARAÚJO *et al.*, 2007). Conforme relatado por Lopes *et al.* (2015), ao avaliaram a compactação do solo submetido ao tráfego do *harvester* (um equipamento semelhante a escavadeira), e do *forwarder* (um equipamento que colhe as toras cortadas no campo, carrega, transporta e descarrega), na colheita de madeira em povoamentos de *Pinus taeda* L., notaram uma tendência de incremento na compactação com o aumento da profundidade do solo, devido à maior quantidade de matéria orgânica presente na camada superficial. Porém, para  $D_s$ , os autores não observaram diferenças significativas entre os tratamentos e as profundidades.

Já Dedek e Gava (1997), avaliando o comportamento de um Latossolo Vermelho e uma Areia Quartzosa, em área de rebrota de *Eucalyptus grandis*, concluíram que as operações de colheita causaram compactação observada até 30 cm de profundidade, mas, na camada de 0-10 cm, houve recuperação da estrutura do solo com o tempo, em ambas as classes de solos. Beutler *et al.*, (2009), avaliando o impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo, Ao testar o tráfego de tratores de 3,0 e 8,0 t, com diferentes passadas, verificou que o tráfego de máquinas compactou o solo até 0,25 m de profundidade e reduziu a produtividade de milho em até 22%. Assim, é interessante notar que além dos sistemas de uso do solo, o histórico da área, principalmente quanto ao tráfego de máquinas, pode ter influenciado os resultados de  $M_a$ ,  $D_s$  e conseqüentemente a relação com  $M_i$  e  $P_t$ .

Em relação a  $M_i$  (Tabela 11 e 12), foi observado diferenças significativas entre as camadas, com o maior valor médio na camada 10-20 cm ( $0,359 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). Também foi

observado diferenças significativas entre os tratamentos, maior valor médio na MN ( $0,407 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e PN ( $0,386 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). É interessante notar, que a idade do uso das terras é um fator relevante, que proporciona alterações nesses atributos. Como o menor valor médio de Mi observado no tratamento AM, causado pelo maior e mais recente revolvimento do solo, em 2017, em comparação com as áreas florestais que datam de 1986, que alteraram a relação entre Ma e Mi, visto que são inversamente proporcionais. Outro detalhe interessante, é a menor amplitude de valores de Mi, que confirma que a Mi é uma variável mais resistente a alterações quando comparada a macroporosidade, fato este também observado por Bertol *et al.* (2001, 2004) e Torres, Fabian e Pereira (2011).

Na literatura existem resultados semelhantes e diferentes aos obtidos no presente estudo. Cavenage *et al.* (1999), estudando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho, sob vegetação de milho, pinus, eucalipto, pastagem e mata ciliar reflorestada, e cerrado, obtiveram menor valor de microporosidade na área de pinus ( $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). Rodrigues, Maltoni e Cassiolato (2007), também observaram menor microporosidade em solo sob pinus ( $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). Ainda, os autores observaram que o *Pinus* sp. não foi uma boa espécie para recuperar os atributos químicos e físicos do solo, comparados com os das áreas com espécies nativas de Cerrado, em regeneração natural ou com *Brachiaria brizantha*. Já, Carneiro *et al.* (2009), avaliando um Latossolo e Neossolo com Cerrado nativo, pastagem, milho em preparo convencional, nabo forrageiro e sorgo, também não observaram diferenças na Mi. Por fim, Silva *et al.* (2009), avaliando área de pinus, eucalipto, carvoeiro e uma área de cerrado, observaram aumento da Mi e Ds acompanhada da redução da Ma em plantio de pinus, comparado com área de Cerrado e Eucalipto.

Portanto em relação aos nossos resultados, solos com maior volume de microporos, como a MN e PN tendem a apresentar poros mais saturados, o que favorece a movimentação de nutrientes para o abastecimento da planta (BOGNOLA *et al.* 2010; ROSA *et al.*, 2021). No caso da MN, o acúmulo de serrapilheira também deve ter influenciado positivamente o aumento de Mi, já que ocorre uma maior proliferação de raízes finas, que buscam absorver diretamente os nutrientes liberados da matéria orgânica na superfície do solo (CORREIA; ANDRADE, 1999).

Em relação a Pt (Tabela 11 e 12), foi observado diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e das profundidades. De modo geral, os tratamentos apresentaram valores semelhantes de Pt entre as camadas, os maiores valores foram obtidos no tratamento MN, que variaram de 0,447 até  $0,462 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . E diferente do

observado por Araújo *et al.* (2007), ao avaliarem um Latossolo Vermelho, obtiveram valores de Pt, variando 0,64 até 0,67 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, sob Cerrado, de 0,60 até 0,65 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, sob cultivo convencional, de 0,69 até 0,72 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, sob pinus, e de 0,55 até 0,57 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, sob pastagem plantada. Sendo os menores valores obtidos na área de cultivo convencional e pastagem plantada. Sendo ainda, observado ausência de diferenças significativas entre as profundidades, indicando que os efeitos do uso foram similares até a profundidade de 30 cm. Enquanto Rosa *et al.* (2021), ao avaliarem diversos tipos de solos, incluindo Latossolos, encontraram valores de porosidade total entre 0,47 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e 0,63 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>.

Para Kiehl (1979), a distribuição da porosidade total de um solo ideal para a produção agrícola deve ser de 0,50 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, sendo a distribuição de percentual de 1/3 para macroporos e 2/3 para microporos. Nota-se pelos resultados apresentados que, em termos de distribuição do tamanho dos poros, a área com cultura anual, AM, foi a que apresentou a relação Ma/Mi mais próxima de uma condição ótima para o desenvolvimento da cultura, provavelmente por causa do revolvimento do solo mais recente. Mas, segundo Matias *et al.* (2012), a Ds é um atributo adequado para indicar compactação do solo por constituir um índice que apresenta relação com outros que restringem o crescimento das raízes, como a umidade do solo, resistência à penetração e a porosidade do solo.

Em relação a Ds (Tabela 11 e 12), foi observado diferenças significativas entre a os tratamentos. O menor valor médio foi obtido no tratamento MN (1,336 kg dm<sup>-3</sup>), em comparação com AM (1,527 dm<sup>-3</sup>), EUC (1,473 kg dm<sup>-3</sup>), e PN (1,527 kg dm<sup>-3</sup>). De modo geral, observou-se também que a variação foi de 1,332 até 1,567 kg dm<sup>-3</sup>. Uma menor variação do que observado por Matias *et al.* (2012), onde os autores observaram variação de 0,66 até 1,35 Mg m<sup>-3</sup>, ao avaliarem os atributos físicos e nos teores de carbono orgânico em uma área de Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa, sob áreas com sistema de plantio direto, plantio convencional, plantio de seringueira com Kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*) na entrelinha e mata nativa. Além disso, os autores obtiveram resultados semelhantes, onde observaram que a Ds foi significativamente menor na MN, de 0,66 até 0,96 Mg m<sup>-3</sup>, quando comparada com os outros sistemas de plantio. De modo semelhante, Pinto, Chagas e Amaral. (2019), avaliando um Latossolo Vermelho Distroférico, com diferentes usos de solo, até 0,20 m, também obtiveram menor Ds em área de floresta nativa, com 0,95 g cm<sup>-3</sup>. Ainda, Araújo *et al.* (2004), encontraram maior Ds sob área cultivada (1,70 g cm<sup>-3</sup>), em comparação com a mata nativa (1,48 g cm<sup>-3</sup>), em um Latossolo Vermelho Distroférico. Silva *et al.* (2009), avaliando área de pinus,

eucalipto, carvoeiro e uma área de cerrado, observaram aumento da  $M_i$  e  $D_s$  acompanhada da redução da  $M_a$  em plantio de pinus, comparado com área de Cerrado e Eucalipto. Provavelmente, em nosso estudo, o menor valor de  $D_s$ , na área MN é decorrente do maior teor e variedade de material orgânico do solo. Já que segundo Bertol *et al.* (2004) e Lemos Filho *et al.* (2008) o menor valor de  $D_s$  observado na área de MN é explicado pela maior quantidade de MO no solo.

Nesse contexto, dentro dos tratamentos é possível observar a tendência de aumento da  $D_s$  com o aumento da profundidade. Provavelmente causado pelo maior acúmulo de MO nas camadas superficiais do solo. Torres, Fabian e Pereira (2011), também observaram o aumento dos valores da  $D_s$  com o aumento da profundidade. O aumento da  $D_s$  interfere no crescimento radicular, na redução da aeração, no aumento na RP e provoca alterações na dinâmica da água no solo (TORRES *et al.*, 2015).

### 3.2.2. Estoque de carbono do solo

Em relação ao Est C (Tabela 11 e 12), foi observado diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e das profundidades. De modo geral, o tratamento EUC, PN e MN, apresentaram diminuição do Est C com o aumento da profundidade. O que já era esperado, visto que o teor de MO na superfície do solo é maior. É interessante notar, que o EUC apresentou os maiores valores de Est C, que variaram de 14,35 até 24,32 t ha<sup>-1</sup>, sendo mais próximo ou mesmo superior a mata nativa. De modo semelhante, Pulrolnik *et al.* (2009), avaliando efeito de plantios de *Eucalyptus urophylla*, Cerrado e pastagem, no Est C do solo, observaram que os cultivos do eucalipto e da pastagem aumentaram os estoques na camada até 1 m de profundidade, com respectivamente, 152,45 e 150,59 t ha<sup>-1</sup>, em relação ao Cerrado, com 132,69 t ha<sup>-1</sup>. Segundo os autores, isso se deve provavelmente à maior produção de serapilheira no eucalipto. Concordando com os resultados de Melo e Resck (2006), ao avaliarem o reflorestamento de eucalipto, pinus, baru, carvoeiro e Cerrado, os autores observaram que o plantio de eucalipto (2,33 dag kg<sup>-1</sup>) [decagrama por kilograma, exemplo, 5 g dm<sup>-3</sup> equivalem a 0,5 dag kg<sup>-1</sup>] e carvoeiro (2,04 dag kg<sup>-1</sup>) aumentaram o teor de  $C_{org}$  na camada de 0,00-0,05 m, em comparação ao Cerrado Nativo (1,37 dag kg<sup>-1</sup>). Porém, a partir de 0,05 m, independente da espécie arbórea plantada, não foi observado efeito no  $C_{org}$ . Já Corazza *et al.* (1999), em seu estudo, os autores encontraram maiores alterações no teor de  $C_{org}$  nas camadas superficiais em plantio de eucalipto, de modo semelhante ao presente estudo. Segundo Balbinot *et al.*

(2003), a entrada de carbono no solo depende da entrada de material orgânico por meio da senescência de certos componentes da biomassa vegetal, acima e abaixo do solo, da queda das folhas, dos resíduos da exploração e de animais, com suas respectivas taxas de decomposição. Além dos detritos vegetais, os resíduos microbianos são a segunda fonte dominante de MOS (KÖGEL-KNABNER, 2002; LUDWIG *et al.*, 2015), que precisa ser considerado como promotor do sequestro de C (MILTNER *et al.*, 2012; KHAN *et al.*, 2016). Santos *et al.* (2018), concluíram que o uso do solo influencia o estoque de C, ao avaliarem diferentes usos do solo na Caatinga Brasileira, sendo ainda o solo florestal apresentou maiores estoques de carbono do solo e carbono da biomassa microbiana. Nesse sentido, provavelmente a área de eucalipto e a mata nativa, podem apresentar uma maior diversidade de microrganismos do solo, como fungos, bactérias e actinomicetos, além de maior diversidade de microfauna, visto que todos eles contribuem para a maior ou menor dinâmica da MOS, ciclagem de nutrientes, decomposição da MO e incorporação de carbono no sistema (HABIG e SWANEPOEL, 2015; SANTOS *et al.*, 2018).

Desse modo, nossos resultados são indicativos que a área com plantio de eucalipto, é mais semelhante a área de mata nativa, proporcionando condições para preservação da MO e aumento do estoque de Carbono do solo. E é um ambiente mais rico em macro e microrganismos, visto que os transformadores de serapilheira ao fragmentarem os resíduos orgânicos depositados na superfície do solo e aumentarem sua superfície específica, facilitam o ataque microbiano (HENDRIX *et al.*, 1986). Também atuam no transporte e redistribuição esses resíduos tanto horizontal como verticalmente no solo, o que promove a incorporação de resíduos orgânicos, aumento do estoque de C e estimula a atividade microbiana (ANDERSON, 1988; BARDGETT e CHAN, 1999). Diferente do observado na área AM, onde houve o menor valor de Est C do solo, indicando um ambiente mais propício para a degradação da MO, e menos rico em organismos do solo. Em solos aráveis, foi demonstrado que a promoção de certos fungos, como os saprotróficos, pela aplicação repetida de palha reduz os teores de Est C (SCHELLER e JOERGENSEN, 2008; HEINZE, RAUPP e JOERGENSEN, 2010; FONTAINE *et al.*, 2011; KHAN *et al.*, 2016). Ainda, com a maior aeração proporcionada neste manejo, tal como o aumento da temperatura na camada revolvida e a destruição dos agregados do solo pela ação dos implementos, que expõem a matéria orgânica fisicamente



protegida ao ataque microbiano, o que causa a perda de C orgânico e seu estoque no solo (COSTA *et al.*, 2008; HICKMANN e COSTA, 2012).

Os resultados de nosso estudo sugerem que as diferenças na vegetação podem ter contribuído para influenciar os estoques de C combinados com elementos climáticos que afetam o armazenamento de Carbono no solo, alterando a taxa de decomposição, a quantidade e a qualidade da ciclagem de Carbono nestes ecossistemas (DORJI *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2018). Portanto, tanto a área com mata nativa, que apresenta maior qualidade e diversidade dos resíduos orgânicos (LIMA *et al.*, 2008), quanto a do eucalipto podem ser consideradas mais sustentáveis, entre os tratamentos avaliados.

Levando em consideração que existem diferentes frações de carbono no solo, como carbono orgânico e inorgânico, e dentro do orgânico podemos distinguir entre o protegido e o desprotegido, e dentro do protegido aquele que é fisicamente, quimicamente, biologicamente e combinações entre eles (LÓPEZ-VICENTE *et al.*, 2021), as futuras linhas de investigação incluirão a determinação do impacto dos diferentes usos agrícolas e florestais nos diferentes tipos de carbono armazenados no solo e análise biológicas, das parcelas deste trabalho de investigação.

### **3.2.3. Textura do solo**

Em relação aos teores de argila, foi observado diferenças significativas para o tratamento e a profundidade. A camada de 0-10 cm apresentou maiores teores de argila, 373,86 g kg<sup>-1</sup>, em comparação com a camada de 10-20 cm com 360,35 g kg<sup>-1</sup>. O tratamento AM e MN apresentaram os maiores teores médios de argila, com 379,66 g kg<sup>-1</sup> e 406,17 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 13 e 14).

Esses resultados podem contribuir com uma maior estabilidade de agregados do solo. Visto que, a argila tem um importante papel na agregação e na estabilidade dos agregados (ROCHA *et al.*, 2015). Além disso, esses resultados podem explicar o maior volume de Mi no tratamento MN, visto que, altos teores de argila provocam a formação de grandes volumes de microporos, diminuindo a proporção de macroporos (HILLEL, 1970), o que poderia explicar as proporções macroporos/microporos na área de Mata Nativa. Cavenage *et al.* (1999), estudando os atributos físicos de um Latossolo Vermelho, na mesma localidade, obtiveram valores de argila iguais a 427,96 g kg<sup>-1</sup> para mata ciliar

reflorestada. Do mesmo modo que os autores, nossos resultados podem estar relacionados com a posição das áreas experimentais na topossequência.

**Tabela 13.** Análise de variância dos atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atrib.	Teste F	Atrib.	Teste F
Trat.	0,000**	Trat.	0,000**
Prof.	0,007**	Prof.	0,929 <sup>NS</sup>
Areia	Trat. x Prof.	Silte	Trat. x Prof.
	0,019*		0,016*
	CV1		CV1
	3,01%		19,76%
	CV2		CV2
	2,09%		8,95%
<hr/>			
Trat.	0,000**		
Prof.	0,005**		
Argila	Trat. x Prof.		
	0,073 <sup>NS</sup>		
	CV1		
	5,70%		
	CV2		
	3,12%		

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. CV = Coeficiente de variação (%). CV1 = Tratamento, CV2 = Profundidade. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação aos teores de areia (Tabela 13 e 14), foi observado diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e das profundidades. A área de Pinus apresentou o maior teor de areia em ambas as camadas, variando de 628,05 até 652,22 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 14). O que já faz sentido, visto que é um solo com menor predomínio de argila. Essa característica do solo, é um indicativo que o solo sob Pinus pode ser mais problemático para ter o seu teor de MO aumentado. O que é preocupante, visto que a decomposição das acículas do pinus é mais lenta do que a dos outros tratamentos, dificultando o incremento de MO no solo. Conforme relatado por Habitzreiter (2013), a decomposição da serrapilheira do *Pinus* sp. é mais lenta que a de Floresta Nativa e do *Eucalyptus* sp., devido a menor relação C/N dos restos vegetais. Porém, é importante salientar que os autores ainda observaram que a quantidade de serrapilheira produzida e depositada nas áreas avaliadas varia de acordo com o período do ano, com a precipitação, temperatura média mensal e entre as espécies.

**Tabela 14.** Atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atributo	Prof. (cm)	Tratamento				Média
		AM	EUC	MN	PN	
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	0-10	556,25 <b>cA</b>	604,35 <b>bA</b>	537,15 <b>cA</b>	652,22 <b>aA</b>	-
	10-20	569,57 <b>bA</b>	575,35 <b>bB</b>	522,30 <b>cA</b>	628,05 <b>aB</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	0-10	382,00 <b>aA</b>	338,30 <b>aA</b>	398,87 <b>aA</b>	322,25 <b>aA</b>	373,86 <b>A</b>
	10-20	377,32 <b>aA</b>	367,77 <b>aA</b>	413,47 <b>aA</b>	336,87 <b>aA</b>	360,35 <b>B</b>
	Média	379,66 <b>a</b>	353,03 <b>bc</b>	406,17 <b>a</b>	329,56 <b>c</b>	-
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	0-10	61,75 <b>aA</b>	57,35 <b>aA</b>	64,00 <b>aA</b>	25,52 <b>bB</b>	-
	10-20	53,07 <b>aB</b>	56,85 <b>aA</b>	64,20 <b>aA</b>	35,10 <b>bA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. Valores sem letras, e seguidos de mesma letra minúscula, na horizontal não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade. AM = Soja e milho, EUC = Eucalipto, MN = Mata nativa, PN = Pinus. Fonte: Elaboração do próprio autor.

O acúmulo de MO em solos argilosos, em relação aos arenosos, provém da maior estabilidade da matéria orgânica nos primeiros, nos quais ela fica menos acessível à ação dos microrganismos decompositores (OADES, 1995), proporcionando um aumento na quantidade de substrato e energia necessário ao metabolismo microbiano (VOLKOFF *et al.*, 1984; SCHOLLES, DALAL e SINGER, 1994). Já em solos de textura mais arenosa, a matéria orgânica tende a ser decomposta mais rapidamente.

Ainda, a área de PN pode ser mais suscetível a perda de solo por erosão, devido a uma menor capacidade de agregação. Já que, conforme relatado por Rocha *et al.* (2015), solos com essa textura apresentam menor capacidade de agregação, e podem indicar que esse solo possui baixa capacidade de infiltração e armazenamento de água, podendo ser facilmente erodido. Em seu trabalho os autores avaliaram os atributos químicos na camada de 0,00-0,20 m do solo em reflorestamentos com espécies nativas com quatro (REF1) e nove (REF2) anos, reflorestamento com *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (EUCA), pastagem (PAS) e fragmento florestal pouco perturbado (FFPP), observaram que a área florestal pouco perturbado, apresentou maior conteúdo de Corg, o maior diâmetro médio geométrico (DMG), maior diâmetro médio ponderado dos

agregados (DMP) e maior índice de estabilidade dos agregados (IEA). Os resultados dos autores, e do presente estudo demonstram a importância de se utilizar espécies florestais que tenham aporte de resíduos vegetais próximo da mata nativa, que apresentam maior qualidade e diversidade dos resíduos orgânicos, ou mesmo em maior quantidade, como o eucalipto, são primordiais para a manutenção da qualidade dos solos em áreas com maior conteúdo de areia, como observado na área sob cultivo de pinus.

### 3.3. CONCLUSÕES

A maior macroporosidade, e a menor microporosidade foi observada na camada de 0-10 cm, apresentando a típica relação inversa entre os dois atributos. Porém, o tratamento com soja-milho o apresentou melhor relação macro/microporosidade, devido ao revolvimento do solo mais recente. Em contrapartida, a área de mata nativa, que apresenta simultaneamente, a maior microporosidade e a menor densidade do solo, devido a maior quantidade de serrapilheira no solo, apresentou os valores mais elevados de porosidade total. De modo geral, o eucalipto, pinus e mata nativa, apresentaram diminuição do estoque de Carbono do solo, com o aumento da profundidade. Sendo que, o eucalipto apresentou os maiores valores de estoque, seguido da mata nativa. Desse modo, o eucalipto e a mata nativa podem apresentar uma maior diversidade de microrganismos do solo, que contribuem para incorporação de carbono no sistema. Assim, nossos resultados são indicativos que a área com plantio de eucalipto, é mais semelhante a área de mata nativa, proporcionando condições para preservação da MO, aumento do estoque de Carbono do solo, por apresentarem maior qualidade e diversidade dos resíduos orgânicos sendo, portanto, mais sustentáveis, entre os tratamentos avaliados. Em contrapartida, a área de pinus, devido ao maior teor de areia e o menor teor de matéria orgânica no solo, é o mais suscetível a perda de solo por erosão, e o menos indicado para uso em Latossolos no Cerrado.

## Capítulo 4

# Efeito dos usos agrícolas e florestais nos macronutrientes e parâmetros químicos associados



## **4.1. MACRONUTRIENTES E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.**

### **4.1.1. Amostragem do solo**

Foram coletadas amostras de solo deformadas (Figura 19), nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, nas áreas florestais, e de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, na área agrícola, com o auxílio de um trado holandês e de caneco (mesmas amostras utilizadas para granulometria, item 3.1.2), para determinação da MO, pH, H+Al, P, Ca, Mg, K, e cálculo da CTC, SB e V, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, nas áreas florestais sob uso de pinus, eucalipto e mata ciliar reflorestada, e de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, na área agrícola, cultivada com soja e milho, em sucessão.



**Figura 19.** Ponto amostral na área sob eucalipto, no município de Selvíria-MS. Fonte: Elaboração do próprio autor.

### **4.1.2. Avaliação dos macronutrientes e atributos químicos do solo**

A análise foi realizada no Laboratório de Fertilidade do solo, da UNESP de Ilha Solteira (estado de São Paulo - SP). Entre os equipamentos utilizados, estão:

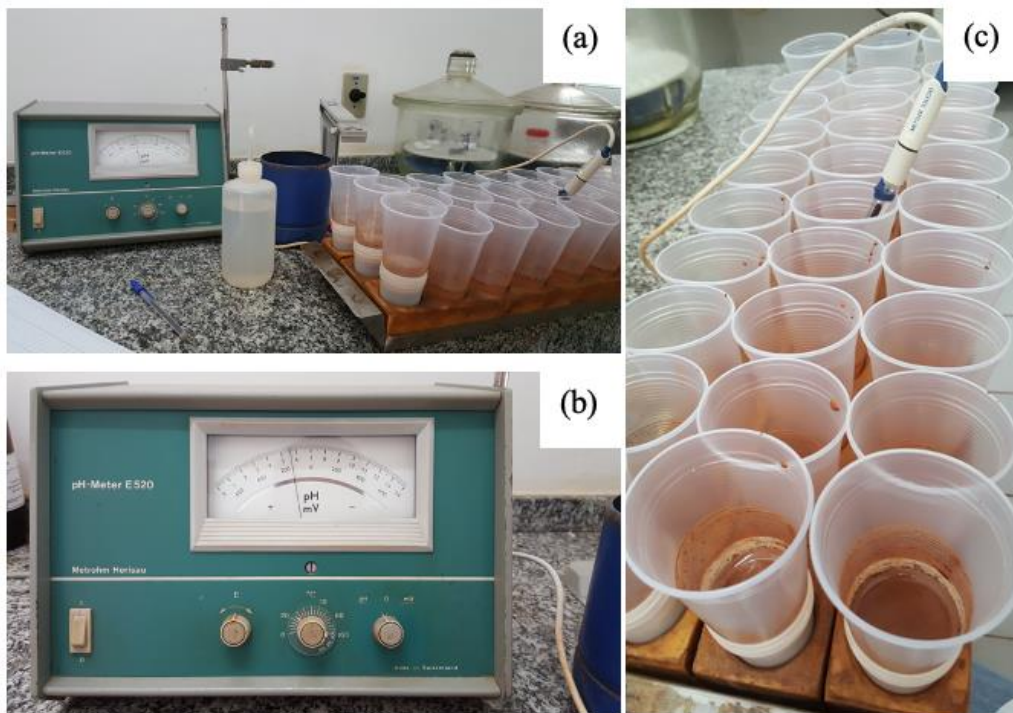
- 1.) pH-Meter E 520, Merohm Herisau, com precisão analítica de 0,01;
- 2.) Espectrofotômetro, FT-IR 670, com precisão analítica de onda de 0,002  $\text{cm}^{-1}$ ;
- 3.) Detector de fluorescência CCD, modelo 124-9006 (SCIENCETECH) (Sem maiores especificações);
- 4.) Balança analítica, HIMADZU, BL3200H, com precisão de 0,01g;

- 5.) Mesa agitadora, Marconi, MA. 376/176;
- 6.) Estufa com circulação forçada de ar, Trammit, MA/035;
- 7.) Chapa elétrica, Fisatom, 502;
- 8.) Centrífuga (+ 5.000 rpm), New Quimica, NT 810;
- 9.) Agitador magnético, Fisatom, 752A;
- 10.) Destilador de água, Cap-Lab, SSDEST 5L;
- 11.) Deionizador de água, Permution, RO420;
- 12.) Forno microondas, Brastemp, Maxi, BMS35BBHNA;
- 13.) Agitador de Wagner, Tecnal, TE-160/24.

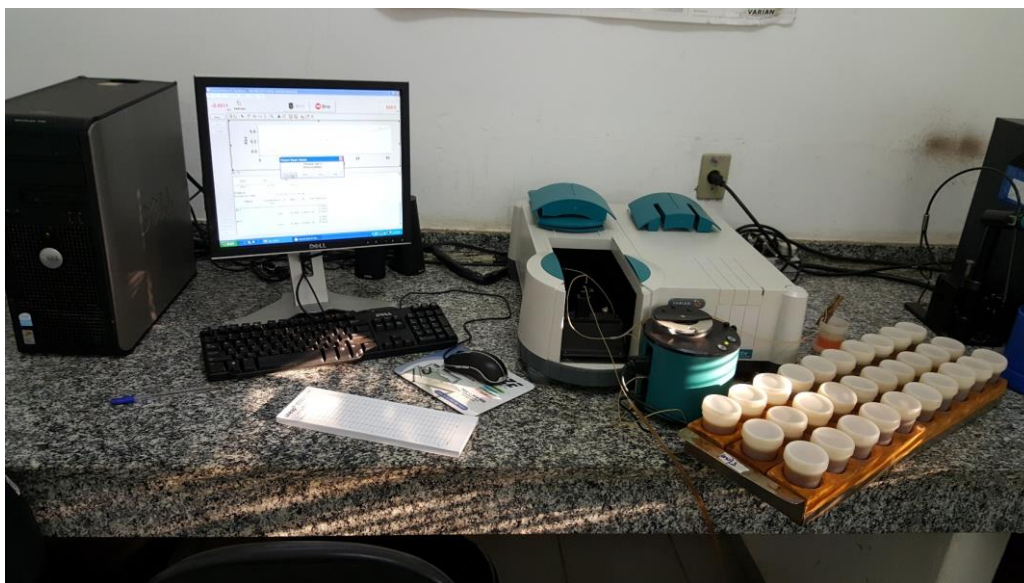
Os atributos químicos do solo e os teores de macronutrientes foram determinados seguindo as recomendações de Raij *et al.* (2001). O pH foi determinado potenciométricamente em suspensões de terra fina seca ao ar (TFSA) em solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  na proporção solo-solução de 1:2,5 (Figura 20).

A MO foi determinada após oxidação com  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  em presença de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e titulação do excesso de dicromato com a solução de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 2,6\text{H}_2\text{O}$   $0,4 \text{ mol L}^{-1}$  (Figura 21).

O cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ) trocável foram extraídos por resina trocadora de íons e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (Figura 22). O potássio ( $\text{K}^+$ ) trocável e o P foram extraídos também por resina, sendo o  $\text{K}^+$  determinado por fotometria de chama e o P por colorimetria. A acidez potencial ( $\text{H}^+\text{+Al}$ ) foi estimada pelo método do pH SMP. Com esses resultados, foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0, a soma de bases (SB) e a saturação por bases (V) do solo.



**Figura 20.** Análise das amostras indeformadas de solo, para obtenção do pH e H+Al. Uso do pH-Meter E 520 (a), detalhe do pH-Meter E 520 (b), e análise das amostras (c). Fonte: Elaboração do próprio autor.



**Figura 21.** Análise das amostras indeformadas de solo, para obtenção do teor de MO do solo, por espectrofotometria. Fonte: Elaboração do próprio autor.





**Figura 22.** Análise das amostras indeformadas de solo, para obtenção do teor K, Ca e Mg do solo, por espectrometria de absorção atômica. Fonte: Elaboração do próprio autor.

#### **4.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO**

Foi observado diferenças significativas para o tratamento e a profundidade para MO do solo (Tabela 15 e 16). De modo geral, foram observados os maiores teores nos tratamentos MN e EUC, que variaram de 25,05 até 31,45 g dm<sup>-3</sup>, em comparação a AM e PN. Além disso, especificamente para AM, é possível observar uma menor amplitude dos valores de MO do solo, visto que é uma área com menor diversidade de plantas, menor tempo de acúmulo de material orgânico, devido ao revolvimento do solo, o que favorece a decomposição do material orgânico, e o pequeno aporte de resíduos vegetais durante a condução da cultura, concordando com os resultados observados por Araújo *et al.* (2007). Nota-se também o maior teor de MO na camada superficial do solo (0-10 cm), em todos os tratamentos, em comparação com a camada mais profunda (10-20 cm). O que já é esperado, visto que o material vegetal se acumula na camada superficial do solo. Nesse sentido, o acúmulo de MO em superfície (lenta mineralização), associado à macro e microfaunas, desempenha papel significativo nas propriedades físicas do solo, melhorando-as (BONINI e ALVES, 2012).

**Tabela 15.** Análise de variância dos atributos físico-químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atrib.		Teste F	Atrib.		Teste F
	Trat.	0,000**		Trat.	0,000**
	Prof.	0,000**		Prof.	0,000**
MO	Trat. x Prof.	0,000**	SB	Trat. x Prof.	0,000**
	CV1	7,26		CV1	20,26
	CV2	5,65		CV2	11,51
Trat.		0,000**	Trat.		0,020*
Prof.		0,064 <sup>NS</sup>	Prof.		0,000**
pH	Trat. x Prof.	0,270 <sup>NS</sup>	CTC	Trat. x Prof.	0,012*
	CV1	4,48		CV1	8,47
	CV2	5,53		CV2	6,11
Trat.		0,000**	Trat.		0,000**
Prof.		0,956 <sup>NS</sup>	Prof.		0,000**
H+Al	Trat. x Prof.	0,000**	V	Trat. x Prof.	0,000**
	CV1	16,59		CV1	18,44
	CV2	10,30		CV2	9,16

**Nota:** \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. MO = Matéria orgânica. H+Al = Acidez potencial. SB = Soma de bases. CTC = Capacidade de troca catiônica. V = Saturação por bases. CV = Coeficiente de variação (%). CV1 = Tratamento, CV2 = Profundidade. **Fonte:** Elaboração do próprio autor.

Especificamente para o EUC, os teores de MO do solo podem ser considerados como teor médio, 15 até 30 g dm<sup>-3</sup>, e alto >31 g dm<sup>-3</sup>, segundo Cantarella *et al.* (2022). Segundo Araújo *et al.* (2007), na área sob florestamento de pinus, apesar da serapilheira, o teor de MO é baixo, devido a pequena superfície específica externa das acículas e da alta relação C:N desses resíduos.

**Tabela 16.** Atributos químicos do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atributo	Prof. (cm)	Tratamento				Média
		AM	EUC	MN	PN	
MO (g dm <sup>-3</sup> )	0-10	20,25 <b>cA</b>	31,45 <b>aA</b>	25,05 <b>bA</b>	19,95 <b>cA</b>	-
	10-20	18,75 <b>aA</b>	18,50 <b>aB</b>	17,60 <b>aB</b>	14,50 <b>bB</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
pH	0-10	5,72 <b>aA</b>	4,35 <b>aA</b>	4,42 <b>aA</b>	4,02 <b>aA</b>	4,64 <b>A</b>
	10-20	5,50 <b>aA</b>	4,25 <b>aA</b>	4,00 <b>aA</b>	4,10 <b>aA</b>	4,46 <b>A</b>
	Média	5,63 <b>a</b>	4,30 <b>b</b>	4,21 <b>b</b>	4,06 <b>b</b>	-
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-10	20,00 <b>cB</b>	57,05 <b>abA</b>	48,60 <b>bB</b>	70,00 <b>aA</b>	-
	10-20	32,00 <b>bA</b>	47,95 <b>aB</b>	61,40 <b>aA</b>	54,70 <b>aB</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-10	50,92 <b>aA</b>	32,90 <b>bA</b>	34,80 <b>bA</b>	9,67 <b>cA</b>	-
	10-20	31,47 <b>aB</b>	17,32 <b>bB</b>	10,02 <b>bcB</b>	7,12 <b>cA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-10	70,92 <b>bA</b>	89,95 <b>aA</b>	83,40 <b>aA</b>	79,67 <b>abA</b>	-
	10-20	63,47 <b>aB</b>	65,27 <b>aB</b>	71,42 <b>aB</b>	61,82 <b>aB</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
V (%)	0-10	71,70 <b>aA</b>	35,25 <b>bA</b>	40,75 <b>bA</b>	13,10 <b>cA</b>	-
	10-20	49,75 <b>aB</b>	26,10 <b>bB</b>	14,15 <b>cB</b>	11,65 <b>cA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. Valores sem letras, e seguidos de mesma letra minúscula, na horizontal não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade. AM = Soja e milho, EUC = Eucalipto, MN = Mata nativa, PN = Pinus. MO = Matéria orgânica. H+Al = Acidez potencial. SB = Soma de bases. CTC = Capacidade de troca catiônica. V = Saturação por bases. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Braga, Assis Braga e Venturin (2022), avaliando o carbono orgânico de um Latossolo Vermelho distroférico, sob mata nativa (*Corymbia maculata*) e florestas plantadas (*Eucalyptus grandis*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *Corymbia maculata*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*), com 40 anos de idade, constataram que *Pinus caribaea* var. *hondurensis* reduziu 44% do carbono orgânico total da camada superficial do solo em relação à mata nativa, ao passo que os eucaliptos reduziram até 32%. Enquanto que Silva *et al.* (2009), avaliando área de pinus e eucalipto, com 21 anos, eucalipto, uma área de cerrado, e carvoeiro, observaram redução da MO em plantio de pinus e eucalipto, em

relação a área de Cerrado, devido ao declínio da produção de serapilheira. Na literatura há inúmeros relatos de redução, aumento ou mesmo de manutenção da MOS sob plantios de *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. em comparação com a vegetação nativa. Esses resultados, aparentemente contraditórios, decorrem basicamente das diferentes condições mesológicas, espécies e idades das espécies pesquisadas. A manutenção ou aumento do estoque de MO é essencial para a qualidade do solo e a sustentabilidade da produção florestal (BINKLEY e FISHER, 2019), particularmente em regiões tropicais, com solos antigos, altamente intemperizados e oligotróficos (LACLAU *et al.*, 2010), como é o caso do Latossolo Vermelho do presente estudo.

Em relação ao pH no solo foi observado diferenças significativas para o tratamento (Tabela 15 e 16). O maior valor médio (5,63) foi observado no tratamento AM, em comparação com EUC (4,30), MN (4,21) e PN (4,06). Sendo classificada como baixa e média, por estarem na faixa de pH de 5,6 até 6,0, segundo Cantarella *et al.* (2022). Desse modo, os valores observados para EUC, MN e PN, que variaram de 4,00 até 4,35 são classificados como muito alto, indicando a necessidade de correção do solo com calcário (aplicado na área de AM), nas áreas cultivadas com pinus e eucalipto, para elevar o pH a teores adequados (5,5 até 6,2).

Santos *et al.* (2017), avaliando um Latossolo Vermelho distrófico argiloso do Cerrado brasileiro, não observaram diferenças nos valores do pH, ao comparar sistema de plantio convencional (4,93), sistema de plantio direto (4,63) e uma área de floresta de eucalipto (4,76). Decréscimos de pH e nos teores de bases (K, Ca e Mg) em plantações de pinus em relação ao Cerrado têm sido relatados por Silva *et al.* (2009). Os autores, observaram redução do pH em área sob pinus (4,48) e carvoeiro (4,57), em comparação com o Cerrado (4,91) e eucalipto (4,86). A liberação de ácidos orgânicos por acículas em decomposição e a maior absorção de cátions do que ânions têm sido reportados como possíveis causas da acidificação dos solos sob pinus (GIDDENS *et al.*, 1997). Ademais, em plantios dessa espécie florestal, o acúmulo das acículas na superfície do solo promove a retenção de quantidades consideráveis de nutrientes na serapilheira, alterando o equilíbrio do sistema solo-planta (CHAVES e CORRÊA, 2005; SILVA *et al.*, 2009). Em seu estudo Khan *et al.* (2016), os autores avaliaram as inter-relações entre a biomassa microbiana, com N, P e S do solo, com o carbono orgânico do solo (COS) e a contribuição de resíduos fúngicos e bacterianos para o COS, em solo sob condições temperadas úmidas, áridas subtropicais e condições climáticas tropicais, observaram que o pH ácido

e a limitação dos nutrientes podem influenciar a entrada de MO em solos florestais, ao reduzir a degradação microbiana dos resíduos vegetais, resultando no dobro da MO do solo, em comparação com os solos agrícolas.

Em relação a SB no solo, foi observado diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e das profundidades (Tabela 15 e 16). Foi observado os maiores valores no tratamento AM, com 31,47 e 50,92 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Provavelmente os maiores valores de SB tenham relação com os maiores teores de bases (Ca, Mg e K) observados no tratamento AM, que recebeu aplicação de calagem e adubação de plantio com K. Semelhante ao observado por Rocha *et al.* (2015), ao avaliarem os atributos químicos na camada de 0-20 cm do solo em reflorestamentos com espécies nativas com quatro (REF1) e nove (REF2) anos, reflorestamento com *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (EUCA), pastagem (PAS) e fragmento florestal pouco perturbado (FFPP), observaram menor valor de SB (4,4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) no FFPP, em comparação com os outros tratamentos (REF1, REF2, EUCA e PAS), devido ao resultado das correções e fertilizações feitas nessas áreas em seu longo período de cultivo.

Em relação a CTC no solo foi observado diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e das profundidades (Tabela 15 e 16). De modo geral, foi observado o maior valor no tratamento EUC, com 89,95 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, em comparação com o AM, com 70,92 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Como esperado, o maior valor de CTC tem relação com o maior teor de MO, obtidos pela maior produção de serrapilheira do eucalipto (Figura 12d). Em solos de regiões de clima tropical a MO, mesmo que em pequenas quantidades, contribui com mais de 50% da CTC devido à reduzida atividade das argilas (PREZOTTI, 2007, ROCHA *et al.*, 2015). O teor de MO, tem sido utilizado como indicador de alterações do solo, sendo menor em condições estressantes. Nesse sentido, esse resultado é um indicio que a área com eucalipto é a que apresenta menos condições estressantes, em comparação com os outros tratamentos, AM e PN.

Araújo *et al.* (2007), avaliando um Latossolo Vermelho, observaram correlação positiva entre a MO e a CTC, já que em solos tropicais, com predominância de argilominerais de baixa atividade, a fração orgânica contribui com a maior proporção das cargas negativas. Ainda, durante sua pesquisa, os autores não observaram diferenças significativas entre a CTC de áreas cultivadas com pinus, cultivo convencional com milho, cerrado e pastagens. Outros trabalhos obtiveram resultados diferentes, como o de Rocha *et al.* (2015), os autores observaram menor valor de CTC em área de pastagem (25,9

mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e o maior valor em área de fragmento florestal pouco perturbado (85,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), esse último influenciado pelo maior teor de carbono orgânico do solo.

Em relação a V% e H+Al no solo, foram observadas diferenças significativas para o tratamento e na profundidade (Tabela 15 e 16). Os maiores valores de V% foram observados no tratamento AM, variando de 49,75% até 71,70%. Assim como os menores valores de H+Al, que variaram de 20,00 até 32,00 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. A V% pode ser classificada como média e alta, por estarem nas faixas de 50% até 70% e 70% até 90%, segundo a classificação de Cantarella *et al.* (2022). Silva *et al.* (2009), observaram redução da V% em plantio de pinus e carvoeiro, em relação a área de eucalipto e cerrado, devido ao declínio da produção de serapilheira. Enquanto, Santos *et al.* (2017), observaram maior valor de V%, somente em área de sistema de plantio convencional, na camada superior de 0-20 cm, devido a MO incorporada no solo, e, assim como no presente trabalho, devido ao efeito da adubação e calagem ocorridas nesta área. Ainda, segundo os autores, o baixo valor observado no EUC e SPD pode ser resultante, segundo Matias *et al.* (2009), da ocupação das cargas negativas existentes na superfície do solo por íons que geram a acidez (H<sup>+</sup> e Al<sup>+</sup>). Desta forma, as bases que são trocadas por estes íons acabam permanecendo na solução do solo se tornando susceptíveis à lixiviação. Quando isto ocorre, os solos se tornam distróficos, ou seja, solos pobres em bases (V<50%); à medida que se aprofunda o perfil do solo é constatado maior redução do V%. De modo semelhante aos resultados do presente estudo. Ainda, em se tratando da acidez potencial (H +Al), na AM ocorreu devido ao fato da adição de calcário fornece ânions OH<sup>-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> que são receptores de H<sup>+</sup>, deixando, desta maneira, os coloides disponíveis para a ligação de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, onde anteriormente eram ocupados por H<sup>+</sup> e Al<sup>+</sup> (CAIRES, 2010).

#### **4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS MACRONUTRIENTES DO SOLO**

Em relação ao teor P no solo, foram observadas diferenças significativas para o tratamento e a profundidade (Tabela 17 e 18). Foram observados os maiores valores no tratamento AM, que variaram de 15,5 até 24,0 mg dm<sup>-3</sup>, com maior valor na camada superficial do solo. Segundo Cantarella *et al.* (2022), valores médios de P no solo, para culturas anuais, como a soja e milho, correspondem a faixas de <16 até 40 mg dm<sup>-3</sup>, enquanto que para culturas florestais, como o Pinus e o Eucalipto, que variaram de 3,4

até, 7,2 mg dm<sup>-3</sup>, são considerados baixo à médio, já que estão dentro da faixa de <6 até 12 mg dm<sup>-3</sup>.

**Tabela 17.** Análise de variância dos atributos macronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atrib.	Teste F	Atrib.	Teste F
	Trat.		0,000**
	Prof.		0,000**
P	Trat. x Prof.	Mg	0,000**
	CV1		22,33
	CV2		12,08
	Trat.		0,010*
	Prof.		0,000**
Ca	Trat. x Prof.	K	0,000**
	CV1		27,93
	CV2		9,73

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. P = P-resina. Ca = Cálcio. Mg = Magnésio. K = Potássio. CV = Coeficiente de variação (%). CV1 = Tratamento, CV2 = Profundidade. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Resultados semelhantes foram observados por Carneiro *et al.* (2009), avaliando dois solos, incluindo um Latossolo Vermelho, obtiveram menores concentração de Ca, Mg e P em relação às áreas manejadas (pastagem, milho, sorgo e nabo), devido a área de Cerrado não ter recebido correção e adubação do solo, além de se tratar de solos originalmente distróficos (V% menor que 50%), como o de nosso estudo. Ainda, Santos *et al.* (2017), observaram que houve maior disponibilidade de P nos sistemas de cultivo (plantio direto e cultivo convencional), em comparação com o eucalipto. Os autores evidenciaram maior valor de P na camada superior (0,00-0,20 m), de modo semelhante ao presente estudo. No qual, tal efeito é advindo da deposição de fertilizantes nas camadas mais superficiais durante a semeadura. Tendo em consideração que o P é um elemento de baixa mobilidade no solo é com grande dificuldade que este elemento se move atingindo maiores profundidades no solo.

**Tabela 18.** Macronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atributo	Prof. (cm)	Tratamento				Média
		AM	EUC	MN	PN	
P (mg dm <sup>-3</sup> )	0-10	24,0 <b>aA</b>	7,2 <b>bA</b>	5,6 <b>bA</b>	5,6 <b>bA</b>	-
	10-20	15,5 <b>aB</b>	3,5 <b>bB</b>	3,4 <b>bA</b>	5,5 <b>bA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-10	33,82 <b>aA</b>	17,75 <b>bA</b>	17,45 <b>bA</b>	5,50 <b>cA</b>	-
	10-20	19,75 <b>aB</b>	4,70 <b>bB</b>	3,85 <b>bB</b>	3,70 <b>bA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-10	15,50 <b>aA</b>	13,60 <b>aA</b>	15,90 <b>aA</b>	3,45 <b>bA</b>	-
	10-20	11,00 <b>aB</b>	11,60 <b>aB</b>	5,15 <b>bB</b>	2,80 <b>bA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0-10	1,60 <b>aA</b>	1,55 <b>aA</b>	1,45 <b>aA</b>	0,72 <b>bA</b>	-
	10-20	0,80 <b>aB</b>	1,02 <b>aB</b>	1,05 <b>aB</b>	0,62 <b>aA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. Valores sem letras, e seguidos de mesma letra minúscula, na horizontal não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade. AM = Soja e milho, EUC = Eucalipto, MN = Mata nativa, PN = Pinus. P = P-resina. Ca = Cálcio. Mg = Magnésio. K = Potássio. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação ao teor de Ca e Mg no solo, foram observadas diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e das profundidades (Tabela 17 e 18). De modo geral, os maiores valores foram obtidos no tratamento AM, que variaram de 19,75 até 33,82 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, para Ca, e de 11,50 até 15,50 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, 11,60 até 13,60 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, para Mg, respectivamente para AM e EUC. Especificamente para o EUC, os teores podem ser considerados médios, 4 até 7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, e alto >7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, segundo Cantarella *et al.* (2022). Os maiores valores de Ca observados no EUC podem ser atribuídos à absorção de nutrientes pelo eucalipto em camadas mais profundas do solo, visto que esta planta possui um sistema radicular profundo, havendo um retorno via decomposição da serapilheira, como reportado por Silva *et al.* (2009). Enquanto que no AM, os maiores valores são relacionados a aplicação de calcário para correção do solo.

Ambos os nutrientes, são considerados secundários por serem exportados pelas colheitas em quantidades menores quando comparados à N e K, por exemplo. Além disso,



são elementos importantes cuja carência causa perdas de produtividade e qualidade da produção agrícola, uma vez que estão relacionados à integridade de tecidos, formação de proteínas e fotossíntese (CANTARELLA *et al.*, 2022). Os macronutrientes secundários são usualmente supridos às culturas via aplicação de corretivos, como calcário, e condicionadores de solo, como o gesso agrícola. Ademais o Ca e o Mg são elementos importantes para a qualidade física dos solos, e promovem maior estabilidade e estrutura do solo (CANTARELLA *et al.*, 2022).

Em relação ao teor de K no solo (Tabela 17 e 18), foram observadas diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e das profundidades (Tabela 17 e 18). Os maiores valores foram obtidos nos tratamentos AM, EUC e MN, que variaram de 0,80 e 1,60 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, na camada de 0-10 cm. Segundo a classificação de Cantarella *et al.* (2022), esses valores são considerados baixos no solo, <1,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Além disso, é recomendado adubação elevada, suficiente para repor a exportação do nutriente com as colheitas e ainda aumentar o teor de K no solo (CANTARELLA *et al.*, 2022). Nota-se ainda, que houve um maior acúmulo de K na camada superficial, segundo Frazão *et al.* (2008), isto ocorre pelo depósito de KCl na superfície do solo o que, devido à baixa mobilidade (principalmente em condições de baixa precipitação) favorece o seu acúmulo na camada superficial (0-10 cm). Ainda, Santos *et al.* (2017), observaram maiores valores de K no SPC e EUC. De modo semelhante ao presente estudo. Segundo Costa, Gama-Rodrigues e Cunha. (2005) os maiores valores de K são decorrentes da ciclagem de nutrientes, proveniente da serrapilheira (no caso do EUC e MN), sendo tendência que plantas mais velhas contribuam em maior escala para o fornecimento deste nutriente devido à maior queda de folhas e consequente formação de matéria orgânica. No caso do tratamento AM, o valor mais elevado de K está relacionado a adubação com K durante a semeadura. Em contrapartida, observou-se baixa concentração deste nutriente no PN o que poderia relacionar, com a permanência do K serrapilheira. Visto que as acículas apresentam baixa superfície específica, fazendo com que o K não é decomposta e contribui com as baixas concentrações do nutriente no solo.

#### 4.4. CONCLUSÕES

O maior teor de matéria orgânica do solo foi observado na camada de 0-10 cm, sendo o tratamento eucalipto o apresentou o maior valor, seguido da área de mata nativa. A área com soja-milho e pinus, apresentaram os menores teores devido ao maior revolvimento do solo, no primeiro, e da pequena superfície específica das acículas, junto da alta relação C:N desses resíduos, no segundo, dificultando a decomposição por microrganismos do solo. Os maiores teores de fósforo, cálcio, magnésio e potássio, foram observadas no tratamento com soja-milho, causado pela adubação e correção do solo com calcário, ainda, tais manejos proporcionaram o maior valor de pH do solo, menor H<sup>+</sup>Al, soma de bases, e saturação por bases. Por outro lado, a maior capacidade de troca catiônica do solo foi observada no tratamento eucalipto e mata nativa. Tais resultados, aliado ao comportamento semelhante da MO, entre as duas áreas, proporcionaram valores semelhantes entre a soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação de bases, teores de cálcio, magnésio e potássio, assim o eucalipto pode proporcionar maior sustentabilidade do uso do solo, indicando menores alterações e condições menos estressantes, entre os sistemas avaliados, devido a semelhança com a fertilidade da mata nativa.

## Capítulo 5

### Análise por Mehlich-3 de macro e micronutrientes em solos agrícolas e florestais: efeito do uso da terra

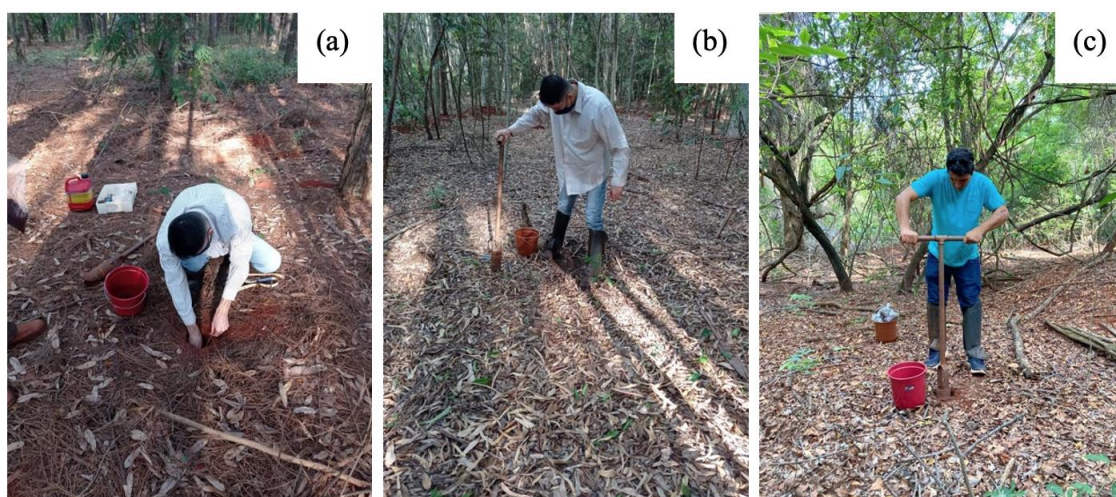
---



## 5.1. MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES DO SOLO.

### 5.1.1. Amostragem do solo

Foram coletadas 36 amostras de solo deformadas, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, nas áreas florestais, e de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, na área agrícola, com o auxílio de um trado holandês, para determinação do P, Ca, Mg, K, Mn, Fe, Cu e Zn (Figura 23).



**Figura 23.** Coleta das amostras indeformadas de solo, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade na área sob Pinus (a), Eucalipto (b), e mata ciliar reflorestada (c), no município de Selvíria-MS. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Após a coleta, as amostras foram destorroadas e secas ao ar livre (Figura 24), posteriormente foram peneiradas, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) (Figura 25), que foram utilizadas para determinação dos macros e micronutrientes do solo, no *Centro Interdisciplinar de Química e Biología (CICA)* e no *Servizos de apoio á investigación (SAI)*, pertencendo a *Universidade da Coruña (UDC)*, na Espanha (Figura 24 e 25).



**Figura 24.** Secagem das amostras indeformadas de solo (a), e amostra indeformada de solo, seca, peneirada e identificada (b). Fonte: Elaboração do próprio autor.



**Figura 25.** Preparo das 36 amostras indeformadas de solo enviadas para Espanha (a) e (b), para análise na UDC. Fonte: Elaboração do próprio autor.

### 5.1.2. Mehlich-3

A determinação da disponibilidade de fósforo do solo que se transloca para as plantas, no Brasil, é realizada por Mehlich-1, Mehlich-3, e Resina Trocadora de Íons. O extrator Mehlich-1 é um método que foi proposto na década de 50 para extração multielementar sendo P, Ca, Mg, K, Na e  $\text{NH}_4^+$  (MEHLICH, 1953). É empregado para extrair o P do solo em uma fração solúvel, em meio ácido fraco (MEHLICH, 1953). O extrator Mehlich-1 é o mais utilizado no Brasil, por ser um método com baixos custos e com baixa demanda de tempo para sua realização, além de ser um método adequado para solos ácidos com baixo teor de matéria orgânica (MYLAVARAPU *et al.*, 2002).

Apesar de ser o extrator mais usado no Brasil e de ter pontos positivos, o método de extração por Mehlich-1, possui a desvantagem de se utilizado em solos adubados com fosfatos naturais, pode superestimar a disponibilidade de P presente no solo para as plantas. A superestimação de P acontece porque a solução extratora é composta por dois ácidos fortes (sulfúrico e clorídrico), ocorrendo a solubilização dos fosfatos de cálcio (P-Ca) que então ainda na forma indisponível às plantas (NOVAIS *et al.*, 2007).

O extrator Mehlich-1 começou a ser utilizado em solos com um pH neutro e alcalino, também em solos em que o P disponível estava na forma de apatita (P-Ca), notou-se que ocorria uma baixa correlação entre o teor de P encontrado na análise com o crescimento e produção das plantas (MEHLICH, 1984). Assim, após essas observações, intensificaram estudos para desenvolver novos extratores que culminaram com o desenvolvimento dos extratores Mehlich-2 e Mehlich-3.

O extrator Mehlich-3 surgiu em 1984 após modificações feitas na solução extratora Mehlich-2, como a inclusão do cobre (Cu) na extração, e assim aumentando a amplitude de solos com diferentes características que poderiam ser analisados com o mesmo extrator e também assim seria eliminado o poder de corrosão que o Mehlich-2 tinha sobre os equipamentos de laboratório (REIS, 2016).

Tendo como principais vantagens, e motivos para ser utilizado no presente estudo: Ser um método multielementar, podendo-se determinar, além de P, outros nutrientes como potássio (K), Cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) (MEHLICH, 1984), e necessitar de um tempo menor para determinação dos nutrientes, quando comparado ao da Resina Trocadora de Íons.

### 5.1.3. Avaliação dos macronutrientes e micronutrientes do solo

Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn no solo foram obtidos por meio Mehlich-3. A extração e determinação dos elementos por este procedimento é aplicável em uma ampla faixa de pH, de ácido a básico (SPAC, 1992). Para preparar esta solução (MEHLICH, 1984), se emprega como reativos o nitrato amônico ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), o fluoruro amônico ( $\text{NH}_4\text{F}$ ), o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), o ácido acético glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) e o ácido etilenodiaminotetraacético (EDTA) formulado como  $(\text{HOOCCH}_2)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ . No procedimento Mehlich-3, o P foi obtido por meio de uma reação que ocorreu entre ácido acético e componentes com flúor.

Os cátions (Ca, Mg, Na e K) são extraídos devido à ação dos nitratos de amônia e ácido nítrico. Finalmente, os micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Zn) são extraídos por meio do  $\text{NH}_4$  e do agente quelante EDTA. Para levar a cabo este procedimento, primeiramente, prepare a dissolução de flúor/EDTA, adicionando em uma matriz de 1 l, 600 ml de água, 138,9 g de  $\text{NH}_4\text{F}$  e 73,5 g de EDTA, misturando e completando o volume até um litro com água destilada. A continuação, e usando uma matriz de 5000 ml, adicione 4000 ml de água e 100 g de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  e desligue. É transferido 20 ml da solução de flúor/EDTA e, com a ajuda de um agitador, facilite a dissolução dos componentes adicionados. Se incorpora 57,5 ml de ácido acético e 4,1 ml de ácido nítrico concentrado. Complemente o volume para 5000 ml com água destilada e determine o pH da dissolução até atingir um valor de 2,5 adicionando NaOH.

Posteriormente é utilizado  $5 \text{ cm}^{-3}$  de TFSA e 50 ml da solução extratora em frascos de polietileno. Os frascos são tampados e agitador por 5 minutos no agitador circular horizontal, a uma velocidade de 240 RPM. Posteriormente o extrato é filtrado em papel Whatman nº 42, que é utilizado para determinar as concentrações de Ca, P, Fe, Mn, Cu, Zn, em ICP-AES modelo Jobin Yvon JY 50-P. Os resultados são expressos em  $\text{mg kg}^{-1}$ .

## 5.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS MACRONUTRIENTES DO SOLO.

Em relação ao Mg, foram observadas diferenças significativas para o tratamento e a profundidade (Tabela 19 e 20). Foram observados os maiores valores médios de Mg no tratamento EUC ( $17,98 \text{ mg kg}^{-1}$ ), AM ( $17,07 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e MN ( $14,48 \text{ mg kg}^{-1}$ ), em comparação com o tratamento PN ( $4,98 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabela 20). Com maior valor, 15,93

mg kg<sup>-1</sup>, na camada de 0-10 cm, em comparação com a camada de 10-20 cm, com 11,52 mg kg<sup>-1</sup>. Silva et al. (2016), avaliando um Latossolo Vermelho, com *Pinus* spp., também observaram maiores teores de Mg na camada de 0-10 cm (5,13 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) em comparação com a camada de 10-20 cm (3,13 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

**Tabela 19.** Análise de variância dos macronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atrib.		Teste F	Atrib.		Teste F
	Trat.	0,000**		Trat.	0,008**
	Prof.	0,000**		Prof.	0,000**
P	Trat. x Prof.	0,001**	Mg	Trat. x Prof.	0,075 <sup>NS</sup>
	CV1	26,29		CV1	45,30
	CV2	15,56		CV2	17,87
	Trat.	0,001**		Trat.	0,015*
	Prof.	0,000**		Prof.	0,000**
Ca	Trat. x Prof.	0,03*	K	Trat. x Prof.	0,001**
	CV1	49,99		CV1	43,94
	CV2	23,86		CV2	11,73

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. P = Fósforo. Ca = Cálcio. Mg = Magnésio. K = Potássio. CV = Coeficiente de variação (%). CV1 = Tratamento, CV2 = Profundidade. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em um Latossolo Vermelho-Amarelo de Cerrado, Silva *et al.* (2009), verificam que o retorno de nutrientes *Eucalyptus grandis*, com 24 anos, aumentou os teores de Mg no solo (0,55 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>). Na Austrália, Noble e Randall (2005), verificaram que o retorno de nutrientes na forma de serapilheira de *E. Cloeziana* aumentou os teores de Ca, Mg e K no solo, enquanto Zaia e Gama-Rodrigues (2004), verificaram, que *E. camaldulensis*, possui taxas mais elevadas de ciclagem de Mg via serapilheira. Porém, Melo e Resck (2006), avaliando o reflorestamento de eucalipto, pinus, baru, carvoeiro e Cerrado, observaram que o plantio de pinus acarretou queda significativa no teor de K, Ca e Mg, até 40 cm, enquanto que o plantio de eucalipto ocasionou aumento dos teores de Mg até 10 cm. Comportamento semelhante ao observado no presente trabalho.



Em relação ao K, foram observadas diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e as profundidades (Tabela 19 e 20). De modo geral, os maiores valores foram obtidos na camada de 0-10 cm. Sendo ainda, os maiores valores foram obtidos no tratamento AM (9,02 mg kg<sup>-1</sup>) e EUC (12,63 mg kg<sup>-1</sup>), em comparação com PN (4,44 mg kg<sup>-1</sup>). Silva et al. (2016), avaliando um Latossolo Vermelho, com *Pinus* sp., não observaram diferenças significativas entre as camadas avaliadas para o K. Esses resultados podem ser atribuídos a absorção de nutrientes pelo eucalipto nas camadas mais profundas e seu retorno via decomposição da serapilheira, principalmente o K. Comportamento também verificado por Gama-Rodrigues *et al.* (2008), os autores obtiveram maior teor de K em área de eucalipto, com 103 mg dm<sup>-3</sup>, e Silva *et al.* (2009), com 157 mg dm<sup>-3</sup>. Ainda, Melo e Resck (2006), observaram que o plantio de pinus ocasionou queda significativa no teor desse nutriente no solo, quando comparado as outras espécies florestais. Segundo os autores a resistência da liteira do pinus à decomposição não disponibiliza rapidamente o K ao sistema solo-planta.

**Tabela 20.** Macronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atributo	Prof. (cm)	Tratamento				Média
		AM	EUC	MN	PN	
P (mg kg <sup>-1</sup> )	0-10	3,02 <b>aA</b>	1,07 <b>bcA</b>	0,65 <b>cA</b>	1,30 <b>bA</b>	-
	10-20	1,80 <b>aB</b>	0,57 <b>bB</b>	0,45 <b>bA</b>	0,82 <b>bB</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	0-10	90,80 <b>aA</b>	58,77 <b>abA</b>	37,42 <b>bcA</b>	18,62 <b>cA</b>	-
	10-20	62,97 <b>aB</b>	23,70 <b>bB</b>	18,47 <b>bB</b>	15,22 <b>bA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	0-10	19,32 <b>aA</b>	20,22 <b>aA</b>	18,85 <b>aA</b>	5,32 <b>aA</b>	15,93 <b>A</b>
	10-20	14,82 <b>aA</b>	15,75 <b>aA</b>	10,87 <b>aA</b>	4,65 <b>aA</b>	11,52 <b>B</b>
	Média	17,07 <b>a</b>	17,98 <b>a</b>	14,48 <b>a</b>	4,98 <b>b</b>	
K (mg kg <sup>-1</sup> )	0-10	9,02 <b>abA</b>	12,63 <b>aA</b>	9,01 <b>abA</b>	4,44 <b>bA</b>	
	10-20	3,87 <b>aB</b>	8,23 <b>aB</b>	5,67 <b>aB</b>	3,40 <b>aA</b>	-
	Média	-	-	-	-	

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. Valores sem letras, e seguidos de mesma letra minúscula, na horizontal não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade AM = Soja e milho, EUC = Eucalipto, MN = Mata nativa, PN = Pinus. P = Fósforo. Ca = Cálcio. Mg = Magnésio. K = Potássio. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Em relação ao P e Ca foram observadas diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e as profundidades (Tabela 19 e 20). De modo geral, os maiores teores de P e Ca foram observados na camada de 0-10 cm. E, os maiores teores de P e Ca, também foram obtidos no tratamento AM, com 3,02 e 1,80 mg kg<sup>-1</sup>, e 90,80 e 62,97 mg kg<sup>-1</sup>, na camada de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, em comparação a EUC, MN e PN. Os maiores teores no tratamento AM foram resultados da aplicação do calcário durante o preparo da área, e da adubação de plantio no momento da semeadura. Carneiro *et al.* (2009), também observaram que o maior aporte de P pela adubação promoveu aumento desse elemento no tratamento sob milho, em plantio convencional, e no nabo, em plantio direto, em relação ao teor encontrado no Cerrado, ambos em um Latossolo. Os autores também observaram que a calagem, antes da implantação das culturas (pastagem, milho, sorgo e nabo), contribuiu para o aumento do Ca. Porém, outros trabalhos como o de Melo e Resck (2006), e Silva *et al.* (2009), não observaram diferença nos teores de P no solo comparando áreas florestais.

Em nosso trabalho, apesar do teor de Ca no eucalipto não diferir em relação a AM, na camada de 0-10 cm, os valores foram superiores ao plantio de pinus (Tabela 20). Como plantios florestais como o eucalipto, apresentam sistema radicular profundo, as raízes absorvem o Ca em maiores profundidades e o devolve via serapilheira, na superfície do solo. Através desse processo, se melhora a fertilidade, uma vez que disponibiliza este elemento para ser reabsorvido pelas raízes finas que permeiam a camada de serapilheira acumulada ou estão na camada mais superficial do solo, segundo Viera *et al.* (2014). Nesse sentido, Silva *et al.* (2009), também observaram maiores teores de Ca em área de eucalipto e cerrado, em relação a área de pinus e carvoeiro, devido a absorção de nutrientes pelo eucalipto em camadas mais profundas do solo, com retorno via decomposição da serapilheira. Bellote *et al.* (1980), verificaram que o Ca é o nutriente mais extraído pelo eucalipto, seguido, em ordem decrescente de: N, K, S, Mg e P. Já no que se refere à quantidade total de macronutrientes na parte aérea, Silveira *et al.* (2001) apresentam a seguinte ordem: N > Ca ≥ K > S ≥ Mg > P.

Portanto, mesmo com a ausência de diferença significativa, a área de EUC apresentou o comportamento de aumento de Ca, nas camadas superficiais, descrito na literatura, causado pelo retorno do Ca via decomposição das folhas.

### 5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO DE OUTROS MICRONUTRIENTES.

Em relação aos outros micronutrientes catiônicos (Mn, Fe, Cu e Zn), foram observadas diferenças significativas entre a interação dos tratamentos e as profundidades (Tabela 21 e 22). De modo geral, a área com EUC apresentou os maiores valores de Mn (10,77-23,37 mg kg<sup>-1</sup>), Fe (6,27-7,86 mg kg<sup>-1</sup>) e Cu (0,49-0,55 mg kg<sup>-1</sup>), em comparação aos tratamentos AM, MN e PN (Tabela 22).

**Tabela 21.** Análise de variância dos micronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atrib.		Teste F	Atrib.		Teste F
	Trat.	0,002**		Trat.	0,000**
	Prof.	0,001**		Prof.	0,000**
Mn	Trat. x Prof.	0,000**	Cu	Trat. x Prof.	0,063 <sup>NS</sup>
	CV1	43,02		CV1	18,53
	CV2	21,69		CV2	5,23
	Trat.	0,002**		Trat.	0,000**
	Prof.	0,000**		Prof.	0,000**
Fe	Trat. x Prof.	0,039*	Zn	Trat. x Prof.	0,000**
	CV1	15,68		CV1	39,26
	CV2	8,42		CV2	39,50

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. Mn = Manganês. Fe = Ferro. Cu = Cobre. Zn = Zinco. CV = Coeficiente de variação (%). CV1 = Tratamento, CV2 = Profundidade. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Provavelmente devido a maior exigência nutricional do eucalipto, houve um maior acúmulo de micronutrientes nas folhas, e conseqüentemente um maior retorno ao solo, via decomposição da serrapilheira, que influenciaram os maiores teores dos micronutrientes no solo. Segundo Rajj *et al.* (2001), o eucalipto é uma espécie que exige teores mais elevados de micronutrientes do que o pinus. De acordo com os autores, a faixa ideal de micronutrientes nas folhas do eucalipto é Mn (400-600 mg kg<sup>-1</sup>), Fe (150-200 mg

kg<sup>-1</sup>), Cu (7-10 mg kg<sup>-1</sup>) e Zn (35-50 mg kg<sup>-1</sup>), em comparação com o pinus, Mn (250-600 mg kg<sup>-1</sup>), Fe (100-200 mg kg<sup>-1</sup>), Cu (4-7 mg kg<sup>-1</sup>) e Zn (30-45 mg kg<sup>-1</sup>). O que pode confirmar o aumento dos teores desses micronutrientes no solo sob eucalipto.

**Tabela 22.** Micronutrientes do solo, das áreas de soja e milho, eucalipto, mata nativa e pinus.

Atributo	Prof. (cm)	Tratamento				Média
		AM	EUC	MN	PN	
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	0-10	5,37 <b>bA</b>	23,37 <b>aA</b>	9,47 <b>bA</b>	9,05 <b>bA</b>	-
	10-20	5,10 <b>aA</b>	10,77 <b>aB</b>	9,72 <b>aA</b>	8,37 <b>aA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	0-10	4,60 <b>cA</b>	7,86 <b>aA</b>	6,00 <b>bcA</b>	6,32 <b>bA</b>	-
	10-20	4,52 <b>bA</b>	6,27 <b>aB</b>	5,19 <b>abB</b>	4,92 <b>abB</b>	-
	Média	-	-	-	-	-
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	0-10	0,29 <b>aA</b>	0,45 <b>aA</b>	0,49 <b>aA</b>	0,31 <b>aA</b>	0,42 <b>A</b>
	10-20	0,29 <b>aA</b>	0,49 <b>aA</b>	0,55 <b>aA</b>	0,35 <b>aA</b>	0,38 <b>B</b>
	Média	0,29 <b>b</b>	0,47 <b>a</b>	0,52 <b>a</b>	0,33 <b>b</b>	
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	0-10	0,66 <b>aA</b>	0,13 <b>bA</b>	0,10 <b>bA</b>	0,10 <b>bA</b>	-
	10-20	0,12 <b>aB</b>	0,11 <b>aA</b>	0,11 <b>aA</b>	0,10 <b>aA</b>	-
	Média	-	-	-	-	-

Nota: \*\*, \* e NS – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo. Valores sem letras, e seguidos de mesma letra minúscula, na horizontal não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade. AM = Soja e milho, EUC = Eucalipto, MN = Mata nativa, PN = Pinus. Mn = Manganês. Fe = Ferro. Cu = Cobre. Zn = Zinco. Fonte: Elaboração do próprio autor.

Resultados semelhantes foram observados por Viera *et al.* (2013), avaliando o estoque de serapilheira acumulada, sua decomposição e a taxa de disponibilização de nutrientes em um plantio híbrido de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus globulus*, observaram que a soma do conteúdo de Mn e Fe corresponde a aproximadamente 98% do total de micronutrientes presentes na serapilheira, sendo que o Mn foi o que apresentou maior devolução, também em função de sua maior concentração em relação aos demais nutrientes, concordando com Viera *et al.* (2014). Carvalho *et al.* (2015), também observaram maior devolução de Fe oriundo da serapilheira de eucalipto, com o conteúdo de Mn e Fe correspondendo a 93% do total de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). Nesse contexto, Carvalho *et al.* (2019), avaliando o estoque de nutrientes na serapilheira

acumulada em diferentes tipos de vegetação no Cerrado, incluindo o eucalipto e pinus, observaram acúmulo de Cu, Mn e Zn iguais a  $8 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $367 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $44 \text{ mg kg}^{-1}$ , para as folhas do eucalipto, e para as acículas de pinus, os valores foram iguais a  $3 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $155 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $9 \text{ mg kg}^{-1}$ .

Almeida *et al.* (2012), relataram empobrecimento do solo em termos de nutrientes, devido à introdução do pinus em área de campo nativo. Nos Campos de Cima da Serra, Dick *et al.* (2011) encontraram teores de Ca e Mg trocáveis consideravelmente menores em todas as amostras de pinus de 8 e 30 anos, em relação ao campo nativo. No cerrado, Silva *et al.* (2009) encontraram para áreas sob pinus, previamente adubadas, reduções no pH e nos teores de K, Ca e Mg e aumento médio de 40% na saturação por Al (m%), em comparação com o cerrado nativo. Fatores como a liberação de ácidos orgânicos das acículas durante a decomposição, maior absorção de cátions que ânions e redução da matéria orgânica foram apontados como possíveis causas dessas variações nos atributos químicos do solo.

A variação de resultados encontrados na literatura quanto aos efeitos do eucalipto e pinus sobre a dinâmica dos nutrientes no solo pode ter relação com as diferenças de clima, solo, espécies plantadas, ecossistema nativo usado como referência e manejo das áreas reflorestadas, que tornam imprópria a generalização dos efeitos gerados por esses plantios no solo (KLUG *et al.*, 2020). No caso da área de pinus amostrada, salienta-se que foi implantada há mais de 30 anos, o que representa um período maior de crescimento em relação ao ciclo normal das florestas comerciais plantadas com essa espécie na região centro-oeste do Brasil.

As diferenças encontradas entre os teores de micronutrientes das diferentes áreas podem ser explicadas pelo comportamento diferenciado entre espécies vegetais, quanto à absorção de nutrientes a partir do solo, deposição e qualidade de resíduos na superfície e velocidade de decomposição da serapilheira e liberação dos nutrientes, que alteram a ciclagem e os teores desses elementos no solo (VIERA; SCHUMACHER, 2010).

Em relação ao Zn, na camada de 0-10 cm, a área com AM apresentou o maior valor,  $0,66 \text{ mg kg}^{-1}$ , em comparação aos tratamentos EUC ( $0,13 \text{ mg kg}^{-1}$ ), MN ( $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e PN ( $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Tabela 22). Provavelmente o efeito residual da adubação dom Zn na área de soja-milho, influenciou o maior valor desse micronutriente no solo. Além disso, apesar da ausência de diferenças significativas entre as espécies florestais, o

eucalipto apresentar uma exigência maior em relação ao Zn, quando comparado ao pinus (RAIJ *et al.*, 2001). O que é evidenciado pelo maior teor desse micronutriente no solo, mesmo com a ausência de diferença significativa.

A conservação e preservação das áreas em regeneração e remanescentes são cruciais para frear os crescentes índices de erosão do solo no Cerrado, em seu atual cenário de desmatamento. Usos de terras agrícolas com estratégias de manejo inadequadas esgotam os recursos do solo, reduzindo a segurança do solo por meio de uma redução drástica dos serviços ecossistêmicos do solo. Por exemplo, intrínseco à erosão e degradação do solo é a diminuição da produtividade agrícola, que, por sua vez, afeta a segurança hídrica-alimentar-energética globalmente, uma vez que o Brasil desempenha um papel importante na produção mundial de alimentos. Outros estudos encontraram diferentes estratégias de manejo agrícola para aumentar a produção e, ao mesmo tempo, promover a conservação do solo e dos recursos hídricos (FALCÃO *et al.*, 2020).

#### **5.4. CONCLUSÕES**

Em relação aos macronutrientes, o maior teor de fosforo, cálcio, magnésio e potássio foram observados na camada de 0-10 cm. Para fosforo e cálcio, o tratamento soja-milho apresentou os maiores valores, devido adubação via semeadura e a aplicação da calagem. Para o potássio, o eucalipto apresentou o maior teor entre os tratamentos avaliados, devido a absorção de nutrientes do solo pelo eucalipto, nas camadas mais profundas, e seu retorno via decomposição da serrapilheira. Ainda, para o magnésio, foi observado na camada de o tratamento com pinus apresentou os menores valores, devido a maior tolerância das acículas à decomposição. Em relação aos micronutrientes, os maiores teores de manganês, ferro e cobre foram observados no tratamento eucalipto, devido ao retorno do conteúdo de Mn e Fe, principais micronutrientes presentes na serrapilheira do eucalipto, e que retornam ao solo via decomposição dos restos vegetais da cultura. Para o Zn, houve efeito residual da adubação dom Zn na área de soja-milho, proporcionando maiores valores. Portanto, o eucalipto proporcionou o um maior retorno de micronutrientes ao solo, via decomposição da serrapilheira, proporcionando um ambiente mais sustentável em comparação com a área de mata nativa, pinus e soja-milho.

## Capítulo 6

### Conclusões gerais e específicas, e pesquisas futuras

---



## **6.1. CONCLUSÕES ESPECIFICAS**

Em relação aos atributos físicos do solo, o tratamento com pinus apresentou os valores de macroporosidade e microporosidade mais próximos da mata nativa, mas devido ao maior teor de areia e o menor teor de matéria orgânica, pode ser o tratamento mais suscetível a perda de solo por erosão. Devido ao comportamento semelhante da densidade do solo e do estoque de carbono entre a área de eucalipto e da mata nativa, o uso do eucalipto pode proporcionar maior sustentabilidade do uso do solo, entre os sistemas avaliados.

Em relação aos atributos químicos e macronutrientes do solo, o tratamento com eucalipto apresentou teores de CTC devido aos maiores teores de MO. Indicando que o acúmulo de serrapilheira da cultura é benéfico para conservação dos atributos químicos do solo.

Em relação aos macronutrientes K e Mg, e os teores de micronutrientes, Mn, Fe e Cu, a área com eucalipto proporcionou maiores valores de entre os sistemas avaliados. Indicando um maior retorno via decomposição da serrapilheira, proporcionando um ambiente sustentável em comparação com a área de mata nativa.

## **6.2. CONCLUSÕES GERAIS**

O tratamento com eucalipto mostrou-se promissor em manter a qualidade do solo, e pode ser considerado o mais sustentável entre os sistemas avaliados, devido ao menor valor de DS, maior estoque de carbono, MO, CTC, macronutrientes (K e Mg) e micronutrientes (Mn, Fe e Cu), proporcionando maior proteção ao solo contra erosão, maior fertilidade do solo, e condições mais favoráveis para ciclagem de nutrientes.

## **6.3. PESQUISAS FUTURAS**

O entendimento de possíveis fragilidades ou melhorias causadas pelos diferentes usos dos solos dos Cerrados, são valiosas fontes de dados para o manejo sustentável. Desse modo, a fiscalização e o cumprimento da legislação devem ser melhorados, de modo a alcançar a verdadeira preservação das áreas de mata nativa no Cerrado,



principalmente as próximas de rios e lagos, que atuam protegendo os corpos de águas e a biodiversidade. Nesse contexto, a continuidade das pesquisas envolvendo os atributos físico-químicos do solo ainda demonstra grande importância para o entendimento da dinâmica solo-planta no bioma Cerrado. Indo além, a determinação dos atributos biológicos, tornam-se essencial para o completo entendimento dessas modificações, e é um tema relevante para pesquisas futuras. Por fim, a análise temporal, envolvendo o estudo dos atributos, físicos, químicos e biológicos do solo, em curto, médio e longo prazo, pode ser uma fonte valiosa de informações, ao utilizar o tipo de solo, a idade da plantação ou da mudança do uso da terra, portanto uma tripla abordagem: I.) por um lado, adicionar novas variáveis para serem avaliadas. II.) dar continuidade as pesquisas nas mesmas áreas deste estudo de tese de doutorado; III.) adicionar novos campos, áreas e parcelas localizadas em áreas próximas sob condições comparáveis a fim de criar uma base de dados maior. Esta última abordagem permitiria obter conclusões mais robustas do ponto de vista estatístico, proporcionando dados mais precisos para futuras discussões.



# Capítulo 7

## Bibliografia consultada

---

- AB'SABER, A.N., 2004. O suporte geocológico das florestas beiradeiras (ciliares). *In*: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, pp.15-25.
- AGNOL, W. F. D.; ECCO, M.; SHAFFER, M. S. C.; SCHENEIDER, T. A.; SANTOS, J. P. F.; MOTA, L.V.; PICCIN, G.; PACKER, T. H.; WEYH, C. P. Comportamento agrônomico da cultura da soja em função de diferentes doses de bioestimulante via semente. **Ciências agrárias: o avanço da ciência no Brasil**. v. 5, p. 115-129, 2022. <https://doi.org/10.37885/220909991>
- ALMEIDA, H. C.; DICK, D. P.; BERTOTTO, F. B.; CHITARRA, G. S. Distribution of chemical compartments of soil organic matter and C stocks of a cambisol from south Brazil as affected by Pinus afforestation. **Química Nova**, v. 35, p. 1329-1335, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000700009>
- ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; VIANA, J. H. 2008. **Manejo de solos: preparo convencional do solo**. Embrapa. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35332/1/Preparo-convencional.pdf>.
- ARAÚJO, A. M., TORMENA, C. A., SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 337-345, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200012>
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, p. 187-206, 2012. <https://doi.org/10.5777/paet.v5i1.1658>
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.
- AUER, C. G.; GRIGOLLETI JUNIOR, A.; SANTOS, A. F. **Cultivo do Pinus**. [S.l.: s.n.], 2005. (Sistemas de Produção, 5). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivadoPinus>. Acesso em: 12 nov. 2022.

- BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, p. 59-68, 2003.
- BALLONI, E. A. (1984) **Efeitos da fertilização mineral sobre o desenvolvimento do *Pinus caribaea* var. *bahamensis* em solo de cerrado do estado de São Paulo**. Piracicaba, 1984. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11142/td-20210918-201622/publico/BalloniEdsonAntonio.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- BARBOSA, L. M.; ASPERTI, L. M.; BEDINELLI, C.; BARBOSA, J. M.; BELASQUE, E. F.; PIRRÉ, E. Informações básicas para modelos de recuperação de áreas degradadas de matas ciliares. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 4, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Revista do Instituto Florestal, 1992. p.640-644.
- BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, p. 47-58, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.02.003>
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. 4. ed. New York: John Wiley and Sons, 1972. 529p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecosistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.7-18.
- BELLOTE, A. F. J.; SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função da idade: 1 – Macronutrientes. IPEF, n. 20, p.1-23, 1980.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-165, 2004.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 555-560, 2001.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; MENGATTO, L. H.; MENGATTO, L. H.; ALVES, J. B.; WAGNER, G. P. Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 359-364, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1807-86212009000200025>
- BINKLEY, D.; FISHER, R. F. **Ecology and management of forest soils**. 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 2019. 440 p.

- BOGNOLA, I. A.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesqui Florest Bras**, v. 30, p. 37-49, 2010. <http://dx.doi.org/10.4336/2010.pfb.30.61.37>
- BOLETIM 100 – Recomendacoes de adubação e calagem para o estado de São Paulo. CANTARELA, H. QUAGGIO, J. A., MATTOS JÚNIOR, D. 2022.
- BOLFE, E. L.; SANO, E. S.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no cerrado: Análises e projeções**. Distrito Federal, DF: Embrapa, 2020.
- BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, p. 329-336, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400001>
- BORGES, P. H. D. C. (2022). **Períodos de controle de plantas de sub-bosque na cultura do eucalipto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal.
- BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. Desenvolvimento inicial de seis espécies florestais nativas em dois sítios, na região sul de Minas Gerais. **Revista Cerne**, v. 2, p. 40-49, 1996. [http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/18332/Cerne\\_v2\\_n1\\_1996%285%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/18332/Cerne_v2_n1_1996%285%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- BRAGA, R. M.; ASSIS BRAGA, F.; VENTURIN, N. Carbono orgânico no solo sob mata nativa e florestas plantadas em longo prazo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42. p. 1-10, 2022. <https://doi.org/10.4336/2022.pfb.42e202002121>
- BRAGA, R. M.; BRAGA, F. A.; VENTURIN, N.; PROTÁSIO, T. P. Long-term impact of eucalyptus on the chemical characteristics of distroferic red latosol. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 8, n. 17, p. 313-322, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000400004>
- BREJDA, J. J.; KARLEN, D. L.; SMITH, J. L.; ALAN, D. L. Identification of regional soil quality factors and indicators: II. Northern Mississippi Loess Hills and Paulose Prairie **Soil Science Society of America**, v. 64, p. 2125-2135, 2000. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462125x>
- BROCH, D. L.; NOLLA, A.; QUIQUI, E. M. D.; POSSENTI, J. C. Influência no Rendimento de Plantas de Soja pela Aplicação de Fósforo, Calcário e Gesso em um Latossolo Sob Plantio Direto. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 10, p. 211-220, 2008. <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/709/882>
- BULEGON, L. G.; RAMPIM, L.; KLEIN, J.; KESTRING, D.; GUIMARÃES, V. F.; BATTISTUS, A. G.; INAGAKI, A. M. Componentes de produção e produtividade da cultura da soja submetida à inoculação de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. **Terra Latinoam**, v. 34, 2016. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000200169](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000200169)
- CAIRES, E. F. **Manejo da acidez do solo**. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes. Piracicaba-SP: IPNI, 2010, p. 276- 347.

- CANTARELLA, H.; RAIJ B. van.; CAMARGO, C. E. O. Cereais. *In*: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997, p. 45-47.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>
- CARVALHO, H. C. S.; FERREIRA, J. L. S.; CALIL, F. N.; SILVA-NETO, C. D. M. Estoque de nutrientes na serapilheira acumulada em quatro tipos de vegetação no Cerrado em Goiás, Brasil. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 7, p. 1-11, 2019. doi: 10.5902/2316980X37296
- CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGEL, B. J.; PICCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p. 342-349, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.022>
- CARVALHO, R. R.; ANDRADE, V. H. F.; LENER, J.; BASSO, S.; MANFIO, M. M. Estimativa dos micronutrientes na serapilheira acumulada de um povoamento de *Eucalyptus saligna* (Smith.), São Gabriel-RS. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, p. 976-983, 2015.
- CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C; FREITAS, M. L. M.; S BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um latossolo vermelho escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 997-1003, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000400027>
- CHAVES, R. Q.; CORREIA, G. F. Macronutrientes no sistema solo *Pinus caribaea morelet* em plantios apresentando amarelecimento das acículas e morte de plantas. **Revista Árvore**, v. 29, p. 691-700, 2005.
- CIB, Conselho de Informações sobre Biotecnologia. **Eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. 2008. 20 p.
- CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425- 432, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000200025>
- CORRÊA, R. S. (2007). **Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/19084/Dissertacao.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. **Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes**. *In*: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Gênese: Porto Alegre. 1999. p. 197 – 226.
- COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista**

- Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100030>
- COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CUNHA, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamento de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore**, v. 29, p. 563-570, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000400008>
- CRESTANA, M.S.M. (Org.); FERRETI, A.R.; TOLEDO FILHO, D.V.; RBOCZ, G.F.; SCHIMIDT, H.A.P.; GUARDIA, J.F.C. **Florestas: sistemas de recuperação com espécies nativas, produção de mudas e legislações**. 2.ed. Campinas: CATI, 2004. 216 p.
- DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A.; FARIA, J. M. R.; PRADO, N. J. S. Comportamento de espécies florestais de mata ciliares em áreas de depleção do reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargo – Itutinga, MG. **Revista Cerne**, v. 2, p. 26-39, 1996. <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/18350>
- DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. COMPACTAÇÃO DO SOLO PELA COLHEITA DE EUCALIPTO: SUA AVALIAÇÃO E EFEITO NA PRODUTIVIDADE DA REBROTA. Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos. 1997. <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/299492/1/CompactacaoSolo0001.pdf>
- DEMATTÊ, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1980. 44 p.
- DICK, D. P.; LEITE, S. B.; DALMOLIN, R. S. D.; ALMEIDA, H. C.; KNICKER, H. Pinus afforestation in South Brazilian highlands: soil chemical attributes and organic matter composition. **Scientia Agricola**, v. 68, p. 175-181, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000200007>
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: SSSAJ, 1994. p. 3-22. (Publication Number, 35).
- DORJI, T.; ODEH, I. O.; FIELD, D. J.; BAILLIE, I. C. Digital soil mapping of soil organic carbon stocks under different land use and land cover types in montane ecosystems, Eastern Himalayas. **Forest Ecology and Management**, v. 318, p. 91-102, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.003>
- DUBOC, E. **O Cerrado e o Setor Florestal Brasileiro**. Planaltina: DF: Embrapa Cerrados, 2008.
- DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. **Recomposição de matas ciliares**. São Paulo: Instituto Florestal, 1990. 14 p. (Série Registro, 4).
- DUVAL, M. E.; GALANTINI, J. A.; MARTÍNEZ, J. M.; LIMBOZZI, F. Labile soil organic carbon for assessing soil quality: Influence of management practices and edaphic conditions. **Catena**, v. 171, p. 316-326, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.023>
- FALCÃO, K. S.; PANACHUKI, E.; MONTEIRO, F. N.; MENEZES, R. S.; RODRIGUES, D. B.; SONE, J. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Surface runoff and soil erosion in a natural regeneration area of the Brazilian

- Cerrado. **International soil and water conservation research**, v. 8, p. 124-130, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.04.004>
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E.; BURMOOD, D. T.; PENNINGTON, J. S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v. 11, p. 929-931, 1971. <https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x>
- FERNANDES, G. W.; COELHO, M. S.; MACHADO, R. B.; FERREIRA, M. E.; AGUIAR, L. M. S.; DIRZO, R.; SCARIOT, A.; LOPES, C. R. Afforestation of savannas: an impending ecological disaster. **Natureza & Conservação**, v. 14, p. 146-151, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2016.08.002>
- FERREIRA, A. R. **Distribuição e propriedade hidráulica dos solos da Várzea de Curuai, Pará**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- FERREIRA, M. E.; MIZIARA, F.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, N. C. Ativos ambientais do bioma Cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61, p. 37-50, 2009. <https://repositorio.bc.ufg.br/bitstream/ri/13883/5/Artigo%20-%20Manuel%20Eduardo%20Ferreira%20-%202009.pdf>
- FERREIRA, M. E.; SILVA, J. R.; ROCHA, G. F.; ANTONIAZZI, L.; NASSAR, A.; ROCHA, J. C. S. R. **Caracterização das áreas desmatadas no bioma Cerrado via sensoriamento remoto: uma análise sobre a expansão de culturas agrícolas e pastagens cultivadas**. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais...Curitiba, 2011. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.12.14.44/doc/p1521.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2022.
- FERRO, F. S.; SILVA, D. A. L.; ICIMOTO, F. H.; LAHR, F. A. R.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S. Environmental life cycle assessment of industrial pine roundwood production in Brazilian forests. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 640-641, p. 599-608, Nov. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.262>
- FONSECA, C. M., CANTÃO, V. C. G., MENEZES, C. C. E., OLIVEIRA MORAIS, L. K., SANTOS, J. M.; GOUVEIA, M. V. C. **Implementos para correção do solo e seus efeitos na absorção de nutrientes pela soja**. In: Congresso de ensino, pesquisa e extensão da Universidade de Rio Verde, 2019, Rio Verde. 2019.
- FONTAINE, S.; HENAULT, C.; AAMOR, A.; BDIQUI, N.; BLOOR, J. M. G.; MAIRE, V.; MARY, B.; REVAILLOT, S.; MARON, P.A. Fungi mediate long term sequestration of carbon and nitrogen in soil through their priming effect. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 86-96, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.09.017>
- FRANCO, A. L. C.; BARTZ, M. L. C.; CHERUBIN, M. R.; BARETTA, D.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, J. B.; WALL, D. H.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Loss of soil (macro)fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. **Science of the Total Environment**, v. 5, p. 160-168, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.116>



- FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C.C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 641-648, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000500012>
- FREITAS, B. S. (2022). **Bioindicadores de qualidade do solo e produtividade da soja em função do residual da adubação fosfatada e inoculação das gramíneas antecessoras com *Azospirillum brasilense***. 2022. 74 f. (Mestrado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, Brasil. [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/235708/freitas\\_bs\\_me\\_ilha.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/235708/freitas_bs_me_ilha.pdf?sequence=4&isAllowed=y). Acesso em: 11 nov. 2022.
- FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURTI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 417-428, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300002>
- FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, p. 1-12, 2011. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4287>
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; PAULINO, G. M.; FRANCO, A. A. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1521-1530, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400016>
- GIDDENS, K. M.; PARFITT, R. L.; PERCIVAL, H. J. Comparasion of some properties under Pinus radiata and improve pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 40, p. 409-416, 1997. <https://doi.org/10.1080/00288233.1997.9513262>
- GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMA- SIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações agronômicas**, n. 95, p. 1-5, 2001. Disponível em: <http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/B70BBB24C44D200283257AA30063CAA6/%24FILE/Jornal%2095.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2022.
- GUIDUGLI, 2022. **Desenvolvimento inicial de eucalipto em convivência com capim-amargoso resistente ao glifosato**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Agronômica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/217513/guidugli\\_tb\\_tcc\\_jabo.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/217513/guidugli_tb_tcc_jabo.pdf?sequence=4&isAllowed=y). Acesso em: 05 nov. 2022.
- HABIG, J.; SWANEPOEL, C. Effects of conservation agriculture and fertilization on soil microbial diversity and activity. **Environments**, v. 2, p. 358-384, 2015. <https://doi.org/10.3390/environments2030358>

- HABITZREITER, T. L. Produção, decomposição e liberação de nutrientes de serrapilheira de *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp. e floresta nativa. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 82, p. 121-145, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- HEINZE, S.; RAUPP, J.; JOERGENSEN, R. G. Effects of fertilizer and spatial heterogeneity in soil pH on microbial biomass indices in a long-term field trial of organic agriculture. **Plant and Soil**, v. 328, p. 203-215, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0102-2>
- HENDRIX, P. F.; PARMELEE, R. W.; CROSSLEY JR., D. A.; COLEMAN, D. C.; ODUM, E. P.; GROFFMAN, P. M. Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. **Revista BioScience**, v. 36, p. 374-380, 1986. <https://doi.org/10.2307/1310259>
- HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 16, p. 1055-1061, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001000004>
- HILLEL, D. **Solo e água; fenômeno e princípios físicos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.
- IBGE - **Mapa de biomas e de vegetação**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 12 out. 2022.
- IBGE - **Províncias Estruturais Compartimentos de Relevo Tipos de Solos Regiões Fitoecológicas e Outras Áreas**, Rio de Janeiro, 2019.
- INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL – IMA SUL. **Secretário destaca PROSOLO como ação fundamental para conservação dos recursos hídricos em MS – 2023**. Brasil, 2023. < <https://www.imasul.ms.gov.br/secretario-destaca-prosolo-como-acao-fundamental-para-conservacao-dos-recursos-hidricos-em-ms/>>. Acesso em: 23 set. 2023.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual – 2015**. Brasil, 2015, 64 p. < [http://www.iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf)>. Acesso em: 02 fev. 2022.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual – 2019**. Brasil, 2019, p 35. <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2022.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório IBÁ**. Brasília, 2021. Disponível em: < <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2022.
- JAMES, J. N.; GROSS, C. D.; DWIVEDI, P.; MYERS, T.; SANTOS, F.; BERNARDI, R.; FARIA, M. F.; GUERRINI, I. A.; HARRISON, R.; BUTMAN, D. Land use change alters the radiocarbon age and composition of soil and water-soluble organic matter in the Brazilian Cerrado, **Geoderma**, v. 345, p. 38-50, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.019>

- JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. **O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 3-30, 2002.
- KAGEYAMA, P.Y.; DIAS, I.S. Aplicação da genética em espécies florestais nativas. **Silvicultura em São Paulo**, v. 16a, p. 728-791, 1982.
- KANSAS STATE UNIVERSITY - AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION AND COOPERATIVE EXTENSION SERVICE. **Corn Growth and Development.** 2016. Disponível em: <<https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/MF3305.pdf>> Acesso em: 23 abr. 2023.
- KHAN, K. S.; MACK, R.; CASTILLO, X.; KAISER, M.; JOERGENSEN, R. G. Microbial biomass, fungal and bacterial residues, and their relationships to the soil organic matter C/N/P/S ratios. **Geoderma**, v. 271, p. 115-123, 2016.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 263 p.
- KINPARA, D. I. **A importância da estratégia do potássio para o Brasil.** Planaltina, Embrapa Cerrados, 2003. 27 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568191/1/doc100.pdf>>. Acesso em: 05 dez 2022.
- KLUG, I., MAFRA, Á. L., FRIEDERICHS, A., RECH, C., FERT NETO, J. Atributos químicos do solo em plantios florestais em substituição à vegetação nativa em campos de altitude. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 279-290, 2020.
- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. *In*: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura- pecuária.** [S. l.]:Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 501-522.
- KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil.** São Paulo: SBs, 2005. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/atualidades.php>>. Acesso em: 25 nov. 2022.
- LACLAU, J. P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J. L. M.; MAQUÈRE, V. KRUSCHE, A. V.; M'BOU, A. T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1771-1785, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.010>
- LEANDRO, M.D.; VIVEIROS, C.A.F. Mata ciliar, **rea de Preservação Permanente.** Linha Direta. n. 259, 2003. CD ROM.
- LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1273-1280, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200004>
- LEMONS FILHO, L. C. A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; ANDRADE, L. A. B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p. 193-202, 2008.

- LIMA, J. E. F. W.; SILVA, E. M. Recursos hídricos do bioma Cerrado: importância e situação. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. D; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado – Ecologia e Flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008, p. 89-105.
- LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1996.
- LONDERO, R.; OLIVEIRA, R. B.; NASCIMENTO, J. M.; ARCOVERDE, S. N. S.; SECRETTI, M. L. Dependência espacial da fertilidade do solo sob plantio direto e suas relações com a produtividade da soja. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 12, p. 1-8, 2020.
- LOPES, C. R. **Expansão da silvicultura de eucalipto no bioma cerrado: uma análise sob a perspectiva dos fatores físicos e socioeconômicos**. 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.
- LOPES, E. S.; OLIVEIRA, D.; RODRIGUES, C. K.; DRINKO, C. H. Compactação de um Solo Submetido ao Tráfego do *Harvester* e do *Forwarder* na Colheita de Madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 223-230, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.046413>
- LÓPEZ-VICENTE, M.; GÓMEZ J.A.; GUZMÁN, G.; CALERO, J.; GARCÍA-RUIZ, R. The role of cover crops in the loss of protected and non-protected soil organic carbon fractions due to water erosion in a Mediterranean olive grove. **Soil and Tillage Research** v. 213, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105119>
- LUHESE, A.V.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; LUCHESE, E. B.; BRACCINI, M. C. L. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1949-1952, 2004.
- MACHADO, R. B.; NETO, M. B. R.; PEREIRA, P. G.; CALDAS E. F.; GONÇALVES D. A.; SANTOS N. S.; TABOR K.; STEININGER, M. Estimativas de perda do cerrado brasileiro. **Conservação Internacional**. Brasília, 2004. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatamCerrado.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2022.
- MAPBIOMAS. Coleção 7.1 - **Dados anuais de cobertura e uso da terra para o período de 1985 a 2021**. Disponível em: [https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura?activeBaseMap=9&layersOpacity=70&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage\\_main&activeYear=2021&mapPosition=-14.392118%2C-56.250000%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2021](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura?activeBaseMap=9&layersOpacity=70&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2021&mapPosition=-14.392118%2C-56.250000%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2021). Acesso em: 23 de abr. 2023.
- MARQUES, G. O. (2022). **Avaliação de variedades de soja sob diferentes manejos de irrigação em SPD no Noroeste Paulista**. (Trabalho de conclusão). Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Dracena, SP, Brasil.
- MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006. Disponível em:

- <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5462/ROSANE%20MARTINAZZO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1883-1890, 2010.
- MARTINS, F.R. Fitossociologia de florestas do Brasil: um histórico bibliográfico. **Pesquisa Série Botânica**, v. 40, p. 104-164, 1989.
- MARTINS, J. C. (2020). **Investimentos em florestas plantadas de *Pinus elliottii*: análise de opções reais em tempo discreto**. 2020. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/194112/martins\\_jc\\_me\\_botfca\\_par.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/194112/martins_jc_me_botfca_par.pdf?sequence=3&isAllowed=y). Acesso em: 12 nov. 2022.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda F cil, 2001. 143 p.
- MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T. Soja. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 202-203.
- MATIAS, M. C. B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciências Agronômicas**, v. 40, p. 356-362, 2009.
- MATIAS, M. C. B.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S. Propriedades químicas em Latossolo Amarelo de Cerrado do Piauí sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Ciências Agronômicas**, Fortaleza - CE, v. 40, p. 356-362, 2009.
- MATTIELLO, E. M.; RUIZ, H. A.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; BEHLING, M. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1281-1290, 2009.
- MEHLICH, A. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub> by North Carolina Soil Testing Laboratories. Raleigh, University of North Carolina, 1953 (não publicado).
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, p. 1409-1416, 1984.
- MELO, J. T.; RESCK, D. V. Efeito do reflorestamento com diferentes espécies sobre os atributos químicos em solo de cerrado. 2006. Embrapa Cerrados. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** (INFOTECA-E).
- MONTANARI, R. **Aspectos da produtividade do feijoeiro correlacionados com atributos do solo sob sistemas de manejo de elevado nível tecnológico**. 2009. 172 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

- MONTANARI, R. **Atributos do solo e componentes produtivos da cultura da pupunha: uma abordagem linear, geoestatística e multivariada**. 2016. 106 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/140270/000867298.pdf?sequenc e=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- MORAES, E. L. (2022). **Doses de gesso agrícola no solo e sua correlação com a produtividade de soja em área inoculada ou não com *Azospirillum brasilense***. (Trabalho de conclusão). Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, Brasil.
- MYLAVARAPU, R.S., SANCHEZ, J.F., NGUYEN, J.H., BARTOS, J.M. Avaliação dos procedimentos de extração de Mehlich-1 e Mehlich-3 para nutrientes de plantas em solos minerais ácidos da Flórida. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33, 807820. 2002.
- NOBLE, A. D.; RANDALL, P. J. The impact of trees and fodder shrubs on soil acidification. **Rural Industries Research and Development Corporation**. p. 1-76, 2005. <http://www.rirdc.gov.au/reports/AFT/csp-%204a.pdf>
- NOGUEIRA, J.C.B. **Reflorestamento heterogêneo com espécies indígenas**. São Paulo: Instituto Florestal, 1977. 71 p. (Boletim Técnico, 24)
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. K.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L., eds. *Fertilidade do Solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.471-537, 2007.
- OADES, J.M. Recent advances in organomineral interactions: Implications for carbon cycling and soil structure. In: HUANG, P.M., ed. **Environmental impact of soil component interactions**. Boca Raton, Lewis Publishers, 1995. p.114-134.
- OMETTO, A. R.; RAMOS, P. A. R.; LOMBARDI, G. The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1253-1258, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.021>
- PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 67p.
- PARENT, L. E.; GAGNÉ, G. **Guide de référence en fertilisation**. 2. ed. [S. l.]: CRAAQ, 2010. p. 473.
- PEREIRA JÚNIOR, V.; RODRIGUES, J. F.; GOMES FILHO, R. R.; REIS, J. M. R. Comportamento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetida à adubação nitrogenada de plantio. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, p. 1-5, 2010. <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2010b/Comportamento%20da%20soja.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2022.
- PEZZUTTI, R. V.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Estudo e modelagem do crescimento em diâmetro de povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a podas e desbastes na Argentina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, p. 1225-1237, 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509825113>

- PINHEIRO, R. A.; FISCH, S. T. V.; ALMEIDA, A. A cobertura vegetal e as características do solo em área de extração de areia. **Revista de Biociências**, v. 10, p. 103-110. 2004. <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/view/167/134>
- PINTO, L. C.; CHAGAS, W. F. T.; AMARAL, F. H. C. Physical attributes of a Dystric Ferric Red Latosol (Oxisol) under different management systems. **Revista Agrogeoambiental**, v. 11, p. 111-119, 2019. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v11n120191198>.
- PINTO, L. F. G., BERNARDES, M. S., STAPE, J. L.; PEREIRA, A. R. Growth, yield and system performance simulation of a sugarcane-eucalyptus interface in a subtropical region of Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 105, p. 77-86, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.05.003>
- PREZOTTI LC. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. Vitória, ES: SEEA; 2007. 305 p.
- PRODUTORES FLORESTAIS. **Adubação promove o crescimento das plantas. adubação promove o crescimento das plantas**. 2021. < <https://produtoresflorestais.pt/adubacao-promove-o-melhor-crescimento-das-plantas/> >. Acesso em: 23 abr. 2023.
- PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e Cerrado no Vale do Jequitinhonha – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1125-1136, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500006>
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019. **A language and environment for statistical computing**. Vienna: R foundation for statistical computing, 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 05 fev. 2022.
- RABOT, E., WIESMEIER, M., SCHLÜTER, S., VOGEL, H. J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, p. 122-137, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
- RAIJ, B. van; ANDRANDE, J. C.; CANTARELLA, H.; GUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- RAIJ, B. van; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA, C. M.; JÚNIOR, A. **Soil fertility management for soybean in Brazil**. In: MOSCARDI, F., HOFFMANN-CAMPO, C.B., SARAIVA, O. F.; GALERANI, P.R., KRZYŻANOWSKI, F.C., CARRÃO-PANIZZI, M.C. (Eds.), VII World Soybean Research Conference, IV International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 407-414, 2004.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285 p.

- REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; MARTINS, E. S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. D; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado – Ecologia e Flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008, p. 107-133.
- REIS, J. V. D. Potencial do extrator mehlich-3 na avaliação da disponibilidade de fósforo de diferentes solos. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. – Viçosa, MG, 2016.
- REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. *In*: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (4 Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 135-166, 2005.
- REZENDE, A. V. Importância das matas de galeria: manutenção e recuperação. *In*: RIBEIRO, J.F (Ed.). **Cerrado: matas de galeria**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p.1-16
- RIBEIRO, S. B. **Atributos químicos, físicos e biológicos do solo em sistemas de uso da terra em marabá, no sudeste do Pará**. 2021. 106 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. 2021. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/214136/ribeiro\\_sb\\_dr\\_jabo.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/214136/ribeiro_sb_dr_jabo.pdf?sequence=3&isAllowed=y). Acesso em: 20 ago. 2022.
- RIGATTO, P. A. (2002). **Influência dos Atributos do Solo sobre a Produtividade e a Qualidade da Madeira de *Pinus taeda* para Produção de Celulose Kraft**. 2002. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/27524/D%20-%20RIGATTO%2c%20PATRICIA%20APARECIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**. v. 28, p- 263-273, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000200013>
- ROCHA, J. H. T.; SANTOS, A. J. M.; DIOGO, F. A.; BACKES, C.; MELO, A. G. C.; BORELLI, K.; GODIHO, T. O. Reflorestamento e recuperação de atributos químicos e físicos do Solo. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 299-306, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.041613>
- RODRIGUES, B. R.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 73-80, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100010>
- ROSA, S. L. K.; SOUZA, J. L. M.; ARAUJO, E. M., PIEKARSKI, K. R.; KOCHINSKI, E. G. Propiedades físicas e hidráulicas del suelo en la región subtropical de Brasil. **Ciencia del suelo**, v. 39, p. 67-83, 2021. Disponível em: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672021000200067&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672021000200067&lng=es&nrm=iso). Acesso em: 18 fev. 2023.
- RUIZ, J. G. C. L. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em variedades de *Pinus***. Piracicaba, 2016. 54 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em:



<[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/143079/ruiz\\_jgcl\\_dr\\_jabo.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/143079/ruiz_jgcl_dr_jabo.pdf?sequence=3&isAllowed=y)>. Acesso em: 12 nov. 2022.

SALVADOR, J. L. G. **Considerações sobre as matas ciliares e a implantação de reflorestamentos mistos nas margens de rios e reservatórios**. 2 ed. São Paulo: CESP/ARI, 1989. 15p. (Série Divulgação e Informação, 105).

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 153-156, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/d849WYR63MFQSN9wVx7ZtYn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 nov. 2022.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 136 p.

SANTOS, H. G.; CARVALHO JUNIOR, W. D.; DART, R. D. O.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUSA, J. S.; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; OLIVEIRA, A. P. 2011. **O novo mapa de solos do Brasil: Legenda atualizada**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011.

SANTOS, J. T.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; SILVA, D. S.; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na microrregião do Brejo Paraibano. **Ciência Rural** v. 40, p. 2486-2492, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010001200008>

SANTOS, O. F.; SOUZA, H. M.; OLIVEIRA, M. P.; CALDAS M. B.; ROQUE C. G. Propriedades químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, p. 36-42, 2017. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i1.1185>

SANTOS, R. S.; WIESMEIER, M.; CHERUBIN, M. R.; OLIVEIRA, D. M.; LOCATELLI, J. L.; HOLZSCHUH, M.; CERRI, C. E. Consequences of land-use change in Brazil's new agricultural frontier: A soil physical health assessment. **Geoderma**, v. 400, 115149, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115149>

SANTOS, U. J.; MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; MARQUES, M. C.; SOUZA, E. S.; BROSSARD, M.; HAMMECKER, C. Land use changes the soil carbon stocks, microbial biomass and fatty acid methyl ester (FAME) in Brazilian semiarid area. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, p. 755-769, 2019. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1523544>

SANTOS, W. S. **Variação genética e desempenho de progênis de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de madeira e resina**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

SHELLER, E.; JOERGENSEN, R. G. Decomposition of wheat straw differing in N content in soils under conventional and organic farming management. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 171, p. 886-892, 2008. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700272>

- SCHOLES, R. J.; DALAL, R.; SINGER, S. Soil physics and fertility: The effects of water, temperature and texture. *In*: WOOMER, P.L. & SWIFT, M.J., eds. **The biological management of tropical soil fertility**. Chichester, John Wiley, 1994. p 117-130.
- SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Macenas, 2009. p.314
- SILVA J NIOR, M. C. Comparação entre matas de galeria no Distrito Federal e a efetividade do ciclo florestal na proteção de sua diversidade arbórea. **Acta Botanica Brasileira**, v. 15, p.139-146, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000100014>
- SILVA, A. M. **Reflorestamento ciliar à margem do reservatório da hidrelétrica de Ilha Solteira em diferentes modelos de plantio**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.
- SILVA, F. M.; PEDROZA, M. M.; OLIVEIRA, L. R. A.; COLEN, A. G. N.; AMARAL, P. H. B. Rotas tecnológicas empregadas no aproveitamento de resíduos da indústria da soja. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, p. 326-363, 2019. <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/57694>
- SILVA, J. M. **Avaliação da variabilidade genética em uma população base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. para fins de conservação e melhoramento genético**. 2010. 155 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.
- SILVA, J. M. C.; BRAGA, F. A. **Impacto do eucalipto e do pinus nos atributos químicos do solo**. *In*: III Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, 2015, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa. Anais...Viçosa, 2015. v. 1. p. 218-220.
- SILVA, J. M.; ALMEIDA, C. X.; PENA, L. K.; JORGE, R. F.; SILVA, L. R.; DUARTE, I. R. G. Estimativa da macroporosidade e microporosidade em função de sistemas de manejo e plantas de cobertura em Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Research, Society and Development**, v. 11, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26833>
- SILVA, L. G.; MENDES, I. D. C.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M.F.; MELO, J. T.; KATO, E (2009) Atributo físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de Cerrado sob plantio de espécies florestais. Embrapa Tabuleiros Costeiros-**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** (INFOTECA-E).
- SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1755-1761, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007001200013>
- SILVA, R. A.; SIQUEIRA, G. M. Edaphic fauna and physico-chemical attributes of soil in different phytophysionomies of Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 103-110, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n2p103-110>
- SILVA, R. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Comparação entre os métodos do cilindro e do torrão na determinação da porosidade e da densidade do solo. **Ciência Rural**, v. 30, p. 1065-1068, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782000000600025>

- SILVA, V. E.; SILVA, P. R. T. D.; MONTANARI, R.; LISBOA, S. D. D. S.; BATELLO, E. R. B.; AGUILAR, J. V.; LISBOA, L. A. M.; ALBERTINI, M. M. Produtividade de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e suas relações com atributos químicos dos solos em região de Cerrado brasileiro. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 292-306, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509829367>
- SILVEIRA, E. R.; DURIGAN, G. Recuperação de matas ciliares: estrutura da floresta e regeneração natural aos dez anos em diferentes modelos de plantio na fazenda Canuçu, Tarumã, SP. In: VILAS BOAS, O.; DURIGAN, G. (Org.). **Pesquisa em conservação e recuperação ambiental do Oeste Paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**/ Instituto Florestal. Secretaria do Meio ambiente. São Paulo: Pingas & Letras, 2004. p.325-347.
- SILVEIRA, R. L. V. A.; MALAVOLTA, E. Nutrição e adubação potássica em Eucalyptus. **Informações Agronômicas**, n. 91, 2000. 1-12 p. Disponível em: [https://www.npct.com.br/publication/ia-brasil.nsf/0/7852024C3430C60383257AA300696DCD/\\$FILE/Encarte%2091.pdf](https://www.npct.com.br/publication/ia-brasil.nsf/0/7852024C3430C60383257AA300696DCD/$FILE/Encarte%2091.pdf). Acesso em: 05 dez. 2022.
- SILVEIRA, R. L. V. D. A.; CASARIN, V.; PAULA, T. D. A.; SILVEIRA, R. I. Nutrição e adubação com Boro em Eucalyptus. **Piracicaba: Agroflorestal**, 2007. (Boletim Técnico).
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. **Seja doutor do seu eucalipto**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 93, 2001. 23 p.
- SIQUEIRA, G. M.; MIGUEL, F. R. M.; GREGO, C. R.; XAVIER, M. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; VIEIRA, S. R. **Compactación del suelo y desarrollo de raíces de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. In: Congreso argentino de la ciencia del suelo, 20., 2006, Salta-Jujuy. Anais [...] Salta-Jujuy: Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, 2006.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, ed. 2, p. 416, 2004.
- SOUZA JÚNIOR, J. P.; FLORES, R. C.; CAMPOS, C. N. S.; CORREIA, M. A. R.; FRAZÃO, J. J.; PRADO, R. M.; TEIXEIRA, W. G. A sustentabilidade agrícola na região do Cerrado. FLORES, R. A.; CUNHA, P. P.; MARCHÃO, L. L.; MORAES, M. F. (Org.). **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do Cerrado**. Goiânia, GO: Universidade Federal de Goiás, 2019, p.17-35.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. [S. l.]: Potafos, 2004. P.157-200.
- SPEROTTO, F.Q. **A expansão do setor de celulose de mercado no Brasil: condicionantes e perspectivas**. Indicadores Econômicos FEE, v. 41, n. 4, 2014.
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER FA, PACHECO LP. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Brasileira de Ciência do Solo**. v. 17, p. 1301-1309, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>
- STOLF, R. **A compactação do solo e perspectivas da subsolagem em citrus**. Laranja, 2:283-308, 1987.

- STOLF, R.; THURLER, A. M.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 447-459, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200014>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Auxina: o primeiro hormônio do crescimento vegetal descoberto. *In: Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. Cap. 19, p. 543-580.
- TAVARES, D. D.; SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P., MARTINS, A. F., MARTINS, A. J. SILVA, SOUZA, A. P.; PEREIRA, W. E.; CAMPOS, M. C. C. Agregação e coeficiente de vulnerabilidade estrutural de um Latossolo sob plantio direto e adubações nitrogenadas e potássicas. **Scientia Plena**, v. 18, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2022.070204>
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- THURLER, A. M. (1989). **Estimativa da macro e da microporosidade através da granulometria e densidade de partículas e do solo**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-20181127-155021/publico/ThurlerAlvaroMendonca.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- TIECHER, T. (org.) **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016.
- TOLLNER, E. W.; HARGROVE, W. L.; LANGDALE, G. W. Influence of conventional and no-tillage practices on soil physical properties in the Southern Piedmont. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 39, p.73-76, 1984.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciado por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301-309, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000200016>
- TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.3, p.437-445, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000300001>.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um Latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 428-437, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140597>
- TRIANOSKI, R. (2009). **Caracterização tecnológica de espécies de pinus tropicais provenientes de plantios experimentais no Brasil**. 2009. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/tccpublicados/tccrosilani.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2022.
- TROLEIS, M. J. B. **Atributos físico-químicos de um Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejo na produção de soja e sorgo em Cerrado de baixa altitude**. 2020, 73 f. Tese (Doutorado em

- Sistemas de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/194144>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, 2021. **World Agricultural Production Circular Series WAP 2-22, February 2022**. Washington, DC, USA, 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2022.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, 2023. **World Agricultural Production Circular Series WAP 6-23, June 2023**. Washington, DC, USA, 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- VERNETTI JUNIOR, F. J. **Considerações sobre implantação de lavouras de soja: A produtividade de uma cultura é definida pela interação entre o genótipo da planta e o ambiente de produção**. Embrapa Clima Temperado, Portal do agronegócio. 2013.
- VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, R. S.; CALDEIRA, M. V. W. Deposição de Serapilheira e Nutrientes em Plantio de *Eucalyptus urophylla* × *E. globulus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 3, p. 327-338, 2014. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.053913>
- VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Dinâmica de decomposição e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus globulus* no sul do Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 351-360, 2013. <https://doi.org/10.4322/loram.2013.021>
- VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; MELFI, J. A. H. **Humus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo da altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina**. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 277-283, 1984. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_5/b\\_fdi\\_23-25/29484.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_23-25/29484.pdf)
- WALTER, B. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e 74 relações florísticas**. [S. l.: s. n.], 2006
- XAVIER, F. A. S.; MAIA, S. M. F.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 247-258, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200006>
- ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 843-852, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000500007>
- ZILIO, I. D. A. V. **Sistema de integração lavoura-pecuária – Soja e Pecuária Bovina, Viabilização da Produção e Formas de Comercialização**. 2019. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Contábeis, Departamento de Ciências Contábeis, Universidade Federal de Mato Grosso - Faculdade de Administração e Ciências Contábeis, Cuiabá, 2019.