



 UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM FERRALSOL TRATADO
COM LODO DE ESGOTO E PLANTAS NATIVAS INTRODUZIDAS**

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM FERRALSOL TRATADO COM
LODO DE ESGOTO E PLANTAS NATIVAS INTRODUZIDAS



TALLES EDUARDO
BORGES DOS SANTOS

TALLES EDUARDO BORGES DOS SANTOS

TESIS DOCTORAL
Programa de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal

2017

La Coruña, Septiembre de 2017

Atributos químicos de um Ferralsol tratado com lodo de esgoto e plantas nativas introduzidas

Autor: Talles Eduardo Borges dos Santos

Tesis doctoral UDC / Ano 2017

Directores: Eva Vidal Vázquez

Marcos Lado Liñares

Tutora: Eva Vidal Vázquez

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 químicos de um Ferralsol
tratado com lodo de esgoto e
plantas nativas introduzidas

Talles Eduardo Borges dos Santos

Setembro 2017



Dña. Eva VIDAL VÁZQUEZ, Profesora Contratada Doctora del Área de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de A Coruña (UDC) y **D. Marcos LADO LIÑARES**, Profesor Contratado Doctor del Área de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de A Coruña (UDC),

CERTIFICAN

Que la presente memoria titulada “***Atributos químicos de um Ferralsol tratado com lodo de esgoto e plantas nativas introduzidas***”, que para optar al grado de Doctor por la Universidad de A Coruña presenta **D. Talles Eduardo BORGES DOS SANTOS**, ha sido realizada bajo nuestra dirección y supervisión dentro del Programa Oficial de Doctorado en Investigación Agraria y Forestal.

Considerando que constituye trabajo de Tesis Doctoral, autorizamos su presentación.

Y para que así conste, firmamos el presente certificado en A Coruña, a 19 de septiembre de 2017.

Fdo.: Eva Vidal Vázquez

Fdo.: Marcos Lado Liñares

DEDICO

*A memória da minha doce e insubstituível mãe
MARIA APARECIDA BORGES DOS SANTOS;
Ao meu honrado pai APARECIDO RODRIGUES DOS SANTOS, que souberam de
maneira muito especial conduzir-me por sábios caminhos, dando-me a vida e
doando-se por inteiros, renunciando aos seus sonhos
para que muitas vezes, pudesse realizar os meus...*

OFEREÇO

*A minha querida irmã **Thaís Diane Borges dos Santos**,
Aos meus avós **Zacarias Borges Carvalho, Domingas Fagundes Carvalho, Maria
dos Anjos Santos**, que contribuíram muito para essa conquista,
pois estiveram ao meu lado nos momentos difíceis...
E a memória do meu avô **Zenon Rodrigues dos Santos**
onde resta comigo a recordação e o eterno agradecimento.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente a DEUS,

A Universidade Da Coruña (UDC) pelo acolhimento e pelas condições de aprendizado oferecido em meu doutoramento na Espanha;

A Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira pela minha formação profissional;

Ao Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES) instituição a qual lecionei e aprendi muito;

A Universidade Estadual de Goiás (UEG) – Campus Ipameri-GO pela acolhida; instituição esta que leciono atualmente;

A Prof^ª. Dr^ª. Eva Vidal Vázquez, por dar-me a oportunidade de realizar esta Tese, assim como participar em projetos de pesquisa por todo o tempo de meu estágio na Espanha.

A Prof^ª. Dr^ª Marlene Cristina Alves, pela ajuda e conselhos que me proporcionaram a realização desta Tese e pela amizade demonstrada.

A todos os funcionários do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos;

A todos os funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Unesp de Ilha Solteira, pela ajuda nas coletas de solo.

E um agradecimento muito especial aos meus amigos (as) que conviveram comigo durante esse período de Doutorado, Alexsander Seleguini, Gabriella Santos Seleguini, Vagner Santiago do Vale, Lilian Cristina da Silva Santos, Marcelo Augusto Mendes Alcântara, Luís Henrique da Silva Barros;

Aos meus colegas de uma vida inteira Taynara Zaneli, Juliane Matos, Marcelo Santos Silva, Diego Henrique Martinho, Douglas Corsini, Gildomar Santos, Barbara Proença;

As pessoas que por algum motivo tornaram a minha passagem na Universidade da Coruña (UDC) – Campus de A Zapateira mais prazerosa, presto os meus agradecimentos e reafirmo a certeza que vou, para sempre, tê-los por lembranças.

A todos que ajudaram de alguma forma meus sinceros agradecimentos...

RESUMO

Áreas de empréstimo usadas para construção de hidrelétricas podem ser consideradas áreas degradadas, pois delas foram retirados os horizontes superficiais do solo, onde perdas como essa são as formas mais comuns de perturbações e degradações ambientais. Portanto, este trabalho teve como objetivo estudar, por meio dos atributos químicos, a recuperação de um Latossolo Vermelho, usado na terraplanagem e fundação da Usina hidrelétrica de Ilha Solteira-SP. Para tanto a pesquisa foi implantada em fevereiro de 2004 e conduzida até dezembro de 2012. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 5 tratamentos, 4 profundidades e 5 repetições, sendo também caracterizada uma área controle (solo com vegetação nativa de cerrado). Os tratamentos foram: testemunha - solo exposto (sem manejo); espécie arbórea *Astronium fraxinifolium*; *Astronium fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*; *Astronium fraxinifolium* + *Raphanus sativus* até 2005, depois substituído por *Crotalaria juncea*; e *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto (60 Mg ha⁻¹ a base seca). Avaliaram-se no solo: Fósforo (P), Matéria Orgânica (M.O), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), pH, Acidez Potencial (H+Al), Alumínio Trocável (Al), Capacidade de Troca Catiônica Potencial (T), Saturação por Bases (V). De modo geral em relação aos atributos químicos do solo o tratamento *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto foi o que mais se aproximou das condições de cerrado original na profundidade de até 0,20 m após oito anos de estudo.

Termos de indexação: solo degradado, fertilidade do solo, plantas de cobertura, cerrado, matéria orgânica.

RESUMEN

Las áreas con suelo decapitado, usadas para la construcción de centrales hidroeléctricas, pueden considerarse áreas degradadas, ya que en ellas se han retirado los horizontes superficiales del suelo, lo que constituye una forma común de perturbación y degradación ambiental en Brasil. Este trabajo tuvo como objetivo estudiar, mediante las propiedades químicas, la recuperación de un Ferralsol, fruto de los procesos extractivos y de construcción de la central hidroeléctrica de Ilha Solteira-São Paulo. Las experiencias de campo comenzaron en febrero de 2004 y se llevaron a cabo hasta diciembre de 2012. El diseño experimental fue el de bloques al azar con 5 tratamientos, 4 profundidades y 5 repeticiones, siendo también caracterizada un área control (suelo con vegetación nativa del ecosistema de cerrado). Los tratamientos estudiados fueron los siguientes: control - suelo expuesto (sin manejo); especie arbórea *Astronium fraxinifolium*; *Astronium fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*; *Astronium fraxinifolium* + *Raphanus sativus* hasta 2005, después sustituido por *Crotalaria juncea*; y *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de depuradora (60 Mg ha⁻¹). Se evaluaron las siguientes propiedades en el suelo: Fósforo (P), Materia Orgánica (MO), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), pH, Acidez Potencial (H + Al), Aluminio de cambio (Al), Capacidad de Intercambio Catiónico Potencial (T) y Saturación de Bases (V). En general, en relación a las propiedades químicas del suelo, el tratamiento con *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de depuradora fue el que más se aproximó a las condiciones de cerrado original para el horizonte de 0 a 0,20 m de profundidad después de ocho años de estudio.

Palabras clave: suelo degradado, fertilidad del suelo, plantas de cobertura, cerrado, materia orgánica.

RESUMO

As áreas con solo decapitado, utilizadas para a construción de centrais hidroeléctricas, poden ser consideradas áreas degradadas, porque nelas elimináronse os horizontes superficiais do solo, que é unha forma común de perturbación e degradación ambiental no Brasil. Este traballo tivo como obxectivo estudar, mediante as propiedades químicas, a recuperación dun Ferralsol orixinado dos procesos de extracción de materiais e construción da central hidroeléctrica de Illa Solteira-São Paulo. O traballo de campo comezou en febreiro de 2004 e rematou en decembro de 2012. O deseño experimental foi o de bloques ao azar con 5 tratamentos, 4 profundidades e 5 repeticións, sendo caracterizada tamén unha zona control (solo con vexetación nativa do ecosistema de cerrado). Os tratamentos estudados foron os seguintes: control – solo exposto (sen manexo); especies arbóreas *Astronium fraxinifolium*; *Astronium fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*; *Astronium fraxinifolium* + *Raphanus sativus* ata 2005, e despois substituído por *Crotalaria juncea*; e *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de depuradora (60 Mg ha⁻¹). Foron avaliadas as seguintes propiedades no solo: Fósforo (P), materia orgánica (MO), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), pH, acidez potencial (H Al), Aluminio de cambio (Al), Capacidade de Intercambio Catiónico potencial (T) e Saturación de Bases (V). En xeral, no que se refire ás propiedades químicas do solo, o tratamento *Astronium fraxinifolium* + *braquiária* + lodo de depuradora foi o que máis se aproximou ás condicións de cerrado orixinal para o horizonte de 0 a 0,20 m de profundidade tras oito anos de estudo.

Palabras clave: solo degradado, fertilidade do solo, plantas de cobertura, cerrado, materia orgánica.

ABSTRACT

Native area used in hydroelectric power station construction can be considered as degraded areas, since they have been removed from the surface horizons of the soil, where losses such as these are the most common forms of environmental disturbances and degradations. Therefore, this work had as objective to study, by means of the chemical attributes, the recovery of a Red Ferrosol, used in the earthwork and foundation of the Hydroelectric Power of Ilha Solteira-SP. For this, the research was implemented in February 2004 and conducted until December 2012. The experimental design was a randomized block with 5 treatments, 4 depths and 5 replicates, and a control area (soil with native cerrado vegetation) was also characterized. The treatments were: control - exposed soil (without management); tree species *Astronium fraxinifolium*; *Astronium fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis*; *Astronium fraxinifolium* + *Raphanus sativus* until 2005, then replaced by *Crotalaria juncea*; and *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + sewage sludge (60 Mg ha⁻¹ dry basis). The following parameters were evaluated: Phosphorus (P), Organic Matter (OM), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), pH, Potential Acidity (H + Al), Potential Exchange Cation Capacity (T), Base Saturation (V). In general, the *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + sewage sludge treatment was the one that most approached the conditions of original cerrado in the depth of up to 0.20 m after eight years of study.

Keywords: degraded soil, soil fertility, plant coverage, cerrado, organic matter.

RESUMEN EXTENSO

Justificación

Las propiedades químicas de los suelos tropicales tienen características peculiares, lo que ha sido y continúa siendo objeto de estudio en el bioma denominado "cerrado". El bajo contenido en materia orgánica y fósforo son las principales características de dichos suelos. Las propiedades de estos suelos están interrelacionadas y vienen afectadas por el clima cálido y húmedo, que favorece una degradación muy rápida de la materia orgánica del suelo.

El principal factor del que depende el manejo sostenible de los suelos de "cerrado" es el aumento del contenido de materia orgánica y el mantenimiento del mismo a lo largo del tiempo, es decir, el secuestro de carbono. En estas condiciones, la recuperación de suelos tropicales degradados supone un gran reto, debido a baja resiliencia de los mismos y a la escasez de materiales orgánicos que puedan contribuir a la regeneración de dichos suelos.

En este contexto, se han llevado a cabo diversos estudios con el objetivo de verificar cuáles pueden ser los materiales más eficientes para incrementar el contenido en materia orgánica del suelo, tales como abonos verdes, abonado mineral, lodos de depuradora, escorias, residuos de la producción de celulosa, etc. Al aumentar la materia orgánica del suelo se produce un aumento del pH y, por tanto, una mayor disponibilidad de los macro- y micronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas. Se crea así un ambiente favorable para el desarrollo de los organismos del suelo que, a su vez, va a suponer un aumento en la calidad física y química del mismo. Además, los organismos del suelo promueven la mejora de la estructura del mismo, inducida por el aumento de los agentes cementantes y la acción mecánica.

Por lo expuesto anteriormente, se justifica el desarrollo de este trabajo, cuyo objetivo general consiste en la mejora de las propiedades físico-químicas de un Ferralsol (Latossolo Vermelho) y en la recuperación del mismo, tras haber sido "decapitado" para usar los

materiales del mismo en la creación de terraplenes y otras obras civiles asociadas a la construcción de una presa hidroeléctrica en el Río Paraná a su paso por Ilha Solteira, Estado de São Paulo, Brasil.

Introducción

La superficie de "cerrado" abarca 204 millones de hectáreas, siendo el segundo mayor bioma brasileño, tras la Selva Amazónica, de modo que ocupa cerca del 24% del territorio nacional. Se trata de un área continua que ocupa gran parte de la región central de Brasil, en particular en los estados de Goiás, Tocantins, Distrito Federal, así como parte de los estados de Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia, Roraima y São Paulo (Sano et al., 2007). El "cerrado", por tanto, es el ecosistema característico de la región central de Brasil y atesora una elevada biodiversidad, que se pone de manifiesto por la abundancia y composición de su fauna y su flora. Esta formación consta de un mosaico de tipos de vegetación, en las que pueden predominar las plantas herbáceas, la sabana o el bosque (Eiten, 1993).

Dada la extensión que ocupa el "cerrado", se ha podido poner de manifiesto que contribuye de forma significativa al caudal de las aguas superficiales de ocho de las doce mayores cuencas hidrográficas brasileñas (Araújo et al., 2009). De este conjunto de ocho cuencas hidrográficas, tres de ellas dependen casi exclusivamente de las aguas que proporcionan las abundantes fuentes localizadas en el "cerrado". De este modo, el 78% de los aportes de la cuenca de los Ríos Araguaia/Tocantins, el 70% de los aportes de la cuenca del Río San Francisco y nada menos que el 48% de los aportes al caudaloso Río Paraná proceden del área de "cerrado", en la que se localiza el presente estudio.

Las áreas con suelo decapitado constituyen un ecosistema degradado ya que, junto con la vegetación, se han eliminado sus medios de regeneración bióticos como el banco de semillas, banco de plántulas, posibilidad de germinación de semillas y de rebrote; y, por lo tanto, presentan una baja resiliencia (Chada et al., 2004). En estas áreas también hay un descenso de la fertilidad del suelo derivada de la degradación química del mismo, ocasionada por la reducción de los contenidos y la calidad de la materia orgánica y por la reducción de los contenidos de macro y micronutrientes (Bonini, 2012).

Para la recuperación es necesario seleccionar e identificar especies aptas para las nuevas condiciones edáficas que aceleren la estructuración y la formación de los horizontes

más superficiales del suelo (Campos & Alves, 2006), lo que puede realizarse con éxito a partir de la utilización de especies de leguminosas arbóreas capaces de vivir en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico y con hongos micorrízicos, y leguminosas herbáceas (Nogueira et al., 2012).

Para hacer uso de algunas plantas como cobertura vegetal del suelo, sea como abono verde o como cobertura muerta, uno de los puntos más importantes es la necesidad de seleccionar especies que se desarrollen bien en suelos de baja a media fertilidad, y que se adapten bien a valores bajos de pH del suelo (Pereira, 2008).

Respecto al uso del lodo de depuradora como abono orgánico en la recuperación de suelos degradados, se recomienda su aplicación como fertilizante y acondicionador de suelos, por ser rico en materia orgánica (MO) y nutrientes siendo, además, una alternativa para la utilización de este residuo (Kitamura et al., 2008), mejorando la calidad de suelos con baja fertilidad (Pedroza et al., 2010).

Teniendo en cuenta lo expuesto, el presente trabajo tiene como objetivo recuperar las propiedades químicas de un Ferralsol (Latosolo Vermelho), usado en la construcción de la central hidroeléctrica de Ilha Solteira, São Paulo, utilizando abonos verdes y lodo de depuradora, siendo revegetado con *Astronium fraxinifolium*.

Material y Métodos

El área experimental está situada en la Hacienda de Enseñanza e Investigación de la Facultad de Ingeniería, Campus de Ilha Solteira, de la Universidad Estadual Paulista (UNESP), área de Producción Animal, en el municipio de Selvíria, MS. Las coordenadas geográficas son 51° 22' de longitud oeste de Greenwich y 20° 22' de latitud sur, con una altitud de 327 metros. La precipitación media anual, temperatura y humedad relativa del aire son: 1370 mm, 23,5°C y 75%, respectivamente. El tipo climático según Köppen es Aw. El suelo original es un Latossolo Vermelho distrófico muy profundo con textura franco arcillo arenosa (Embrapa, 1999).

El experimento se realizó en un área degradada, de donde se retiró una capa de suelo de 8,60 m de espesor para su utilización en el terraplén y construcción de la central hidroeléctrica de Ilha Solteira-SP.

La investigación fue iniciada en febrero de 2004 y se llevó a cabo durante los años 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2010, 2011 y primer semestre de 2012. El diseño experimental fue el de bloques al azar con 5 tratamientos, 4 profundidades y 5 repeticiones,

siendo también caracterizada un área control (suelo con vegetación nativa de “cerrado”). Los tratamientos estudiados fueron los siguientes: control o testigo (TEST) - suelo expuesto (sin manejo); especie arbórea *Astronium fraxinifolium* (AF); *Astronium fraxinifolium* + *Canavalia ensiformis* (AFCE); *Astronium fraxinifolium* + *Raphanus sativus* hasta 2005, después sustituido por *Crotalaria juncea* (AFRS/AFMJ); y *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de depuradora (AFLE) (60 Mg ha⁻¹).

La preparación del área se inició con una limpieza superficial, subsolado y gradeado (arado y niveladora) del suelo, aplicación de caliza dolomítica (2 Mg ha⁻¹) y la posterior adición del lodo de depuradora, con excepción del testigo que no recibió ningún tipo de manejo.

En el suelo, durante los ocho años de desarrollo del trabajo, se determinaron cationes de cambio, fósforo disponible, materia orgánica, hidrógeno, aluminio y pH. El contenido en materia orgánica fue determinado por el método colorimétrico y el pH, en cloruro de calcio. Además de la acidez potencial (hidrógeno + aluminio), se calcularon las sumas de bases (SB = Ca + Mg + K), capacidad de intercambio catiónico potencial (CTC = SB + H + Al) y porcentaje de saturación de bases (V% = (100 x SB) / CTC). El fósforo, potasio, magnesio y calcio se determinaron mediante el método de la resina. Los análisis se realizaron de acuerdo con la metodología descrita por Raij & Quaggio (1983) en el Laboratorio de Fertilidad del Suelo de la Facultad de Ingeniería de la UNESP.

Los resultados fueron analizados mediante el test F, realizando la prueba de Scott Knott para la comparación de medias al 5% de probabilidad. Se consideraron las épocas de evaluación en el suelo como parcelas subdivididas en el tiempo realizándose un análisis de regresión. Para la realización del análisis estadístico se utilizó el software SISVAR (Ferreira, 2011).

Resultados y Discusión

En el caso del fósforo, se verificó que en todas las profundidades el tratamiento que recibió lodo de depuradora (AFLE) presentó valores más altos de dicha propiedad, con un ajuste cuadrático significativo a lo largo del tiempo para los horizontes de 0-0,05; 0,05-0,10 m y lineal decreciente en el horizonte 0,10-0,20 m.

Para la profundidad de 0,20-0,40 m los tratamientos AF, AFCE presentaron ajustes cuadráticos significativos a lo largo del tiempo, mientras que para AFRS/AFMJ y AFLE presentaron comportamiento lineal, donde destacó el tratamiento con lodo de depuradora. La

explicación para dichos incrementos puede estar relacionada con el descenso de la materia orgánica y principalmente en el caso de AFLE, donde las raíces de braquiaria, al desarrollarse, posibilitan un mayor movimiento de la materia orgánica en el perfil disponibilizando el P, dado que la movilización de este elemento se descarta debido a su adsorción por la fracción coloidal mineral (Souto Filho, 2012).

Para la materia orgánica, considerando los tratamientos y años estudiados, se verificó la existencia de una interacción significativa entre tratamiento y época para las profundidades de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m y 0,20-0,40 m en la cual el tratamiento AFLE tuvo influencia en el contenido de materia orgánica en el horizonte de 0-0,05 m que difería de los demás, incluso del testigo, de los años 2005 hasta 2012 mostrando la eficiencia del mismo en el incremento de MO en este horizonte.

En la profundidad de 0,10-0,20 m todos los tratamientos presentaron aumentos lineales significativos de MO con excepción del testigo en la profundidad de 0,10-0,20 m. En el año 2012 el AFLE presentó el mayor contenido de MO ($8,80 \text{ g dm}^{-3}$) que difirió estadísticamente de los demás. En cuanto a los valores de la materia orgánica en la profundidad de 0,20-0,40 m se verificó que todos los tratamientos presentaron una tendencia lineal en el aumento de MO con excepción del testigo pero, al contrario de lo que sucede en la capa de 0,10-0,20 m, el tratamiento AFLE no difería de los demás en 2012 con un valor de $5,80 \text{ g dm}^{-3}$. Silva et al. (2012) trabajando con diferentes dosis de residuos porcinos y de pavo en profundidades, observaron aumentos de MO en el suelo a partir de la capa de 0,40-0,60 m de profundidad.

Los valores de pH, independientemente del tratamiento, presentaron tendencias similares para los horizontes de 0-0,05 m y 0,05-0,10 m, es decir, una caída lineal significativa en el valor del pH a lo largo del tiempo. Este comportamiento puede explicarse por el hecho de que las leguminosas añaden grandes cantidades de nitrógeno al suelo y este nitrógeno sufre la nitrificación con la consecuente lixiviación del nitrato, provocando la acidificación del suelo (Gramppigia, 2000). En las profundidades de 0,10-0,20 m y 0,20-40 m los tratamientos AF, AFCE, AFRS/AFCJ y AFLE difirieron estadísticamente del testigo, evidenciando el mantenimiento efímero inmediato del pH.

El resultado relativo a los niveles de potasio en el suelo experimental en función de los tratamientos aplicados a lo largo de ocho años constató que no hubo un efecto significativo en la interacción entre tratamientos y épocas en las profundidades de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,20 m y 0,20-0,40 m. Tampoco se observó el efecto aislado de los tratamientos.

El Calcio presentó interacción entre tratamientos y épocas en las capas de 0-0,05 y 0,05-0,010 m, donde AF, AFCE, AFRS/AFCJ y AFLE presentaron niveles superiores

difiendo estadísticamente del testigo (área degradada). El incremento en los contenidos de Ca fue verificado por Ricci et al. (2010) en tratamientos que recibieron 80 Mg ha^{-1} de lodo de depuradora. Para las capas de 0,10-0,20 y 0,20-0,40 m sólo se verificó el efecto aislado de los tratamientos. En la capa 0,20-0,40 m los tratamientos AF, AFLE fueron superiores a los demás. Por otra parte, Vendruscolo (2015) evaluando el efecto del biochar y el lodo de depuradora con plantas de cobertura en las propiedades físicas y químicas, verificó, después de nueve de experimentos, un descenso en el contenido de Ca en el suelo con lodo de depuradora.

Después de ocho años de experimento se observó una interacción significativa con relación al Magnesio entre tratamientos y épocas, donde AFLE presentó el mayor incremento de Mg en el suelo a lo largo del tiempo difiriendo de los demás tratamientos en la profundidad de 0-0,05 m. En contrapartida, TEST y AF fueron los tratamientos que presentaron los peores resultados. Los incrementos de los niveles de Mg en el suelo también fueron verificados por Ricci et al. (2010) en un tratamiento que recibió 80 Mg ha^{-1} de lodo de depuradora. Para las demás profundidades, 0,05-0,10, 0,10-0,20 y 0,20-0,40 m, no se verificaron interacciones significativas, únicamente el efecto aislado de los tratamientos en las profundidades de 0,05-0,10 y 0,10-0,20 m, donde los tratamientos AF, AFCE, AFRS/AFCJ diferían del testigo en relación al contenido de Mg en el suelo, lo que no ocurrió en la profundidad de 0,20-0,40 m en la cual solamente el tratamiento con lodo de depuradora + braquiaria y *Gonçalo Alves* difería del testigo.

Con respecto a la acidez potencial, en la profundidad de 0-0,05 m a partir del año 2009 se verificó una caída en el tratamiento AFLE probablemente justificado por la presencia de braquiaria desarrollada que impide, en parte, el proceso de nitrificación. Resultados similares fueron encontrados por Abreu (2016) que observó que la fertilización con lodo de depuradora favoreció incrementos en los valores de pH y reducción de la acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}^{+3}$) del suelo en la profundidad de 0-0,10 m. A lo largo de los ocho años de experimento los tratamientos no influyeron de forma significativa en la acidez potencial en las capas más profundas de 0,05-0,10; 0,10-0,20 y 0,20-0,40 m. Resultados similares fueron encontrados por Bonini et al. (2015) analizando la influencia de las dosis de 30 y 60 Mg ha^{-1} en un área de recuperación de cuatro años con cuatro profundidades, donde no verificaron la influencia del lodo de depuradora en los horizontes de 0,10-0,20 y 0,20-0,40 m.

En cuanto a la variación del contenido de aluminio de cambio (Al^{+3}), se observó un efecto significativo entre los tratamientos y épocas en las capas de 0-0,05 y 0,05-0,10 m, donde el presente trabajo reveló disminución en cuanto a los valores absolutos de aluminio

para los tratamientos AF, AFRS/AFCE y AFLE a lo largo del tiempo. Estos resultados indican que la aplicación de la enmienda caliza puede ocasionar la disminución del contenido de aluminio en el suelo, así como la eficiencia de las leguminosas y de la especie *Gonçalo-Alves* en el reciclaje y mantenimiento de este nutriente en niveles satisfactorios a lo largo de los ocho años, resultados también verificados por Pequeno (1999). A la profundidad 0,10-0,20 m se verificó únicamente el efecto aislado de los tratamientos donde el testigo difirió estadísticamente del suelo con lodo de depuradora + *Gonçalo-Alves* y braquiaria y los demás tratamientos presentaron los mejores resultados. En la capa de 0,20-0,40 m no se observaron diferencias significativas entre los contenidos en aluminio de cambio, de acuerdo con los valores de F obtenidos.

Para la CIC potencial existió interacción entre tratamientos y épocas en las profundidades de 0-0,05 y 0,05-0,10 m. La CIC potencial presentó mayores valores con la utilización del lodo de depuradora en todos los años oscilando entre 44,26 y 37,30 mmol dm³, presentando, todos los tratamientos, diferencias significativas en relación al testigo. Cunha et al. (2011) verificaron, después de cuatro años que, en general, el cultivo de plantas de cobertura no alteró los valores de CIC del suelo.

En los horizontes de 0,10-0,20 y 0,20-0,40 m se verificó solamente el efecto aislado de los tratamientos. El tratamiento con lodo de depuradora presentó medias superiores al testigo y a los demás tratamientos. En el horizonte de 0,20-0,40 m las leguminosas no influyeron en la CIC, pues no diferían del testigo. Esta profundidad no presentó una correlación lineal, lo que condice los resultados encontrados por Rodrigues (2007) donde a partir de 20 cm de profundidad la CIC deja de estar influenciada por los contenidos en materia orgánica.

En general, la saturación por bases reveló un comportamiento similar al del Calcio, donde se verificó la interacción entre tratamiento y épocas en los horizontes de 0-0,05 y 0,05-0,10 m. A lo largo del tiempo, todos los tratamientos presentaron resultados superiores al testigo en ambas profundidades. Bonini et al. (2015) observaron la influencia positiva del lodo de depuradora en la dosis de 30 Mg ha⁻¹ para saturación de bases.

Para la saturación de bases hubo un efecto positivo significativo de los tratamientos en relación al testigo, sin embargo, no presentaron comportamientos distintos a lo largo del tiempo donde, para la profundidad de 0,10-0,20 m, todos presentaron descensos lineales semejantes y en la de 0,20-0,40 m revelaron un comportamiento cuadrático significativo. Tales resultados, en parte, también fueron encontrados por Prates (2010), que observó que el porcentaje de saturación de bases se reducía con el aumento de las dosis de lodo de depuradora.

Conclusiones

Los tratamientos, con excepción del AFLE, tuvieron poca influencia sobre los contenidos de fósforo en el suelo a lo largo del tiempo hasta 0,20 m de profundidad.

Los contenidos de materia orgánica en el suelo aumentaron significativamente en el período de ocho años para los tratamientos AF, AFCE, AFRS/AFCJ, destacando el AFLE hasta la profundidad de 0,40 m.

A lo largo del tiempo todos los tratamientos mostraron ineficiencia en el mantenimiento permanente del pH, incrementos de potasio y reducción del aluminio de cambio en el suelo.

El encalado, junto con el AF, AFCE, AFRS/AFCJ y el tratamiento con lodo de depuradora, proporcionó un aumento efímero en los niveles de calcio en el suelo que, con el tiempo, presentan una tendencia al descenso principalmente en los horizontes más superficiales.

El tratamiento AFLE aumentó la CIC del suelo en la capa de 0,05-0,10 m estabilizándose a lo largo del tiempo.

En general, en relación a las propiedades químicas del suelo, el tratamiento con *Gonçalo Alves*, *Braquiária decumbens* y lodo de depuradora fue el que más se aproximó a las condiciones de cerrado original en la profundidad de hasta 0,20 m después de ocho años de estudio.

Referencias Bibliográficas

ABREU, S.A.H. Crescimento inicial de teca e produtividade de soja sob diferentes adubações em sistema agrossilvicultural. 70p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

BONINI, C.S.B. Restauração ecológica de um solo decapitado sob intervenção antrópica há 17 anos. Ilha Solteira: FEIS/UNESP. 167p. Tese Doutorado, 2012.

BONINI, C.S.B; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 4, p.388-393, 2015.

- CAMPOS, F.S.; ALVES, M.C. Resistência à penetração de um solo em recuperação sob sistemas agrosilvopastoris. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.759-764, 2006.
- CHADA, S.S.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. *Revista Árvore*, v.28, n.6, p.801-809, 2004.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo, 412p, 1999.
- FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- GRAPEGGIA JÚNIOR, G.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.; ACOSTA, J.A. Efeito das culturas de cobertura na acidificação do solo no sistema plantio direto. Salão de iniciação Científica (12.: 2000: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2000.
- KITAMURA, A.E.; ALVES, M.C.; SUZUKI, L.G.A.S.; GONZÁLEZ, A.P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.405-416, 2008.
- NOGUEIRA, N.O.; OLIVEIRA, O.M.; MARTINS, C.A.S.; BERNARDES, C.O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. *Enciclopédia biosfera*, Centro Científico Conhecer, v.8, 2121-2131, 2012.
- PEDROZA, M.M.; VIEIRA, G.E.G.; SOUSA, J.F.; PICKLER, A.C.; LEAL, E.R.M.; MILHOMEN, C.C. Produção e tratamento de lodo de esgoto - Uma revisão. *Revista Liberato*, v.11, 89-188, 2010.
- PEQUENO, P.L.L. Sistema radicular de leguminosas: Efeito nas propriedades físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo no município de Alagoinha, PB. Areia: Universidade Federal da Paraíba, (Dissertação Mestrado), 52p, 1999.
- PEREIRA, A.R. Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. FAPI, 239 p., 2008.
- PRATES, F.B. de S. Crescimento, desenvolvimento e nutrição de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 93p, 2010.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 31 p. (Boletim Técnico, 81), 1983.

RICCI, A.B.; PADOVANI, V.C.R.; PAULA JÚNIOR, D.R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: II - Atributos químicos e revegetação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, 543- 551, 2010.

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, Campina Grande, v. 11, n. 1, 73-80, 2007.

SANTOS, A.C.; SILVA, I.F.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, A.P.; CAVALCANTE, V.R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, 1063-1071, 2001.

SILVA, V.P. Produtividade em sistema de Integração Lavoura-Pecuária - Floresta no subtropical brasileiro. 2012. 119 p. Tese (Doutorado em Agronomia) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SOUTO FILHO, S.N. Variação de armazenagem de água num Latossolo de cerrado em recuperação. 2012. 66 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2012.

VENDRUSCOLO, E.P. Qualidade Física e Química de um solo em recuperação com plantas nativas introduzidas há 9 anos, após uso de Biochar. 66f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Chapadão do Sul, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2015.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem Ikonos da área do experimento. Fonte: Google Earth (2017).	26
Figura 2. Aspecto da vegetação nativa (Cerrado) na qual encontra-se espécies arbóreas como a <i>Curatella americana</i> , <i>Stryphnodendron adstringen</i> , <i>Byrsomia verbascifolia</i> , <i>Astronium faxinifolium</i>	27
Figura 3. Perfil do solo original.....	27
Figura 4. Vista geral da área mostrando o corte de 8,60 m de espessura.	29
Figura 5. Perfil do solo da área degradada onde foi retirada a camada de solo de 8,60.....	29
Figura 6. Esquema da disposição dos tratamentos na área de pesquisa, Selvíria, MS.	30
Figura 7. Detalhe do lodo de esgoto utilizado.	33
Figura 8. Vista geral da área experimental antes da implantação do experimento.	34
Figura 9. Preparo da área (subsolagem)	35
Figura 10. Preparo da área (gradagem).	35
Figura 11. Aspecto do lodo de esgoto espalhado na superfície do solo.	36
Figura 12. Detalhes das parcelas que receberam lodo de esgoto.....	36
Figura 13. Área com o solo exposto (sem manejo para recuperação).....	37
Figura 14. Feijão-de-porco (<i>Canavalia ensiformes</i>) 15 dias após a semeadura.	37
Figura 15. Nabo forrageiro (<i>Raphanus sativus</i>) 15 dias após a semeadura.	38
Figura 16. Braquiária (<i>Brachiaria decumbens</i>) 15 dias após a semeadura.	38
Figura 17. Gonçalo-Alves (<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott) 15 dias após o transplante.	39
Figura 18. Vista após a roçagem da braquiária no tratamento AFLE, após 10 meses de semeadura.	39
Figura 19. Crotalária (<i>Crotalaria juncea</i>) em março de 2007.	40
Figura 20. Vista da área experimental em março de 2007.	40
Figura 21. Semeadura a lanço manual realizada nos tratamentos com adubação verde em janeiro de 2010	41
Figura 22. Vista do tratamento Gonçalo-Alves + crotalária após a segunda tentativa de semeadura em Janeiro de 2010.....	41
Figura 23. Aspecto das plântulas de crotalária depois de emergidas em Fevereiro de 2010. ..	42
Figura 24. Vista da parcela Gonçalo-Alves + crotalária após a quarta tentativa de semeadura em Março de 2010.	43

Figura 25. Vista geral indicando a falha da sementeira da crotalaria (AFCJ) em Novembro de 2011.	43
Figura 26. Detalhe plantas de feijão-de-porco (AFCE) em 2011.	44
Figura 27. Detalhe do tratamento Gonçalo-Alves+Brachiaria decumbens+lodo de esgoto (AFLE), em Abril de 2011.	44
Figura 28. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para fósforo no solo na profundidade de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	65
Figura 29. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para fósforo no solo na profundidade de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	66
Figura 30. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para fósforo no solo na profundidade de 0,10-0,20m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	68
Figura 31. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para fósforo no solo na profundidade de 0,20-0,40m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	68
Figura 32. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para Matéria Orgânica no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	71
Figura 33. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para Matéria Orgânica no solo nas profundidades de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	71
Figura 34. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para Matéria Orgânica no solo nas profundidades de 0,10-0,20m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	73
Figura 35. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para Matéria Orgânica no solo nas profundidades de 0,20-0,40m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	73
Figura 36. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para pH no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	76

Figura 37. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para pH no solo nas profundidades de 0,05-0,010m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	76
Figura 38. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para potássio no solo na profundidade de 0,05-0,010m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	80
Figura 39. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para cálcio no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	82
Figura 40. Gráficos e equações de regressão de melhor ajuste para cálcio no solo nas profundidades de 0,05-0,010m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	83
Figura 41. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para magnésio no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	85
Figura 42. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para magnésio no solo nas profundidades de 0,05-0,010m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	86
Figura 43. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para acidez potencial no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	87
Figura 44. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para acidez potencial no solo nas profundidades de 0,05-0,010m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	89
Figura 45. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para alumínio trocável no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	92
Figura 46. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para alumínio trocável no solo nas profundidades de 0,05-0,010m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	93
Figura 47. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para capacidade de troca catiônica do solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.	96

Figura 48. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para capacidade de troca catiônica do solo nas profundidades de 0,05-0,010m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.....	97
Figura 49. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para saturação por bases no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.....	99
Figura 50. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para saturação por bases no solo nas profundidades de 0,05-0,010m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.....	99
Figura 51. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para saturação por bases no solo nas profundidades de 0,10-0,20m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.....	101
Figura 52. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para saturação por bases no solo nas profundidades de 0,20-0,40m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.....	101
Figura 53. Comparativo dos valores médios de fósforo no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS.....	138
Figura 54. Comparativo dos valores médios de matéria orgânica no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.....	139
Figura 55. Comparativo dos valores médios de pH no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.....	140
Figura 56. Comparativo dos valores médios de potássio no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.....	141
Figura 57. Comparativo dos valores médios de cálcio no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.....	142
Figura 58. Comparativo dos valores médios de magnésio no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.....	143

Figura 59. Comparativo dos valores médios de acidez potencial (H + Al) no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.	144
Figura 60. Comparativo dos valores médios de Alumínio Trocável (Al) no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.	145
Figura 61. Comparativo dos valores médios da capacidade de troca catiônica (T) no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.	146
Figura 62. Comparativo dos valores médios de Saturação por Bases (V) no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios de tamanho de partículas do solo da área experimental. Selvíria, MS, 2004.	28
Tabela 2. Características químicas do solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria-MS, 2004.....	28
Tabela 3. Resultados da análise química do lodo de esgoto, Selvíria, MS.	31
Tabela 4. Análise química para fins de toxicidade do lodo de esgoto utilizado de Araçatuba-SP.....	32
Tabela 5. Valores médios de fósforo no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de solo 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.	64
Tabela 6. Valores médios de matéria orgânica no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.	70
Tabela 7. Valores médios de pH no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.	75
Tabela 8. Valores médios de potássio no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS.....	79
Tabela 9. Valores médios de cálcio no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.	81
Tabela 10. Valores médios de magnésio no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.	84
Tabela 11. Valores médios de acidez potencial (H + Al) no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.....	88

Tabela 12. Valores médios de alumínio trocável (Al) no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.....	91
Tabela 13. Valores médios de capacidade de troca catiônica potencial (T) no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.....	94
Tabela 14. Valores médios de saturação de bases (V) no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.....	98
Tabela 15. Correlação linear entre os atributos químicos do solo nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS.....	137

SUMÁRIO

1. Justificativa.....	2
2. Introdução	5
2.1. Bioma Cerrado -----	5
2.2. Hidroeletricidade -----	6
2.3. Área de Empréstimo-----	7
2.3.1. Recuperação da área de empréstimo	8
2.4. Qualidade química do Solo-----	10
2.5. Sistemas Agroflorestais (SAF's)-----	12
2.6. Espécie arbórea Gonçalves-Alves (<i>Astronium fraxinifolium Schott</i>) -----	13
2.7. Adubação Verde -----	14
2.7.1. Feijão-de-Porco (<i>Canavalia ensiformis</i>)	16
2.7.2. Nabo Forrageiro (<i>Raphanus sativus L.</i>)	17
2.7.3. Crotalária-juncea (<i>Crotalaria juncea</i>)	18
2.8. Braquiária decumbens (<i>Brachiaria decumbens</i>) -----	20
2.9. Adubação Orgânica-----	21
2.9.1. Lodo de Esgoto	22
3. Material e métodos.....	25
3.1. Localização e características gerais da área experimental -----	25
3.2. Delineamento experimental e tratamentos-----	29
3.3. Instalação e condução da pesquisa -----	33
3.4. Análise química do solo -----	45
3.4.1. Determinação do Fósforo (P-Resina).....	45
3.4.2. Determinação do teor da Matéria Orgânica do Solo (MO)	46
3.4.3. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	50
3.4.4. Determinação de cátions trocáveis (K, Ca, Mg)	52
3.4.5. Determinação da Acidez Potencial (H+Al).....	55

3.4.6. Determinação do Alumínio Trocável (Al^{3+}).....	57
3.4.7. Capacidade de Troca de Catiônica (CTC)	58
3.4.7.1. Capacidade de Troca de Catiônica a pH_7 (T).....	59
3.4.8. Saturação por Bases (V%)	61
3.5. Forma de análise dos resultados -----	61
<i>4. Resultados e discussão</i>	<i>63</i>
4.1. Atributos Químicos-----	63
4.1.1. Fósforo (P-Resina)	63
4.1.2. Matéria Orgânica (M.O.).....	69
4.1.3. pH.....	74
4.1.4. Potássio (K).....	78
4.1.5. Cálcio (Ca)	80
4.1.6. Magnésio (Mg).....	83
4.1.7. Acidez Potencial (H+Al).....	87
4.1.8. Alumínio Trocável (Al^{3+}).....	90
4.1.9. Capacidade de Troca Catiônica (T).....	93
4.1.10. Saturação por Bases (V).....	97
<i>5. Conclusões</i>	<i>104</i>
<i>5. Conclusions</i>	<i>107</i>
<i>6. Referências Bibliográficas</i>	<i>110</i>
<i>APÊNDICES</i>	<i>136</i>

JUSTIFICATIVA

1. Justificativa

As propriedades químicas do solo dos solos tropicais têm características peculiares do bioma Cerrado. O baixo teor de matéria orgânica e fósforo e alto índice de pH do solo são as principais características. Essas características estão interligadas e são favorecidas pelo clima quente e úmido, proporcionando uma degradação muito rápida da matéria orgânica do solo.

O principal desafio no manejo dos solos de cerrado é o enriquecimento e manutenção do conteúdo de matéria orgânica do solo. Na recuperação de solos degradados, o desafio é maior ainda, devido a baixa resiliência desses solos e falta de material de regeneração desse solo.

Vários estudos têm sido realizados com o objetivo de verificar quais os materiais (adubos verdes, adubação mineral, lodo de esgoto, escórias, resíduos da produção de celulose) adicionados ao solo que são mais eficientes no enriquecimento de matéria orgânica do solo. Com o aumento da matéria orgânica do solo, há uma elevação do pH e com isso uma maior disponibilidade de todos os nutrientes essenciais para o

desenvolvimento das plantas. Criando assim ambiente favorável para o desenvolvimento de organismos no solo que vão atuar na melhoria das qualidades químicas e físicas do solo. Com a ação dos organismos do solo, há uma melhoria na estrutura do solo, pelo aumento dos agentes cimentantes e ação mecânica.

Pelo exposto foi desenvolvido este trabalho que teve como objetivo recuperar as propriedades de um Latossolo Vermelho, usado na terraplanagem e fundação da Usina hidrelétrica de Ilha Solteira, SP, utilizando adubos verdes e lodo de esgoto, sendo revegetado com *Astronium fraxinifolium*

INTRODUÇÃO

2. Introdução

2.1. Bioma Cerrado

O Cerrado possui uma área de 204 milhões de hectares, sendo o segundo maior bioma brasileiro, ocupando cerca de 24% do território nacional. Abrange como área contínua grande parte da região central do Brasil como os estados de Goiás, Tocantins, Distrito Federal, partes do estado da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia, Roraima e São Paulo e outras áreas (Sano et al., 2007). Característico dos ecossistemas que ocorrem no Brasil central, contém uma elevada biodiversidade representada pelas espécies de sua fauna e flora. Composto por um mosaico vegetacional que varia entre formações campestres, savânicas e florestais, o Cerrado compreende a vegetação predominante no Brasil Central (Eiten, 1993).

A diversidade das formações que compõem o Cerrado é um dos fatores que explica porque este é responsável por cerca de 33% da diversidade biológica brasileira (Aguiar et al., 2004). A lista de flora fanerogâmica conta com mais de 11.000 espécies nativas (Walter, 2006), sendo que destas, 40% são consideradas endêmicas (Mittermeier et al., 2004).

Considerada também região “berço” das águas, o Cerrado tem grande relevância no território brasileiro não somente pela extensão da área ocupada, mas principalmente pela

biodiversidade que abriga, pelo potencial de suas terras em produzir alimentos, por sua beleza natural e ainda por sua riqueza em recursos hídricos. Constitui uma região rica em água destacando a presença de três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Tocantins/Araguaia, São Francisco e Prata) que favorecem sua biodiversidade (Pereira, 2010)

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) (Brasil, 2002), estima-se que cerca de 10% do total mundial de água doce estão disponíveis no Brasil, tornando-o em termos quantitativos um dos mais ricos em água doce no mundo. Afirma ainda que 70% da água brasileira está na região Norte, onde está situada a bacia amazônica e vivem apenas 7% da população; a região Sudeste, que tem a maior concentração populacional (42,63% do total brasileiro), dispõe de apenas 6% dos recursos hídricos, e a região Nordeste, que abriga 28,91% da população dispõe apenas de 3,3%. Portanto, apenas 30% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 93% da população. O Cerrado que ocupa em torno de 25% do território nacional e contribui de forma significativa para a produção hídrica superficial de oito das doze grandes bacias hidrográficas brasileiras (Araújo et al., 2009). Dentre as oito bacias hidrográficas, três possuem estreita dependência das águas fornecidas pelo Cerrado, devido à elevada quantidade de nascentes. Estas correm para diferentes porções do Brasil, correspondendo a 78% do montante da bacia dos rios Araguaia/Tocantins; 70% da bacia do rio São Francisco e 48% da bacia do rio Paraná na qual está localizada a área do presente estudo.

2.2. Hidroeletricidade

No Brasil, água e energia têm uma forte e histórica interdependência, de forma que a contribuição da energia hidráulica ao desenvolvimento econômico do País tem sido expressiva, seja no atendimento das diversas demandas da economia - atividades industriais, agrícolas, comerciais e de serviços - ou da própria sociedade, seja na melhoria do conforto das habitações e da qualidade de vida das pessoas. Também desempenha papel importante na integração e no desenvolvimento de regiões distantes dos grandes centros urbanos e industriais. (Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2002). Grande parte da energia elétrica produzida provém de usinas hidrelétricas, nesse tipo de usina, é realizada a transformação da energia potencial da água represada em energia cinética, girando pás de

gigantescas turbinas, produzindo energia elétrica a partir do acionamento do eixo de um gerador. O tipo de hidrelétrica é em função, basicamente da vazão do rio e da queda disponível (Didonet, 2009).

Apesar destes empreendimentos hidroelétricos fazerem parte de um interesse coletivo da sociedade por elevar a qualidade de vida da população e trazer, benefícios energéticos, devem ser considerados, também, efeitos prejudiciais do empreendimento (Raquel Silveira, 2006), obras hidrelétricas, de uma forma geral, produzem grandes impactos sobre o meio ambiente, que são verificados ao longo e além do tempo de vida da usina e do projeto, bem como ao longo do espaço físico envolvido. Os impactos mais significativos e complexos ocorrem nas fases de construção e de operação da usina, os quais poderão afetar o andamento das próprias obras (Sousa, 2000).

Para (Rosa et al., 1995), a hidreletricidade, para condição brasileira, é considerada a melhor solução técnica e econômica, em face dos riscos ambientais e dos custos, se comparada com a energia nuclear. Sendo também a melhor alternativa de geração elétrica quando comparada com a termoeletricidade a combustíveis fósseis, pois tem como vantagens o fato de ser renovável e disponível no país a menor custo.

Entre os impactos estão as chamadas “áreas de empréstimo”, que são os locais de onde se retiram materiais para formação do corpo da barragem (Lopes & Queiroz, 1994). Na década de 60 foram iniciadas várias obras no estado de São Paulo com o intuito de cobrir a demanda. Na época não havia leis que exigissem relatórios de impactos ambientais; assim, a construção da usina hidrelétrica de Ilha Solteira, SP, acarretou alto nível de degradação no ecossistema da região e no solo de onde foi retirado o material para construção da fundação e paredes da barragem (Kitamura et al., 2008).

2.3. Área de Empréstimo

As áreas de empréstimo se constituem em um ecossistema degradado visto que tiveram eliminados, juntamente com a vegetação, seus meios de regeneração bióticos como o banco de sementes, banco de plântulas, chuvas de sementes e rebrota. Apresenta, portanto, baixa resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento (Chada et al., 2004). Para a recuperação é preciso selecionar e identificar espécies aptas às novas condições edáficas e que, de forma rápida, acelerem a estruturação e a formação dos

horizontes mais superficiais do solo (Campos & Alves, 2008). A adaptação e o desenvolvimento dessas espécies dependerão das condições físicas, químicas, biológicas e hídricas do solo além das condições do microclima local. A degradação das áreas de empréstimo consiste na remoção da vegetação original e na retirada da camada superficial do solo, expondo o horizonte C e causando compactação, perda de matéria orgânica e baixa disponibilidade de nutrientes, em que o substrato resultante não permite o desenvolvimento da regeneração natural da vegetação (Ferreira et al., 2007).

2.3.1. Recuperação da área de empréstimo

A restauração de ecossistemas exige, a princípio, resgatar as características originais do objeto em questão, assim, faz-se necessário utilizar elementos e técnicas semelhantes aos que deram origem ao objeto a ser restaurado, além de controlar os agentes que levam à descaracterização ou degeneração do mesmo. Esse princípio pode ser obedecido por estudos básicos, envolvendo inventários qualitativos e quantitativos de solo, planta e atmosfera, bem como estudos sobre a estrutura das comunidades, que podem ser realizados em áreas remanescentes próximas à área a ser restaurada (Durigan, 1999).

No planejamento de recuperação de uma área degradada, o grande desafio a ser alcançado é o estabelecimento de um horizonte A, para que a partir daí o processo seja catalisado pela biosfera, podendo surgir outros horizontes, conforme o condicionamento natural (Bitar, 1997). A revegetação de obras de barragem requer técnicas adequadas, sendo importante observar a interação positiva entre adubação mineral e adubação verde visto que nessas áreas foram removidas toda a vegetação e a camada fértil do solo (Campos et al., 2011). Deste modo, em trabalho de recuperação, a primeira atividade compreende a identificação e caracterização dos processos de degradação atuantes e a análise de suas consequências ambientais. Para isto, é necessário o uso de indicadores que traduzam quantitativa ou qualitativamente o grau da degradação existente e, ainda, permitam estimar a dimensão dos esforços técnicos e econômicos que deverão ser alocados na recuperação (Bitar, 1997).

A diversidade biológica, a intensidade e longevidade das perturbações determinam a resiliência dos ecossistemas. A resiliência indica a capacidade do ecossistema de se regenerar após alguma degradação natural ou antrópica (Aronson et al., 1993). Várias técnicas têm sido

utilizadas com o objetivo de recuperar solos degradados, a maioria delas combina práticas mecânicas, que visam romper camadas compactadas, com a adição de matéria orgânica. Várias fontes de matéria orgânica também têm sido utilizadas.

A adição de várias fontes de matéria orgânica tem sido utilizada com o objetivo de melhorar as propriedades do solo. O fornecimento contínuo de material orgânico pela serrapilheira e/ou por excreções radiculares, cujos subprodutos são constituídos por moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atua como agente de formação e estabilização dos agregados, proporcionando uma melhor estruturação do solo (Campos et al., 1995; Campos; Alves, 2008).

Os efeitos promovidos pela adubação verde nas propriedades químicas do solo são bastante variáveis, dependendo da espécie utilizada, do manejo dado à biomassa, da época de semeadura, do corte do adubo verde, do tempo de permanência dos resíduos no solo, das condições locais e das interações desses fatores (Alcântara et al., 2000).

Nesta circunstância, é imprescindível a elaboração de projetos de restauração de ambientes degradados, com intuito de diminuir os prejuízos ao meio físico e conseqüentemente a sociedade (Pereira et al., 2010). A revegetação ou reflorestamento é uma medida bastante utilizada para esta finalidade e de acordo com a literatura tem proporcionado resultados satisfatórios nos diferentes estudos realizados. A implantação de espécies arbóreas é um procedimento que permite pular as etapas iniciais da sucessão natural, onde surgem primeiramente espécies herbáceas e gramíneas que enriquecem o solo com matéria orgânica e alterando as suas características, permitem o aparecimento de indivíduos arbustivo-arbóreos.

As plantas leguminosas, devido à sua ampla diversidade de espécies e ao seu papel na dinâmica dos ecossistemas, apresentam enorme potencial para a revegetação, razão pela qual, estão sendo sistematicamente inseridas em projetos técnicos ambientais. A revegetação é uma estratégia de conservação fundamental para melhorar os atributos físicos e químicos dos solos, além de fornecer através da cobertura vegetal, a proteção necessária para diminuir a perda de sedimentos por erosão, principalmente por erosão hídrica (Guerra, 1995). A diversidade das espécies florestais é de grande importância para recuperação de áreas degradadas, pois acarreta vários benefícios, como, a melhoria da qualidade dos solos devido ao aporte de matéria orgânica e da redistribuição dos nutrientes. Tendo ciência da importância da cobertura vegetal para o terreno é também necessário ter o conhecimento básico pertinente ao manejo do solo e dos mecanismos de sucessão ecológica relacionados à capacidade das

espécies de se estabelecerem em locais degradados. A escolha dessas espécies, principalmente aquelas que reiniciarão a sucessão local obrigatoriamente deverá atender um conjunto de quesitos associados às condições edáficas locais e um máximo grau de interação com a biota. (Carpanezzi, 1998).

2.4. Qualidade química do Solo

A degradação do solo pode-se acontecer em função da perda de qualidade química caracterizada pela diminuição dos teores originais de matéria orgânica e de importantes elementos minerais, para valores abaixo dos considerados críticos para produtividade agrícola (Queiroz, 2013). A perda da qualidade física pode ser resultante de processos de desagregação, de compactação superficial e subsuperficial do solo (Richart et al., 2005).

A redução da matéria orgânica e nutrientes do solo, proporcionam a deterioração da qualidade biológica do solo com redução da atividade microbiana e da biodiversidade do solo (Araújo & Monteiro, 2007). Esses fatores tornam-se muito mais deletérios em ambientes onde predominam os chamados solos frágeis. Os solos frágeis, como por exemplo, os Neossolos Quartzarênicos são compreendidos como os que estão perdendo aceleradamente o potencial produtivo, ou seja, a capacidade de suprir em nutrientes, água e oxigênio para as plantas, em função da intensidade de uso e manejo aos quais têm sido submetidos (Queiroz, 2013).

A maioria do pensamento em relação à qualidade do solo está centrada na identificação de características capazes de servir como indicador de qualidade do solo. Pesquisadores, agricultores e instituições governamentais têm interesse em obter indicadores de qualidade do solo para avaliar terras, em relação à degradação, estimar necessidades de pesquisa e de financiamentos e julgar prática de manejo, a fim de monitorar mudanças nas propriedades e nos processos do solo, na sustentabilidade e na qualidade ambiental, que ocorram no tempo, em resposta ao uso da terra e as práticas de manejo (Karlen et al., 2001). A qualidade química do solo é um dos fatores mais rapidamente afetado pelos processos de degradação. Spagnollo (2004) em seu trabalho afirma que mudança no uso da terra diminui a qualidade do solo, principalmente o cultivo em áreas anteriormente ocupadas por vegetação nativa. O pH, capacidade de troca catiônica (CTC), condutividade elétrica do solo (CE), teores de macro e micronutrientes, e os estoques de matéria orgânica do solo (MOS) estão

entre as propriedades químicas do solo que são influenciadas pelo tipo de uso da terra e utilizadas como indicadores de qualidade do solo (Gomes & Filizola, 2006).

Trabalhando com a cultura da cana-de-açúcar em Nova Guiné, (Hartemink, 1998) observou que o uso do solo durante 17 anos com culturas anuais resultou em alterações nas propriedades químicas e físicas do solo, indicando um sistema insustentável ao longo do tempo. As principais alterações foram diminuições nos teores de MOS, fósforo, potássio, CTC e aumento na densidade do solo, quando comparado à vegetação natural.

Avaliando os atributos químicos de um Argissolo Vermelho em pomar orgânico de citros com manejo da vegetação nas entrelinhas no Rio Grande do Sul, (Muller et al., 2011) observaram incremento nos teores de P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e matéria orgânica do solo na camada de 0-40 cm em relação a área adjacente com vegetação nativa. A aplicação de compostos orgânicos de características alcalinas contribuiu para elevar o pH, teor de MOS e de nutrientes no solo sob cultivo orgânico. Os valores de MOS são responsáveis, em grande parte, pelo aumento nos valores de CTC e disponibilidade de nutrientes para as plantas. Em estudo realizado na Zona da Mata Mineira avaliando as propriedades químicas do solo sob laranja, cana-de-açúcar, pastagem e mata nativa, (Portugal et al., 2010) observaram que os sistemas agrícolas com laranjeira e canavial melhoraram a condição química do solo, aumentando os teores de nutrientes e diminuindo o Al³⁺ do complexo de troca, porém apresentaram redução dos teores de MOS. Por outro lado, o sistema com pastagem apresentou baixa fertilidade e caráter distrófico e redução acentuada do teor de MOS. Os valores de H + Al na área de laranjeiras foram maiores 14 entre os usos agrícolas na camada de 0-40 cm de profundidade, o que não aconteceu com o Al³⁺, indicando que a diferença na acidez potencial nesse ambiente deve-se ao maior valor de H⁺. Isso se explica pelo maior teor de matéria orgânica observado na laranjeira, já que a matéria orgânica do solo apresenta vários grupos funcionais, especialmente os grupos carboxílicos e fenólicos, que podem liberar o H⁺ que irá compor os íons envolvidos na capacidade de troca de cátions do solo (CTC).

Os teores de P disponível foram maiores também nas áreas com laranjeira e canavial, enquanto a mata e a pastagem apresentaram os menores valores. Os maiores valores de P disponível nos solos com laranjeira e canavial justificam-se pelo uso de adubações fosfatadas nesses sistemas agrícolas, em que há uma agricultura mais tecnificada, com uso de insumos. Além disso, os maiores valores de K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ e os menores de Al³⁺ na laranjeira e cana devem-se ao maior nível tecnológico adotado, com realização de correções químicas do solo

nesses ambientes, repondo os nutrientes exportados pela produção e, ou, perdidos pela erosão e lixiviação (Sousa et al., 2007).

2.5. Sistemas Agroflorestais (SAF's)

Os sistemas agroflorestais, por definição, é uma forma de uso da terra onde espécies perenes (lenhosas) são cultivadas juntamente com espécies herbáceas (cultivos anuais e ou pastagens), obtendo-se benefícios das interações ecológicas e ou econômicas advindas desta combinação. Existem diversos tipos de sistemas agroflorestais, compostos por diferentes espécies e sob diferentes tipos de manejos, porém em todos eles a biodiversidade presente é sempre muito maior que em monocultivos, sendo responsável pela melhoria da fertilidade dos solos, garantindo maior sustentabilidade. A sustentabilidade resulta da diversidade biológica promovida pela presença de diferentes espécies vegetais, que exploram nichos diversificados dentro do sistema. A diversidade de espécies vegetais utilizadas nos SAF's forma uma estratificação diferenciada do dossel de copas e do sistema radicular das plantas no solo (Macedo, 2000).

A principal vantagem dos SAF's em comparação aos sistemas convencionais de uso do solo e restauração ambiental é o aproveitamento mais eficiente dos recursos naturais pela otimização do uso da energia solar, pela reciclagem de nutrientes, pela manutenção da umidade do solo e pela proteção do solo contra a erosão e a lixiviação. O resultado é um sistema potencialmente mais produtivo e sustentável. Os SAF's são considerados como uma das alternativas de uso dos recursos naturais que normalmente causam pouca ou nenhuma degradação ao meio ambiente, principalmente por respeitarem os princípios básicos de manejo sustentável dos agroecossistemas (Macedo et al, 2000). Em restauração de áreas degradadas, este sistema é bastante adequado, pois promove a estruturação do solo e aumenta os níveis de nutrientes no solo em função de uma maior eficiência de ciclagem de nutrientes, promovida pelas raízes e pelo acúmulo de serapilheira (Vaz, 2002).

Fávero (2008) demonstrou por meio de atributos químicos do solo que a adoção de SAF's na recuperação de pastagem degradada se mostrou eficaz na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais. Já no trabalho realizado por (Arato et al., 2003), a utilização de SAF's permitiu boa taxa de decomposição de serapilheira em uma área degradada na cidade Viçosa, Minas Gerais, o que indica a possibilidade da utilização desses sistemas

agroflorestais na recuperação de áreas degradadas. (Caldeira-Júnior et al., 2007) avaliando o potencial do Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) como planta capaz de recuperar áreas degradadas no Norte de Minas, mostrou um desenvolvimento satisfatório quando adubada com lodo de esgoto, porém não recomenda a utilização de silicato e ressalta a importância e a carência de estudos.

Embora existam muitos métodos de recuperação disponíveis na literatura, é importante salientar a complexidade dos fenômenos envolvidos, não somente ecológicos. As condições sociais e econômicas podem apresentar relação direta ou indireta com os agentes de degradação sendo, portanto, necessários o conhecimento desses aspectos para que se possam cumprir as metas de recuperação (Felfili et al., 2000)

2.6. Espécie arbórea Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium* Schott)

O Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium* Schott), espécie da família Anacardiaceae, possui grande importância econômica, produzindo madeira de excelente qualidade, muito usada na construção civil e naval (Aguilar, 2001). A planta tem ocorrência ampla no cerrado brasileiro e apresenta desenvolvimento rápido no campo, chegando a atingir cerca de três metros aos dois anos de idade (Lorenzi, 2014).

Ecologicamente é classificada como planta decídua, heliófila e pioneira que habita as matas secas e cerrados do Brasil Central, Nordeste e Hiléia Amazônica (Lorenzi, 2014). Espécie de grande importância econômica por produzir madeira de qualidade, muito usada na construção civil, naval e indústria de móveis, pois usa-se para mobiliária de luxo, objetos de adorno e torneados (Jenrich, 1989). O seu elevado valor comercial e a predominância na floresta estacional sugerem a possibilidade de implantação de planos de manejo nas diversas 5 regiões de ocorrência dessa espécie e de outras de valor econômico, e com isso assegurar a permanência de madeiras nobres no mercado (Haidar, 2008). É uma árvore que atinge até 30 m de altura, com tronco reto, cilíndrico e de madeira muito pesada e durável. A casca é adstringente e utilizada contra diarreias e no tratamento de hemorróidas; as folhas possuem ação anti-séptica, indicadas no tratamento de úlceras da pele; as raízes, quando maceradas, e sob forma de infusão, podem ser usadas no tratamento de reumatismo (Jenrich, 1989). Os frutos são secos alongado-arredondados ou alongado-finos, cinzaescuros, com cerca de 1,5 cm de comprimento, sendo adornados por uma estrutura membranácea, o cálice da flor, e com

uma única semente cilíndrica. A espécie tem ocorrência ampla no cerrado brasileiro e apresenta desenvolvimento rápido no campo, (Lorenzi, 2014). Portanto com a atual degradação do cerrado, (Salati et al., 2006), relata a grande importância para o futuro do Brasil, tanto pelos seus produtos gerados quanto pelo equilíbrio e pela estabilidade de todo o ecossistema.

(Feitosa et al., 2011) estudando crescimento de mudas de Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium*) sob diferentes fontes e doses de nitrogênio, observaram que somente as doses influenciam no desenvolvimento do Gonçalo-Alves, afirmando que 72,5 mg.dm⁻³ de nitrogênio como suficiente para o crescimento satisfatório dessas mudas. (Caldeira-Júnior et.al., 2007) recomendam a dose de 4,0 a 5,0 litros de lodo de esgoto por cova quando no campo para recuperação de área degradada.

Com relação a questão econômica utilizando a espécie arbórea Gonçalo-Alves em consórcio a adubos verdes com e sem lodo de esgoto para recuperação de área degradada (Miranda et al., 2011) relatam que tratamento braquiária mais lodo de esgoto é o mais econômico, considerando-se um período de cinco anos, além dos benefícios ambientais relacionados ao descarte viável deste resíduo pelas estações de tratamento de esgoto.

2.7. Adubação Verde

Entende-se por adubação verde o cultivo de espécies vegetais capazes de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo, e como consequência, a sua capacidade produtiva (Carlos et al., 2006). Essa melhoria é conseguida através da massa vegetal que após o corte das plantas, é deixada sobre a superfície do solo como cobertura ou incorporada ao mesmo (Meelu, et al., 1994). Quando as plantas são incorporadas atuam como condicionadoras do solo. Quando as plantas permanecem a superfície do mesmo, representam plantas de cobertura, atuando também como condicionadoras do solo (Amabile & Carvalho, 2006) entretanto, após períodos mais longos, uma vez que a velocidade de degradação do material vegetal é mais lenta.

A manutenção dos adubos verdes após o corte em superfície favorece a sua decomposição lenta e gradual, liberando compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade dos agregados do solo (Bertol et al., 2004). Além disso, estimulam o crescimento

e a atividade dos organismos importantes para a transformação e liberação dos nutrientes (Filser, 1995).

Em relação as propriedades químicas do solo, a adubação verde possibilita a mobilização e reciclagem de nutrientes, incorporação de nitrogênio fixado (no caso de leguminosas), entre outros efeitos, devido a adição de matéria orgânica (Calegari et al., 1992). Os resíduos vegetais contem nutrientes em formas orgânicas lábeis, que podem se tornar disponíveis para a cultura subsequente, mediante a mineralização (Bayer & Mielniczuk 1997) observaram diminuição da acidez do solo e do alumínio trocável, aumento do fósforo disponível, do cálcio e magnésio trocáveis após a adubação.

Várias espécies vegetais podem ser utilizadas como adubo verde, sendo que as de maior destaque pertencem a família das leguminosas, devido a capacidade de fixação biológica de nitrogênio atmosférico. Segundo (Espindola et al., 2005), esse incremento pode minimizar a dependência de insumos externos e tornar possível a autossuficiência em nitrogênio na unidade de produção. As leguminosas também são importantes porque apresentam alta mobilização e absorção específica de nutrientes, produção de grande quantidade de fitomassa, sistema radicular profundo e ramificado, permitindo a maior extração e reciclagem de nutrientes (Amabile & Carvalho, 2006).

Em uma área seriamente degradada de baixa fertilidade e pobres condições físicas (Zhang & Fang, 2007), testaram tratamentos com adubo verde (*Lolium perenne*), adubo orgânico (dejeito bovino) e fertilização química incorporados a duas profundidades (0,20 e 0,35-0,45 m). Sugerem que, para a restauração da qualidade do solo de forma rápida, o uso de adubo verde combinado a adubo orgânico incorporado a 0,40 m seria a melhor opção do que a fertilização química, obtendo assim melhor desempenho nas propriedades do solo: decréscimo na densidade do solo e aumento da fertilidade e da infiltração do solo.

Melhorias no solo também foi relatado por (Nascimento et al., 2003) estudaram o efeito de leguminosas nas características químicas de um Luvisolo degradado, testaram 13 espécies. Os resultados mostraram efeitos significativos das leguminosas sobre a fertilidade do solo, em comparação com a testemunha, com incrementos significativos de pH e de cátions trocáveis, refletindo positivamente na CTC e no índice de saturação por bases. Na matéria orgânica não ocorreu efeito significativo entre leguminosas e testemunha. (Longo et. al., 2011) testando os efeito de seis tipos de coberturas vegetais

(*Brachiaria humidicola* (Braquiária), *Cajanus cajan* (Feijão guandu), *Mucuna aterrima* (Mucuna preta), *Cajanus cajan* (Feijão guandu) + *Brachiaria humidicola* (Braquiária); *Mucuna aterrima* (Mucuna preta)+ *Brachiaria humidicola* (Braquiária) e solo nu) e quatro tipos de adubação química e orgânica na recuperação de solos degradados por mineração na floresta amazônica verificaram que a adubação química, orgânica e calagem, bem como o plantio de adubos verdes e gramíneas como cobertura, alteraram a fertilidade do solo, mas não modificaram o teor de matéria orgânica e propriedades físicas nos 15 meses estudados e há uma necessidade de um tempo maior de utilização da adubação para que se obtenha resultados significativos para estes parâmetros, quando se pretende a recuperação de solos degradados por atividades minerais pelo uso de diferentes formas de adubação.

2.7.1. Feijão-de-Porco (*Canavalia ensiformis*)

Canavalia ensiformis conhecida comumente como feijão de porco é uma planta da família *fabaceae* muito cultivada como cobertura verde, suas raízes possuem associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio dispensando a utilização de fertilizantes nitrogenados, no entanto é pouco utilizada, pois não é, muito aceita por parte dos animais. O valor principal dessa espécie aparece em sua notável rusticidade e poder de adaptação aos solos de baixa fertilidade com propriedade de imediatamente enriquecê-los (Mendes, 2011).

É uma leguminosa anual ou bianual, herbácea, rasteira, apresenta um crescimento ereto e determinado de início lento podendo atingir 1,2 m de altura e é amplamente cultivada nos países tropicais como cobertura verde. Suas folhas são alternadas, trifolioladas com folíolos grandes elíptico-ovais, de cor verde-escura brilhante, com nervuras bem violácea ou roxa. Suas vagens são achatadas, largas e compridas, coriácea, bivalvas com estrias longitudinais e possui de 4 a 18 sementes. Estas sementes são grandes, de forma arredondada-ovalada, de cor branca ou rosada com hilo oblongo de cor parda, de cor branca (Rodrigues, 2004).

Esta espécie é resistente às altas temperaturas e à seca, mas não suporta as geadas e é tolerante ao sombreamento parcial. Desenvolve-se bem em solos ácidos e adapta-se praticamente a todos os tipos de solos (argilosos, arenosos), inclusive aqueles pobres em fósforo. A planta é excepcionalmente resistente ao ataque de insetos, esta resistência é atribuída à presença de metabólitos secundários, como a canavanina (Rosenthal & Dahlman,

1986) e às uréases e seus metabólitos (Stanisçuaski & Carlini, 2012). O seu plantio pode ser solteiro ou consorciado com milho, café, citrus e outras culturas. É uma planta que cobre bem o solo e apresenta importante efeito alelopático às invasoras, como a tiririca (*Cyperus rotundus*). Tem convivido, sem maiores problemas, com a presença de viroses (Wutke et al., 2007).

(Machado et al., 2014) testando dois tipos de plantas de cobertura (*Calopogonium mucunoides* e *Canavalia ensiformis* para recuperação de uma área degradada (ravina), relataram que o feijão de porco se adapta bem as condições adversas do solo, entretanto, notou-se que devido sua forma de crescimento, é necessário que este seja utilizado em consorcio com outras espécies, preferencialmente de crescimento mais lento, e com maior densidade de cobertura do solo para que haja efetivamente um controle sobre a ação dos processos erosivos.

(Heinrichs et al., 2005) avaliando as alterações nas características químicas do solo, mediante a utilização de vários adubos verdes em consórcio com milho observaram que o feijão-de-porco, em comparação com mucuna anã, guandu anão, crotalária e plantas invasoras, apresentou maior produção de fitomassa e acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre e no segundo ano consorciado com o milho, este foi beneficiado pelo feijão-de-porco, semelhante resultados foram relatados por (Nascimento et al., 2003), quando estudaram o efeito de leguminosas nas características químicas de um Luvisolo degradado, concluíram que guandu (*Cajanus cajan*, L.), guandu anão (*Cajanus ca jan* L. Millsp), lab-lab (*Dolichos lab-lab*, L.), mucuna preta (*Stylobium aterrimum*, L.), cunhã (*Clitoria ternatea* L.), calopogônio (*Calopogonium mucunoides*, L), mucuna cinza (*Stylobium cinereum* Piper e Tracy), siratro (*Macroptilium atropurpureum*, L), crotalária (*Crotalaria juncea*, L.), feijão-de-porco (*Canavalia ensiforme*, L.), kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*, L.) e leucena (*Leucaena leucocephala*, L.) após dois anos de cultivo não alteraram o teor de matéria orgânica do solo, porém diminuíram a significativamente a acidez e aumentaram a disponibilidade de potássio e magnésio.

2.7.2. Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus* L.)

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* var. *Oleiferus*) é originário da Ásia Oriental e Europa, é pertencente à família Brassicaceae (Cultura, 2003), é uma crucífera, anual,

alógama, herbácea e ereta (Derpsch & Calegari, 1992). Tem sido empregada nas regiões Sul e Centro-Oeste e no Estado de São Paulo, como adubo verde de inverno ou planta de cobertura, em sistemas de cultivo conservacionistas (Crusciol et al., 2005). Dentre muitos benefícios no solo há também o produto final onde por meio do processamento para a obtenção do biodiesel, obtém-se o farelo de nabo forrageiro que apresenta alto teor protéico (em torno de 40,0%), com potencial para ser utilizado na alimentação animal (Cultura, 2003).

Crusciol et al., (2005) analisando a persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto, verificaram que o nabo forrageiro produz, até o estágio de pré-florescimento, elevada quantidade de parte aérea em cultivo de inverno, acumulando 57,2, 15,3, 85,7, 37,4, 12,5 e 14,0 kg ha⁻¹, respectivamente, de N, P, K, Ca, Mg e S, bem como apresentou rápida degradação da palhada, liberando quantidades substanciais de micronutrientes, principalmente potássio e nitrogênio para cultura subsequente. Em contrapartida em estudos de recuperação de área degradada no Corredor de Biodiversidade Santa Maria, localizado entre os municípios de Santa Terezinha de Itaipu e São Miguel do Iguçu-PR (Fragoso et al., 2016), observaram que o nabo forrageiro e outros adubos verdes não influenciaram o desenvolvimento das mudas, alterações das características do solo e quantidade de massa seca das espécies invasoras.

(Nakayama et al., 2014), observaram que a utilização de nabo forrageiro em consórcio com braquiária proporcionou melhoras significativas apenas para resistência a penetração e não para as propriedades químicas na recuperação de um Argissolo Vermelho-Amarelo degradado na região de Dracena-SP.

2.7.3. Crotalária-juncea (*Crotalaria juncea*)

A crotalária-juncea é uma leguminosa subarborescente, originária da Índia e Ásia tropical, de porte alto (2 a 3 m), com caule ereto, semilenhoso, ramificado na parte superior. É uma planta anual, de crescimento inicial rápido, com efeito alelopático e/ou supressor de invasoras bastante expressivo. Em relação ao clima é uma planta de clima tropical e subtropical, muito afetada por geadas, apresenta bom comportamento nos solos argilosos e arenosos (Calegari et al., 1993). Segundo (Souza & Pires, 2002), esta espécie é uma das mais utilizadas para adubação verde no Brasil.

O ciclo completo da cultura é em torno de 270 a 300 dias. O corte da biomassa deve ser realizado na fase de pré-florescimento, ao redor de 100 dias, em razão de apresentar posteriormente um elevado desenvolvimento do caule, dificultando a operação (Calegari et al., 1993). Dentre as diversas leguminosas usadas como adubo verde, a crotalária é muito eficiente como produtora de massa vegetal e como fixadora de N (Salgado et al., 1982).

Cunha et al., (2011) avaliando os atributos químicos, preparo do solo e plantas de cobertura como crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), sorgo vassoura (*Sorgum technicum*) e pousio, concluíram que depois de quatro anos as plantas de cobertura dentre elas a crotalária não diferiram entre si quanto aos seus efeitos nos atributos químicos do solo, seja sob semeadura direta ou sob preparo convencional do solo porém elevaram apenas o teor de matéria orgânica em relação ao pousio. Corroborando em parte o trabalho acima citado (Nunes et al., 2011) avaliando o efeito dos adubos verdes crotalária e ervilhaca peluda, associadas a doses de nitrogênio em adubação de cobertura, no desempenho agrônômico da cultura do trigo em sistema plantio direto, concluíram que o cultivo de crotalária antecedendo à semeadura do trigo promove acréscimos significativos na produtividade da cultura, devido ao aumento da matéria orgânica e sua mineralização, ainda com relação ao acúmulo de matéria orgânica semelhante resultado foi encontrado por (Silva et al., 2002) avaliando a produção de matéria verde e seca e quantidade de nutrientes incorporados ao solo pelo cultivo intercalar de diversas espécies para adubo verde em pomar de laranja-pêra, onde a *C. juncea* foi a espécie que mais destacou-se como produtora de biomassa (13,1 Mg ha⁻¹ de matéria seca) e incorporadora de nutrientes.

Em um experimento realizado por (Menegucci et al., 1995), em um pomar de citros, observaram-se modificações nos parâmetros de fertilidade analisados nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm em área com e sem *Crotalaria juncea* para adubação verde. Na camada de 0-20 cm do solo, a *Crotalaria juncea* não promoveu alterações aparentes nas variáveis e na camada de 20-40 cm, verificou-se que a *Crotalaria juncea* aumentou a soma de bases, a capacidade de trocas de cátions efetiva, o teor de C, os teores de Ca e Mg e reduziu a acidez potencial.

2.8. Braquiária decumbens (*Brachiaria decumbens*)

As *Brachiarias* spp pertencem à família Poaceae (Catasús et al., 1997). O gênero *Brachiaria* é atualmente conhecido taxonomicamente como gênero *Urochloa* (Silva et al., 2001). É caracterizada como uma gramínea perene, estolonífera, de hábito de crescimento de semi-ereto a prostrado. Pode alcançar de 30 a 100 cm de altura. Suas raízes são fortes e duras, com presença de pequenos rizomas. A inflorescência é em forma de panícula racemosa, de 25 a 47 centímetros de altura. É formada de dois a cinco racimos de 4 a 10 centímetros de comprimento. As sementes são de tamanho médio, arredondadas e férteis, o que facilita a sua disseminação (Medeiros, 2004). Originária da África equatorial, a *Braquiária decumbens* pode se desenvolver em solos férteis, ácidos (pH aproximadamente 4,2), assim como em solos que são calcários e pedregosos com pH próximo a 8,5. Também se estabelece em clima moderadamente úmido, porém não tolera inundações prolongadas (Chamorro et al., 1998).

(Cerri et al., 1996) verificou que o teor de carbono orgânico total foi maior no solo sob pastagem e menor no solo da área degradada, o que corrobora com vários estudos na qual revelam a maior presença de carbono orgânico em solos sob pastagens em relação a outros sistemas. Em razão da eficiência fotossintética e do sistema radicular fasciculado e abundante, as gramíneas proporcionam constante aporte de material orgânico ao solo, o que se torna de extrema importância para áreas degradadas.

Suzuki & Alves (2006) analisando os efeitos das adubações verdes e orgânicas na produtividade de braquiária em Latossolo Vermelho degradado, verificou que após 274 dias de semeadura a produtividade da massa seca da braquiária (*Brachiaria decumbens*) aumentou aproximadamente 28 vezes, passando de 366 kg ha⁻¹ aos 88 dias para 10.133 kg ha⁻¹. Alves (2001), estudando a produtividade de massa seca de braquiária num solo em recuperação há sete anos, verificou produção de 7.000kg ha⁻¹, porém sem haver corte da fitomassa no ano.

A *Brachiaria decumbens* cultivar Basilisk é uma opção para cultivo em solo degradado, pois se desenvolve bem em áreas de solos de baixa fertilidade, mas a produtividade de massa seca aumenta consideravelmente com a melhoria dos níveis de fertilidade (Valle; Euclides; Macedo, 2004). Está amplamente difundida e instalada em todo o Brasil Tropical úmido a vários anos, como planta forrageira para bovinos, ocupando posição destacada entre as principais pastagens utilizadas.

2.9. Adubação Orgânica

Existe uma grande diversidade de resíduos que podem ser utilizados na composição de fertilizantes orgânicos, como esterco, lodos, restos vegetais, entre outros (Edwards, 2004). A utilização de fertilizantes orgânicos alcança maiores proporções em cultivos orgânicos e na produção de mudas de hortaliças e espécies florestais, embasada fundamentalmente na redução do uso de fertilizantes minerais (Antoniolli et al., 2009).

O uso de fertilizantes químicos cumpre seu papel significativamente no que se refere a produtividade vegetal; no entanto, quando o objetivo é a melhoria da qualidade solo, os adubos orgânicos (dejeito suíno) apresentam um desempenho muito superior, estabilizando valores de pH, disponibilizando sais solúveis, diminuindo a compactação, e com o aumento do carbono orgânico no solo favorece também a ação cimentante nos agregados tal qual constitui a estrutura do solo (Kiehl, 1979), o baixo custo de produção, o acúmulo de carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo orgânico (Po) no solo, e sua disponibilização gradual de nutrientes para as plantas (Boeira; Maximiliano, 2009)

Um dos maiores empecilhos para a aceitação e disseminação da utilização destes fertilizantes está relacionado ao reduzido número de informações sobre a caracterização química e a resposta agrônômica em diferentes culturas (Antoniolli et al., 2009). A aplicação de fertilizantes orgânicos ao solo deve ser realizada segundo critérios técnicos (Melo et al., 2008), onde as necessidades nutricionais das culturas precisam ser consideradas, principalmente em relação ao nitrogênio, evitando escoamento e percolação de nitrato, poluente potencial de mananciais hídricos (Mantovani et al., 2006).

Diferentemente dos fertilizantes minerais, que são solúveis e disponibilizam os nutrientes assim que adicionados ao solo, nos fertilizantes orgânicos os nutrientes estão presentes predominantemente na forma orgânica e necessitam passar pelo processo de mineralização para então ficarem disponíveis na solução do solo. Os potenciais de mineralização do nitrogênio e do fósforo representam a fração destes nutrientes na forma orgânica, suscetíveis à mineralização, tornando-se então disponíveis às plantas (Camargo et al., 1997), passando da forma orgânica para forma inorgânica (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , respectivamente) (Moore et al., 2010). O potássio não forma complexos orgânicos, e tem sua importância avaliada principalmente pela disponibilidade no solo

Analisando o efeito da adubação mineral e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização de *Stryphnodendron polyphyllum* Calgaro et al., (2008) observaram que após um ano não importando o tipo de adubação o solo apresentou caráter ácido e pobreza de nutrientes, porém o tratamento que continha adubação mineral, calagem e resíduo orgânicos obtiveram crescimentos significativos das plantas, em relação ao tipo de resíduo o agupé proporcionou uma maior taxa de micorrização e esporulação do que o bagaço de cana.

2.9.1. Lodo de Esgoto

O esgoto, que é o resíduo proveniente das descargas domésticas, industriais e rurais contém em médias 99,9% de água e 0,1% de sólidos. A porção sólida contém 70% de material orgânico (proteínas, carboidratos, gorduras, etc) e 30 % de material inorgânico, que é constituído principalmente de areia, sais e metais (Fernandes, 2000).

Segundo (Ferreira et al., 1999), os esgotos geralmente são constituídos por despejos doméstico, águas pluviais e de infiltração, provenientes principalmente de residências, edifícios comerciais e instituições. Os esgotos industriais são provenientes da utilização de água para diversas finalidades, com características próprias conforme a finalidade da indústria e do tipo de tratamento utilizado, entre outros fatores. O manejo do lodo compreende operações como adensamento, desaguamento, estabilização e desidratação.

Do ponto de vista agrônômico, o lodo de esgoto é um material rico em matéria orgânica, com grandes quantidades de nutrientes que podem ser utilizados na lavoura, como fertilizantes e condicionador de solos, mas podem gerar problemas ambientais com a presença de metais pesados e microrganismos patogênicos (Mello & Marques, 2000), portanto o lodo de esgoto pode fornecer N as plantas em quantidades satisfatórias, além de outros elementos, como P, Ca, Mg, Zn e Cu. Como é tratado com cal, para desinfetá-los de agentes patogênicos, o biossólido atua como neutralizador de pH, sendo mais indicado o seu uso para solo ácido, que corresponde a maioria dos solos brasileiros (Guedes, 2000).

O uso de lodo de esgoto na recuperação e revegetação de solos degradados deve ser extensivamente estudado, pois a aplicação apropriada desse resíduo pode contribuir para a revegetação dos solos de maneira segura para o ser humano e o ambiente (Fernandes, 2000).

Geralmente são utilizadas grandes dosagens de lodo de esgoto, potencializando o aporte de maiores quantidades de elementos indesejáveis, proporcionalmente à composição do lodo. Atualmente as taxas de aplicação para a recuperação de solos variam de 7 a 450 toneladas secas por hectare, sendo que a taxa de aplicação típica é de 112 toneladas secas por hectare. A taxa de aplicação é definida em função da quantidade de matéria orgânica e nutriente necessários ao solo, para suportar a vegetação até que o ecossistema de autosustentação seja estabelecido. Normalmente, o lodo de esgoto é aplicado e incorporado ao solo em uma única vez, após a qual será realizada semeadura (Tamanini, 2004).

A aplicação do lodo de esgoto em áreas degradadas traz benefícios às propriedades do solo devido às suas características. Como a área degradada se caracteriza por não fornecer condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação em função da falta de matéria orgânica e de nutrientes no solo e da atividade biológica, a adição do lodo de esgoto apresenta uma série de características que favorecem a recuperação e o reaparecimento da vegetação, verificando-se respostas maiores em solos com problemas de estrutura e fertilidade (Melo; Marques, 2000; Tsutuya et al., 2001).

Poggiani et al., (2000) afirma que o uso de biossólidos em plantações florestais proporciona de forma contínua a liberação de nutrientes para o sistema radicular das árvores ao longo de vários anos, garantindo assim a manutenção dos teores minerais na plantas. Corroborando com a afirmação dos autores supracitados (Tsutuya et al., 2001) relatam a influência do lodo de esgoto na retenção do C orgânico provoca aumento significativo do mesmo e da capacidade de troca catiônica do solo. Sendo assim, a reciclagem agrícola do lodo, bem como qualquer outra forma de manejo de matéria orgânica do solo, explora os benefícios diretos da melhoria das condições físicas do solo e do aumento da produtividade e devem ser estimuladas para compor políticas globais do balanço do ciclo do carbono.

MATERIAL E MÉTODOS

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características gerais da área experimental

A área experimental está situada na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Área de Produção Animal, no município de Selvíria, MS. Localiza-se à margem direita do rio Paraná, nas coordenadas geográficas de 51° 22' de longitude Oeste de Greenwich e 20° 22' de latitude Sul, com altitude de 327 metros (Figura 1).

As médias anuais da região de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar são de: 1370 mm, 23,5° C e 75 %, respectivamente. O tipo climático segundo Köppen é Aw, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. O período chuvoso se estende de outubro a março, sendo que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro constituem o trimestre mais chuvoso, e o trimestre mais seco corresponde aos meses de junho, julho e agosto (média de 27 mm). O relevo da região é caracterizado como moderadamente plano a ondulado e a vegetação nativa é cerrado (Figura 2).

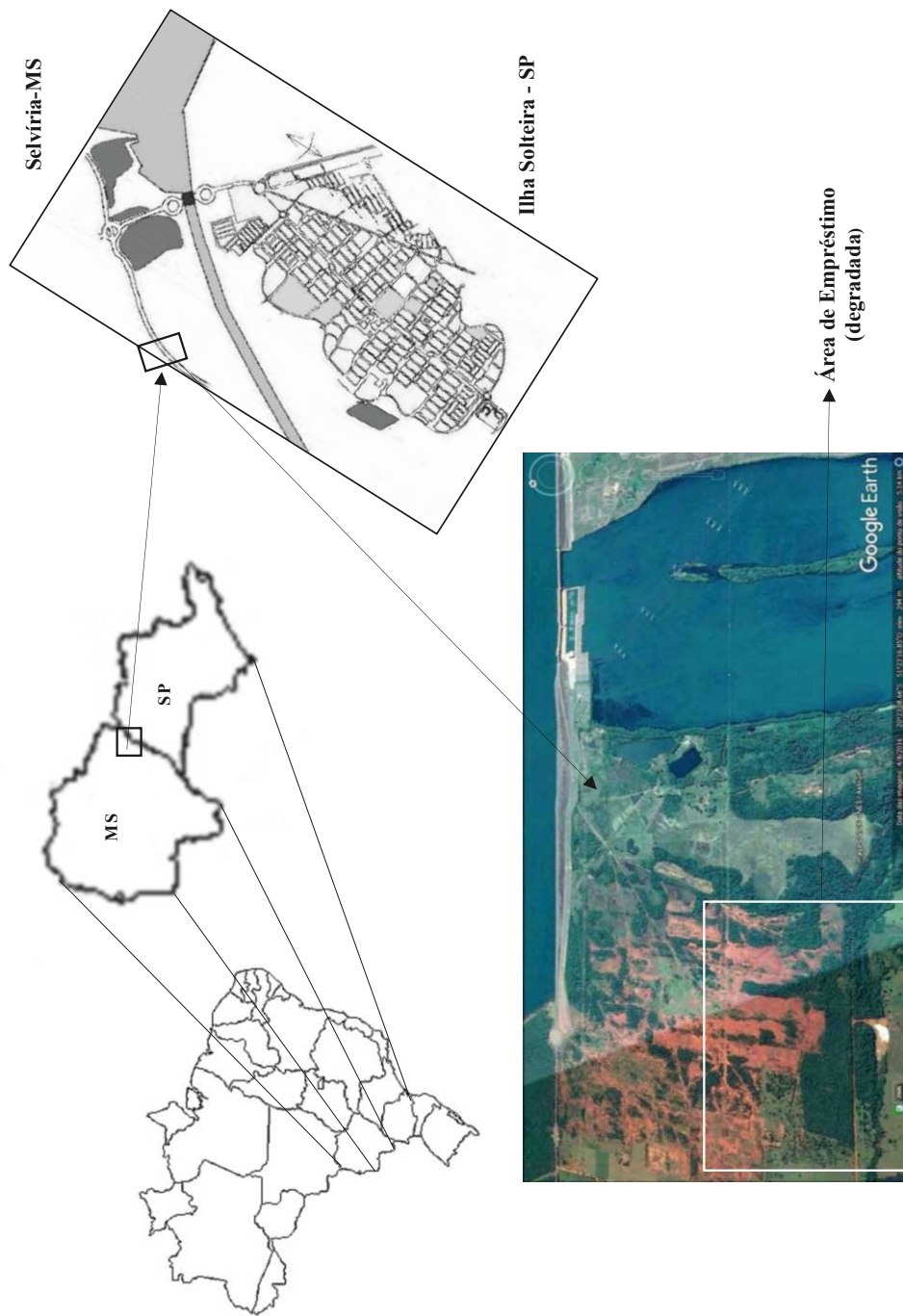


Figura 1. Imagem Ikonos da área do experimento. Fonte: Google Earth (2017).



Figura 2. Aspecto da vegetação nativa (Cerrado) na qual encontra-se espécies arbóreas como a *Curatella americana*, *Stryphnodendron adstringen*, *Byrsomia verbascifolia*, *Astronium faxinifolium*

O solo original é um Latossolo Vermelho distrófico muito profundo e textura franco argilo arenosa (Tabela 1 e 2, Figura 3). A sua fração argila é de baixa atividade e constituída por gibbsita e caulinita (Demattê, 1980; Embrapa, 1999).



Figura 3. Perfil do solo original

Experimento foi conduzido em área degradada, de onde foi retirada uma camada de solo de 8,60 m de espessura para utilização na terraplanagem e fundação da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP (Figuras 4 e 5). A sua construção iniciou na década de 60 e o subsolo, da área de estudo, está exposto desde 1969. Mesmo após a retirada dessa espessa camada de solo, o mesmo apresentou horizonte B remanescente, sobre o qual o experimento foi instalado.

Tabela 1. Valores médios de tamanho de partículas do solo da área experimental. Selvíria, MS, 2004.

Camada de solo (m)	Areia	Silte	Argila
	g kg ⁻¹		
0,00 – 0,05	665	79	256
0,05 – 0,10	665	89	246
0,10 – 0,20	657	78	265
0,20 – 0,40	663	70	267

Tabela 2. Características químicas do solo original (Cerrado) e degradado antes da implantação da pesquisa, Selvíria-MS, 2004.

Profundidade (m)	P resina mg.dm ⁻³	MO g.dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	H+Al	Al ⁺⁺⁺	CTC	V (%)
-----mmolc dm ⁻³ -----										
Solo original (Cerrado)										
0,00-0,05	4	28	4,2	1,2	2	3	31	8	36,9	16
0,05-0,10	4	14	4,1	1,2	5	4	31	8	41,7	21
0,10-0,20	2	10	4,1	0,8	0	2	26	8	29,0	10
0,20-0,40	1	08	4,1	0,3	1	1	24	7	26,0	7
Solo degradado										
0,00-0,05	1	7	4,4	0,8	4	2	17	2	23,3	28
0,05-0,10	1	3	4,4	0,4	3	2	17	2	21,4	22
0,10-0,20	1	2	4,3	0,3	2	2	16	3	19,6	18
0,20-0,40	1	1,2	4,3	0,2	1,6	0,4	16	3	18,4	13

Próximo ao reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, essa área foi fortemente impactada, quando a partir da construção da Usina (final da década de 60) retirou-se grande quantidade de solo para os trabalhos de terraplanagem e construção civil, expondo o subsolo da área de estudo (1969). Desde o início da década de 70 esta área, está na sua maioria sujeita

à regeneração natural, sendo que algumas pesquisas têm sido desenvolvidas numa tentativa de recuperação da mesma.



Figura 4. Vista geral da área mostrando o corte de 8,60 m de espessura.



Figura 5. Perfil do solo da área degradada onde foi retirada a camada de solo de 8,60

3.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com 5 tratamentos e 5 repetições durante 8 anos. Cada parcela ocupou uma área de 96 m² (12 m x 8 m) e foram espaçadas de 1,5 m uma da outra. Entre blocos a distância foi de 3 m (Figura 6). Caracterizou-se também uma área controle com vegetação original (Cerrado).

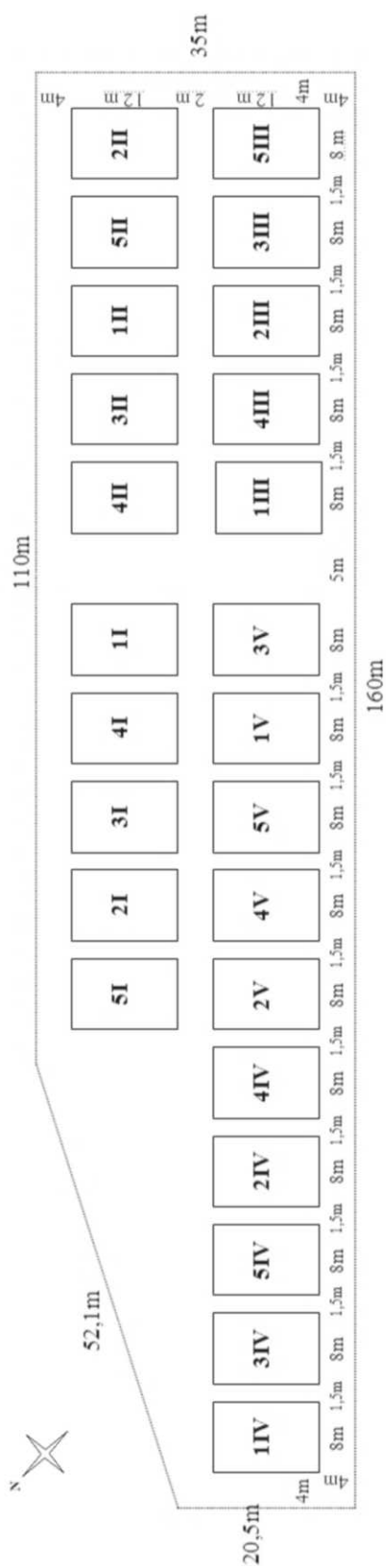


Figura 6. Esquema da disposição dos tratamentos na área de pesquisa, Selvíria, MS.

Os tratamentos constaram dos seguintes usos e manejos:

- 1 – Testemunha - solo exposto (sem manejo) (TEST);
- 2 – Espécie arbórea Gonçalves-Alves (*Astronium fraxinifolium*) (AF);
- 3 – Gonçalves-Alves (*Astronium fraxinifolium*) + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) (AFCE);
- 4 – Gonçalves-Alves (*Astronium fraxinifolium*) + nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), até 2005 após foi substituído pela crotalária (*Crotalaria juncea*) (AFRS/AFJC);
- 5 – Gonçalves-Alves (*Astronium fraxinifolium*) + gramínea (*Brachiaria decumbens*) + lodo de esgoto (60 t ha⁻¹ – base seca) (AFLE)

Optou-se pela espécie Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) por ser natural do cerrado e de fácil produção de mudas em viveiro. Salienta-se que a espécie arbórea está sendo utilizada com o objetivo de recuperação da área, sem, portanto, almejar exploração silvícola racional e econômica. A combinação do tratamento *Astronium fraxinifolium* + *Brachiaria decumbens* + lodo de esgoto (60 t ha⁻¹ – base seca), justifica-se pelo fato de estar se utilizando uma espécie nativa de cerrado, a gramínea, uma planta de rápido desenvolvimento e pouco exigente, e o lodo de esgoto que apresenta nutrientes orgânicos em formas facilmente mineralizadas. A hipótese é que esta combinação levará à evolução mais rápida do horizonte A do solo decapitado (degradado). Outro fator do uso da gramínea é por estar numa região cuja atividade pecuária é a mais representativa. A dose de 60 t há⁻¹ foi definida levando-se em consideração a média das doses de lodo que têm sido utilizadas em pesquisas com recuperação de propriedades físicas dos solos (Jorge; Camargo; Valadares, 1991; Melo et al., 1994; Pagliai et al., 1981; Vaz; Gonçalves, 2002). Na literatura sobre o tema, as doses variam de 20 a 120 t ha⁻¹. De acordo com a (Tabela 3), onde constam as características químicas do lodo utilizado, as quantidades aplicadas, em kg ha⁻¹, de N, P e K, foram, respectivamente de: 4.275; 1.127 e 908.

Tabela 3. Resultados da análise química do lodo de esgoto, Selvíria, MS.

M.O	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Umidade	C/N
%	-----g Kg ⁻¹ -----						-----mg Kg ⁻¹ -----					mg Kg ⁻¹	
20	71,26	18,79	15,14	11,06	3,44	7,78	16,37	160,04	960,6	115,74	583,48	0,85	7/1

Desse total, a quantidade de nutrientes disponíveis às plantas no primeiro ano, estará segundo (Andreoli; Pegorini & Fernandes, 2001), em função de 30 % da mineralização do N orgânico e de mais 30 % de volatilização do N amoniacal, o que reduz cerca de um terço do N total aplicado ao solo.

Quanto ao P, poderá haver 70 % de disponibilidade (Raij et al., 1997). Ressalta-se que o uso do lodo de esgoto teve como principal objetivo adicionar matéria orgânica ao solo e ao mesmo tempo dar um destino ao resíduo. O lodo de esgoto utilizado foi obtido da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Araçatuba (Figura 7). Como o mesmo não apresentou problemas em sua composição com relação a metais pesados (Tabela 4), por ser de efluente predominantemente doméstico, a dose utilizada não estaria

prejudicando o ambiente.

Tabela 4. Análise química para fins de toxicidade do lodo de esgoto utilizado de Araçatuba-SP.

Elementos	Resultado	Limite máximo
	----- (mg. L ⁻¹) -----	
Alumínio	0,100	0,200
Arsênio	nd	0,050
Bário	0,400	1,000
Cádmio	0,004	0,005
Chumbo	0,003	0,050
Cianeto	nd	0,100
Cloretos	39,000	250,000
Cobre	0,040	1,000
Cromo Total	nd	0,050
Dureza	120,000	500,000
Fenol	nd	0,001
Ferro Total	2,860	0,300
Fluoretos	0,640	1,500
Manganês	0,300	0,100
Mercúrio	nd	0,001
Nitrato	4,700	10,000
Prata	0,020	0,050
Selênio	nd	0,010
Sulfato	27,900	400,000
Sódio	48,400	200,000
Surfactantes	nd	0,200
Zinco	3,640	5,000

nd = não detectado

Método de análise baseado na 20^a edição do “Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater” Análises efetuadas Segundo a NBR 10.004 – Resíduos Sólidos. Análises realizadas no Laboratório Labortechnic Tecnologia Ltda (www.labortec.com.br)



Figura 7. Detalhe do lodo de esgoto utilizado.
Fonte: Aline Emy Kitamura

3.3. Instalação e condução da pesquisa

A pesquisa foi implantada em fevereiro de 2004 e conduzida durante os anos de 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 e primeiro semestre de 2012. O preparo da área constou de limpeza superficial, subsolagem e gradagens (aradora e niveladora) do solo, aplicação de calcário dolomítico (2 t ha^{-1}), após o preparo do solo e em seguida a adição do lodo de esgoto, exceto no tratamento 1, que não recebeu nenhum tipo de manejo (Figura 8). Nos tratamentos 2, 3, 4, 5 foi implantada a espécie arbórea nativa de cerrado, a *Astronium fraxinifolium* Schott, com espaçamento entre as árvores de $3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, portanto, 25 plantas por tratamento em 2004.

O espaçamento e densidade de sementes utilizadas dos adubos verdes foram:

- Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) até 2005: semeadura a lanço, utilizando-se 20 kg ha^{-1} .
As semeaduras foram feitas em 20/02/04 e 18/02/05.

- Crotalária (*Crotalaria juncea*): em 2006 o nabo forrageiro foi substituído pela crotalária (*Crotalaria juncea*), cuja densidade de sementes utilizada foi de 30 a 40 sementes por metro linear, com espaçamento de 0,50 m, distribuídas a lanço. Semeadura realizada a lanço.

- Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*): espaçamento de 0,50 m entrelinhas com densidade de 10 sementes por metro linear. As semeaduras foram realizadas a lanço.

Anualmente após a distribuição das sementes a lanço foi efetuada uma gradagem leve para maior contato entre sementes e solo. Os adubos verdes no início de sua floração foram manejados sendo roçados (abril/maio de cada ano) e deixados na superfície do solo.



Figura 8. Vista geral da área experimental antes da implantação do experimento.
Fonte: Aline Emy Kitamura

Nas Figuras 9 a 20 pode-se observar as etapas de condução da pesquisa, implantada em fevereiro de 2004. O lodo de esgoto foi espalhado manualmente na superfície do solo e posteriormente incorporado com uma gradagem.



Figura 9. Preparo da área (subsolagem)
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 10. Preparo da área (gradagem).
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 11. Aspecto do lodo de esgoto espalhado na superfície do solo.
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 12. Detalhes das parcelas que receberam lodo de esgoto.
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 13. Área com o solo exposto (sem manejo para recuperação).
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 14. Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*) 15 dias após a semeadura.
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 15. Nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) 15 dias após a semeadura.
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 16. Braquiária (*Brachiaria decumbens*) 15 dias após a semeadura.
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 17. Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) 15 dias após o transplante.
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 18. Vista após a roçagem da braquiária no tratamento AFLE, após 10 meses de semeadura.
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 19. Crotalária (*Crotalaria juncea*) em março de 2007.
Fonte: Aline Emy Kitamura



Figura 20. Vista da área experimental em março de 2007.
Fonte: Aline Emy Kitamura

Para a crotalária verificou-se que a população de plantas era insuficiente para ser avaliada em 2010. Uma vez que no final de janeiro, início de fevereiro e início de

março de 2010 realizaram-se as sementeiras (Figuras 21 e 22), porém em todas não foi possível o estabelecimento da cultura na área experimental.



Figura 21. Sementeira a lanço manual realizada nos tratamentos com adubação verde em janeiro de 2010

Fonte: Débora de Cássia Marchini.



Figura 22. Vista do tratamento Gonçalo-Alves + crotalária após a segunda tentativa de sementeira em Janeiro de 2010.

Fonte: Débora de Cássia Marchini

O ambiente onde é instalada a cultura não foi favorável ao seu desenvolvimento, pois a cultura depois de semeada chegava a emergir no solo, mas não conseguia permanecer na área (Figura 23). Uma outra observação foi o alto índice de chuvas nos meses de janeiro e fevereiro, a umidade do solo com elevadas temperaturas, matavam o embrião das sementes no solo. Na última tentativa (em março) ocorreu uma longa estiagem, o que inviabilizou o estabelecimento da cultura no campo (Figura 24).



Figura 23. Aspecto das plântulas de crotalária depois de emergidas em Fevereiro de 2010.
Fonte: Débora de Cássia Marchini

Em novembro de 2010 foi realizado o preparo da área nas parcelas que recebem o adubo verde, novamente com uma gradagem até 0,20 m de profundidade seguindo os mesmos procedimentos do início de 2010.

Realizou-se a semeadura dos adubos verdes em novembro de 2010, porém, a crotalária germinou muito falhada (Figura 26) e foi realizada outra semeadura em dezembro de 2010, mesmo assim a crotalária germinou, mas, secava e foram realizadas mais três semeaduras, duas em janeiro de 2011 e outra em fevereiro de 2011, também não foi possível estabelecer a cultura. Portanto houve, tão somente, um acompanhamento no desenvolvimento do feijão-de-porco, que em pleno florescimento, foi roçado sem incorporação ao solo.



Figura 24. Vista da parcela Gonçalo-Alves + crotalária após a quarta tentativa de semeadura em Março de 2010.

Fonte: Sebastião Nilce Souto Filho



Figura 25. Vista geral indicando a falha da semeadura da crotalária (AFCJ) em Novembro de 2011.

Fonte: Sebastião Nilce Souto Filho



Figura 26. Detalhe plantas de feijão-de-porco (AFCE) em 2011.
Fonte: Sebastião Nilce Souto Filho



Figura 27. Detalhe do tratamento Gonçalo-Alves+Brachiaria decumbens+lodo de esgoto (AFLE), em Abril de 2011.
Fonte: Sebastião Nilce Souto Filho

3.4. Análise química do solo

Nas Tabelas 1 e 2 apresentam-se as propriedades físicas e químicas, respectivamente, do solo original (cerrado) e degradado, ambas antes da implantação da pesquisa.

As amostras para as análises das propriedades químicas do solo foram coletadas com o auxílio de trado de caneca sempre nas mesmas camadas de solo, no mês de setembro durante os oito anos.

3.4.1. Determinação do Fósforo (P-Resina)

É comum, em alguns laboratórios que fazem análise química de solo para fins de levantamento, usar ácidos fortes diluídos para a extração do fósforo (SNLCS, 1979). No presente trabalho a caracterização do teor de fósforo em perfis é realizada pelo método da extração com resina trocadora de íons, como descrito por (Raij & Quaggio, 1983).

Objetivo: determinar fósforo em extratos ácidos de cloreto de sódio, provenientes da extração de solos pela resina trocadora de íons. Princípio: determinação colorimétrica do fosfomolibdato formado pela reação entre fosfato e molibdato em ácido sulfúrico e reduzido com ácido ascórbico. Aparelhagem: fotocolorímetro ou espectrofotômetro com transmissão máxima a 720 ou 885 nm.

- Reagentes e soluções:

a) Solução estoque de molibdato: dissolver 20 g de molibdato de amônio $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ em 200 ml de água destilada. Aquecer, se necessário, até cerca de 60°C , até obter solução límpida, resfriando em seguida. Dissolver 0,70 g de tartarato de antimônio e potássio na solução de molibdato. Adicionar lentamente 320 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 p.a.), resfriando sob água corrente. Completar o volume a 1 litro. Esta solução pode apresentar-se azulada, mas ficará incolor ao ser diluída;

b) Solução diluída de molibdato: preparar no dia de usá-la, diluindo 50 ml da solução estoque de molibdato a 1 litro, acrescentando 1 g de ácido ascórbico;

c) Resina trocadora de ânions tipo base forte: tem sido usada a Amberlite IRA-400;

d) Solução de cloreto de sódio 1N em ácido clorídrico 0,1N: preparar com 58,4 g de NaCl p.a. e 8,6 ml de HCl concentrado p.a. por litro de solução.

Procedimento: transferir 2,5 cm³ de TFSA para frasco plástico de 80 ml, provido de tampa. Acrescentar 25 ml de água destilada e uma bolinha de vidro. Fechar o frasco e agitar durante quinze minutos para desagregar o solo. Retirar a bolinha e adicionar 2,5 cm³ de resina. Fechar o frasco e agitar, durante dezesseis horas, em agitador com movimento 22 circular-horizontal a uma velocidade de 200 rpm, aproveitando o período noturno para agitação.

No dia seguinte, transferir, com um jato de água, a suspensão para peneira (ou série de peneiras, se for usado o separador de resinas) com malha de poliéster de abertura de 0,4 mm. Lavar a resina com o mínimo possível de água, até parar de sair argila. Virar a peneira sobre o funil (ou série de funis, no caso de separador de resinas), tendo por baixo um frasco cilíndrico de plástico de 100 ml de capacidade.

Transferir a resina da peneira para o frasco com exatamente 50 ml de uma solução 1N em NaCl e 0,1N em HCl. Pode-se usar um dispensador para 25 ml. Deixar o extrato de NaCl 1N em HCl 0,1N e a resina em contato por cerca de trinta minutos, para permitir a saída de gás. Fechar os frascos e agitar por uma hora a 220 rpm.

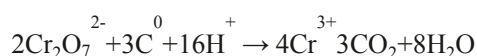
O extrato está pronto para as determinações de fósforo. Diluir 4 ml do extrato de NaCl 1N + HCl 0,1N com 16 ml da solução diluída de molibdato, com auxílio do diluidor. Após quinze minutos, proceder às leituras em comprimento de onda de 720 ou 885 nm.

Cálculo: traçar uma curva-padrão e determinar o fator para converter as leituras em microgramas de P por centímetro cúbico de amostra.

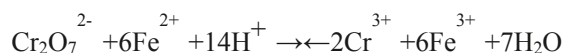
3.4.2. Determinação do teor da Matéria Orgânica do Solo (MO)

A determinação da matéria orgânica foi realizada pelo método colorímetro. A determinação da quantidade de matéria orgânica em solos baseia-se na sua oxidação a CO₂ por íons dicromato, em meio fortemente ácido. Em amostras que requeiram maior precisão, a determinação da quantidade de íons Cr (III) reduzidos é feita indiretamente, por titulação dos íons dicromato em excesso, com íons Fe²⁺.

Alternativamente, pode-se determinar diretamente a quantidade de íons Cr (III) por colorimetria, medindo-se a intensidade da cor esverdeada produzida por esses íons em solução. A determinação por colorimetria, normalmente usada em rotina, requer a montagem de uma curva-padrão de calibração. Essa curva é feita com uma série de amostras de solo, nas quais o teor de matéria orgânica é determinado por titulação, que apresenta maior precisão. Nos dois casos, a oxidação da matéria orgânica dá-se pela reação:



Na reação, considera-se o dicromato reduzido equivalente ao carbono orgânico existente na amostra de solo, e o excesso de dicromato é titulado com íons Fe^{2+} obtidos a partir de uma solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal.



Na determinação por titulação, a quantidade de carbono orgânico é obtida pela diferença entre a quantidade de Fe^{+2} gasta na titulação da prova em branco (Cr (VI) total adicionado) e aquela gasta na titulação do dicromato que restou após a oxidação do carbono da amostra. Convém frisar que esse método assume que todo o carbono da matéria orgânica está no estado de oxidação zero (Nelson & Sommers, 1996). Basicamente, trata-se de uma modificação do método conhecido por Walkley e Black, proposto para medir a matéria orgânica facilmente oxidável ou decomponível do solo, que inclui húmus e resíduos, mas exclui carvão e carbonatos (Walkley, 1947; Walkley & Black, 1934). A oxidação pela técnica usada é apenas parcial.

A reação, no método Walkley-Black, ocorre sem aquecimento externo, contando somente com o calor desprendido pela diluição do H_2SO_4 . Desse modo, a oxidação do carbono da matéria orgânica não é completa; para compensar a oxidação parcial, aplica-se um fator de correção (1,33). Como o método determina o teor de carbono orgânico, a conversão para matéria orgânica é feita pelo fator de van Bemmelen (1,724), com base no pressuposto de que a matéria orgânica do solo contém 58% de C orgânico. Outros fatores têm sido propostos, mas este assunto não será discutido aqui.

O método colorimétrico baseia-se na leitura colorimétrica da cor verde do íon Cr

(III) reduzido pelo carbono orgânico (Quaggio & Raij, 1979). Esse método utiliza o dicromato de sódio no lugar do de potássio, devido à maior solubilidade do primeiro. Além disso, a oxidação da matéria orgânica é feita a frio, apenas agitando o solo em uma solução contendo dicromato de sódio e ácido sulfúrico.

Para a execução do método colorimétrico, na determinação da matéria orgânica, seguem listados os aparelhos, materiais e procedimento analítico:

- Aparelhos e material

1. Cachimbo para medidas de 1 cm^3 de terra
2. Dispensador para 10 mL de solução
3. Mesa agitadora, com movimento circular horizontal.
4. Bandejas de alumínio, para três bandejas de isopor com dez frascos.
5. Fotocolorímetro ou espectrofotômetro.

- Soluções e amostras para a curva-padrão

Solução contendo $0,667 \text{ mol L}^{-1}$ de dicromato de sódio e 5 mol L^{-1} de ácido sulfúrico. Dissolver 200 g de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ comercial em cerca de 600 mL de água destilada. Adicionar, lentamente e com resfriamento, 280 mL de ácido sulfúrico comercial concentrado. Após resfriar, completar o volume a 1 L e homogeneizar.

Amostras de solo para curva-padrão. Escolher um conjunto de 12 a 15 amostras de solos que contenham teores de matéria orgânica com ampla variação de valores, bem distribuídos na faixa de teores de maior interesse prático, em geral entre zero e 200 g dm^{-3} . Essas amostras são analisadas pelo método volumétrico, descrito anteriormente, e os valores obtidos de matéria orgânica, utilizados para a calibração do método colorimétrico.

- Procedimento analítico

1. Transferir 1 cm³ de terra para frasco cilíndrico de 100 mL. Realizar uma prova em branco completa, sem terra.

2. Adicionar, com dispensador, 10 mL da solução de Na₂Cr₂O₇ em ácido sulfúrico.

3. Agitar durante 10 minutos, em agitador com movimento circular-horizontal, com velocidade mínima de 180 rpm.

4. Após um repouso de uma hora, adicionar 50 mL de água, usando dispensador, com um jato forte para promover a mistura das soluções. Deixar decantar durante a noite.

5. No dia seguinte, transferir o líquido sobrenadante para a cela de medida do espectrofotômetro ou colorímetro, com filtro de transmissão máxima de 650 nm. Acertar o zero do aparelho com a prova em branco completa.

6. Calcular os resultados a partir da curva-padrão, preparada com solos analisados pelo método volumétrico.

7. Calibrar o método colorimétrico em relação aos resultados do método volumétrico, conforme descrito a seguir.

- Calibração do método colorimétrico

1. Analisar, pelo método colorimétrico, o conjunto de amostras selecionadas, com ampla variação no teor de matéria orgânica.

2. Colocar em gráfico os valores de transmitância ou de absorvância contra os teores de matéria orgânica previamente determinados pelo método volumétrico. A curva-padrão deve ser traçada por um modelo matemático que melhor se ajuste aos resultados obtidos pelas leituras colorimétricas e os teores estabelecidos pelo método de referência.

A curva-padrão não precisa ser refeita com muita frequência, desde que as condições do espectrofotômetro ou colorímetro não mudem e os resultados sejam verificados diariamente, através de amostras-controle.

O carbono orgânico foi pelo método da combustão úmida, via colorimétrica, resultando no teor de matéria orgânica do solo (MO) pela seguinte expressão (Raij et al., 1987):

$$MO = C \cdot 1,724 \dots \dots \dots (1)$$

onde:

MO é o teor de matéria orgânica ($g\ dm^{-3}$) e C é o teor de carbono ($g\ dm^{-3}$).

3.4.3. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é a medida mais simples feita no solo, mas, sem dúvida, de grande importância. Ele reflete um conjunto complexo de reações no sistema solo—solução e é muito útil quando associado a propriedades do solo, como o estado em que se encontram as bases (Mehlich, 1948) e a solubilidade de micronutrientes em alguns extratores (Camargo & Valadares, 1980). O método original para a relação solo:solução 1:2,5 foi adotado em 1930 pela Comissão de Reação do Solo da Sociedade Internacional de Ciência do Solo.

O pH foi determinado potenciométricamente em solução de $CaCl_2$ 0,01M (Brasil, 1979). Para a execução do método para a determinação do pH em $CaCl_2$ segue listados os aparelhos, materiais e procedimentos analíticos:

- Aparelhos e materiais

1. Cachimbo para medidas de $10\ cm^3$ de terra.

2. Diluidor triplo de 25 mL.
3. Medidor de pH provido de eletrodo combinado de vidro e de referência.
4. Mesa agitadora ou agitador de pH.
5. Bandejas de isopor com 10 frascos plásticos cônicos com tampa ou frascos plásticos utilizados para café.

- Soluções

1. Soluções-tampão para pH 4,0 e 7,0.
2. Solução de cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$. Dissolver 1,47 g de CaCl_2 em água destilada, diluindo a 1 litro de solução. O pH dessa solução deve estar entre 5,0 e 5,5. Se não estiver, deve ser ajustado com HCL ou $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

- Procedimento analítico

1. Transferir, com cachimbo, 10 cm^3 de terra para frasco plástico.
2. Adicionar 25 mL da solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, deixando 15 minutos em contato.
3. Agitar a suspensão por 10 minutos a 220 rpm, usando agitador com movimento circular horizontal ou agitador de pH. Deixar decantar por 30 minutos.
4. Ajustar o medidor de pH com as soluções-tampão de pH 4,0 e 7,0 e, freqüentemente, com uma dessas soluções, após a determinação de uma série de amostras.
5. Sem agitar, mergulhar o eletrodo combinado na suspensão, de modo que a ponta do eletrodo de vidro toque ligeiramente a camada de sedimento e a saída do eletrodo de

referência fique submersa. Ler o pH após estabelecido o equilíbrio.

O eletrodo deve ser lavado com água e enxugado com papel absorvente, após cada determinação. Isso é especialmente importante quando se passa para uma suspensão de pH muito diferente, ou de solução-tempão para suspensão de solo. Para valores de pH elevados, o equilíbrio leva algumas dezenas de segundos para ser obtido. Movimentos do eletrodo ajudam a estabelecer o equilíbrio, embora não se recomende agitar a suspensão.

3.4.4. Determinação de cátions trocáveis (K, Ca, Mg)

Extração e determinação do potássio, cálcio e magnésio. Os três elementos trocáveis de maior importância no solo são os seguintes: cálcio, magnésio e potássio, por serem macronutrientes. Na Seção de Pedologia, utilizou-se por muito tempo o ácido nítrico 0,05 N (Paiva Netto et al., 1946) para a extração dos cátions trocáveis. Entretanto, com o uso constante de calcário nas terras, notou-se que esse extrator dissolvia parte do corretivo, dando resultados muito elevados de cálcio e magnésio em terras reconhecidamente pobres nesses elementos, como as areias quartzosas. Assim, a partir de 1981, optou-se por um extrator largamente adotado (SNLCS, 1979), o acetato de amônio 1 N pH 7,0: entre outras vantagens, apresenta a de não deixar resíduos sólidos em fotometria de chama.

Objetivo: extração de potássio, cálcio, magnésio trocáveis do solo e sua determinação.

Princípio: extração dos elementos trocáveis com solução normal de acetato de amônio pH 7,0 e determinação dos seus teores no extrato.

Aparelhagem: espectrofotômetro de absorção atômica, fotômetro de chama e agitador mecânico.

- Reagentes e soluções:

a) Solução de acetato de amônio 1 N pH 7,0: em balão volumétrico de 1 litro, juntar 57 ml de ácido acético glacial e 69 ml de hidróxido de amônio a 20 %, em 800 ml de água. Ajustar o pH e completar o volume;

b) Solução-estoque de lantânio a 10 %: umedecer 117,30 g de La_2O_3 com água. Lentamente, adicionar 250 ml de ácido clorídrico concentrado, completar o volume a exatamente 1 litro com água destilada e deionizada;

c) Solução de lantânio a 0,2 %: pipetar, para balão volumétrico de 1 litro, 20 ml de solução-estoque de lantânio a 10 % e completar o volume com água deionizada. Para a leitura dos extratos, visando à determinação de Ca e Mg, considerando o modo de preparar os padrões, efetuar uma diluição prévia da solução de La_2O_3 0,2 % de lantânio, misturando 400 ml dela com 50 ml de água deionizada, resultando numa solução de La_2O_3 a 0,177 % de lantânio.

d) Soluções-padrão de cálcio e de magnésio: Solução com 1.000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de cálcio: pesar 2,4966 g de CaCO_3 e transferir para balão volumétrico de 1 litro contendo metade do seu volume com água deionizada. Adicionar 10 ml de ácido clorídrico concentrado (gota a gota), esperar a solubilização do sal e completar o volume com água destilada e deionizada. Solução com 1.000 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de magnésio: pesar 1,000 g de magnésio metálico, transferir para balão volumétrico de 1 litro e adicionar 10 ml de ácido clorídrico 6 N (destilado), completando o volume com água destilada e deionizada. Solução com 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ de magnésio: transferir 100 ml da solução-estoque de magnésio com 1,0004 g/ ml para balão volumétrico de 1 litro e completar o volume com água deionizada.

A partir das soluções-estoque de Ca^+ 1.0004g/ ml e Mg^{2+} 1004g/ ml, preparar as soluções I, II e III:

I: tomar 10 ml da solução de Ca^+ e 12 ml da solução de Mg^{2+} e diluir a 100 ml com água deionizada;

II: tomar 10 ml da solução de Ca^+ e 12 ml da solução de Mg^{2+} e diluir a 200 ml com água deionizada;

III: tomar 50 ml da solução II e diluir a 100 ml com água deionizada. Essas soluções contêm 100 (I), 50 (II) e 25 (III) pg/ ml de Ca^+ (ou 5, 2,5, 1,25peq/ ml de Ca^+) e 12 (I), 6 (II) e 3 (III) 4g/mi de Mg^{2+} (ou 1, 0,5 e 0,25 peq/ ml de Mg^{2+}).

Para a elaboração da curva-padrão de cálcio e magnésio, empregando as soluções I, II e III, preparam-se as seguintes soluções:

0: 16 ml da solução de lantânio a 0,2 % + 2 ml da solução de acetato de amônio + 2 ml de água deionizada;

A: 16 ml da solução de lantânio a 0,2 % + 2 ml da solução de acetato de amônio + 2 ml da solução III;

B: 16 ml da solução de lantânio a 0,2 % + 2 ml da solução de acetato de amônio + 2 ml da solução II;

C: 16 ml da solução de lantânio a 0,2 % + 2 ml da solução de acetato de amônio + 2 ml da solução I.

e) Soluções-padrão de potássio e de sódio:

Solução-estoque de potássio 0,0125 N: dissolver 0,4660 g de cloreto de potássio em água deionizada e completar o volume a 500 ml.

Solução-estoque de sódio 0,0125 N: dissolver 0,3652 g de cloreto de sódio em água deionizada e completar o volume a 500 ml.

Para ambos os cátions, tomar as seguintes proporções de solução para a elaboração das curvas-padrão:

Solução 0,0125N, mL	Volume final, mL	Concentração K	Concentração Na
1	100	5	2,9
1	50	10	5,8
2	50	20	11,5
3	50	30	17,2

Procedimento: pesar 5 g de TFSA em erlenmeyer de 125 ml, adicionar 50 ml da solução de acetato de amônio 1 N pH 7,0 e agitar mecanicamente por dez minutos. Deixar decantar dezesseis horas e com uma pipeta retirar aproximadamente 10 ml do sobrenadante e transferir para frasco de 25 ml. Transferir (com micropipeta) 0,5 ml desse extrato para frasco de 15 ml e adicionar com repipetador 4,5 ml da solução de óxido de lantânio a 0,177 % de lantânio (400 ml da solução de La_2O_3 a 0,2 % + 50 ml de água deionizada).

Com auxílio do espectrofotômetro de absorção atômica, efetuar as leituras para determinação de cálcio e magnésio. No extrato que sobrou no frasco de 25 ml, fazer as leituras para determinação de potássio e sódio.

Cálculos: traçar a curva-padrão e determinar o fator para converter as leituras para a unidade desejada (geralmente meq/100g de solo ou ug/g de solo). Um procedimento mais correto é usar análise de regressão.

Comentários: as determinações do cálcio e do magnésio podem também ser feitas por quelatometria, usando-se o EDTA como agente complexante. Para detalhes do método, consultar (Raij, 1966b).

3.4.5. Determinação da Acidez Potencial (H+Al)

A acidez potencial, termo preferido a outros como acidez titulável, hidrolítica etc., é medida pela quantidade de base forte necessária para elevar o pH a determinado valor, comumente 7,0 em nosso meio. A acidez potencial revela a acidez total presente entre o nível inicial (pH do solo) e final (7,0) do pH. Jones, (1913) parece ter sido o pioneiro em determinar a acidez potencial através de extração com acetato de cálcio. O método usando acetato de cálcio 1 N pH 7,0 foi introduzido entre nós por (Vageler, 1932).

Objetivo: determinação da acidez potencial do solo. Princípio: extração da acidez com solução tamponada e titulação alcalimétrica do extrato. Aparelhagem: agitador mecânico.

- Reagentes e soluções:

a) Solução de acetato de cálcio 1 N pH 7,0: dissolver 88,1 g de $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ em água destilada e completar o volume a cerca de 950 ml. Filtrar com algodão e ajustar o pH entre 7,0 e 7,1 com ácido acético 2 N ou solução de hidróxido de cálcio 1,0N, completando o volume a 1 litro com água destilada;

b) Solução alcoólica de fenolftaleína a 3 %: dissolver 3 g de fenolftaleína em 100 ml de álcool etílico;

c) Solução padronizada de NaOH 0,1N. Procedimento: pesar 5 g de terra em erlenmeyer de 250 ml, adicionar 100 ml da solução de acetato de cálcio 1 N a pH 7,0, agitar mecanicamente por dez minutos e deixar decantar por dezesseis horas. Filtrar, adicionar algumas gotas de fenolftaleína a 3 % e titular com solução de NaOH 0,1 N, até uma coloração rosa persistente. Efetuar uma prova em branco.

Cálculo:

$$\text{Acidez potencial (H + AI) em mmol}_c\text{.dm}^{-3} = (V_2 - V_1) \times 20 \dots\dots\dots (2)$$

onde:

V_1 : mililitros de solução de NaOH 0,1N gastos no ensaio em branco;

V_2 : mililitros de solução de NaOH 0,1N gastos na titulação do extrato.

(H + AI) em meq/100g — (AI extraído com KCl) em meq/100g = acidez não trocável, mas que pode ser neutralizada por soluções básicas ou tamponadas, em meq/100g.

Comentários: existem diversos problemas resultantes do uso do acetato de cálcio, a saber: qualidade do reagente, facilidade do crescimento de fungo e dificuldade, principalmente em solos ricos em matéria orgânica, para verificação do ponto de viragem da fenolftaleína. Neste último caso, recomenda-se a utilização potenciométrica.

3.4.6. Determinação do Alumínio Trocável (Al^{3+})

A acidez trocável compreende aquela causada pela hidrólise do Al em solução e pelo íon hidrogênio trocável. Este último valor é extremamente pequeno a pH normalmente encontrado no solo (Coulter, 1969); sendo assim, o que se determina é o alumínio trocável. CHERNOV (1947) mostrou que uma solução de KCl 1N extrai somente Al^{3+} , com exceção de solos orgânicos ou solos com pH muito baixo (et al. (1961) estudaram as trocas entre o par iônico K-Al, indicando que em altas concentrações o KCl é um deslocador efetivo do alumínio trocável.

Objetivo: determinar a acidez trocável por meio de uma solução de sal neutro (usualmente KCl 1N).

Princípio: em concentrações relativamente altas, o potássio desloca principalmente íons alumínio do solo para a solução, os quais se hidrolisam liberando íons hidrogênio que podem ser titulados com uma base. Aparelhagem: agitador mecânico.

- Reagentes e soluções:

a) Solução de cloreto de potássio 1N: dissolver 74,56 g de KCl em água destilada e completar o volume a 1 litro;

b) Solução padronizada de NaOH 0,1N;

c) Solução alcoólica de fenolftaleína a 3 %: dissolver 3 g de fenolftaleína em 100 ml de álcool etílico. Procedimento: pesar 5 g de TFSA em erlenmeyer de 250 ml, adicionar 100 ml de KCl 1N, agitar mecanicamente por dez minutos e deixar decantar por dezesseis horas. Filtrar, adicionar algumas gotas de fenolftaleína a 3 % e titular com a solução de NaOH 0,1N até uma coloração rosa persistente. Fazer concomitantemente uma prova em branco.

Cálculo: acidez trocável em $\text{mmol}_c \cdot \text{dm}^{-3} = (V_2 - V_1) \times 20 \dots\dots\dots (3)$

Onde:

V_1 : mililitros de solução de NaOH 0,1N gastos no ensaio em branco;

V_2 : mililitros de solução de NaOH 0,1N gastos na titulação do extrato.

Comentários: o cloreto de potássio usado para essa determinação deve ser de boa qualidade, o que pode ser constatado fazendo uma curva de titulação da solução de KCl 1 N ou verificando se seu pH é inferior a 5,5 (Cantarella et al., 1981).

3.4.7. Capacidade de Troca de Catiônica (CTC)

Determinação da capacidade de troca de cátions A capacidade de troca de cátions (CTC), que evidencia a habilidade do solo de reter e trocar íons positivamente carregados na superfície coloidal, talvez seja uma das mais importantes propriedades físico-químicas do sistema. Sua determinação pode ser feita saturando-se o solo com um cátion índice, que é posteriormente deslocado e determinado, ou somando -se as bases trocáveis com a acidez extraída por uma solução tamponada a pH 7,0 ou acidez potencial. Existe grande variedade de métodos (Pelloux et al., 1971) utilizando principalmente o cálcio ou o amônio como cátions saturantes. Raij (1966a) estudou comparativa e criticamente alguns deles, encontrando boas correlações entre o método que emprega o acetato de amônio 1N pH 7,0 e alguns descritos na literatura nacional e internacional, como a soma de bases mais a acidez extraída, ou por solução de acetato de cálcio (Paiva Netto et al., 1950, e Vettori, 1948) ou pelo cloreto de bário tamponado pela trietanolamina (MEHLICH, 1948). Na Seção de Pedologia, para a determinação direta da CTC, tem-se optado pelo método que utiliza uma solução de acetato de cálcio 1 N pH 7,0 como cátion saturante e uma solução de acetato de sódio 1N pH 7,0 como deslocante, com pequenas modificações daquele descrito por RAIJ (1966a). Existe, às vezes, alguma confusão de terminologia na literatura quanto ao pH em que a CTC é determinada. Os métodos apresentados aqui, para evitar confusão, serão chamados de CTC a pH 7,0 e CTC a pH do solo. Tem sido usado também, com frequência bem menor e de certa forma em caráter experimental, o método de determinação da CTC a pH do solo de (Gillman, 1979), mediante solução com concentrações equivalentes àquelas encontradas no campo.

3.4.7.1. Capacidade de Troca de Catiônica a pH₇ (T)

Princípio: a determinação da capacidade de troca de cátions a pH 7,0 consiste em saturar o complexo adsorvente com um íon bastante eficaz para trocar e bastante fácil de ser deslocado e determinado no laboratório.

- Aparelhagem: espectrofotômetro de absorção atômica e agitador mecânico.
- Reagentes e soluções:

a) Solução de acetato de cálcio 1N pH 7,0: dissolver 88,1g do sal $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)\cdot\text{H}_2\text{O}$ por litro da solução. Corrigir o pH a 7,0 com ácido acético 2N ou solução de hidróxido de cálcio 1N;

b) Solução de cloreto de cálcio 1N: dissolver 73,5 g de $\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em água deionizada e completar o volume a 1 litro;

c) Álcool etílico destilado;

d) Solução de acetato de sódio 1N pH 7,0: dissolver 82,0 g de acetato de sódio anidro por litro de solução. Corrigir o pH a 7,0 com ácido acético glacial ou solução de hidróxido de sódio 1N;

e) Solução com 1.000_{aq.} (ml de cálcio: pôr 2,4966 g de CaCO_3 em balão volumétrico de 1 litro, completar metade do seu volume com água deionizada e adicionar 10 ml de HCl concentrado (gota a gota). Completar o volume com água deionizada;

f) Soluções-padrão estoque (identificadas por I, II e III):

I. 25 µg/ ml Ca: transferir 5 ml da solução de 1.000 µg/ ml para balão volumétrico de 200 ml e completar o volume com água deionizada.

II. 50µg/ ml Ca: transferir 5 ml da solução de 1.000 ug/ ml para balão volumétrico de 100 ml e completar o volume com água deionizada.

III. 100 Mg/ ml Ca: transferir 10 ml da solução de 1.000 µg/ ml para balão volumétrico de 100 ml e completar o volume com água deionizada.

Com as soluções I, II e III, preparar as soluções-padrão 0, A, B, C, D e E, de acordo com a relação seguinte:

Solução	Concentração meq/100g	Volume água deionizada	Volume solução estoque	Volume acetato de sódio 1N pH 7,0	Volume La
0	0,00	2	0	2	16
A	6,25	0	2 da I	2	16
B	12,50	0	2 da II	2	16
C	25,00	0	2 da III	2	16
D	37,50	0	3 da III	2	15
E	50,00	0	4 da III	2	14

Procedimento: em tubo de percolação ou seringa de injeção de 20 cm³ colocar dois discos de papel de filtro sobrepostos e uma medida de areia fina inerte (preparada com areia de duna bem lavada com HCl diluído) suficiente para 0,5 cm de altura. Colocar 1 g da amostra misturada com a mesma medida de areia, no tubo, dispondo em seguida mais uma medida de areia (0,5 cm) e dois discos de papel de filtro sobre a areia. Percolar 25 ml de solução de acetato de cálcio 1N pH 7,0. Controlar a vazão, a fim de que esse volume de solução percole em duas horas (pôr no bico do tubo de percolação um tubo de borracha com uma pinça de Hoffmann para regular a vazão). Percolar mais 25 ml da solução de acetato de cálcio 1N pH 7,0. Passar duas vezes 5 ml de solução de cloreto de cálcio 1N. Após drenagem completa, lavar as paredes e o bico do tubo de percolação com água deionizada. Passar duas vezes água deionizada. Percolar quatro vezes 5 ml de álcool destilado. Substituir os frascos de recepção para recolher os próximos percolados. Percolar duas vezes 25 ml de solução de acetato de sódio 1N pH 7,0. Tomar 1 ml do percolado e 9 ml da solução de La₂O₃ 0,177 % de Lantânio e proceder à leitura no espectrofotômetro de absorção atômica.

Observação: para preparação de uma amostra em branco, colocar dois discos de papel de filtro, duas medidas de areia fina inerte e mais dois discos de papel de filtro, como feito para a amostra de solo.

Comentários: o cálcio pode ser determinado também por quelatometria (Raij & Quaggio, 1983). As soluções que contêm acetato de cálcio, inclusive a percolada para determinação da CTC, não devem ser guardadas por muito tempo porque criam fungo facilmente. Antes da substituição final dos frascos, as paredes e o bico do tubo devem ser bem lavados para não ficar acetato de cálcio residual.

3.4.8. Saturação por Bases (V%)

A soma de bases é obtida pela soma dos valores dos cátions trocáveis Ca, Mg, K e Na. A capacidade de troca de cátions pode ser obtida ou diretamente ou pela soma das bases com a acidez potencial. O V % é estimado pela relação entre a soma de bases e a capacidade de troca de cátions a pH 7,0, ou seja:

$$V = (SB/T) \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

Onde:

SB: Soma de Bases ($\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$)

T: Capacidade de Troca de íons ($\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$)

3.5. Forma de análise dos resultados

Os resultados foram analisados aplicando-se o teste F, procedendo o teste de Scott Knott para as comparações de média no nível de 5 % de probabilidade. Consideraram-se as épocas de avaliações no solo como parcelas subdivididas no tempo aplicando-se análise de regressão. Foi usado o software SISVAR (Ferreira, 2011) para a realização da análise estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atributos Químicos

4.1.1. Fósforo (P-Resina)

Plantios que propiciem adição de resíduos orgânicos e o acúmulo de formas orgânicas de P nos solos, principalmente nos mais ácidos e argilosos, condições que limitam nos trópicos a disponibilidade deste nutriente, podem ser de grande importância para a agricultura nos trópicos. Sobretudo para a agricultura de baixa ou nenhuma utilização de insumos, por ser uma forma de suprir o P, e inclusive outros nutrientes gradualmente (Novais et al., 2007).

Em relação ao fósforo, existem trabalhos que levantam dúvidas sobre o potencial do lodo de esgoto em aumentar sua disponibilidade no solo (Melo & Marques, 2009) bem como a utilização de plantas recuperadoras de solo, como leguminosas (Santos et al., 2001). Nesse contexto o presente trabalho corrobora em parte com tais afirmações onde verifica-se na

tabela 5 a interação entre os tratamentos e as épocas para os teores de fósforo no solo para as camadas de 0,00–0,05m, 0,05-0,10m, 0,10-0,20m e 0,20-0,40m.

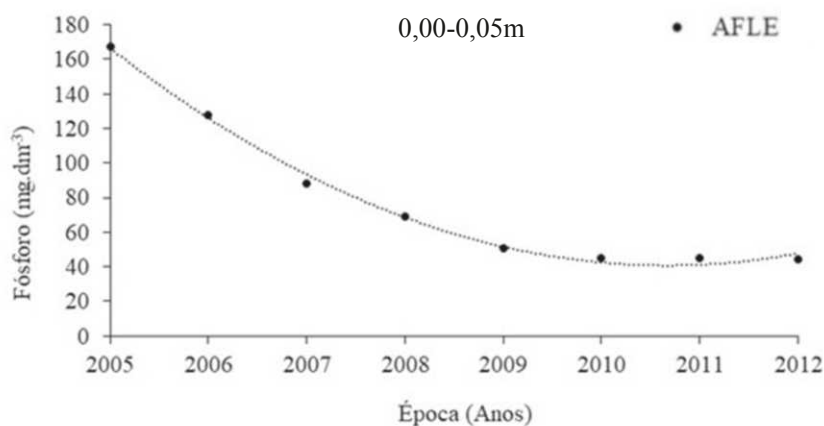
Tabela 5. Valores médios de fósforo no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de solo 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil. nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.

Tratamentos / Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão	
Fósforo (mg.dm ⁻³)											
0,00-0,05m											
TEST	1,60b	2,00b	1,40b	2,00b	2,00b	2,20b	1,80b	1,40b	-	ns	
AF	1,40b	2,40b	1,60b	2,30b	3,00b	3,00b	3,00b	3,00b	-	ns	
AFCE	1,60b	2,00b	2,40b	2,70b	3,00b	3,00b	3,00b	3,20b	-	ns	
AFRS/AFCJ	1,00b	2,00b	1,90b	2,00b	3,00b	3,00b	3,60b	3,20b	-	ns	
AFLE	167,60a	127,80a	88,00a	69,20a	50,40a	45,40a	44,80a	44,40a	-	Quadr.	
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	456,94** (Tratamentos)			20,85** (Épocas)			23,96** (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	54,54							53,77			
0,05-0,10m											
TEST	1,00b	2,00b	1,40b	2,00b	2,00b	2,20b	2,00b	2,40b	-	ns	
AF	1,00b	2,00b	1,20b	2,10b	3,00b	3,00b	3,40b	3,80b	-	ns	
AFCE	1,00b	2,00b	2,00b	2,50b	3,00b	3,00b	3,80b	3,20b	-	ns	
AFRS/AFCJ	1,00b	2,00b	1,20b	2,10b	3,00b	3,00b	3,20b	2,20b	-	ns	
AFLE	153,2a	93,00a	78,20a	67,90a	57,6a	32,80a	39,20a	36,40a	-	Quadr.	
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	137,79** (Tratamentos)			14,18** (Épocas)			17,60** (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	101,46							60,83			
0,10-0,20m											
TEST	1,00b	2,00b	1,80b	2,00b	2,00b	2,00b	1,40b	2,00b	-	ns	
AF	1,00b	2,00b	1,40b	2,20b	3,00b	3,60b	3,60b	3,60b	-	ns	
AFCE	1,00b	2,00b	1,20b	2,10b	3,00b	3,40b	3,60b	3,80b	-	ns	
AFRS/AFCJ	1,00b	2,00b	1,00b	2,00b	3,00b	3,80b	3,80b	3,80b	-	ns	
AFLE	38,00a	27,80a	35,20a	33,80a	32,40a	14,00a	18,20a	17,80a	-	Linear	
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	18,18** (Tratamentos)			4,99** (Épocas)			2,46** (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	216,48							82,85			
0,20-0,40m											
TEST	1,00a	2,00a	2,20b	2,00b	2,00b	2,00b	2,40b	1,80b	-	ns	
AF	1,00a	2,00a	2,00b	2,50b	3,00b	3,80b	3,80b	3,20b	-	Quadr	
AFCE	1,00a	2,00a	2,00b	2,50b	3,00b	3,60b	3,80b	3,60b	-	Quadr	
AFRS/AFCJ	1,00a	2,60a	2,00b	2,50b	3,00b	3,60b	3,40b	3,00b	-	Linear	
AFLE	1,00a	2,00a	3,20a	6,60a	6,00a	6,20a	6,00a	9,20a	-	Linear	
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	9,74** (Tratamentos)			21,69** (Épocas)			1,58* (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	70,49							53,12			

Médias seguidas de mesma letra, na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A.fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto

Na profundidade de 0,00-0,05m o tratamento que recebeu lodo de esgoto (AFLE) foi o que apresentou os maiores teores de P diferindo estatisticamente dos demais durante os oito anos de estudo, apesar dos altos valores de P apresentados, observou-se também uma queda quadrática significativa do mesmo ao longo do tempo (Figura 28), contudo o

tratamento com lodo de esgoto apresentou um grande efeito residual no tempo, apresentando valores no ano de 2012 de $44,40 \text{ g.dm}^{-3}$ de fósforo sendo classificado como muito alto, provavelmente pela pronta disponibilidade do fósforo contido no lodo de esgoto e a baixa relação C/P (Berton et al., 1989)



TEST: ^{ns}; AF: ^{ns}; AFCE: ^{ns}; AFRS/AFCJ: ^{ns}; AFLE: $y = 3,919x^2 - 15760x + 0,000002$ $R^2 =$

Figura 28. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para fósforo no solo na profundidade de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Bezerra et al., (2006) analisando diferentes cinco doses de fósforo e duas espécies de leguminosas verificaram que as doses influenciaram, também, significativamente, os teores de fósforo, tendo aumentado sua disponibilidade no solo.

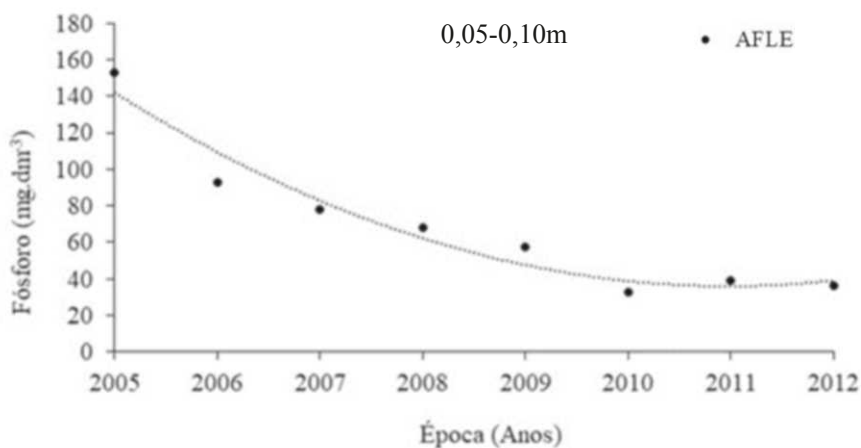
Pavinato & Rosolem (2008), relata que é normal observar o aumento na disponibilidade de fósforo no solo com resíduos vegetais, tanto pelo fósforo presente no resíduo como por competição de compostos orgânicos dos resíduos pelos sítios de troca no solo. (Vendruscolo, 2015) avaliando o efeito do biochar e lodo de esgoto com plantas de cobertura nos atributos físico e químicos, verificou depois de nove de experimento houve um aumento no teor de P no solo com lodo de esgoto.

Entre os demais tratamentos na camada de 0,00–0,05m não houve diferença estatística significativa para os teores de P onde variaram em média de $(1,00 \text{ a } 3,60 \text{ g.dm}^{-3})$ ao longo do tempo, sendo estes valores de P menores que $5,00 \text{ g.dm}^{-3}$, portanto classificados como muito baixo a baixo (Tabela 5), este resultados contrastam com os encontrado por (Costa et al., 2004) avaliaram o aporte de nutrientes pela serapilheira em área degradada e

revegetada com leguminosas arbóreas e verificaram que na revegetação, o aporte de P variou de 4,9 a 7,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo igual ou superior ao observado para a capoeira, de 4,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em média.

Para a camada de 0,05–0,10m (Tabela 5) os teores de P seguiram o mesmo comportamento já supracitados, na qual o tratamento AFLE diferiu dos demais ao longo do tempo sempre apresentando valores estatisticamente superiores, porém apresentou um decréscimo quadrático significativo nos teores de P até o ano 2012 (Figura 29). Num experimento em eucalipto, (Guedes & Poggiani, 2003) verificaram que com o passar do tempo, a aplicação de lodo de esgoto, cujos nutrientes são liberados mais lentamente, começou a surtir efeito.

Ainda na camada de 0,05–0,10m verificou-se que os demais tratamentos não difeririam da testemunha onde variaram em média de 1,00 a 3,80 g.dm⁻³ ao longo do tempo, sendo estes valores de P menores que 5,00 g.dm⁻³, portanto classificados como muito baixo a baixo (Tabela 5) segundo a classificação do (CFSEMG, 1999)



TEST: ns ; AF: ns ; AFCE: ns ; AFRS/AFCJ: ns ; AFLE: $y = 2,9696x^2 - 11944x + 0,000001$ $R^2 =$

Figura 29. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para fósforo no solo na profundidade de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

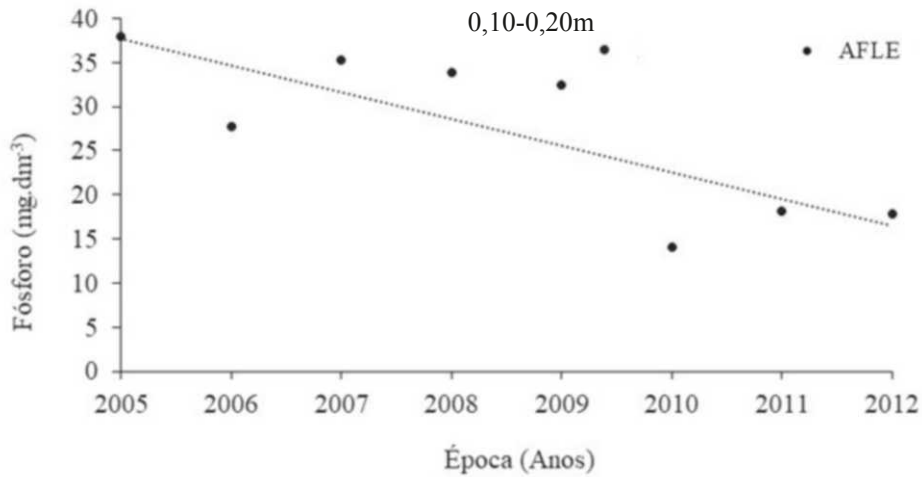
Junio et al., (2013) estudando a produtividade de milho adubado com diferentes doses de composto de lodo de esgoto (0; 25; 50 e 75 t ha⁻¹, em base seca) e fosfato natural de Gafsa, observaram que a dose de 75 t ha⁻¹ foi responsável pelo maior teor deste elemento,

em todas as profundidades avaliadas do solo (0,00 – 0,10m; 0,10 – 0,20m; 0,20 – 0,30m; 0,30 – 0,40m; 0,40 – 0,50m), fato semelhante ocorreu no presente trabalho onde na profundidade de 0,10–0,20m onde o tratamento AFLE, diferiu estatisticamente dos demais longo do tempo com relação aos valores de P, na dosagem de 60 t ha⁻¹, em base seca. Resultados deste trabalho concordam com os verificados por (Colodro & Espíndola, 2006) que estudaram a recuperação do solo na mesma área da pesquisa e observaram que as doses de lodo de esgoto de 30 e 60 Mg ha⁻¹ aumentaram o teor de P no solo. O aumento significativo estatisticamente do P no solo pode ser explicado pela disponibilização deste elemento uma vez que, com as doses de 30 e 60 Mg ha⁻¹.

Na figura 30 é possível notar um decréscimo linear significativo no teor de P na profundidade de 0,10–0,20m no ano de 2012 (17,80 g.dm⁻³) para o tratamento AFLE, sendo este valor de P classificado com médio considerando o teor de argila nessa profundidade de 265 g. kg⁻¹ (Tabela 1).

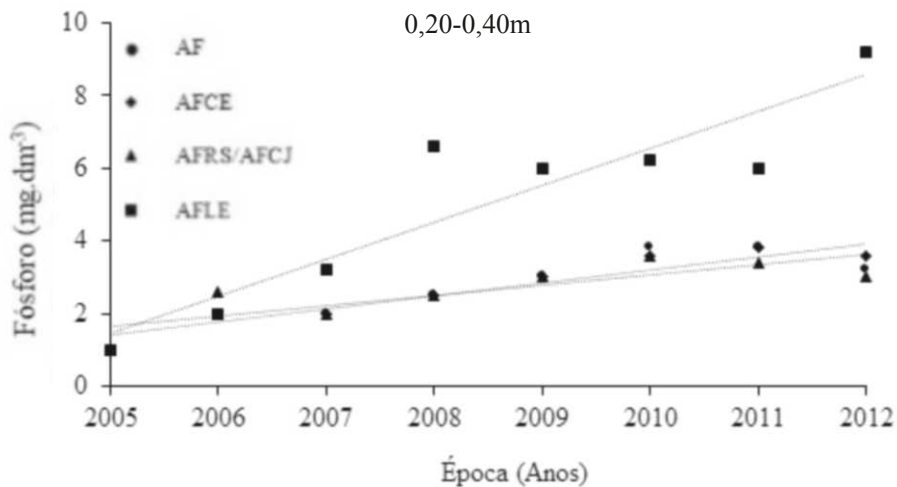
Na interação tratamento e épocas na camada de 0,20–0,40m evidenciado pela tabela 5, nos anos de 2005 e 2006 os tratamentos não diferiram da testemunha, porém no ano de 2007 o solo com lodo de esgoto (6,60 g.dm⁻³) diferiu dos demais, sendo que o mesmo e o AFRS/AFCE apresentaram acréscimos lineares significativos de P até o ano de 2012, enquanto para AF e AFCE foram observados comportamentos lineares. (Figura 31). A explicação para tais acréscimos pode estar relacionada a descida da matéria orgânica e principalmente no caso da AFLE onde as raízes da braquiária ao se desenvolvem e possibilitam uma maior movimentação da matéria orgânica no perfil disponibilizando o P, visto que a sua movimentação deste elemento é descartada devido a sua adsorção pela fração coloidal mineral (Filho, 2012), visto que no presente trabalho foram observadas correlações lineares positivas significativas entre P e matéria orgânica (MO) para as camadas (0,00 – 0,05m; 0,05 – 0,10m; 0,10 – 0,20m; 0,20 – 0,40m), (0,83^{**}, 0,92^{**}, 0,70^{**}, 0,87^{**}) respectivamente (Tabela 15).

Santos et al., (2001) avaliando o efeito eficiência de duas leguminosas (feijão guandu e siratro) e duas gramíneas (capim pangola e capim elefante) na melhoria das características químicas do solo até uma profundidade de 0,32m não observaram o efeito significativo para o teor de P, o que confirma os valores apresentados na tabela 5, na qual nos dois primeiros anos (2005 e 2006) os tratamentos com leguminosas (AFCE e AFRS) bem como AFLE não diferiram da testemunha.



TEST: ^{ns} ; AF: ^{ns} ; AFCE: ^{ns} ; AFRS/AFCJ: ^{ns}; AFLE: $y = -3,0286x + 6110$ $R^2 = 0,64$

Figura 30. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para fósforo no solo na profundidade de 0,10-0,20m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.



TEST: ^{ns} ; AF: $y = -0,00613x^2 + 246,56 - 247881$ $R^2 = 0,79$; AFCE: $y = -0,0375x^2 + 151,02x - 152052$ $R^2 = 0,95$; AFRS/AFCJ: $y = 0,3868x + 774,41$ $R^2 = 0,92$; AFLE: $y = 1,0214x - 2046,5$ $R^2 = 0,85$.

Figura 31. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para fósforo no solo na profundidade de 0,20-0,40m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Na figura 53 apresenta-se o gráfico que indica os valores médios, em relação ao P de todos os tratamentos após oito anos de estudo (2012) em uma comparação descritiva ao solo de cerrado original (2012).

4.1.2. Matéria Orgânica (M.O.)

Um dos efeitos do uso de plantas de cobertura sobre a fertilidade do solo é a adição de carbono orgânico (Osterroht, 2002). Dentre as espécies mais promissoras para a restauração de solos empobrecidos estão as espécies arbóreas, que não só protegem o solo, mas promovem melhoria no solo pela adição de matéria orgânica (Marinho et al., 2004). Considerando os tratamentos e anos estudados verificou-se que interação significativa entre tratamento e época para as profundidades de 0,00–0,05m, 0,05-0,10m, 0,10-0,20m e 0,20-0,40 na qual o tratamento AFLE influenciou o teor de matéria orgânica na camada de 0,00-0,05m que diferiu dos demais inclusive da testemunha do ano de 2005 até 2012 (Tabela 6) mostrando a eficiência do mesmo no incremento de MO nesta camada. Segundo (Cunha et al., 2011) o aumento da matéria orgânica do solo está associado, entre outros fatores, aos níveis de resíduos vegetais depositados ao solo. Contudo, depende também da qualidade desses resíduos sobretudo no que se refere à relação C/N e de constituintes mais recalcitrantes à decomposição microbiana, como ligninas, ceras e compostos fenólicos de alto peso molecular. Incrementos no teor de M.O foram encontrados por (Kitamura et al., 2008) que, estudando a recuperação de áreas degradadas com adição de lodo de esgoto, adubação mineral e implantação de espécies nativas do cerrado, concordam com (Colodro & Espíndola, 2006) que constataram que a adição de lodo promoveu aumento na matéria orgânica do solo; entretanto, não houve diferença entre as duas doses utilizadas (30 e 60 Mg ha⁻¹).

No presente estudo observou-se um comportamento quadrático significativo para o tratamento com lodo de esgoto, na qual temos um ponto de inflexão no ano de 2009 indicando uma tendência de queda do teor de MO no solo a partir deste ano (Figura 33), tal constatação pode ser explicada pelo fato do lodo de esgoto contribuir para uma redução da relação C/N e o grande aporte de fitomassa proporcionado pela braquiária.

Correia & Durigan, (2008) observaram, após dois anos de semeadura direta, que o sorgo, milheto, capim-pé-de-galinha (*Eleusine coracana*), braquiária (*Brachiaria brizantha* Stapf) e vegetação espontânea usados como cobertura do solo proporcionaram aumento do teor de matéria orgânica no solo. Melo & Marques (2000) também observaram um aumento significativo no teor de matéria orgânica, cuja diferença entre tratamentos foi diminuindo com o tempo. Após 170 dias, o teor de matéria orgânica no tratamento que recebeu 16 t ha⁻¹, de lodo de esgoto a um Latossolo Vermelho-Escuro textura média na camada 0 – 10 cm.

Tabela 6. Valores médios de matéria orgânica no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos

Tratamentos /Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão	
	Matéria Orgânica (mg.dm ⁻³)										
	0,00-0,05m										
TEST	2,60b	2,80b	2,60b	2,90b	2,20b	2,60b	2,20b	2,00b	-	ns	
AF	4,20b	4,40b	4,00b	4,70b	5,40b	7,80b	7,40b	7,80b	-	ns	
AFCE	4,40b	5,40b	5,00b	5,40b	5,80b	7,80b	8,20b	8,20b	-	ns	
AFRS/AFCJ	5,80b	4,60b	5,40b	5,00b	5,80b	5,20b	5,80b	5,20b	-	ns	
AFLE	10,20a	14,80a	18,60a	20,40a	22,20a	18,60a	16,60a	18,80a	-	Quadr.	
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	59,85** (Tratamentos)			73,70** (Épocas)		5,99** (Tratamentos x Épocas)					
CV ⁽²⁾ (%)	47,39			28,92							

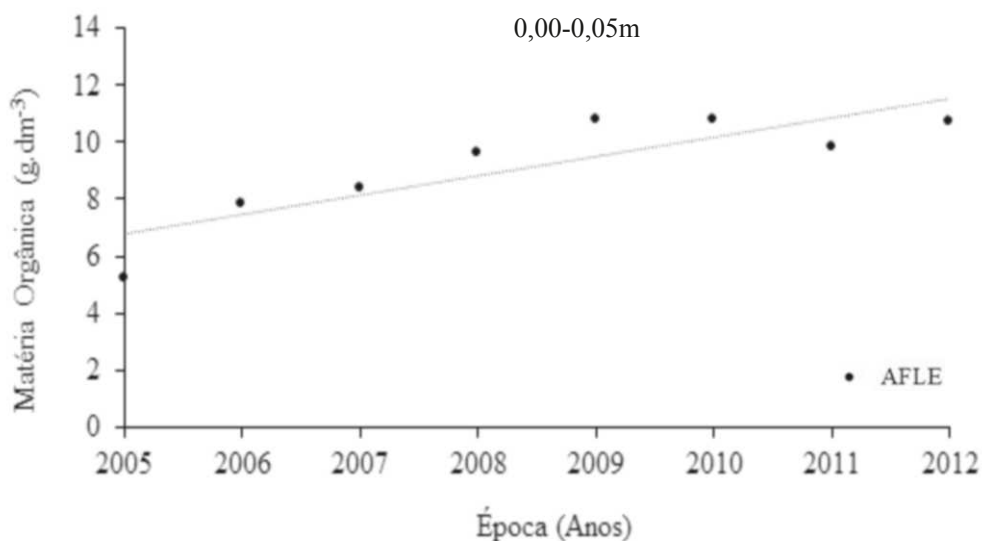
estudados, Selvíria, MS – Brasil.

Tratamentos /Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão	
	0,05-0,10m										
TEST	3,00a	3,80b	3,80b	3,76b	3,20b	3,20b	3,00b	3,50b	-	ns	
AF	3,60a	3,60b	4,00b	4,30b	4,60b	5,80b	5,00b	5,20b	-	ns	
AFCE	3,20a	4,40b	4,40b	4,60b	4,80b	4,80b	5,20b	5,20b	-	ns	
AFRS/AFCJ	3,00a	3,80b	3,40b	4,20b	5,00b	4,20b	5,20b	5,40b	-	ns	
AFLE	5,20a	7,80a	8,40a	9,60a	10,80a	10,80a	9,80a	10,70a	-	Linear	
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	22,12** (Tratamentos)			72,05** (Épocas)		2,09* (Tratamentos x Épocas)					
CV ⁽²⁾ (%)	43,95			29,16							

Tratamentos /Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão	
	0,10-0,20m										
TEST	1,00a	2,20a	2,20a	2,76b	2,40b	2,40b	2,60b	2,20c	-	ns	
AF	1,00a	3,20a	2,20a	2,60b	3,00b	3,40b	4,20b	5,00c	-	Linear	
AFCE	1,00a	3,20a	1,80a	2,50b	3,20b	3,40b	4,20b	5,20c	-	Linear	
AFRS/AFCJ	1,00a	2,80a	2,20a	2,80b	3,40b	3,40b	4,00b	5,00c	-	Linear	
AFLE	1,20a	3,00a	3,00a	3,90a	4,80a	4,80a	6,80a	8,80a	-	Linear	
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	29,34** (Tratamentos)			87,36** (Épocas)		2,19** (Tratamentos x Épocas)					
CV ⁽²⁾ (%)	23,88			23,60							

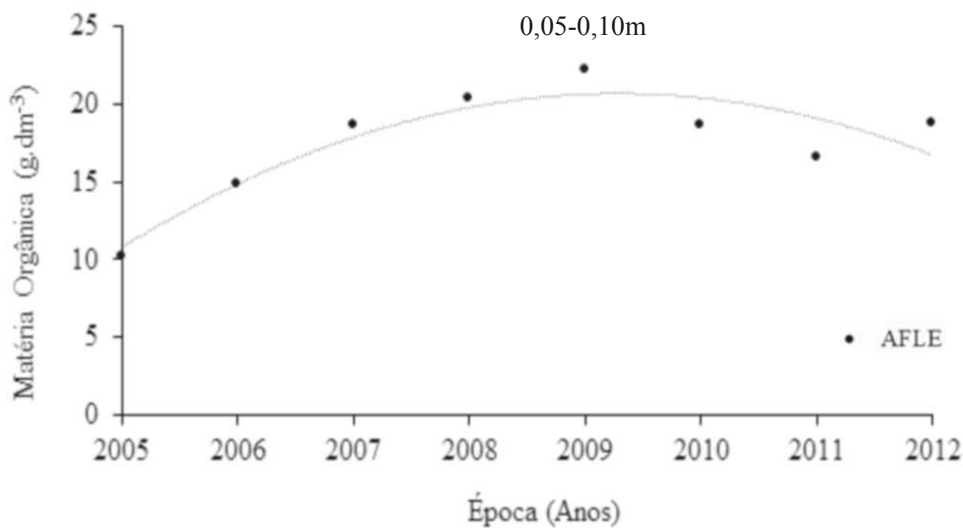
Tratamentos /Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão	
	0,20-0,40m										
TEST	1,00a	2,00a	2,20a	2,20a	2,20b	2,40b	2,70b	2,20b	-	ns	
AF	1,20a	3,10a	2,10a	2,60a	3,00a	3,40a	4,20a	4,20a	-	Linear	
AFCE	1,00a	3,20a	1,80a	2,50a	3,20a	3,40a	3,90a	4,00a	-	Linear	
AFRS/AFCJ	1,00a	2,80a	2,20a	2,80a	3,10a	3,20a	4,10a	4,00a	-	Linear	
AFLE	1,20a	3,00a	2,90a	3,60a	4,50a	4,80a	5,80a	5,80a	-	Linear	
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	8,59** (Tratamentos)			85,83** (Épocas)		2,74** (Tratamentos x Épocas)					
CV ⁽²⁾ (%)	32,51			28,39							

Médias seguidas de mesma letra na coluna e linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.



TEST: ^{ns}; AF: ^{ns}; AFCE: ^{ns}; AFRS/AFCJ: ^{ns}; AFLE: $y = 0,6774x - 1351,4$ $R^2 = 0,73$

Figura 32. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para Matéria Orgânica no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.



TEST: ^{ns}; AF: ^{ns}; AFCE: ^{ns}; AFRS/AFCJ: ^{ns}; AFLE: $y = -0,5369x^2 + 2157,6x + 0,000002$ $R^2 = 0,82$

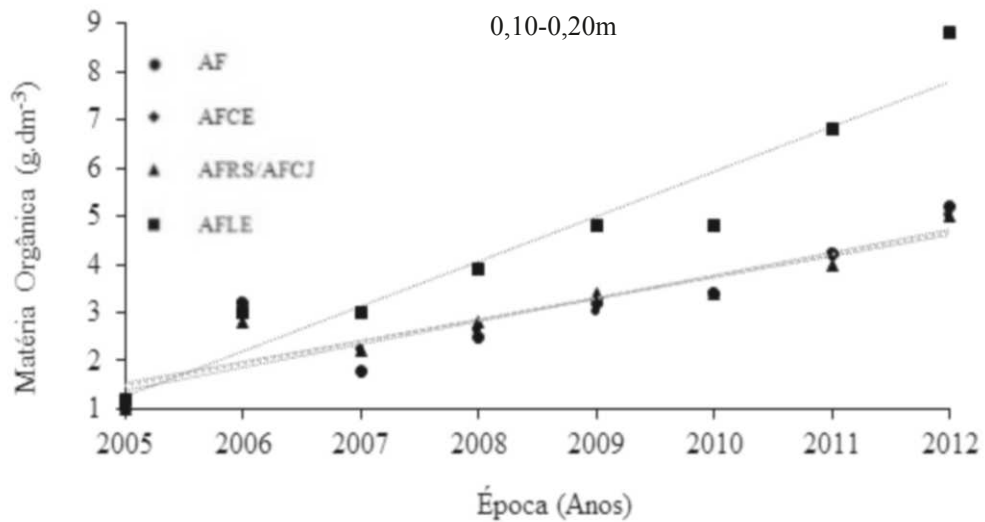
Figura 33. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para Matéria Orgânica no solo nas profundidades de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

A utilização desses tratamentos na recuperação da área degradada não resultou em incrementos significativos nos teores de matéria orgânica do solo na camada de 0,05-0,10m

com exceção tratamento AFLE como pode-se observar na tabela 6. O tratamento AFLE a partir de 2006 diferiu estatisticamente do AF, AFCE e AFRS/AFCJ, porém estes não apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação a testemunha. Nascimento et al., (2003) trabalhando com diferentes leguminosas como crotalária, guandu, guandu-anão, calopogônio, feijão-de-porco, lab-lab, kudzu tropical, siratro, leucena, cunhã, mucuna preta e mucuna cinza na recuperação de área degradada por três anos corrobora com os resultados encontrados neste trabalho onde mostrou a baixa eficiência no incremento da matéria orgânica numa profundidade de até 0,30m.

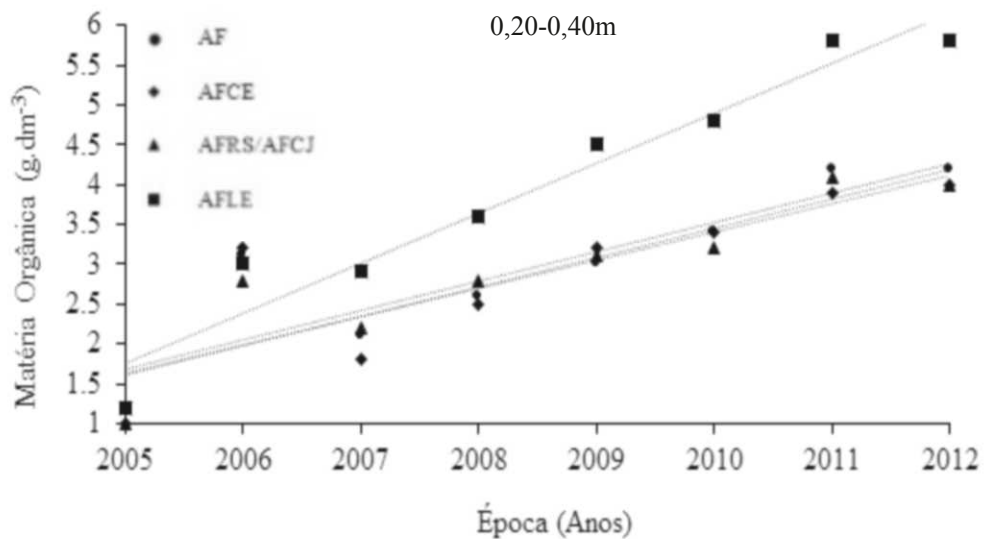
Na figura 32 verifica-se o comportamento linear significativo crescente ao longo tempo do tratamento com braquiária + Gonçalo Alves e lodo de esgoto na profundidade de 0,00-0,05 e quadrático na profundidade 0,05-0,10m para os teores de MO e a ausência de significância para os demais tratamentos. Ao contrário do comportamento da matéria orgânica apresentado nas camadas já citadas, na profundidade de 0,10-0,20m os tratamentos apresentaram acréscimos lineares significativos de MO com exceção da testemunha na profundidade de 0,10-0,20m (Figura 34) sendo que no ano de 2012 o AFLE apresentou o maior teor de MO ($8,80 \text{ g.dm}^{-3}$) que diferiu estatisticamente do AF, AFCE e AFRS/AFCJ e que apresentaram diferenças estatísticas da testemunha. (Ceolato, 2007) estudando a adição de lodo de esgoto líquido na dosagem de 24 t. ha^{-1} por três anos em um argissolo também verificou um aumento linear significativo de matéria orgânica, porém somente no primeiro ano aplicação na camada de 0 – 20 cm, nos demais anos houve aumento da matéria orgânica, porém os mesmos não foram significativos. Santos et al., (2001) comparando gramíneas e leguminosas para recuperação de áreas degradadas não observou diferenças significativas na incorporação da matéria orgânica no solo um comportamento semelhante a profundidade de 0,10-0,20m.

Quanto aos valores da matéria orgânica na profundidade de 0,20-0,40m verificou-se (Figura 34 e 35) na qual todos os tratamentos apresentaram uma tendência linear no aumento de MO com exceção da testemunha, porém diferentemente da camada de 0,10-0,20 o tratamento AFLE não diferiu dos demais em 2012 com um valor de $5,80 \text{ g. dm}^{-3}$ nesse contexto a ausência de diferença nos teores de MO do solo entre os tratamentos, apesar de apresentarem capacidade diferenciada da adição de material orgânico, indica que ambos contribuem para a recuperação de áreas degradadas na camada de 0,20 -0,40m depois oito anos. Silva et al., (2012) trabalhando com diferentes dosagens de resíduos suínos e de peru em profundidades, observaram acréscimos de MO no solo a partir da camada de 0,40-0,60m, portanto em profundidades maiores o que também foi evidenciado no presente trabalho com lodo de esgoto.



TEST: ^{ns}; AF: $y = 0,4405x - 881,62$ $R^2 = 0,79$; AFCE: $y = 0,476x - 950,98$ $R^2 = 0,78$; AFRS/AFCJ: $y = 0,4548x + 910,31$ $R^2 = 0,97$; AFLE: $y = 0,9345x - 1872,5$ $R^2 = 0,92$

Figura 34. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para Matéria Orgânica no solo nas profundidades de 0,10-0,20m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.



TEST: ^{ns}; AF: $y = 0,3667x - 733,48$ $R^2 = 0,78$; AFCE: $y = 0,3571x - 714,45$ $R^2 = 0,70$; AFRS/AFCJ: $y = 0,3667x + 7333,55$ $R^2 = 0,82$; AFLE: $y = 0,6286x - 1258,5$ $R^2 = 0,95$

Figura 35. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para Matéria Orgânica no solo nas profundidades de 0,20-0,40m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Ao final dos oito anos de verifica-se que o tratamento que mais se aproximou do

cerrado natural, foi o solo com Gonçalo-Alves + braquiária e lodo de esgoto (Figura 54) até a profundidade de 0,10m em relação ao teor de matéria orgânica do solo.

4.1.3. pH

Os baixos valores de pH são características indesejáveis em solos minerais, isto por muitas vezes causado pelo elevado teor de matéria orgânica (Eberling et al., 2008), fato este verificado na tabela 7 onde não houve interação entre tratamentos e épocas para as profundidades de 0,00-0,05m, 0,05-0,10m, 0,10-0,20m, 0,20-0,40m, porém os tratamentos AF, AFCE, AFRS/AFCJ obtiveram valores mais altos de pH diferindo estatisticamente da testemunha e do solo como lodo de esgoto e braquiária que continham maior teor de matéria orgânica, correlações lineares significativas negativas entre MO e pH foram observadas nas camadas de (0,05-0,10m, 0,10-0,20m, 0,20-0,40m) com valores de - 0,44^{**}, -0,57^{**}, -0,66^{**} respectivamente (Tabela 15) Os resultados indicam que com o aumento dos teores de matéria orgânica ocorre redução dos valores de pH.

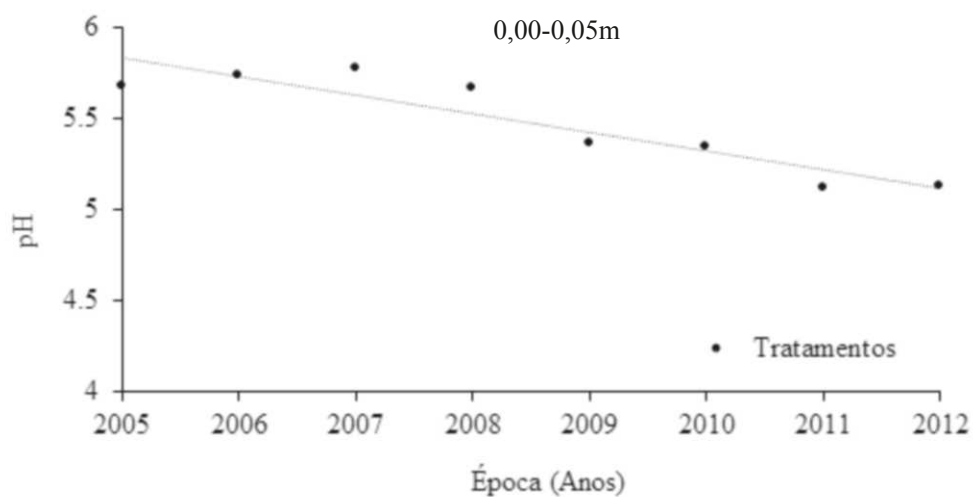
Esses menores valores de pH tem um impacto negativo muito pequeno no desenvolvimento das plantas, devido ao elevado poder tampão da matéria orgânica. (Eberling et al., 2008). Esses resultados também podem ser explicados pelo fato do lodo de esgoto utilizado não ser tratado com cal e também pelo poder acidificante gerado pela biodecomposição da MO (Frachini et al., 2001) ou como descrito por (Galdos et al., 2004) que a redução de pH pode ser pela de ácidos orgânicos e inorgânicos, como H₂SO₄ e HNO₃, pela decomposição da matéria orgânica do lodo e pela atividade microbiana.

Os valores de pH independentemente do tratamento apresentaram tendências semelhantes para as camadas de 0,00-0,05m e 0,05-0,10m isto é uma queda linear significativa no valor do pH ao longo do tempo (Figuras 36 e 37), este comportamento pode ser explicado pelo fato das leguminosas adicionarem grandes quantidades de nitrogênio no solo; e este nitrogênio sofrer a nitrificação com conseqüente lixiviação do nitrato, levando à acidificação do solo. A adição de grandes quantidades de massa verde pelas leguminosas ou seu uso continuado como cobertura, por muito tempo, pode provocar transformações no solo, e uma delas é a acidificação (Gramppgia, 2000).

Tabela 7. Valores médios de pH no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.

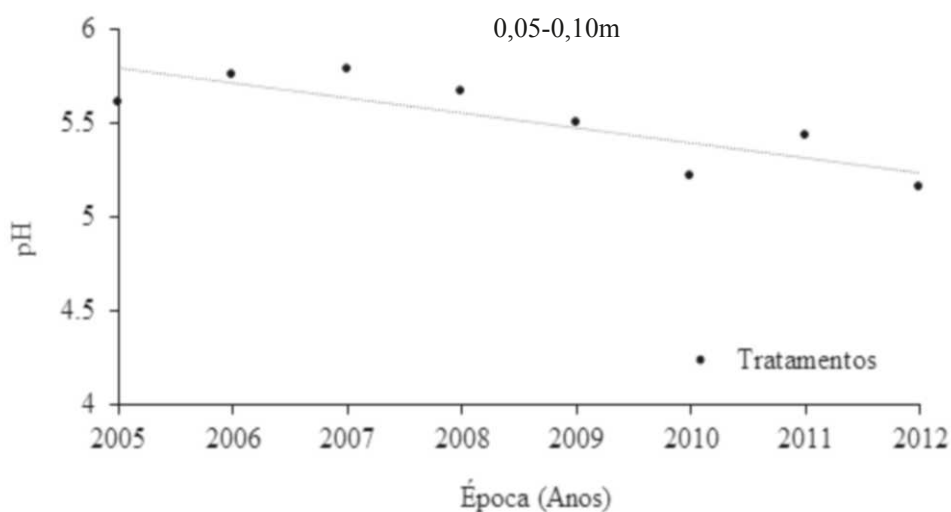
Tratamento	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão	
pH (CaCl ₂)											
0,00-0,05m											
TEST	4,86	4,90	4,54	5,02	4,70	3,64	4,56	4,58	4,60b	-	
AF	6,00	6,16	6,46	6,16	5,82	5,80	5,86	5,46	5,96a	-	
AFCE	6,22	6,32	6,46	6,10	5,62	5,74	5,86	5,56	5,99a	-	
AFRS/AFCJ	6,20	6,20	6,30	6,10	5,84	5,76	5,74	5,46	5,95a	-	
AFLE	5,16	5,16	5,12	5,00	4,84	4,68	4,68	4,58	4,90b	-	
Médias	5,68	5,74	5,78	5,67	5,36	5,34	5,12	5,13	-	Linear	
Teste F ⁽¹⁾	59,20** (Tratamentos)			12,46** (Épocas)			1,29 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	10,13			7,12							
0,05-0,10m											
TEST	4,66	4,66	4,52	4,58	4,56	3,60	4,60	4,50	4,46c	-	
AF	6,06	6,36	6,60	6,38	6,10	5,96	6,12	5,52	6,13c	-	
AFCE	6,38	6,40	6,56	6,32	6,02	5,88	5,92	5,68	6,14c	-	
AFRS/AFCJ	6,24	6,40	6,34	6,28	6,16	6,02	5,78	5,62	6,10a	-	
AFLE	4,72	5,00	4,94	4,82	4,68	4,64	4,76	4,48	4,75a	-	
Médias	5,61	5,76	5,79	5,67	5,50	5,22	5,43	5,16	-	Linear	
Teste F ⁽¹⁾	106,89** (Tratamentos)			9,61** (Épocas)			1,29 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	9,31			6,92							
0,10-0,20m											
TEST	4,46	4,50	4,48	4,62	4,48	3,52	4,52	4,42	4,37c	-	
AF	5,46	5,48	5,92	5,88	5,80	5,86	5,58	5,56	5,69a	-	
AFCE	5,42	5,88	6,00	6,00	5,92	5,72	5,82	5,72	5,81a	-	
AFRS/AFCJ	5,12	6,04	5,68	5,68	5,62	5,58	5,88	5,72	5,66a	-	
AFLE	4,84	5,32	5,18	5,14	5,00	4,98	5,04	4,76	5,03b	-	
Médias	5,06	5,44	5,45	5,46	5,36	5,13	5,36	5,23	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	58,77** (Tratamentos)			1,30 ^{ns} (Épocas)			1,09 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	9,42			8,44							
0,20-0,40m											
TEST	4,30	4,44	4,38	4,46	4,42	3,48	4,42	4,36	4,28b	-	
AF	4,60	4,54	4,50	4,60	4,64	4,98	4,80	5,10	4,72a	-	
AFCE	4,34	4,46	4,70	4,68	4,60	4,54	4,82	4,66	4,60a	-	
AFRS/AFCJ	4,34	4,60	4,46	4,68	4,82	4,58	4,52	4,52	4,56a	-	
AFLE	4,38	4,62	4,78	4,86	4,86	4,70	4,74	4,74	4,71a	-	
Médias	4,39	4,53	4,56	4,65	4,66	4,45	4,66	4,67	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	5,87** (Tratamentos)			1,46 ^{ns} (Épocas)			1,37 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	10,11			8,45							

Médias seguidas de mesma letra na coluna e linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.



TRATAMENTOS: $y = -0,1021x + 210,63$ $R^2 = 0,84$

Figura 36. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para pH no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.



TRATAMENTOS: $y = -0,0795x + 165,24$ $R^2 = 0,68$

Figura 37. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para pH no solo nas profundidades de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Ceolato (2007) estudando a adição de lodo de esgoto líquido na dosagem de 24 t. ha^{-1} por três anos em um argissolo não verificou um tal comportamento em relação ao pH.

Se faz notar na tabela 7 que as profundidades de 0,10-0,20m e 0,20-40m não apresentaram interações significativas entre tratamento e época, como também não houve tendências significativas no valor do pH dos anos de 2005 a 2012.

Em ambas as profundidades 0,10-0,20m e 0,20-40m os tratamentos AF, AFCE, AFRS/AFCJ e AFLE diferiram estatisticamente da testemunha, evidenciando a eficiência imediata dos tratamentos com relação ao aumento do pH (Tabela 7) por outro lado (Santos et al., 2001) comparando gramíneas e leguminosas para recuperação de áreas degradadas não observaram diferenças significativas em relação a testemunha, porém feijão guandu e siratro capim pangola e capim elefante apresentaram valores de pH semelhantes ao do presente trabalho em torno de 6,0 a 6,5. Almeida et al., (2008), após três anos de implantação da semeadura direta e com preparo convencional do solo, não verificaram efeito significativo das plantas de cobertura guandu, crotalária, mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), milheto pH.

Bonini et al., (2015) comparando diferentes doses de lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de um solo degradado observaram que depois de quatro de anos de estudo, que a dosagem de 60Mg. há⁻¹ de lodo de esgoto incrementou significativamente o pH equiparando a valores do cerrado natural talvez devido a formação de íon amônio devido à oxidação do nitrogênio orgânico, presente em grande quantidade no lodo de curtume, bem como no lodo de esgoto (Melo & Marques, 2000). O pH do solo afeta significativamente a disponibilidade de nutrientes no solo e a capacidade de troca de cátions, que aumenta em pH alto (Troeh e Thompson, 2007), o que contradiz o presente trabalho que obteve valores superiores.

Resultados semelhantes aos apresentados na tabela 7 foram verificados por Ricci et al. (2010) que trabalharam com solo tratado com lodo de esgoto. Kitamura et al., (2008); Alves & Souza (2008) estudaram o comportamento da recuperação de áreas degradadas com as mesmas características e verificaram aumento nos valores do pH quando utilizado adubo verde para aumentar a matéria orgânica do solo. Colodro & Espíndola (2006) que constataram verificaram que o lodo de esgoto não influenciou o pH do solo. Wutke et al., (2000) também não observaram, em Latossolo Vermelho sob preparo convencional após três anos da rotação do feijoeiro irrigado com milho e plantas de cobertura, diferenças entre pousio, milho, crotalária, mucuna, guandu e aveia preta quanto ao pH

A Figura 55 mostra um comparativo dos valores de pH no ano de 2012 entre o cerrado original e os tratamentos, observa-se que naturalmente o pH do cerrado original é

baixo em torno de 4,2 e todos os tratamentos apresentando valores maiores 5,5 em média até a profundidade de 0,10-0,20m.

4.1.4. Potássio (K)

O resultado das análises de variância relativo aos teores de potássio no solo experimental em função dos tratamentos aplicados ao longo de oito anos constatou que não houve efeito significativo na interação entre tratamentos e épocas nas camadas de 0,00-0,05m, 0,05-0,10m, 0,10-0,20m, 0,20-0,40m, como também não se observou o efeito isolado dos tratamentos (Tabela 8). Nascimento et al., (2001) observaram que o cultivo com leguminosas (mucuna preta, cunhã, crotalária e leucena) apresentaram valores superiores estatisticamente ao da testemunha, resultados estes que podem revelar os efeitos positivos das leguminosas em relação ao teor de K na camada de 0 - 10 cm, referindo-se como de fundamental importância na sua reciclagem, o que não foi observado no presente trabalho.

Em experimento realizado com aplicação de lodo de esgoto por dois anos em um Latossolo Vermelho eutrófico, Barbosa et al., (2002) observaram diminuição do teor de potássio no solo, porém outros autores têm recomendado uma adição mineral complementar desse elemento (Oliveira & Mattiazzo, 2001).

Abreu (2016) trabalhando com adubação mineral; aplicação de esterco bovino e aplicação de lodo de esgoto em um sistema agrossilvicultural observou resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho onde as fertilizações com lodo de esgoto apresentaram os menores teores de K no solo não diferindo da testemunha (sem fertilização).

Para a profundidade isolada de 0,05-0,10m verificou-se um ajuste linear significativo decrescente ao longo do tempo nos teores de potássio no solo (Figura 38), o que não foi observado para as demais profundidades de 0,00-0,05m, 0,10-0,20m, 0,20-0,40m, porém (Simonete et al., 2003) relataram um acréscimo linear significativo no teor de K no solo em um tratamento com a aplicação do lodo de esgoto, porém com um coeficiente de determinação baixo ($R^2 = 0,47$).

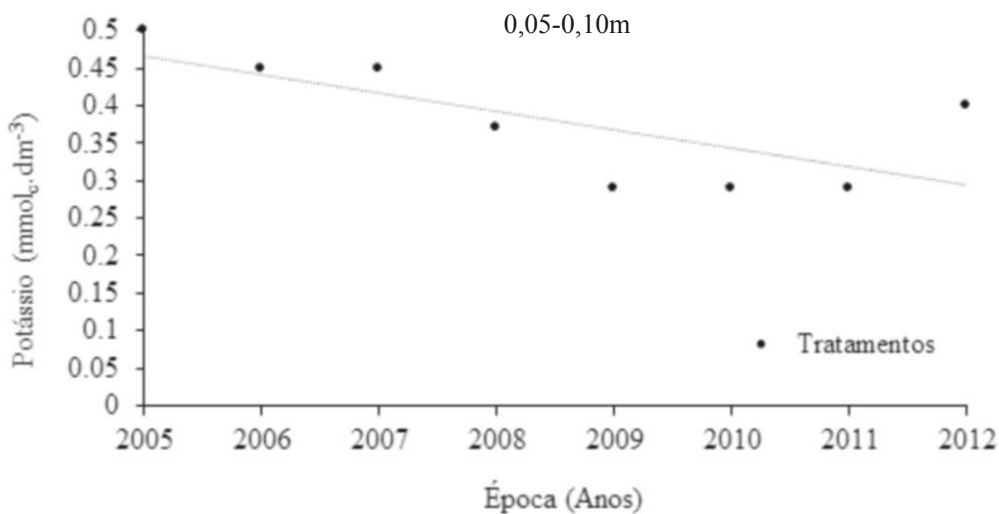
Cunha et al., (2011) estudando a influência de diferentes plantas de cobertura (crotalária, mucuna, feijão guandu e sorgo) em dois sistemas de manejo do solo em duas profundidades por quatro anos de cultivo não observaram diferenças entre as plantas de cobertura quanto aos seus efeitos nos teores de K no solo nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, seja sob preparo convencional ou semeadura direta.

Tabela 8. Valores médios de potássio no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS.

Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	Potássio (mmol _c .dm ⁻³)									
0,00-0,05m										
TEST	0,60	0,62	0,70	0,66	0,68	0,40	0,48	0,70	0,60	-
AF	0,44	0,46	0,48	0,50	0,48	0,50	0,36	0,62	0,48	-
AFCE	0,58	0,68	0,54	0,56	0,56	0,44	0,42	0,58	0,54	-
AFRS/AFCJ	0,62	0,48	0,54	0,54	0,52	0,40	0,30	0,68	0,51	-
AFLE	0,64	0,32	0,66	0,64	0,56	0,50	0,56	0,70	0,57	-
Médias	0,57	0,58	0,58	0,58	0,56	0,44	0,42	0,65	-	-
Teste F ⁽¹⁾	2,08 ^{ns} (Tratamentos)			1,90 ^{ns} (Épocas)			1,82 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)			
CV ⁽²⁾ (%)	76,98						55,38			
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,05-0,10m									
TEST	0,40	0,44	0,48	0,36	0,42	0,26	0,36	0,46	0,44	-
AF	0,30	0,48	0,34	0,30	0,24	0,32	0,22	0,30	0,31	-
AFCE	0,36	0,52	0,50	0,44	0,34	0,30	0,30	0,36	0,39	-
AFRS/AFCJ	0,44	0,40	0,50	0,44	0,30	0,28	0,34	0,42	0,39	-
AFLE	0,64	0,44	0,42	0,32	0,18	0,32	0,24	0,48	0,38	-
Médias	0,50	0,45	0,45	0,37	0,29	0,29	0,29	0,40	-	Linear
Teste F ⁽¹⁾	2,18 ^{ns} (Tratamentos)			4,55 ^{**} (Épocas)			1,49 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)			
CV ⁽²⁾ (%)	48,73						49,17			
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,10-0,20m									
TEST	0,26	0,26	0,28	0,20	0,26	0,20	0,22	0,24	0,24	-
AF	0,28	0,14	0,20	0,20	0,14	0,26	0,12	0,24	0,26	-
AFCE	0,22	0,30	0,34	0,30	0,22	0,18	0,18	0,24	0,25	-
AFRS/AFCJ	0,26	0,22	0,36	0,30	0,28	0,20	0,26	0,26	0,27	-
AFLE	0,26	0,10	0,24	0,20	0,12	0,18	0,12	0,32	0,29	-
Médias	0,26	0,20	0,28	0,24	0,20	0,18	0,18	0,26	-	ns
Teste F ⁽¹⁾	2,39 ^{ns} (Tratamentos)			1,83 ^{ns} (Épocas)			0,67 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)			
CV ⁽²⁾ (%)	44,22						45,64			
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,20-0,40m									
TEST	0,12	0,12	0,20	0,12	0,16	0,16	0,26	0,22	0,17	-
AF	0,40	0,14	0,20	0,20	0,14	0,28	0,16	0,24	0,22	-
AFCE	0,18	0,16	0,26	0,24	0,18	0,26	0,16	0,18	0,19	-
AFRS/AFCJ	0,16	0,10	0,24	0,22	0,12	0,28	0,16	0,18	0,17	-
AFLE	0,18	0,10	0,20	0,20	0,14	0,14	0,12	0,28	0,17	-
Médias	0,21	0,12	0,22	0,20	0,15	0,18	0,17	0,22	-	ns
Teste F ⁽¹⁾	1,97 ^{ns} (Tratamentos)			2,16 ^{ns} (Épocas)			1,03 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)			
CV ⁽²⁾ (%)	53,70						63,80			

Médias seguidas de mesma letra na coluna ou linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

A Figura 56 mostra um comparativo dos valores de K no ano de 2012 entre o cerrado original e os tratamentos, na qual observa-se que nenhum dos tratamentos foram eficientes de forma geral para a restauração da área ao longo dos oito anos de estudo em termos de teores de K apresentados pelo cerrado original.



TRATAMENTOS: $y = -0,0245x + 49,636$ $R^2 = 0,52$

Figura 38. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para potássio no solo na profundidade de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

4.1.5. Cálcio (Ca)

É de fundamental importância a utilização de espécies produtoras de palhada que mobilizem os nutrientes na camada agricultável, retendo-os na sua fitomassa e os devolvendo ao solo durante a decomposição, com relação a um desses nutrientes o Ca, no presente trabalho apresentou interação entre tratamentos e épocas nas camadas de 0,00-0,05m e 0,05-0,10m onde AF, AFCE, AFRS/AFCJ e AFLE apresentaram teores superiores diferindo estatisticamente da testemunha (área degradada) (Tabela 9), resultados semelhantes foram encontrados por (Andrade, 2005). O incremento nos teores de Ca foi verificado por (Ricci et al., 2010) em tratamentos que recebeu 80 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto. Bonini et al., (2015) analisando doses de lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado observaram aumento no teor de cálcio quando aplicado 60 t há⁻¹ de lodo de esgoto, portanto na literatura há vários autores apontam a possibilidade do uso do lodo de esgoto para recuperação de áreas degradadas visto que é eleva os teores de Ca do solo.

Por outro lado, autores como (Nascimento et al., 2001) analisando o cultivo com diferentes leguminosas (mucuna preta, cunhã, crotalária e leucena) e (Wutke et al., 2000) avaliando um Latossolo Vermelho sob preparo convencional após três anos da rotação do feijoeiro irrigado com milho e plantas de cobertura, diferenças entre pousio, milho,

crotalária, mucuna, guandu e aveia preta não encontraram valores superiores estatisticamente ao da testemunha em relação ao cálcio. Nascimento et al., (2003) constataram baixa eficiência de leguminosas em reciclar o cálcio do solo.

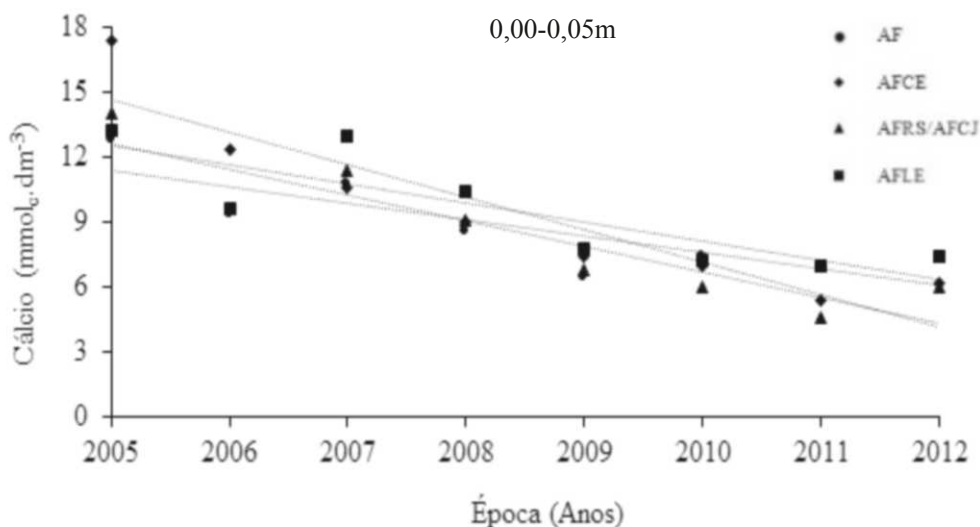
Tabela 9. Valores médios de cálcio no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados,

Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	Cálcio (mmol _e .dm ⁻³)									
0,00-0,05m										
TEST	4,00c	3,40c	5,00b	2,50b	3,60b	2,60b	2,40b	2,00b	-	ns
AF	12,80b	9,40b	10,80a	8,60a	6,40a	7,40a	7,00a	7,20a	-	Linear
AFCE	17,40a	12,40a	10,60a	9,00a	7,40a	7,00a	5,40 ^a	6,20a	-	Linear
AFRS/AF CJ	14,00b	9,60b	11,40a	9,10a	6,80a	6,00a	4,60b	6,00a	-	Linear
AFLE	13,20b	9,60b	13,00a	10,40a	7,80a	7,20a	7,00a	7,40a	-	Linear
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	244,69** (Tratamentos)			143,55** (Épocas)		2,88** (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	36,91					25,86				
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,05-0,10m									
TEST	3,00c	2,20b	2,60c	1,76c	2,60b	1,80b	1,20b	3,40b	-	ns
AF	12,80b	10,60a	12,20a	10,90a	9,60a	7,20a	7,40 ^a	7,00a	-	Linear
AFCE	19,40a	9,60a	12,20a	9,80a	7,40a	7,00a	7,00a	7,00a	-	Linear
AFRS/AF CJ	14,40b	9,00a	8,20b	7,80b	7,40a	6,40a	5,20 ^a	6,40a	-	Linear
AFLE	10,40b	7,00a	8,00b	7,00b	6,00a	6,20a	4,80 ^a	5,80a	-	Linear
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	52,28** (Tratamentos)			18,44** (Épocas)		2,06** (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	36,60					34,52				
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,10-0,20m									
TEST	2,00	1,20	1,80	2,00	1,80	1,20	1,40	2,20	1,70b	-
AF	7,40	4,80	10,80	8,40	6,00	6,40	4,80	5,80	6,80a	-
AFCE	8,00	6,00	9,20	7,80	6,40	5,20	5,00	5,60	6,65a	-
AFRS/AF CJ	4,80	7,20	6,80	6,00	5,20	4,60	5,20	5,80	5,70a	-
AFLE	7,20	6,00	8,40	7,00	5,60	5,60	4,60	5,20	6,20a	-
Médias	5,88	5,04	7,40	6,24	5,00	4,60	4,20	4,92	-	ns
Teste F ⁽¹⁾	13,09** (Tratamentos)			2,20 ^{ns} (Épocas)		0,69 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	68,43					4,16				
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,20-0,40m									
TEST	1,20	1,00	2,20	1,50	1,00	1,20	1,20	1,40	1,33b	-
AF	1,80	1,20	7,00	5,50	4,00	3,60	2,20	3,80	3,63a	-
AFCE	1,40	1,60	4,80	3,60	2,40	1,80	2,80	2,80	2,65b	-
AFRS/AF CJ	1,60	1,80	3,40	3,30	3,20	2,20	1,20	2,20	2,36b	-
AFLE	2,60	2,60	7,00	5,60	4,20	3,60	2,80	5,00	4,17a	-
Médias	1,72	1,64	4,88	3,90	2,96	2,48	2,04	3,04	-	ns
Teste F ⁽¹⁾	5,29** (Tratamentos)			203 ^{ns} (Épocas)		0,60 ^{ns} (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	107,81					74,63				

Selvíria, MS – Brasil.

Médias seguidas de mesma letra na coluna ou linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AF CJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A.fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Ao longo do tempo nessas mesmas profundidades já citadas verificou-se um ajuste linear negativo significativo para todos os tratamentos com exceção da testemunha, mostrando um decréscimo nos teores de Ca durante os oito anos de estudo (Figura 39). Esse comportamento pode ser explicado pelo fato que no início do experimento de recuperação foi aplicado $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário e não somente aos tratamentos visto a tendência de queda nos teores de Ca, mascarando de certa forma o efeito dos tratamentos. Anghinoni & Nicolodi, (2004) relatam que os efeitos proporcionados pelos compostos orgânicos dos resíduos vegetais de plantas de cobertura sobre a química do solo, são transientes que pode explicar em parte a tendência de queda nos teores de Ca no solo até o ano de 2012.

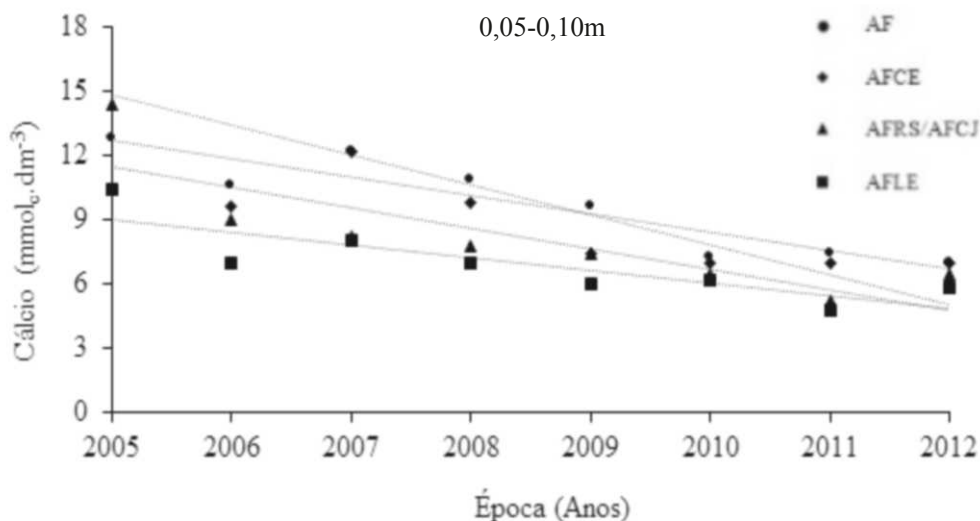


TEST: ^{ns}; AF: $y = -0,7571x + 1529,4$ $R^2 = 0,72$; AFCE: $y = -1,4976x + 3017,4$ $R^2 = 0,81$
 AFRS/AFCJ: $y = -1,1845x + 2337,6$ $R^2 = 0,83$; AFLE: $y = -0,8762x + 1769,3$ $R^2 = 0,71$

Figura 39. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para cálcio no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Para as camadas de 0,10-0,20m e 0,20-0,40m (Tabela 9) foi verificado apenas o efeito isolado dos tratamentos onde na camada 0,20-0,40m os tratamentos AF, AFLE foram superiores aos demais, por outro lado (Vendruscolo, 2015) avaliando o efeito do biochar e lodo de esgoto com plantas de cobertura nos atributos físico e químicos, verificou depois de nove de experimento uma queda no teor de Ca no solo com lodo de esgoto.

De modo geral no ano de 2012 (Tabela 9) com exceção da testemunha os teores de Ca até a profundidade de 0,20m variaram de 7,40 a 5,20 mmol.c.dm⁻³ ocupando a classe de alto a médio o que segundo a classificação da (CFSEMG, 1999).



TEST: ns; AF: $y = -0,8679x + 1752,8$ $R^2 = 0,86$; AFCE: $y = -1,4024x + 2826,6$ $R^2 = 0,65$; AFRS/AFCJ: $y = 0,9619x + 1940,1$ $R^2 = 0,71$; AFLE: $y = -0,5905x + 1192,9$ $R^2 = 0,72$

Figura 40. Gráficos e equações de regressão de melhor ajuste para cálcio no solo nas profundidades de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

A Figura 57 mostra um comparativo dos valores de Ca após oito anos de estudo entre o cerrado original e os tratamentos, na qual observa-se que todos os tratamentos apresentaram de forma geral teores de Ca superiores ao cerrado original o que não foi observado por (Correia & Durigan, 2008), por outro lado e após dois anos de semeadura direta comparando diversas espécies de gramíneas usadas como cobertura do solo.

4.1.6. Magnésio (Mg)

Após oito anos de experimento observou-se uma interação significativa entre tratamentos e épocas onde AFLE apresentou o maior incremento de magnésio no solo ao longo do tempo diferindo dos demais tratamentos na camada de 0,00-0,05m, em contrapartida a TEST e AF foram os que apresentaram os piores resultados (Tabela 10). Os incrementos nos teores de Mg no solo também foram verificados por (Ricci et al., 2010) em um tratamento que recebeu 80 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto e por (Bonini, Alves & Oliveira,

2008) trabalhando com recuperação de áreas degradadas. Por outro lado, (Vendruscolo, 2015) avaliando o efeito do biochar e lodo de esgoto com plantas de cobertura nos atributos físicos e químicos, não verificou alteração no teor de Mg no solo com a aplicação do lodo de esgoto.

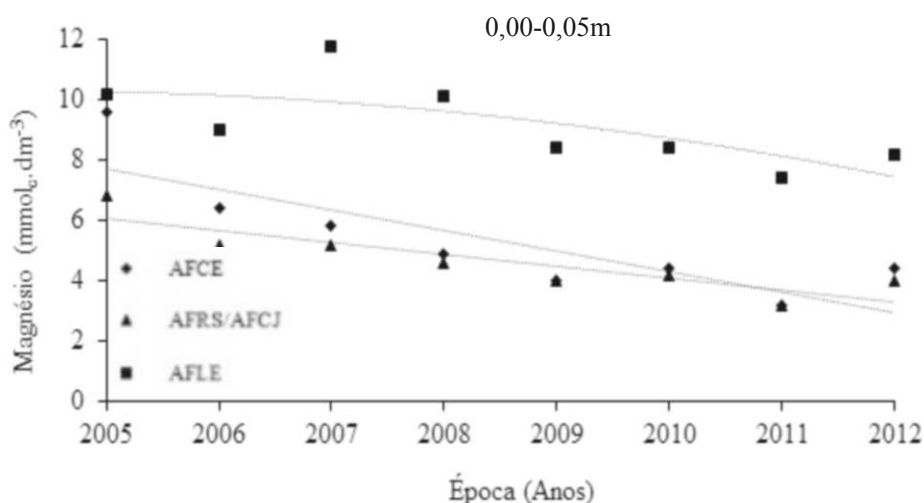
Tabela 10. Valores médios de magnésio no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.

Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão	
	Magnésio (mmol _e .dm ⁻³)										
0,00-0,05m											
TEST	3,00d	2,20d	2,80c	3,00c	2,40b	2,40c	2,40b	3,00b	-	ns	
AF	5,20c	3,80c	5,20b	4,40b	3,60b	4,80b	4,20b	5,00b	-	ns	
AFCE	9,60a	6,40b	5,80b	4,90b	4,00b	4,40b	3,20b	4,40b	-	Linear	
AFRS/AFCJ	6,80b	5,20c	5,20b	4,60b	4,00b	4,20b	3,20b	4,00b	-	Linear	
AFLE	10,20a	9,00c	11,80a	10,10a	8,40a	8,40a	7,40a	8,20a	-	Quadr.	
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Teste F ⁽¹⁾	225,12** (Tratamentos)			21,10** (Épocas)			3,17** (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	29,90				22,77						
0,05-0,10m											
TEST	2,60	1,20	1,60	1,76	1,20	1,60	1,60	2,20	1,72b	-	
AF	5,60	4,60	5,40	4,70	4,00	4,20	3,60	3,40	4,43a	-	
AFCE	9,60	4,60	6,80	5,40	4,00	3,80	4,60	4,20	5,37a	-	
AFRS/AFCJ	7,00	4,60	4,00	4,30	4,60	4,20	3,40	3,80	4,48a	-	
AFLE	6,40	4,80	5,40	5,00	4,60	4,80	3,40	4,80	4,90a	-	
Médias	6,24	3,72	4,64	4,23	3,68	3,72	3,32	3,68	-	Linear	
Teste F ⁽¹⁾	81,58** (Tratamentos)			21,27** (Épocas)			2,90** (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	44,42				41,26						
0,10-0,20m											
TEST	1,20	1,00	1,40	2,00	1,00	1,00	1,20	1,40	1,27b	-	
AF	3,00	2,00	3,00	2,80	2,60	3,60	2,20	3,00	2,77a	-	
AFCE	3,20	3,00	5,00	4,10	3,20	3,00	2,80	3,20	3,43a	-	
AFRS/AFCJ	2,00	3,00	3,20	2,90	2,60	3,00	3,20	3,40	2,91a	-	
AFLE	3,60	2,80	4,20	3,50	2,80	2,60	2,80	3,80	3,26a	-	
Médias	2,60	2,36	3,36	3,06	2,44	2,44	2,44	2,96	-	ns	
Teste F ⁽¹⁾	29,36** (Tratamentos)			2,17** (Épocas)			1,02** (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	72,72				43,20						
0,20-0,40m											
TEST	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,20	1,00	1,02b	-	
AF	1,00	1,00	1,60	1,40	1,20	2,40	1,40	1,80	1,50b	-	
AFCE	1,20	1,40	1,80	1,70	1,60	1,00	1,80	1,60	1,48b	-	
AFRS/AFCJ	1,00	1,20	1,20	1,30	1,40	1,20	1,00	1,20	1,18b	-	
AFLE	1,00	1,60	5,60	3,60	1,60	1,60	1,60	3,20	2,47a	-	
Médias	1,04	1,24	2,24	1,80	1,36	1,44	1,40	1,76	-	ns	
Teste F ⁽¹⁾	3,20* (Tratamentos)			1,74** (Épocas)			1,02** (Tratamentos x Épocas)				
CV ⁽²⁾ (%)	29,52				53,62						

Médias seguidas de mesma letra na coluna ou linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Os tratamentos AFCE e AFRS/AFCJ ao longo do tempo apresentaram um ajuste linear significativo decrescente e o AFLE um ajuste quadrático, porém todos estes em 2012

continham quantidades mais baixas de magnésio no solo em comparação a 2005 em uma profundidade de até 0,05m (Figura 41) no entanto (Ceolato, 2007) relata um aumento linear significativo de magnésio, somente no primeiro ano de aplicação na camada de 0,00-0,20m com a adição de lodo de esgoto líquido na dosagem de 24 t.ha⁻¹ por três anos em um Argissolo.

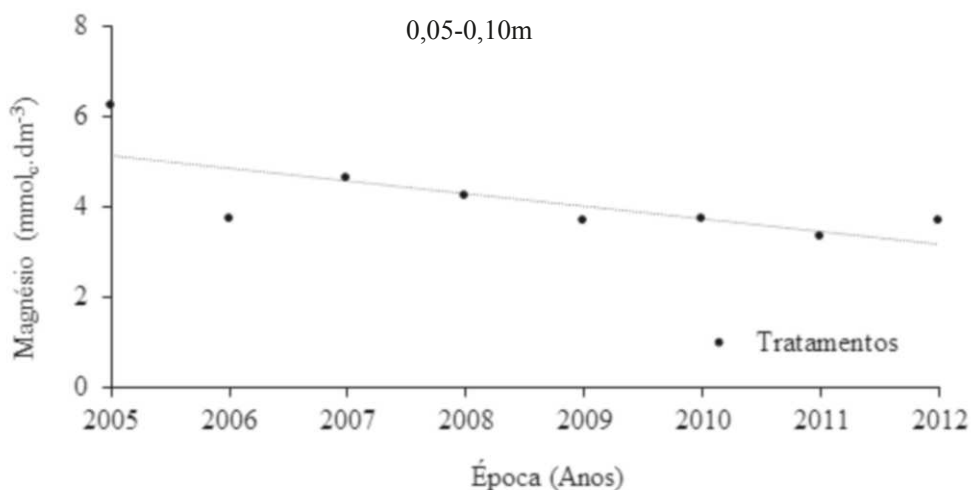


TEST: ^{ns}; AF: ^{ns}; AFCE: $y = -0,6485x + 1380,2$ $R^2 = 0,71$; AFRS/AFCJ: $y = -0,3952 + 798,49$ $R^2 = 0,78$; AFLE: $y = -0,047x^2 + 188,49x - 18877$ $R^2 = 0,52$

Figura 41. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para magnésio no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Para as demais profundidades 0,05-0,010m, 0,10-0,20m, 0,20-0,40m não foram verificadas interações significativas (Tabela 10), mas apenas o efeito isolado dos tratamentos nas profundidades de 0,05-0,010m e 0,10-0,20m onde os tratamentos AF, AFCE, AFRS/AFCJ diferiram da testemunha em relação ao teor de Mg no solo, o que não ocorreu na camada de 0,20-0,40m na qual somente o tratamento com lodo de esgoto + braquiária e Gonçalves – Alves diferiu da testemunha resultado semelhante foi encontrado por (Wutke et al., 2000) estudando os atributos químicos em um Latossolo Vermelho sob preparo convencional após três anos da rotação do feijoeiro irrigado com milho e plantas de cobertura, observaram diferenças entre pousio, milho, crotalária, mucuna, guandu e aveia preta quanto ao e magnésio, diferentes resultados foram encontrados por (Cunha et al., 2011) analisando dois sistemas de preparo em duas profundidades concluíram que as plantas de cobertura não alteraram significativamente o teor de magnésio no solo

Na camada de 0,05-0,10m os tratamentos mostraram um comportamento linear decrescente nos oito anos de estudo (Figura 42). Segundo Prates (2010) essa queda pode relacionada a maiores perdas por lixiviação, possivelmente associada ao aumento da concentração de íons hidrogênio em solução, provocando o deslocamento desses cátions do complexo coloidal e a sua retirada do sistema.



TRATAMENTOS: $y = -0,0245x + 49,636$ $R^2 = 0,52$

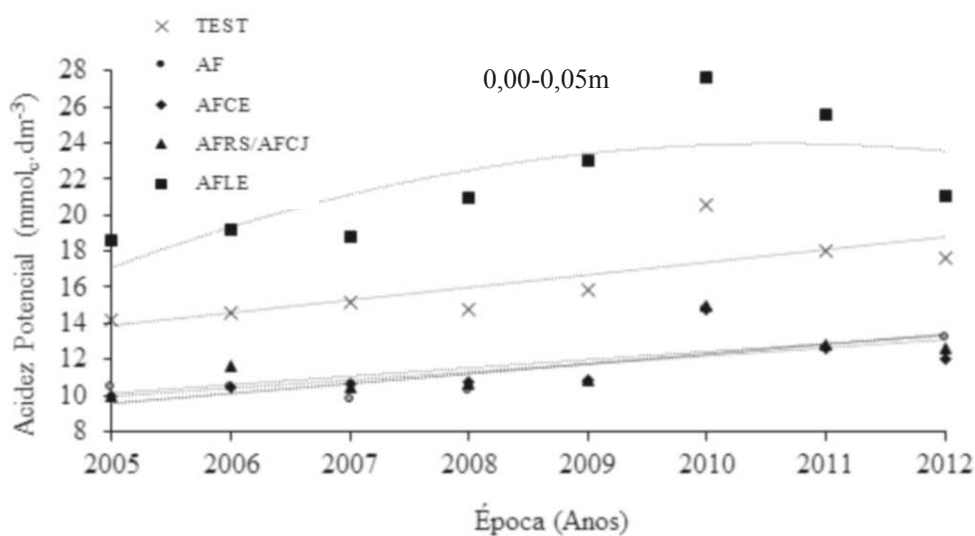
Figura 42. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para magnésio no solo nas profundidades de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Tomando-se por referência os valores de magnésio no solo segundo (CFSEMG, 1999) verifica-se que os valores encontrados no presente trabalho foram classificados como baixo inclusive no tratamento com lodo de esgoto (Tabela 10), visto que o mesmo não se constitui em importante fonte de magnésio, sendo que a sua adição normalmente não contribui para aumentos expressivos deste elemento no solo (Chiba et al., 2008)

Na figura 58 o cerrado original mostra teores superiores do íon Mg no solo, grande parte concentrado na camada de 0,00-0,05m e uma queda brusca em camadas mais profundas, por outro lado verifica-se uma certa homogeneidade do Mg em relação aos tratamentos ao longo do perfil no ano de 2012.

4.1.7. Acidez Potencial (H+Al)

Analisando a influência dos tratamentos na acidez potencial do solo na área de estudo após oito anos verificou-se a interação significativa entre tratamentos e épocas na camada de 0,00-0,05m (Tabela 11), onde os tratamentos TEST, AF, AFCE, AFRS/AFCJ apresentaram comportamentos lineares, já o AFLE apresentou um comportamento quadrático (Figura 43) porém (Ricci et al., 2010) trabalhando com doses (0, 20, 40 e 80 Mg ha⁻¹) de um composto orgânico de lodo de esgoto e resíduos de roçagem na recuperação de um solo decapitado, verificou que não houve influência do lodo de esgoto na acidez potencial. Marques, (1997) cultivando cana-planta em um Latossolo Vermelho textura média fertilizado com doses crescentes de lodo, em amostragem realizada um ano após a aplicação do resíduo, observaram um decréscimo linear nos teores de H+Al, de igual modo (Ceolato, 2007) observou que aplicação de lodo reduziu significativamente a acidez potencial do solo desde o primeiro ano.



TEST: $y = 0,691x - 1371$ $R^2 = 0,59$; AF: $y = 0,5476x - 1088,4$ $R^2 = 0,55$; AFCE: $y = 0,4488x - 889,95$ $R^2 = 0,48$; AFRS/AFCJ: $y = 0,4548x - 901,66$ $R^2 = 0,45$; AFLE: $y = -0,2187x^2 + 879,4x - 884043$ $R^2 = 0,57$

Figura 43. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para acidez potencial no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Tabela 11. Valores médios de acidez potencial (H + Al) no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.

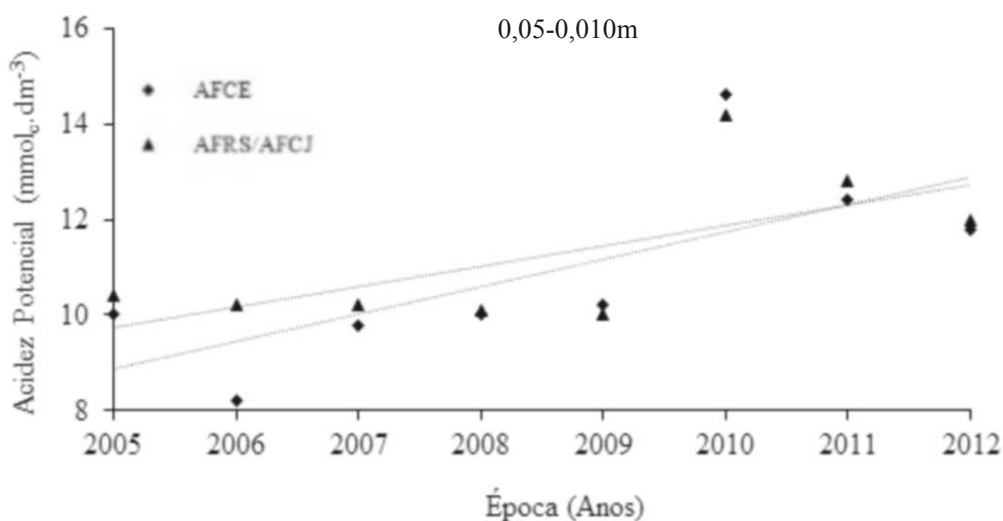
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	H + Al (mmol _c .dm ⁻³)									
0,00-0,05m										
TEST	14,20b	14,60b	15,20b	14,76b	15,80b	20,60b	18,00b	17,60b	-	Linear
AF	10,40c	10,40c	9,80c	10,20c	10,60c	14,80c	12,60c	13,20c	-	Linear
AFCE	10,00c	10,40c	10,60c	10,70c	10,80c	14,80c	12,60c	12,00c	-	Linear
AFRS/AFCJ	10,00c	11,60c	10,40c	10,60c	10,80c	15,00c	12,80c	12,60c	-	Linear
AFLE	18,60a	19,16a	18,80a	20,90a	23,00a	27,60a	25,60a	21,00a	-	Quadr.
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	206,48**				128,41**			2,72**		-
CV ⁽²⁾ (%)	14,25			12,56						
0,05-0,10m										
TEST	14,40b	14,60b	15,00b	17,26b	14,80b	20,40b	16,40a	15,80b	-	ns
AF	10,40c	10,40c	9,60c	9,90c	10,20c	14,00c	11,00b	11,80c	-	ns
AFCE	10,00c	8,20d	9,80c	10,00c	10,20c	14,60c	12,40b	11,80c	-	Linear
AFRS/AFCJ	10,40c	10,20c	10,20c	10,10c	10,00c	14,20c	12,80b	12,00c	-	Linear
AFLE	21,80a	18,20a	17,60a	19,40a	21,20a	27,00a	18,40a	20,00a	-	ns
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	121,42**			81,99**			2,35**		-	-
CV ⁽²⁾ (%)	17,60			11,98						
0,10-0,20m										
TEST	14,80	15,00	15,20	16,50	14,60	20,80	16,20	16,20	16,16a	-
AF	11,80	11,80	11,00	11,10	11,20	14,40	12,60	11,40	11,91b	-
AFCE	11,80	11,60	11,20	10,90	10,60	14,80	12,60	11,60	11,88b	-
AFRS/AFCJ	12,20	11,00	12,20	11,80	11,40	15,60	12,20	11,80	12,27b	-
AFLE	15,00	12,40	14,60	15,00	15,40	19,60	15,00	15,60	15,32a	-
Médias	13,12	12,36	12,84	13,06	12,64	17,04	13,72	13,32	-	ns
Teste F ⁽¹⁾	38,95**			26,88**			1,21 ^{ns}		-	-
CV ⁽²⁾ (%)	15,48			10,59						
0,20-0,40m										
TEST	14,60	14,80	15,60	17,00	14,60	20,80	17,80	15,60	16,35a	-
AF	13,00	14,00	13,80	13,50	13,20	16,80	13,80	12,60	13,83b	-
AFCE	14,60	14,20	14,00	13,70	13,40	17,80	14,40	12,60	14,33b	-
AFRS/AFCJ	13,80	13,40	14,60	13,80	13,00	18,00	14,80	14,20	14,45b	-
AFLE	14,00	13,80	14,00	13,90	13,80	19,00	14,80	15,20	14,81b	-
Médias	14,00	14,04	14,40	14,38	13,60	18,48	15,12	14,04	-	ns
Teste F ⁽¹⁾	9,00**			35,44**			1,31 ^{ns}		-	-
CV ⁽²⁾ (%)	13,66			8,92						

Médias seguidas de mesma letra na coluna ou linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

A tabela 11 revela maiores valores de H+Al no tratamento com lodo de esgoto comparados com os demais e na tabela 13 um correlação linear negativa significativa de -0,64** entre H+Al e pH, o que pode ser explicado pelo fato do lodo de esgoto fornecer uma grande quantidade de matéria orgânica (Tabela 6), na camada 0,00-0,05, acidificando o solo pelo processo de nitrificação, comprovados pelos os valores abaixo de 5,5 de pH (Tabela 7) uma vez que (Bohnen, 2000) relata que acidez potencial devido ao Al trocável é observada

em $\text{pH} \leq 5,5$. Caldeira-Júnior et al., (2009) atribui o aumento da acidez potencial às reações de nitrificação do N-amoniaco; à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo pelos microrganismos

Ainda na profundidade de 0,00-0,05m a partir do ano 2009 (Tabela 11) verificou-se uma queda na acidez potencial no tratamento AFLE provavelmente justificado pela presença da braquiária desenvolvida que impede em parte o processo de nitrificação, resultados semelhantes foram encontrados por (Abreu, 2016) na qual relata que fertilização com lodo de esgoto promoveu incrementos nos valores de pH e redução da acidez potencial (H^+Al^{3+}) do solo na profundidade de 0-0,1 m.



TEST: ^{ns}; AF: ^{ns}; AFCE: $y = 0,5738x - 1141,6 R^2 = 0,51$; AFRS/AFCJ: $y = 0,4298x - 851,94 R^2 = 0,45$; AFLE: ^{ns}

Figura 44. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para acidez potencial no solo nas profundidades de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Na profundidade de 0,05-0,10m também foi verificada uma interação entre tratamento e época, porém com significância somente para AFCE e AFRS/AFCJ (Figura 44). Ao longo dos oitos anos de experimento os tratamentos não influenciaram de forma significativa a acidez potencial nas camadas mais profundas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40m (Tabela 11) resultados semelhantes foram encontrados por (Bonini et al., 2015) analisando a influência das doses de 30 e 60 t ha⁻¹ em uma área de recuperação de quatro anos em quatro

profundidades, onde não verificaram influência do lodo de esgoto nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,40m, por outro lado (Prates, 2010) avaliando o crescimento, desenvolvimento e nutrição de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio observou uma aumento na acidez potencial nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, com as maiores doses de lodo aplicadas.

A figura 59 revela que todos os tratamentos apresentaram uma acidez potencial mais baixa quando comparados com o cerrado original em 2012 ao longo do perfil solo até a profundidade de 0,40m.

4.1.8. Alumínio Trocável (Al^{+3})

Em relação à variação do teor de alumínio trocável (Al^{+3}), houve efeito significativo entre os tratamentos e épocas nas camadas de 0,00-0,05m e 0,05-0,10m (Tabela 12) onde o presente trabalho revelou em valores absolutos de $0,00 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para os tratamentos AF, AFRS/AFCE, AFLE ao longo do tempo, tais resultados indicam que a aplicação do calcário podem proporcionar a diminuição do teor de alumínio no solo bem como a eficiência das leguminosas e da espécie Gonçalo-Alves na reciclagem e manutenção deste nutriente em níveis satisfatórios ao longo dos oito anos, resultados também verificados por (Alcântara, 1998; Pequeno, 1999). Resultados expressivos já era esperado para o tratamento AF, visto que a espécie nativa *Astronium fraxinifolium* Schott, é utilizada na recuperação de áreas com alta quantidade de alumínio no solo, visto a sua agressividade e resistência a condições adversas (Alves et al., 2007).

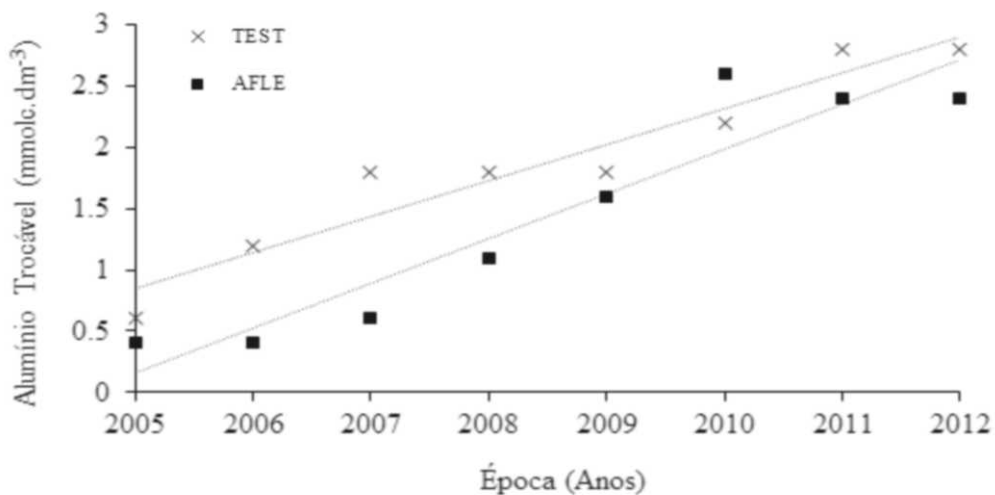
Verificou-se que nas camadas de 0,00-0,05m e 0,05-0,10m que a testemunha e o solo como lodo de esgoto diferiram dos demais tratamentos apresentando incrementos significativos lineares de alumínio no solo ao longo do tempo (Figuras 45 e 46), possivelmente pela ausência da aplicação de calcário, o que contradiz os dados obtidos por (Pereira & Garcia, 2017) que analisando os efeitos da aplicação em escala real de lodo de estação de tratamento de efluentes em uma área de Latossolo cultivado com eucalipto (*Eucalyptus* sp.) notaram um decréscimo de 15% no teor de Al^{+3} em relação a testemunha.

Na profundidade 0,10-0,20 verificou-se apenas o efeito isolado dos tratamentos onde a testemunha diferiu estatisticamente do solo com lodo de esgoto + Gonçalo-Alves e braquiária sendo que os demais tratamentos apresentaram os melhores resultados como teores de Alumínio variando de 0,00 a $0,01 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ que são considerados muito baixos segundo (CFSEMG, 1999).

Tabela 12. Valores médios de alumínio trocável (Al) no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.

Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	Alumínio trocável (mmol.c.dm ⁻³)									
0,00-0,05m										
TEST	0,60a	1,20a	1,80a	1,80a	1,80a	2,20a	2,80a	2,80a	-	Linear
AF	0,00a	0,00b	0,00c	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	-	ns
AFCE	0,00b	0,00b	0,00c	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	-	ns
AFRS/AFCJ	0,00b	0,00b	0,00c	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	-	ns
AFLE	0,40a	0,40b	0,60b	1,10a	1,60a	2,60a	2,40a	2,40a	-	Linear
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	43,86**			14,68**			6,32**			
CV ⁽²⁾ (%)	130,14						69,47			
Tratamentos/ /Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,05-0,10m									
TEST	1,20a	1,40a	1,60a	1,76a	2,20a	2,60a	2,80a	2,40a	-	Linear
AF	0,00b	0,00c	0,00c	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	-	ns
AFCE	0,00b	0,00c	0,00c	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	-	ns
AFRS/AFCJ	0,00b	0,00c	0,00c	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	0,00b	-	ns
AFLE	1,00a	0,64b	1,20b	1,80a	2,40a	2,20a	2,60a	2,80a	-	Linear
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	58,73**			9,54**			4,37**			
CV ⁽²⁾ (%)	113,51						64,43			
Tratamentos/ /Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,10-0,20m									
TEST	1,60a	2,40a	3,00a	2,26a	2,40a	3,60a	1,80a	3,00a	2,5a	-
AF	0,00b	0,00c	0,00b	0,00b	0,00b	0,00c	0,00b	0,00c	0,0c	-
AFCE	0,20b	0,00c	0,00b	0,00b	0,00b	0,00c	0,20b	0,00c	0,1c	-
AFRS/AFCJ	0,40b	0,00c	0,00b	0,20b	0,40b	0,00c	0,00b	0,00c	0,1c	-
AFLE	1,00a	0,80b	1,00b	0,50b	0,40b	1,00b	1,60a	1,40b	1,0b	-
Médias	0,64	0,64	0,80	0,59	0,64	0,92	0,72	0,88	-	-
Teste F ⁽¹⁾	30,05**			2,82 ^{ns}			1,49 ^{ns}			
CV ⁽²⁾ (%)	113,99						82,05			
Tratamentos/ /Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,20-0,40m									
TEST	2,40	3,00	3,60	2,00	3,20	5,20	2,80	3,80	3,3a	-
AF	2,40	2,40	2,20	2,10	3,00	3,00	2,40	1,00	2,3b	-
AFCE	3,00	3,20	1,60	1,80	2,00	3,60	1,00	1,60	2,2b	-
AFRS/AFCJ	3,20	2,40	3,20	2,80	2,40	2,80	1,80	2,60	2,7b	-
AFLE	2,00	1,40	1,80	2,10	2,40	3,60	1,20	3,20	2,2b	-
Médias	2,60	2,48	2,48	2,16	2,60	3,32	1,84	2,12	-	-
Teste F ⁽¹⁾	10,11*			1,35 ^{ns}			0,46 ^{ns}			
CV ⁽²⁾ (%)	60,43						38,81			

Médias seguidas de mesma letra na coluna ou linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

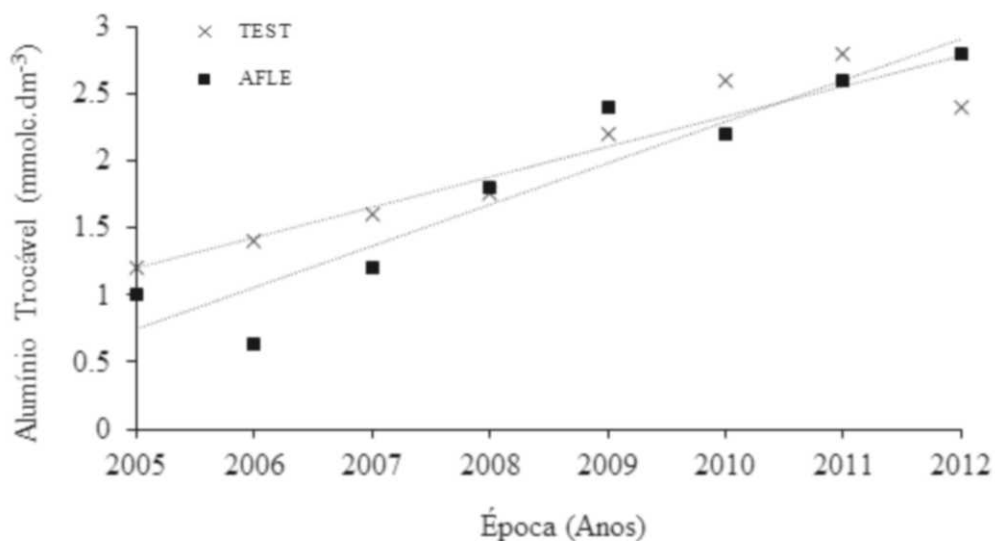


TEST: $y = 0,2929x - 586,33$ $R^2 = 0,92$; AF: ^{ns}; AFCE: ^{ns}; AFRS/AFCJ: ^{ns}; AFLE: $y = 0,3631x - 727,84$ $R^2 = 0,89$

Figura 45. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para alumínio trocável no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Não foram observados valores de F significativos para época e interação apenas para tratamento na camada de 0,20-0,40m para os teores de alumínio no solo, onde os resultados refletiram aos encontrados para pH (Tabela 7) uma vez que a acidez ativa do solo favorece a solubilidade do Al^{+3} (Oliveira, 2015), ressalta-se uma correlação linear de 0,85** (Tabela 15) entre pH e Al^{+3} na camada de 0,20-0,40m.

Na Figura 60 observa-se que os tratamentos após os oitos anos de estudos apresentam os níveis de Al^{+3} abaixo em comparação ao cerrado natural em todas a profundidades.



TEST: $y = 0,2243x - 448,48$ $R^2 = 0,87$; AF: ^{ns}; AFCE: ^{ns}; AFRS/AFCJ: ^{ns}; AFLE: $y = 0,3095x - 619,85$ $R^2 = 0,89$

Figura 46. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para alumínio trocável no solo nas profundidades de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

4.1.9. Capacidade de Troca Catiônica (T)

Na tabela 12 encontram-se os valores da CTC potencial (pH 7,0) do solo obtidos de acordo com os tratamentos e épocas em diferentes profundidades. Dos resultados, observou-se a interação entre tratamentos e épocas nas profundidades de 0,00-0,05m e 0,05-0,10m. A CTC potencial apresentou maiores valores com a utilização do lodo de esgoto em todos os anos variando de 44,26 a 37,30 mmolc.dm^{-3} , porém todos tratamentos apresentaram diferenças significativas em relação a testemunha. Cunha et al., (2011) verificaram, após quatro anos que, em geral, o cultivo de plantas de coberturas não alterou os valores de CTC do solo. Santos et al., (2001) porém trabalhando com a utilização de sirato, capim-pangola, capim- elefante e feijão-guandu na recuperação de áreas degradadas também relataram que estas leguminosas apresentaram valores maiores que a testemunha

Observou-se que os tratamentos AFCE, AFRS/AFCJ ao longo do tempo apresentaram comportamentos lineares descendentes significativos e AFLE comportamento quadrático na profundidade de 0,00-0,05m (Figura 47), porém todos os tratamentos no ano de 2012 apresentaram valores mais baixos aos encontrados em 2005, isto é houve um incremento decrescente de matéria orgânica, uma vez que o aumento proporcional do

conteúdo de matéria orgânica representa na maioria das vezes reflexos diretos na CTC do solo a pH 7 (Tabela 13). Gaskin et al., (2003), observaram também em condições experimentais bem variadas, um significativo aumento da CTC, pela aplicação de lodo de esgoto em solo.

Tabela 13. Valores médios de capacidade de troca catiônica potencial (T) no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–

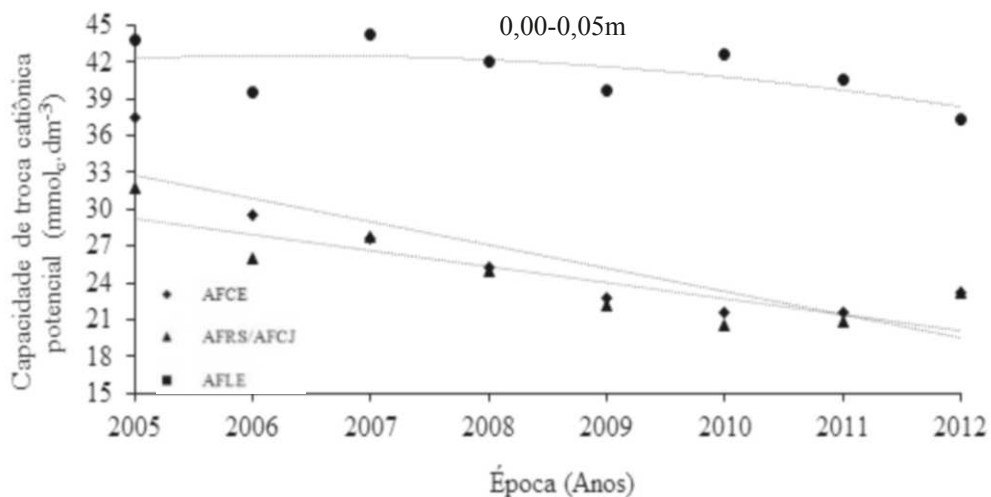
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	Capacidade de troca catiônica potencial (mmol _c .dm ⁻³)									
0,00-0,05m										
TEST	22,48d	21,32c	23,48b	21,30b	22,58b	20,60c	23,28b	27,50b	-	ns
AF	28,64c	23,94c	26,28b	23,70b	21,08b	22,50b	24,16b	26,02b	-	ns
AFCE	37,46b	29,60b	27,60b	25,20b	22,76b	21,64b	21,62b	23,18b	-	Linear
AFRS/AFCJ	31,78c	26,04b	27,70b	24,92b	22,12b	20,60b	20,90b	23,28b	-	Linear
AFLE	43,80a	39,56a	44,26a	42,04a	39,76a	42,70a	40,56a	37,30a	-	Quadr.
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	116,21**				9,06**			2,65**		
CV ⁽²⁾ (%)	15,86				13,62					
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,05-0,10m									
TEST	20,80d	18,44b	19,92b	21,10b	19,02b	19,26c	19,56a	21,86b	-	ns
AF	29,18c	25,96a	27,22a	25,64a	24,04b	22,72b	22,22a	22,50b	-	ns
AFCE	39,36a	25,04a	29,46a	25,72a	21,94b	22,70b	21,30a	21,36b	-	Linear
AFRS/AFCJ	32,36b	24,48a	22,78b	22,58b	22,30b	22,08b	21,74a	21,62b	-	Linear
AFLE	39,20a	29,74a	31,02a	31,52a	31,98a	38,32a	26,84a	26,08a	-	ns
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	50,80**			11,03**			1,73*			
CV ⁽²⁾ (%)	15,58			16,71						
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,10-0,20m									
TEST	18,00	17,50	18,54	20,60	17,66	18,80	19,12	20,14	18,79c	-
AF	22,60	18,66	25,12	22,56	19,94	24,66	19,72	20,44	21,71b	-
AFCE	23,82	20,94	25,70	23,08	20,42	24,66	20,58	20,64	22,29b	-
AFRS/AFCJ	19,42	21,30	22,52	20,98	19,38	23,40	20,86	21,26	21,14b	-
AFLE	26,02	22,74	27,20	25,58	23,92	27,98	22,52	24,92	25,11a	-
Médias	21,97	20,22	23,81	22,56	20,26	23,60	20,56	21,48b	-	ns
Teste F ⁽¹⁾	7,26**		2,06 ^{ns}			0,61 ^{ns}				
CV ⁽²⁾ (%)	24,47			16,30						
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	0,20-0,40m									
TEST	15,80	16,16	18,48	19,62	16,76	18,76	20,46	18,22	18,03b	-
AF	16,08	15,66	22,32	20,46	18,54	23,08	17,56	18,44	19,01b	-
AFCE	16,66	17,56	20,82	19,22	17,58	20,76	19,16	17,18	18,61b	-
AFRS/AFCJ	15,92	16,60	19,08	18,44	17,72	21,58	17,16	17,78	18,03b	-
AFLE	17,86	17,94	26,76	23,28	19,74	24,34	19,32	23,68	21,61a	-
Médias	16,46	16,78	21,49	20,20	18,06	21,70	18,73	19,06	-	ns
Teste F ⁽¹⁾	6,22**		1,86 ^{ns}			0,94 ^{ns}				
CV ⁽²⁾ (%)	19,76			16,47						

0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS – Brasil.

Médias seguidas de mesma letra na coluna ou linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

Analisando os dados, percebeu-se que a CTC do solo não correlacionou-se linearmente com a matéria orgânica do solo 0,14^{ns} (Tabela 15) isso indica que a matéria orgânica deste solo, proporcionada pela utilização das leguminosas (feijão guandu, crotalária), braquiária, espécie arbórea e lodo de esgoto depositam um material orgânico no solo, que favoreceu a melhoria das características químicas do solo até certo ponto, como se pode observar pelos dados da CTC, quando comparadas aos da testemunha, porém não em quantidade ou qualidade suficiente para a manutenção da CTC do solo ao longo do tempo. A influência da matéria orgânica nas propriedades químicas do solo está diretamente ligada com a alteração do seu complexo coloidal em outras palavras com o aumento de cargas superficiais negativas e, conseqüentemente, a maior retenção de cátions (Abreu Junior et al., 2001). Backes et al., (2009) corrobora em parte com o presente trabalho em avaliando o efeito da aplicação do lodo de esgoto na nutrição e desenvolvimento inicial do mamoeiro não observou a influência do mesmo na CTC.

Abreu, (2016) trabalhando com adubação mineral; aplicação de esterco bovino e aplicação de lodo de esgoto em um sistema agrossilvicultural observou resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho onde as fertilizações com lodo de esgoto apresentaram os maiores valores de CTC no solo. Outros autores verificaram a relação direta da matéria orgânica sobre a CTC do solo. Para Rodrigues et al., (2007), pesquisando a capacidade de regeneração de um subsolo, em uma área de empréstimo, área a qual foram removidos quase 10 m de profundidade alguns pontos, para a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP, observaram que o comportamento da CTC era semelhante ao da matéria orgânica.

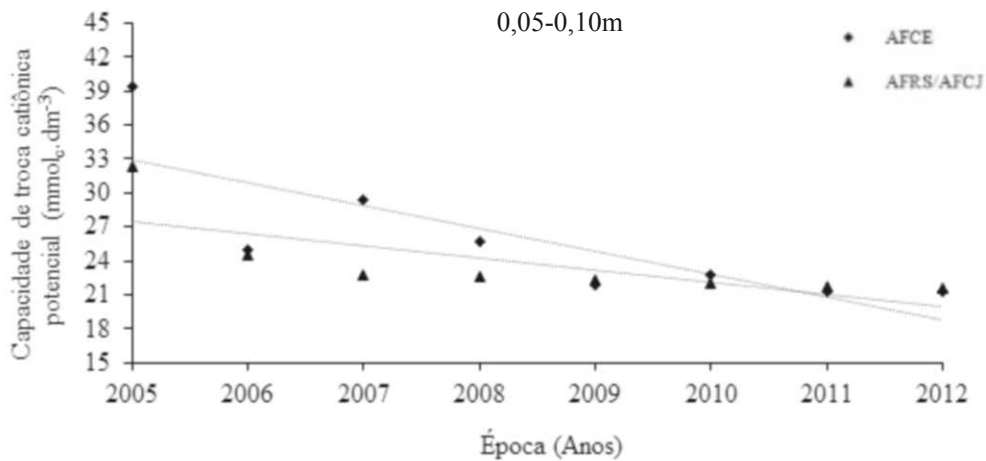


TEST: ns; AF: ns; AFCE: $y = -1,3012x + 2638,1 R^2 = 0,71$; AFRS/AFCJ: $y = -1,9069x + 3856,2 R^2 = 0,75$; AFLE: $y = -0,1313x^2 + 526,91x - 528535 R^2 = 0,42$

Figura 47. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para capacidade de troca catiônica do solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

A Figura 48 apresenta os decréscimos lineares significativos para os tratamentos AFCE e AFRS/AFCJ na camada de 0,05-0,10m, o que não ocorreu para os demais tratamentos ao longo do tempo, provavelmente em decorrência da ausência de significância do pH e pelo pequeno aporte de matéria orgânica ao longo tempo como mostra as tabelas 7 e 6, respectivamente.

Nas camadas de 0,10-0,20m e 0,20-0,40m foi verificado somente o efeito isolado dos tratamentos, onde o tratamento com lodo de esgoto apresentou médias superiores a testemunha e aos demais tratamentos (Tabela 12), sendo que na camada de 0,20-0,40 as leguminosas não influenciaram CTC, pois não difeririam da testemunha, sendo que esta profundidade não apresentou uma correlação linear o que condiz os resultados encontrados por (Rodrigues, 2007) na relata que a partir de 20 cm de profundidade a CTC deixa de ser influenciada pelos conteúdos de matéria orgânica. Galdos et al., (2004) verificaram a influência das doses de 10,8 e 21,6 t ha de lodo de esgoto somente até 0,05m de profundidade.



TEST: ^{ns}; AF: ^{ns}; AFCE: $y = -2,009x + 4061 R^2 = 0,65$; AFRS/AFCJ: $y = -1,0864x + 2205,8 R^2 = 0,55$; AFLE: ^{ns}

Figura 48. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para capacidade de troca catiônica do solo nas profundidades de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Na figura 61 tem-se um comparativo dos valores médios de CTC em diferentes profundidades dos tratamentos com o cerrado original, na qual revela uma CTC distante do ideal no ano de 2012.

4.1.10. Saturação por Bases (V)

De maneira geral a saturação por bases (Tabela 14) revelou um comportamento semelhante ao do Cálcio (Tabela 9) onde foi verificado a interação entre tratamento e épocas nas camadas de 0,00-0,05m e 0,05-0,10m. Ao longo do tempo todos os tratamentos apresentaram resultados superiores a testemunha em ambas as profundidades, (Bonini et al., 2015) relataram a influência positiva do lodo de esgoto na dosagem de 30 t. ha⁻¹ para saturação por bases resultados semelhantes foram encontrados por (Colodro & Espíndola, 2006) na profundidade de 0,05m e (Abreu, 2016) comparando a aplicação de esterco bovino e de esgoto em plantio consorciado e teca solteira na camada de 0,00-0,10m observou pelos incrementos na saturação de bases (V%) por outro lado (Nascimento et al., 2003) constataram que o guandu, crotalária e mucuna-preta, embora com valores absolutos maiores, não diferiram significativamente de uma área sem cultivo no seu efeito sobre saturação por bases (Cunha et al., 2011) em experimentos com feijoeiro sob dois sistemas de preparo do solo verificaram que as plantas de cobertura não alteraram significativamente a

saturação por bases (V) em relação ao controle nas profundidades de 0,00-0,10m e 0,10-0,20m.

Tabela 14. Valores médios de saturação de bases (V) no solo e desdobramento tratamentos x épocas nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos

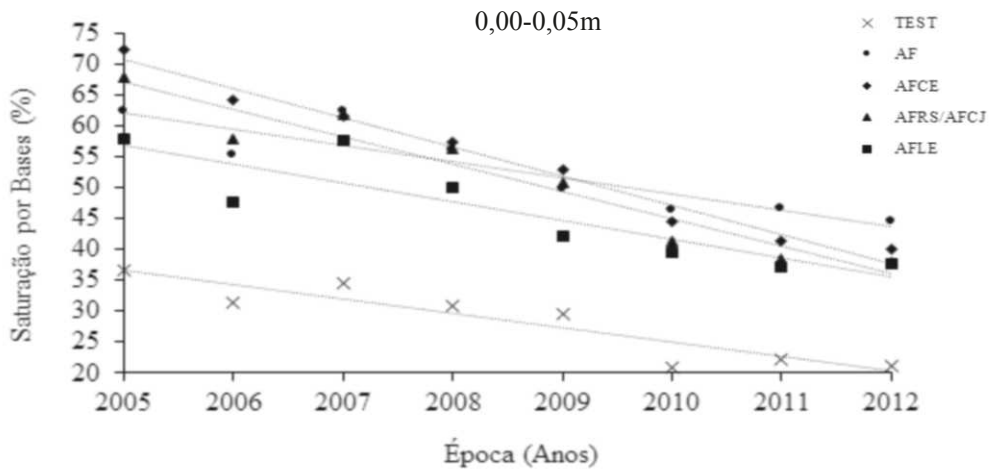
Tratamentos/ Épocas	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Médias	Regressão
	Saturação de bases (%)									
0,00-0,05m										
TEST	36,60c	31,40d	34,40b	30,76b	29,60c	20,80c	22,20c	21,20b	-	Linear
AF	62,20b	55,20b	62,20a	56,00a	49,80a	46,20a	46,60a	44,40a	-	Linear
AFCE	72,40a	64,20a	61,60a	57,20a	52,80a	44,40a	41,20b	40,00a	-	Linear
AFRS/AFCJ	67,80a	57,80b	61,80a	56,30a	50,80a	41,40a	38,40b	37,80a	-	Linear
AFLE	57,80b	47,60c	57,60a	49,90a	42,20b	39,60b	37,00b	37,60a	-	Linear
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	53,67**				54,54**				2,09**	
CV ⁽²⁾ (%)	18,61				11,46					
0,05-0,10m										
TEST	32,60d	20,80c	24,40d	18,00c	22,20c	15,40c	16,00c	16,00c	-	Linear
AF	64,40b	59,00a	64,20a	60,10a	56,00a	45,40a	45,80a	44,80a	-	Linear
AFCE	73,00a	58,20a	63,40a	58,40a	53,40a	43,20a	43,20a	42,40a	-	Linear
AFRS/AFCJ	64,40b	58,40a	54,80b	54,80a	54,80a	43,40a	41,00a	40,80a	-	Linear
AFLE	44,80c	40,20b	43,40c	38,70b	34,00b	29,60b	29,60b	29,40b	-	Linear
Médias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Teste F ⁽¹⁾	136,72**				31,95**				1,76**	
CV ⁽²⁾ (%)	17,85				13,85					
0,10-0,20m										
TEST	17,80	14,20	17,60	19,26	17,20	10,80	15,20	15,80	15,98b	-
AF	46,60	35,80	52,80	48,10	43,40	41,20	35,80	34,40	42,26a	-
AFCE	46,60	44,00	53,40	50,80	48,20	36,00	37,60	33,80	43,80a	-
AFRS/AFCJ	36,00	47,40	45,00	42,40	39,80	33,00	41,20	34,40	39,90a	-
AFLE	40,60	39,00	43,20	39,40	35,60	29,80	33,20	32,20	36,62a	-
Médias	37,56	36,08	42,40	39,99	36,84	30,16	32,60	30,12	-	Linear
Teste F ⁽¹⁾	35,84**				5,25**				0,79 ^{ns}	
CV ⁽²⁾ (%)	33,62				23,09					
0,20-0,40m										
TEST	10,60	8,40	15,20	13,26	12,80	10,40	13,60	14,60	12,35c	-
AF	19,60	10,60	32,20	29,00	25,80	26,00	21,00	11,20	21,92b	-
AFCE	12,40	13,60	32,40	28,00	23,60	14,20	14,00	14,20	19,05b	-
AFRS/AFCJ	13,20	15,60	22,20	24,20	26,20	16,40	13,60	10,00	17,67b	-
AFLE	21,40	22,80	44,00	36,90	29,80	21,80	23,60	25,20	28,18a	-
Médias	15,44b	14,20b	29,20a	26,27a	23,64a	17,76b	17,16b	15,04b	-	Quadr.
Teste F ⁽¹⁾	12,36**				12,18**				1,16 ^{ns}	
CV ⁽²⁾ (%)	53,48				36,82					

estudados, Selvíria, MS – Brasil.

Médias seguidas de mesma letra na coluna ou linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5 %. ns – não significativo; * – significativo no nível de 5 %.(1) teste F para tratamento, época e época x tratamento, respectivamente. (2) CV para tratamentos e épocas, respectivamente. Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A.fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

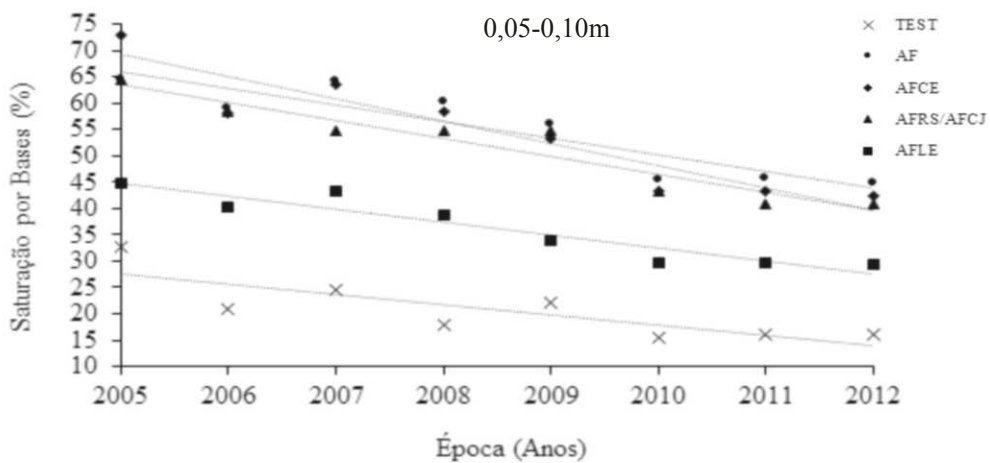
Todavia no presente trabalho todos os tratamentos mostraram um decréscimo linear significativo da saturação por bases durante os oito anos (Figuras 49 e 50), fato este

explicável em parte pela operação de correção de acidez do solo realizada somente no início do experimento.



TEST: $y = -2,3305x + 4709,1$ $R^2 = 0,85$; AF: $y = -2,6405x + 5356,2$ $R^2 = 0,83$; AFCE: $y = -4,7357x + 9565,9$ $R^2 = 0,98$; AFRS/AFCJ: $y = -4,4488x + 8986,9$ $R^2 = 0,93$; AFLE: $y = -3,0488x + 6169,7$ $R^2 = 0,79$

Figura 49. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para saturação por bases no solo nas profundidades de 0,00-0,05m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.



TEST: $y = -1,9405x + 3918,1$ $R^2 = 0,67$; AF: $y = -3,1393x + 6360,2$ $R^2 = 0,83$; AFCE: $y = -4,2238x + 8537,9$ $R^2 = 0,89$; AFRS/AFCJ: $y = -3,4095x + 6899,6$ $R^2 = 0,91$; AFLE: $y = -2,4631x + 4983,3$ $R^2 = 0,89$

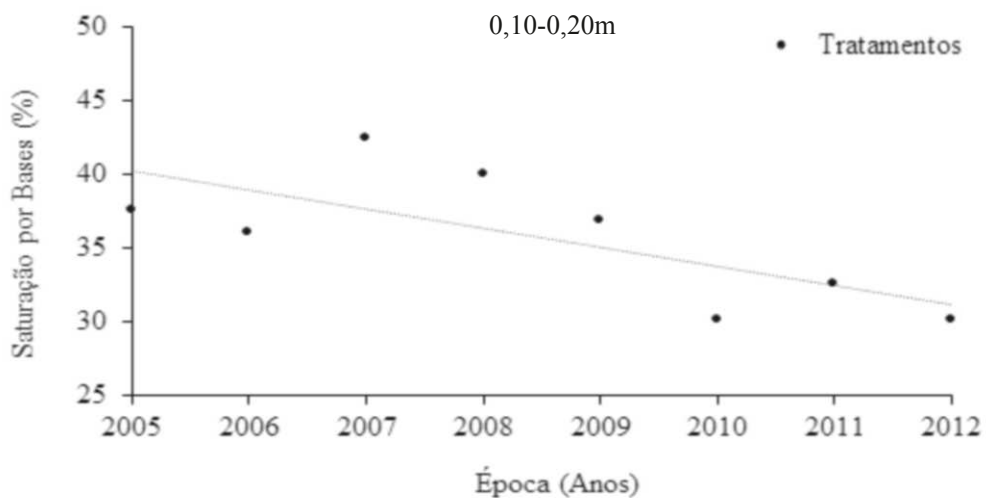
Figura 50. Gráfico e equações de regressão de melhor ajuste para saturação por bases no solo nas profundidades de 0,05-0,10m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

É importante salientar a presença de correlações lineares significativas de entre Ca e (V) de (0,78** e 0,85**) e entre pH e (V) (0,77** e 0,89**) nas camadas de 0,00-0,05m e 0,05-0,10m respectivamente (Tabela 15), com o decréscimo do pH ao longo dos oito anos, houve um aumento da acidez potencial e uma diminuição das cargas negativas do solo, conseqüentemente menor adsorção das bases e queda na saturação por bases, o que não foi observado por (Teixeira et al., 2003; Eberling et al., 2008) em tratamentos com plantas leguminosas e lodo de esgoto.

Com relação a classificação dos valores saturação por bases no presente trabalho nota-se que nas duas camadas mais superficiais para os tratamentos AF, AFCE, AFRS/AFCJ e AFLE variaram de (72,40 a 37,80%) e (73,00 a 40,80%) nas camadas de 0,00-0,05m e 0,05-0,10m respectivamente, portanto de maneira geral classificados de bom a médio, já a testemunha sempre apresentou valores de baixo a muito baixo segundo a (CFSEMG, 1999) (Tabela 14).

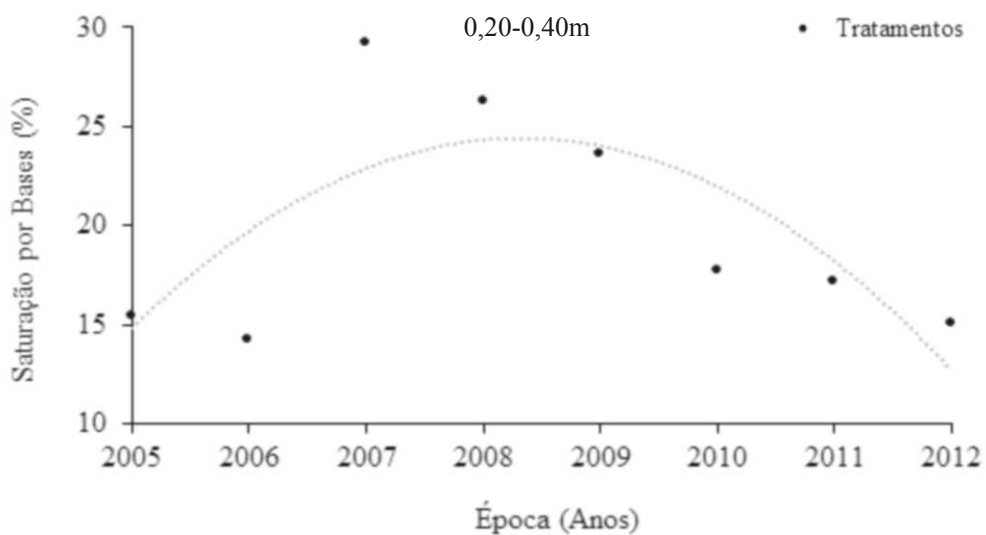
A tabela 14 mostra para saturação por bases um efeito positivo significativo dos tratamentos em relação a testemunha, contudo não apresentaram comportamentos distintos ao longo do tempo, onde para a profundidade de 0,10-0,20 (Figura 51) todos apresentaram decréscimos lineares semelhantes e na de 0,20-0,40 (Figura 52) revelaram comportamento quadrático significativo, tais resultados em parte também foram afirmados por (Prates, 2010) na qual relata que a saturação por bases foi reduzida com o aumento das doses de lodo de esgoto onde na profundidade de 0 a 20 cm, a aplicação da dose de lodo de esgoto de 11 t ha⁻¹, junto com silicato de cálcio e magnésio, promoveu redução de 91,55% para 86,48%, enquanto, na ausência do corretivo, esse valor foi de 83,17% para 54,30%. Já na profundidade de 20-40 cm, o valor da saturação por bases reduziu de 80,18% para 62,96%, com a aplicação da maior dose de lodo de esgoto. Esses valores também corroboram com os encontrados por (Caldeira Júnior et al., 2009), que evidenciaram redução da saturação por bases com o aumento das doses de lodo de esgoto, sendo que, quando aplicado juntamente com o silicato de cálcio e magnésio, a redução é menor, em razão do aumento das concentrações de cálcio e magnésio.

Esses resultados divergem dos encontrados por (Simonete et al., 2003), que não verificaram alteração da saturação por bases, com o aumento das doses de lodo de esgoto aplicadas e (Ceolato, 2007) após quatro anos de experimento verificou a influência do lodo de esgoto sobre a saturação por bases no solo nas parcelas com aplicação onde relata um aumento linear de 54% na camada 20 – 40 cm em relação ao controle.



TRATAMENTOS: $y = -1,3018x + 2650,4$ $R^2 = 0,51$

Figura 51. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para saturação por bases no solo nas profundidades de 0,10-0,20m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.



TRATAMENTOS: $y = -0,8673x^2 + 3483,7x - 0,0003$ $R^2 = 0,50$

Figura 52. Gráfico e equação de regressão de melhor ajuste para saturação por bases no solo nas profundidades de 0,20-0,40m em função da época em decorrência dos tratamentos utilizados Selvíria, MS – Brasil.

Ao final dos oitos anos de estudo (ano 2012) todos os tratamentos apresentaram de maneira geral a saturação por bases (V%) acima do cerrado original em todas a profundidades estudadas (Figura 62).

CONCLUSÕES

5. Conclusões

1. Os tratamentos com exceção AFLE tiveram pouco influência sobre os teores de fósforo no solo ao longo do tempo até 0,20m de profundidade.
2. Os teores de Matéria Orgânica no solo aumentaram significativamente no período de oito anos pelos tratamentos AF, AFCE, AFRS/AFCJ com destaque a AFLE até a profundidade de 0,40m.
3. Ao longo do tempo todos os tratamentos mostraram ineficiência na manutenção do pH.
4. De modo geral até 0,40 m de profundidade não houve alteração nos níveis de potássio no período estudado sob os tratamentos TEST, AF, AFCE, AFRS/AFCJ e AFLE.
5. A calagem juntamente com o AF, AFCE, AFRS/AFCJ e o tratamento com lodo de esgoto proporcionaram um aumento efêmero nos teores de cálcio no solo e com tempo vem apresentando uma tendência de queda principalmente nas camadas mais superficiais.
6. A exceção da testemunha os demais tratamentos apresentaram influência positiva em relação aos teores de magnésio no solo até 0,20 m de profundidade.
7. O tratamento com leguminosas ao longo influenciaram de forma negativa a acidez potencial a aumentando sobretudo até 0,20m de profundidade.

8. Todos os tratamentos apresentaram baixa eficiência na diminuição do Alumínio trocável até a profundidade estudada.
9. O tratamento AFLE aumentou a CTC do solo na camada de 0,05-0,10m estabilizando ao longo do tempo.
10. A qualidade da matéria orgânica proporcionada pelos outros tratamentos não foi suficiente para estabilizar a CTC no período estudado.
11. O aumento na saturação por bases do solo se deve em grande parte a operação de calagem do a presença do Gonçalo-Alves e a plantas leguminosas.
12. De modo geral em relação aos atributos químicos do solo o tratamento com Gonçalo – Alves, Braquiária decumbens e Lodo de Esgoto foi o que mais se aproximou das condições de cerrado original na profundidade de até 0,20m após oito anos de estudo.

CONCLUSIONS

5. Conclusions

1. The studied treatments with exception of AFLE treatment had little influence on evolution of the soil phosphorus concentrations along at the 0- 0,20 m depth.
2. The soil Organic Matter concentrations increased significantly during the period of eight years studied at the AF, AFCE, AFRS/AFCJ treatments and they were most outstanding at the AFLE treatment until 0.40 m depth.
3. Over the period of time studied all the treatments showed to be rather inefficient in the maintenance of soil pH levels.
4. In general, concentrations of potassium have not been changed until 0.40 m depth during the period studied under the treatments named as TEST, AF, AFCE, AFRS/AFCJ and AFLE.
5. The joint effect of lime amendment and cultivation in the AF, AFCE, AFRS/AFCJ and the sewage sludge treatment was to induce an ephemeral increase in the calcium contents of the soil; however, the general tendency was to decreased concentrations of this attribute with increasing time, mainly in the surface layers.
6. All the studied treatments, with the exception of the control treatment, showed an increase in soil magnesium contents until 0.20 m depth.
7. The treatment cultivated with leguminous showed a long term effect on the soil potential acidity, which decreased, mainly at the 0-0.20 m depth.

8. All the studied treatments were characterized by a low efficiency in decreasing exchangeable Aluminium concentrations at the studied depths.

9. The AFLE treatment showed a positive effect in increasing soil cation exchange capacity (CEC) at the 0.05-0.10 m layer, and this effect was stable along the time of the field trial.

10. However, in the remaining treatments, the quality of the organic matter was not sufficient to allow stabilization of the cation exchange capacity (CEC) during the period studied.

11. The observed increase in the percent base saturation of the soil has been observed to be due mainly to the joint effect of liming addition plus the presence of the timber tree (*Astronium fraxinifolium*) and leguminous plants.

12. In general, the treatment consisting of timber tree (*Astronium fraxinifolium*) *Brachiaria*, or signalgrass (*Braquiária decumbens*) and sewage sludge has been shown to be the treatment that better approximate and compared to the conditions of the original “cerrado” soil at the 0-0.20 cm depth after eight years of field trial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. Referências Bibliográficas

ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. *Scientia Agricola*, v.58, p.813-824, 2001.

ABREU, S. A. H. Crescimento inicial de teca e produtividade de soja sob diferentes adubações em sistema agrossilvicultural. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

ADRIANA, P. S. O. Avaliação dos atributos de um Latossolo adubado com lodo de esgoto de tratamento de água. 2015. 95f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Juiz de Fora - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Superintendência de Informações Hidrológicas. Empreendimentos hidroelétricos em operação, em construção e outorgados nas regiões hidrográficas brasileiras. Baseado no Banco de Informações de Geração da ANEEL. Brasília, 2002.

AGUIAR, A.V.; BORTOLOZO, F. F.; MORAES, M. T.; SÁ, M. E. (2001) Determinação de parâmetros genéticos em população de gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*) através das características fisiológicas da semente. *Scientia Florestalis*; n. 60, p. 89-97.

AGUIAR, L.M.S., MACHADO, R.B. & MARINHO-FILHO, J. 2004. A Diversidade Biológica do Cerrado. In *Cerrado: ecologia e caracterização* (L.M.S. Aguiar & A.J.A. Camargo, Ed.). Embrapa Cerrados, Planaltina, p.17-40.

ALCÂNTARA, F. A., FURTINI NETO, A. E., PAULA, M. B., MESQUITA, H. A.,

MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-escuro degradado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.35, n.2, p.277-288, 2000.

ALCÂNTARA, F.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um solo degradado. Lavras: UFLA, 1998. 104p. Dissertação Mestrado ALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; PEREIRA, J.M. et al. O capim xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) na diversificação das pastagens de braquiária. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004. 36p. (Documentos, 149).

ALMEIDA, V. P. DE; ALVES, M. C.; SILVA, E. C. DA; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1227-1237, 2008.

ALVES M. C.; SUZUKI L. G. A. S. Soil bulk density and water infiltration rate as indicators of physical quality recovery of an oxisol. Revista Brasileira de Ciência do Solo v.31, n.4, p.617-625, 2007.

ALVES, M. C. Recuperação do subsolo de um latossolo vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira - SP. Ilha Solteira, 2001. 83 f. Tese (Livre docência em Agronomia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

ALVES, M. C., SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. Acta Scientiarum, Maringá, v.26, n.1, p.27-34, 2004.

- ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação de área degradada por construção de hidroelétrica com adubação verde e corretivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2505-2516, 2008.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.
- AMABILE, R. R.; CARVALHO, A. M. Histórico da adubação Verde. In: *Cerrado: adubação verde*. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p.23-37, 2006.
- ANA – Agência Nacional de Águas. *A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil / The Evolution of Water Resources Management in Brazil*. Brasília; ANA, 2002.
- ANDRADE, C. A.; SILVA, L. F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo. Após sucessivas aplicações de lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.48, n.5, p.536-544, 2005.
- ANDREOLI, C. V., PEGORINI, E. S., FERNANDES, F. Disposição do lodo de esgoto no solo. In: ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. (Ed). *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: DESA/UFMG, SANEPAR, 2001. p.319-395.
- ANGHINONI, I.; NICOLODI, M. Estratégias de calagem no sistema plantio direto. In: *Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas*, 26. 2004. Lages. Anais. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CD-Rom.

- ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B. Utilização de casca de arroz e esterco bovino como substrato para a multiplicação de *Eisenia fetida* Savigny (1826). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, n. 3, p. 824-830, 2009.
- ARATO, H. D., MARTINS, S. V., FERRARI, S. H. S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.5, p.715-721, 2003.
- ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Biosci. J.*, p. 66-75, 2007.
- ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M. DE; SOUSA, F. DE A. S. Classificação da precipitação e da quadra chuvosa da Bacia do Rio Paraíba utilizando índice de anomalia de chuva (IAC). *Amibi-Agua*, v.4, p.93-110, 2009.
- ARONSON, J.; FLORET, C. FLORET, E. OVALLE, C. PONTANIER, R. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semiarid lands. *Restoration Ecology* 1(3):168-186, 1993.
- BACKES, C. S., MARQUES A. J., GODOY, L. J. G. DE, BÔAS, R. L. V., OLIVEIRA, M. R. DE, & OLIVEIRA, F. C. DE. Doses de lodo de esgoto compostado em produção de tapete de grama esmeralda imperial. *Revista Brasileira de Ciência de Solo*, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1402-1414, 2013
- BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J. & FONSECA, I.C.B. Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. *Sanare*, v.17, p.94-101, 2002.

- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Estoque de nitrogênio total num solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.235-239, 1997.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.S.; LEITE, D.; AMARAL, A. & 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.155-163, 2004.
- BERTON, R.S.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Absorção de nutrientes pelo milho em resposta à adição de lodo de esgoto a cinco solos paulistas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.187-192, 1989.
- BEZERRA, F. B., OLIVEIRA, M. A. C. L., PEREZ, D. V., ANDRADE, A. G., & MENEGUELLI, N. A. Sewage sludge in the revegetation of degraded area. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, p.469–476, 2006.
- BITAR, O. Y. Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região Metropolitana de São Paulo. 1997. 185 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. Mineralização de compostos nitrogenados de lodos de esgoto na quinta aplicação em Latossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, p. 711-722, 2009.
- BOHNEN, H. Acidez do solo: origem e evolução. In: KAMINSKI, J. (Coord.). *Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto*. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.9-19 (Boletim, 4).

- BONINI, C. S. B; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 4, p.388-393, 2015.
- CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. *Revista Ceres, Viçosa*, v. 56, n. 1, p. 213-218. 2009.
- CALDEIRA JÚNIOR, C.F., SOUZA, R.A., MARTINS, E.R., SAMPAIO, R.A. Crescimento de aroeira sob adubação com lodo de esgoto e silicato visando a revegetação de área degradada. *Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre*, v. 5, supl. 1, p. 261-263, jul. 2007.
- CALEGARI, A. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M.B.B. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, Pta/Fase, p.1-55.1993.
- CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDER, L. do P.; COSTA, M.B.B. da; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. Adubação verde no Sul do Brasil. Rio de Janeiro: AS-PTA, 346p. 1992.
- CALGARO, H. F. et al. Adubação química e orgânica na recuperação da fertilidade de subsolo degradado e na micorrização do *Stryphnodendron polyphyllum*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 32, n. 3, p. 1337-1347. 2008
- CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Comportamento do manganês em Oxisol influenciado pela aplicação de carbonato de cálcio e sacarose. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, 4: 71-75, 1980.

- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C.
Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.121-126, 1995.
- CAMPOS, F. C.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Atributos físico-hídricos de um Latossolo após a aplicação de lodo de esgoto em área degradada do Cerrado. *Ciência Rural*, v.41, p.796-803, 2011.
- CAMPOS, F.S. & ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1389-1397, 2008.
- CANTARELLA, H.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. van. Influência da origem do cloreto de potássio utilizado em extrações de amostras de solos, nos resultados de alumínio trocável. *Bragantia*, Campinas, 40:189-192, 1981.
- CARLOS, J.A.D., COSTA, J.A. DA; COSTA, M.B. Adubação Verde: do conceito a prática. Piracicaba: ESALQ – Divisão da Biblioteca e Documentação, 2006. 32p (Série Produtor Rural, 30)
- CARPANEZZI, A. A. Talhões pioneiros para a recuperação de ecossistemas florestais degradados. In: *Seminários aspectos ecológicos de Matas Mesófilas Semidecíduas*. Rio Claro: Universidade Estadual de Goiás. p.94-104, 1998.
- CATASÛS, L. *Manual de Agrostologia*, Habana: Editorial Academia. 98 p. 1997.
- CEOLATO, L. C. Lodo de Esgoto Líquido na Disponibilidade de Nutrientes e Alterações dos Atributos Químicos de um Argissolo. (Dissertação de Mestrado). 52f. 2007. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas-SP. 2007.

- CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. & MORAES, J.L. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.61-69, 1996.
- CHADA, S. S.; CAMPELLO, E. F. C.; FARIA, S. M. Sucessão vegetal em uma encosta reflorestada com leguminosas arbóreas em Angra dos Reis, RJ. Revista *Árvore*, v.28, n.6, p.801-809, 2004.
- CHAMORRO, D. Sistema de evaluación de especies forrajeras: Conceptos y procedimientos técnicos. Gramíneas y leguminosas. Boletín de investigación. Tolima, Colombia: El Espinal., p.21, 1988
- CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto: I - Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. Revista Brasileira Ciência do Solo, n. 32, p. 643-652, 2008.
- COLODRO, G.; ESPINDOLA, C. R. Alterações na fertilidade de um latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2006.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. ed. Lavras, 359 p.,1999.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serrapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, S. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 1. Ed. Porto Alegre, Gênese, p. 197-225. 1999.

- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). *Bioscience Journal*, v.24, p.20-31,2008.
- COSTA, G. S.; FRANCO, A. A.; DAMASCENO, R. N.; FARIA, S. M. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 28, p. 918-927, 2004.
- COULTER, B.S. The chemistry of hydrogen and aluminum in soils, clay minerals and resins. *Soil & Fertilizers*, v.3, p.215-223, 1969.
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do naboforrageiro no plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161-168, 2005.
- CULTURA DO NABO FORRAGEIRO. Circular Técnico Cati; 1, 2003. Disponível em:< www.cati.gov.sp.br >. Acesso em: 15 jan. 2017.
- CUNHA, E. Q., STONE, L. F., DIDONET, A. D., FERREIRA, E. P. B., MOREIRA, J. A. A. & LEANDRO, W. M. Chemical attributes of soil under organic production as affected by cover crops and soil tillage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p. 1021-1029, 2011.
- CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D. & LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.35, p.589-602, 2011.
- DEMATTE, J. L. I. Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira: Piracicaba: ESALQ-USP, 1980. 114p.

- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno. 2.ed. Londrina: IAPAR, 1992. p. 1-78 (Circular, 73).
- DIDONET, M. Natureza da Paisagem: Energia: Recurso da Vida. Rio de Janeiro: CIMA, 2009.
- DURIGAN, G. Técnicas silviculturais aplicadas à restauração de ecossistemas. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE ECOSSISTEMAS NATURAIS, 1, 1999, Piracicaba. Anais... Piracicaba: ESALQ/USP. 1999.
- EBERLING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G. & VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*, v.67, p.261-266, 2008
- EDWARDS, C. A. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: EDWARDS, C.A. (Org.). *Earthworm Ecology*. Boca Raton: St. Lucie Press, p. 327-354, 2004.
- EITEN, G. 1993. Vegetação do Cerrado. In: Novaes Pinto, M (org.). *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília. Editora Universidade de Brasília. v.17, 73p.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos: Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo. 412p. 1999.
- ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. de; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Evaluation of perennial herbaceous legumes with different phosphorus sources and levels in a Brazilian Ultisol. *Renewable Agriculture and Food Systems*, v.20, p.56-62, 2005

- FÁVERO, C.; LOVO, I. C. MENDONÇA, E. S. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. Revista Arvore v. 32. n.5, 861-868p, 2008.
- FEITOSA, D. G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R.; MONICA O. Crescimento de mudas de Gonçalves-Alves (*Astronium fraxinifolium*) sob diferentes fontes e doses de nitrogênio. Rev. Árvore, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 401-411, 2011.
- FELFILI, J. M, FAGG, C.W.; MACHADO, J. W. B. Recuperação de Matas de Galeria. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000. 45p. (Documentos/Embrapa Cerrados, n. 21).
- FERNANDES. F. Estabilização e higienização de bio-sólidos. In BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, Cap 3, p.45-67, 2000.
- FERREIRA, A. A.; ANDREOLI, C. V.; JÜRGENSEN, D. Produção e características dos bio-sólidos. In ANDREOLI, C.V.; ILHENFELD, R.G.K, LARA, A.I. (Ed.). Uso e Manejo de lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: PROSAB, Cap 1, p. 16-33. 1999.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, W.C.; BOTELHO, S.A., DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.P.; FERREIRA, D.F. Regeneração natural como indicador de recuperação de área degradada a jusante da Usina Hidrelétrica de Camargos, MG. Revista Árvore, v.34, n.4, p.651-660. 2010.
- FILSER, J. The effect of green manure on the distribution of collembola in a permanent row crop. Biology and Fertility of Soils, Berlin, v.19, n.4, p.303-308, 1995.

- FRAGOSO, R. O., TEMPONI, L. G., GUIMARÃES, A. T. B., ANDREIA K. Desenvolvimento de espécies arbóreas nativas em uma área reflorestada do corredor de biodiversidade Santa Maria - PR. Revista. *Árvore*, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1003-1013, 2014.
- FRANCHINI, J. C., BORKERT, C. M., FERREIRA, M. M., & GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 459-467, 2000.
- GALDOS, M. V., DE MARIA, I. C., CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.569-577, 2004.
- GASKIN, J.W.; BROBST, R.B.; MILLER, W.P.; TOLLNER, E.W. Long-term biosolids application effects on metal concentrations in soil and Bermudagrass forage. *Journal of Environmental Quality*, v.32, p.146-152. 2003.
- GILLMAN, G.P. A proposed method or the measurement of exchange properties of highweathered soils. *Australian Journal of Soil Research*, v.17, p.129-141, 1979.
- GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F. Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, 8p. 2006.
- GRAPEGGIA JÚNIOR, G., PONTELLI, C. B., SANTI, A., & ACOSTA, J. A. Efeito das culturas de cobertura na acidificação do solo no sistema plantio direto. Salão de iniciação Científica (12.: 2000: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

- GUEDES, M.C. Efeito do lodo de esgoto (biossólido) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque, em plantação de eucalipto. Piracicaba, Dissertação de (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo. 74p, 2000.
- GUEDES, M.C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido, *Scientia Forestalis*. n.63, p.188-201, 2003.
- GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T., CUNHA, S. B. (eds.). *Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos*, 2ª edição, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. p.149-209, 1995.
- Haidar, R. F. Fitossociologia, diversidade e sua correlação com variáveis ambientais em florestas estacionais do bioma cerrado no planalto central e do Nordeste do Brasil. 254 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2008.
- HARTEMINK, A.E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane in Papua New Guinea. *Geoderma*, Amsterdam, 85, p.283–306, 1998.
- HEINRICH, R. V., GODOFREDO, C. M., ADONIS, F., PAULO, A. M. DE, FANCELLI, A. L., EDEMAR, J. Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 71-79, 2005.
- JENRICH, H. Vegetação arbórea e arbustiva nos altiplanos das chapadas do Piauí Central: características, ocorrência, empregos. Teresina: DNOCS; Eschborn: BMZ/GTZ, 90p. 1989.

- JONES, C.H. Method of determining the lime requirement of soils. American Fertilizers, Philadelphia, v.39, p.28-29, 1913.
- JORGE, J. A., CAMARGO, O. A., VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.15, p.237-240, 1991.
- JUNIO, G. R., SAMPAIO, R. A., NASCIMENTO, A. L., SANTOS, G. B., SANTOS, L. D., & FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, v. 17, n. 7, 2013.
- KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; DORAN, J.W. Soil quality: Current concepts and applications. Adv. Agron., 74, p.40, 2001.
- KIEHL, E.K. Manual de edafologia: relações solo-planta. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 262p., 1979.
- KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.405-416, 2008.
- LONGO, REGINA M.; RIBEIRO A. I.; MELO W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. Bragantia, Campinas. v.70, n.1, p.132-138. 2011.
- LOPES, J.A.V. & QUEIROZ, S.M.P. Rodovias e meio ambiente no Brasil: Uma resenha crítica. In: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SIMPÓSIO SUL-AMERICANO e SIMPÓSIO NACIONAL, 1994, Curitiba. Anais. Curitiba, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.75-90, 1994.

- LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 6ª edição. Nova Odessa: Editora Plantarum, v.4, 352p., 2014.
- MACEDO, R. L. G. Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais. Lavras: UFLA/FAEPE. p.63- 69, 2000.
- MACHADO, D. F. T.; CONFESSOR, J. G.; RODRIGUES, S. C. Processo inicial de recuperação de área degradada a partir de intervenções físicas e utilização de leguminosas. Caderno de Geografia, v. 24, n. 1, p. 42-54, 2014.
- MANTOVANI, J. R.; MANOEL, E.; CRUZ, M. C. P. DA; BARBOSA, J. C. & FREIRIA, A. C. Mineralização de carbono e de nitrogênio provenientes de composto de lixo urbano em Argissolo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 30, p. 677-684, 2006.
- MARINHO, N. F.; CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A. & BERBARA, R. L. L. Respostas de *Acacia mangium* Willd e *Sclerolobium paniculatum* Vogel a fungos micorrízicos arbusculares nativos provenientes de áreas degradadas pela mineração de bauxita na Amazônia. Acta Botânica Brasileira. v.18, n.1, p.141-149, 2004.
- MARQUES, M. O. et al. Residual effect of sewage sludge on the fertility of a soil cropped with sugarcane. MEETING OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF HUMIC SUBSTANCES, 8., 1997, New York. Proceeding. Wroclaw: ISHS, p. 419-424, 1997.
- MEDEIROS, L. T. Pastagem de *Brachiaria Brizantha* fertirrigada com dejetos líquidos de suínos. Dissertação de Mestrado em Ciência Animal. Universidade José do Rosário Vellano. Unifenas- MG. 97p., 2004.

- MEELU, O.P., YADVINDER-SINGH, B.S. Green Manuring for Soil Productivity Improvement. Rome: FAO, 126p., 1994.
- MEHLICH, A. Determination of cation and anion exchange properties of soils. Soil Science, v.66, p.429-445, 1948.
- MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, p. 101–110, 2008.
- MELO, W. J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para plantas In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Impacto ambiental de uso agrícola do lodo de esgoto. Já Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, Cap. 5, p. 109-141., 2000.
- MENDES, I.S. Avaliação de extratos das folhas e sementes de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) como bioerbicidas pós-emergentes e identificação de aleloquímicos via cromatográfica líquida de alta eficiência (HPLC). 2011. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 74p. 2011.
- MENEGUCCI, J.L., AMARAL, A.M. DO., SOUZA, M. DE. Alterações das propriedades químicas do solo na camada subsuperficial após adubação verde com crotalária. Revista Brasileira de Fruticultura., Cruz das Almas, v.17, n.3, p.7-12, 1995.
- MIRANDA, D. L. C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. Equações alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamentos de restauração. Revista Árvore, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 679-689, 2011.

- MITTERMEIER, R.A., GIL, P.R. HOFFMANN, M., PILGRIM, J., BROOKS, T., MITTERMEIER, C.G., LAMOUREX, J. & FONSECA, G.A.B. 2004. Hotspots Revisited. Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. Cemex, Washington, DC. 2004.
- MOORE, A. D. et al. Mineralization of Nitrogen from Biofuel By-products and Animal Manures Amended to a Sandy Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 41, p. 1315-1326, 2010.
- MÜLLER, J.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; SEQUINATTO, L.; MAZURANA, M.; STÜRMER, S.L.K.; PIETRZACKA, R. Atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho, em pomar orgânico de citros com manejo da vegetação nas entrelinhas. *R. Bras. Fruticultura*, v.33, n.4, p.1127-1134, 2011.
- NAKAYAMA, F. T.; OLIVEIRA, C. L. B.; PERDONÁ, M. J. Recuperação de solo degradado com a aplicação de lodo de esgoto e plantas de cobertura. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v.10, n.7, p.28-38, 2014.
- NASCIMENTO, J. T.; IVANDRO, F. S.; ROBEVAL D. S.; LUIZ, F. S. N. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v. 7, n. 3, p. 457-462, 2003.
- NELSON, D.L.; SOMMERS, L.E. (1996). Total carbons, organic carbon, and organic matter. In: SPARKS, D.L. et al. *Methods of soils analysis. Part 3. Chemical Methods*. Madison: American Society of Agronomy. pp. 961-1010.
- NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. & NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H.; BARROS. N. F.; FONTES, R. B. C.; NEVES, J. C. L. *58 Fertilidade do solo*. 1. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, M G, p. 471-550. 2007.

NUNES, A. S.; SOUZA, L. C. F.; MERCANTE, F. M. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n. 2, p. 432-438, 2011.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, v.58, p.581-593, 2001.

OSTERROHT, M. VON. O que é uma adubação verde: Princípios e ações. *Agroecologia. Hoje*, v.14, p.9-11, 2002.

PAGLIAI, M., GUIDI, G. V., LA MARCA, M., GIACHETTI, M., LUCAMANTE, G. Effects of sewage sludges and composts on soil porosity and aggregation. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.10, n.10, p.556-561, 1981.

PAIVA NETO, J.E. de; CATANI, R.A.; QUEIROZ, M.S. & KÜPPER, A. Contribuição ao estudo dos métodos analíticos e de extração para caracterização química dos solos do Estado de São Paulo. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 21: 417-458, 1946.

PAIVA NETO, J.E. de; CATANI, R.A.; QUEIROZ, M.S. & KÜPPER, A. Contribuição ao estudo dos métodos analíticos e da extração para caracterização dos solos do Estado de São Paulo. In: REUNIAO BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO, 1., Rio de Janeiro, 1950. Anais p. 79-108.

PAVINATO, P.C. & ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.911- 920, 2008.

PELLOUX, P.; DABIN, B.; FILLMANN, G. & GOMEZ, P. Méthods de détermination des cations échangeables e de la capacité d'échange dans les sols. Paris, Office de

la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, 1971. 117 p.

PEQUENO, P.L.L. Sistema radicular de leguminosas: Efeito nas propriedades físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo no município de Alagoinha, PB. Areia: Universidade Federal da Paraíba, (Dissertação Mestrado), 1999. 52p.

PEREIRA, A. C. A.; GARCIA, M. L. Efeitos da disposição de lodo de estações de tratamento de efluentes (ETE) de indústria alimentícia no solo: estudo de caso. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v.22, n.3, p.531-538, 2017.

PEREIRA, J.S.; BIULCHI, D.F.; SILVA, A.H. da.; ABREU, C.F.N.R.de.; RODRIGUES, S.C. Análise do desenvolvimento de espécies leguminosas arbóreas em área degradada no município de Uberlândia-MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 8, 2010, Guarapari-ES. Anais... Guarapari: Artes & Textos, P. 51-58, 2010.

PEREIRA, S. Recursos hídricos em veredas no Estado de Goiás. 2010. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 163-177.

PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.575-585, 2010.

- PRATES, F. B. DE S. Crescimento, desenvolvimento e nutrição de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros. 93p. 2010.
- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B van. (1979). Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas. v.3, pp. 184-187.
- QUEIROZ, A.F. Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova-BA para fins de uso, manejo e conservação. 2013. 75p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN. 2013.
- RAIJ, B. V., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. Adubação orgânica. In: RAIJ, B. V., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. (Ed). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2 ed. Campinas: Instituto Agronômico-Fundação IAC, 1997. p.30-35 (Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. V., QUAGGIO, J. A. Métodos de análises de solo para fins de fertilidade: Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31, (Boletim técnico) p. regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do Bioma Cerrado.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31 p. (Boletim Técnico, 81)
- RAIJ, B. van. Capacidade de troca de cátions em solos. Estudo comparativo de alguns métodos. *Bragantia*, Campinas, 25: 327-336, 1966a.
- RAIJ, B. van. Determinação de cálcio e magnésio pelo EDTA em extratos ácidos de solo.

Bragantia, Campinas, 25: 317-326, 1966b.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. C. R.; PAULA JÚNIOR, D. R. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado: II - Atributos químicos e revegetação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.543- 551, 2010.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O.R.; LLANILLO, R.F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. Ciência Agrária, p.321-344, 2005.

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, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 73-80, 2007.

RODRIGUES, J. E. L. F.; ALVES, R. N. B.; LOPES, O. M. N.; TEIXEIRA, R. N. G.; ROSA, E. S. A importância do feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) como cultura intercalar em rotação com milho e feijão caupi em cultivo de coqueirais no município de Ponta-de-Pedras/Marajó-PA. Belém: Embrapa Amazônia, 2004, 4p. (Comunicado Técnico n 96)

ROSENTHAL, G. A.; DAHLMAN, D. L. L. Canavanine and protein synthesis in the tobacco hornworm *Manduca sexta*. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, v.83, p.14-18. 1986.

SALATI, E.; DOS SANTOS, A. A.; KLABIN, I. Temas ambientais relevantes. Estudos avançados, v. 20, n. 56, p. 107-127, 2006.

SALGADO, A. L. B.; AZZINI, A.; FEITOSA, C.T; PETINELLI, A.; VEIGA, A. A. Efeito da adubação NPK na cultura da Crotalária. Bragantia, v.41, p.21-33, 1982.

- SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; ASNER, G.P.; STEINKE, E.T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. *International Journal of Remote Sensing*, v.28, p.2739-2752, 2007.
- SANTOS, A. C.; SILVA, I.F.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, A.P. & CAVALCANTE, V.R. Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p.1063-1071, 2001.
- SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DO SOLO. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA - SNLCS, 1979. (Mimeografado)
- SILVA, J. A. A., VITTI, G. C., STUCHI, E. S., SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranjeira-pêra. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.24, n.1, p.225-230, 2002.
- SILVA, R. R. Gramíneas (Poaceae) de Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Santuário da Vida Silvestre do Riacho Fundo, DF - Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília - DF. 187p., 2001.
- SILVA, V. P. Produtividade em sistema de Integração Lavoura-Pecuária - Floresta no subtropical brasileiro. 2012. 119f. Tese (Doutorado em Agronomia) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- SILVEIRA, R.L. Avaliação dos Métodos de Levantamento do Meio Biológico Terrestre em EIA para a Construção de Usinas Hidrelétricas na Região do Cerrado. 2006. 66f. Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, Piracicaba, 2006.

- SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 10, p. 867-874, 2003.
- SOUSA, W. L. Impacto Ambiental de Hidrelétricas: Uma Análise Comparativa de Duas Abordagens. Tese de Doutorado (Ciências de Planejamento Energético). 160f. 2000. COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.
- SOUTO FILHO, S. N. Variação de armazenagem de água num Latossolo de cerrado em recuperação. 2012. 66 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2012.
- SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 991p.
- SOUZA, J. B.; PIRES, F. R. Adubação verde e rotação de culturas. Viçosa: UFV, 2002. (Cadernos didáticos, 96).
- SPAGNOLLO, E. Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos {a queima e manejos dos resíduos culturais. Tese de Doutorado (Ciência do Solo) 186f. 2004. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004.
- STANISÇUASKI, F.; CARLINI, C.R. - Plant ureases and related peptides: understanding their entomotoxic properties. Toxins, v.4, p.55-67, 2012.
- SUZUKI, L.E.A.S. & ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. Bragantia, v.65, p.121-127, 2006.

- TAMANINI, C. R. Recuperação de áreas degradadas com a utilização de biossólidos e gramínea forrageira. Londrina, 2004. 181 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Ciências agrárias, Universidade Estadual do Paraná, Londrina, 2004.
- TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, C. M. DE; BORÉM, A.; SILVA, G F. DA. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Bragantia*, v.62, p.119-126, 2003.
- TROEH, R.F.; THOMPSON, L.M. Solos e fertilidade do solo, São Paulo: Andrei, p.63. 2007.
- TSUTIYA, M.T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: TSUTIYA, M.Y.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. *Biossólidos na agricultura*. São Paulo, SABESP, 2001.
- VAGELER, P. Die Kationen-und wasserhaus halt der mineralboden. Berlin, Julius Springer, 1932. 336 p.
- VAZ, L. M. S., GONÇALVES, J. L. M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto, efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, n.3, p.747-758, 2002.
- VAZ, P. Sistemas agroflorestais como opção de manejo para microbacias. *Informe agropecuário*. v.21, 75-81p., 2000.
- VENDRUSCOLO, E. P. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Qualidade Física e Química de um solo em recuperação com plantas nativas introduzidas há 9 anos,

após uso de Biochar. 66f. 2015. Chapadão do Sul, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2015.

VETTORI, L. Determinação da necessidade de cal dos solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. Instituto de Química Agrícola, 1948. 19 p.

WALKLEY, A. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variation in digestion and organic constituents. Soil Science, Madison, v.63, p. 251-264, 1947.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. (1934). An examination of the Degareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, Baltimore. v.37, p.29-38, 1934.

WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. 2006. 389f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUSIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.621- 633, 2000.

WUTKE, E.B. AMBROSANO, E.J. RAZERA, L.F. MEDINA, P.F. CARVALHO, L.H. KIKUTI, H. DIAS, R.P. LAURINO, M.S. GONÇALVES, J.R.A. Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: informações técnicas et al. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, p.18, 2007.

ZHANG, M-K.; FANG, L. Effect of tillage, fertilizer and green manure cropping on soil quality at an abandoned brick making site. *Soil & Tillage Research*, v. 93, n. 1, p. 87-93, 2007.

APÊNDICES

Tabela 15. Correlação linear entre os atributos químicos do solo nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m; 0,10–0,20m e 0,20–0,40m nos anos estudados, Selvíria, MS.

0,00-0,05m									
	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V%
P resina	0,83**	0,41**	0,56**	0,72**	0,82**	0,79**	0,40**	0,83**	0,58**
MO	-	0,26**	0,58**	0,85**	0,96**	0,94**	0,52**	0,14 ^{ns}	0,52**
pH	-	-	0,60**	0,52**	0,39**	-0,64**	-0,36**	0,26**	0,77**
K	-	-	-	0,71**	0,65**	0,49**	-0,01 ^{ns}	0,61**	0,66**
Ca	-	-	-	-	0,92**	0,69**	0,14*	0,85**	0,78**
Mg	-	-	-	-	-	0,86**	0,34**	0,96**	0,67**
H+Al	-	-	-	-	-	-	0,72**	0,96**	0,27**
Al	-	-	-	-	-	-	-	0,56**	-0,36 ^{ns}
CTC	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48**
0,05-0,10m									
	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V%
P resina	0,92**	-0,33**	0,78**	0,10 ^{ns}	0,85**	0,89**	0,74**	0,96**	-0,18**
MO	-	-0,44**	0,60**	-0,13 ^{ns}	0,80**	0,96**	0,82**	-0,26*	-0,33**
pH	-	-	-0,01 ^{ns}	0,69**	0,079 ^{ns}	-0,55**	-0,68**	-0,37**	0,89**
K	-	-	-	0,49**	0,69**	0,55**	0,33**	0,68**	0,17**
Ca	-	-	-	-	0,41**	-0,26*	-0,48**	-0,01 ^{ns}	0,85**
Mg	-	-	-	-	-	0,70**	0,48**	0,85**	0,23**
H+Al	-	-	-	-	-	-	0,92**	0,97**	-0,50**
Al	-	-	-	-	-	-	-	0,83**	-0,65**
CTC	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,27*
0,10-0,20m									
	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V%
P resina	0,70**	-0,37**	0,65**	0,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,60**	0,59**	0,64**	-0,20**
MO	-	-0,57**	0,38**	-0,09 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,96**	0,84**	-0,26*	-0,43**
pH	-	-	-0,12*	0,57**	0,51**	-0,65**	-0,81**	-0,51**	0,74**
K	-	-	-	0,33**	0,47**	0,30**	0,13*	0,45**	0,25**
Ca	-	-	-	-	0,70**	-0,20**	-0,35**	0,04 ^{ns}	0,82**
Mg	-	-	-	-	-	-0,18**	-0,43**	0,08 ^{ns}	0,86**
H+Al	-	-	-	-	-	-	0,86**	0,96**	-0,56**
Al	-	-	-	-	-	-	-	0,76**	-0,68**
CTC	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,31**
0,20-0,40m									
	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V%
P resina	0,87**	0,36**	0,29**	-0,29**	0,80**	0,78**	0,49**	0,73**	0,13 ^{ns}
MO	-	-0,66**	0,58**	-0,29**	0,22**	0,94**	0,87**	-0,13 ^{ns}	-0,40**
pH	-	-	-0,41**	0,70**	0,38**	-0,73**	-0,85**	-0,53**	0,82**
K	-	-	-	-0,09 ^{ns}	0,16**	0,49**	0,38**	0,49**	-0,20**
Ca	-	-	-	-	0,62**	-0,41**	-0,54**	-0,11 ^{ns}	0,94**
Mg	-	-	-	-	-	0,07 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,34**	0,66**
H+Al	-	-	-	-	-	-	0,90**	0,95**	-0,53**
Al	-	-	-	-	-	-	-	0,78**	-0,67**
CTC	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,22**

* e **: significativo a 5 e 1 %, respectivamente; (ns) não significativo. P - Fósforo, MO - Matéria orgânica, K - Potássio, Ca - Cálcio, Mg - Magnésio, H+Al – Acidez Potencial, Al – Alumínio Trocável, CTC - Capacidade de troca catiônica efetiva e V - Saturação de bases.

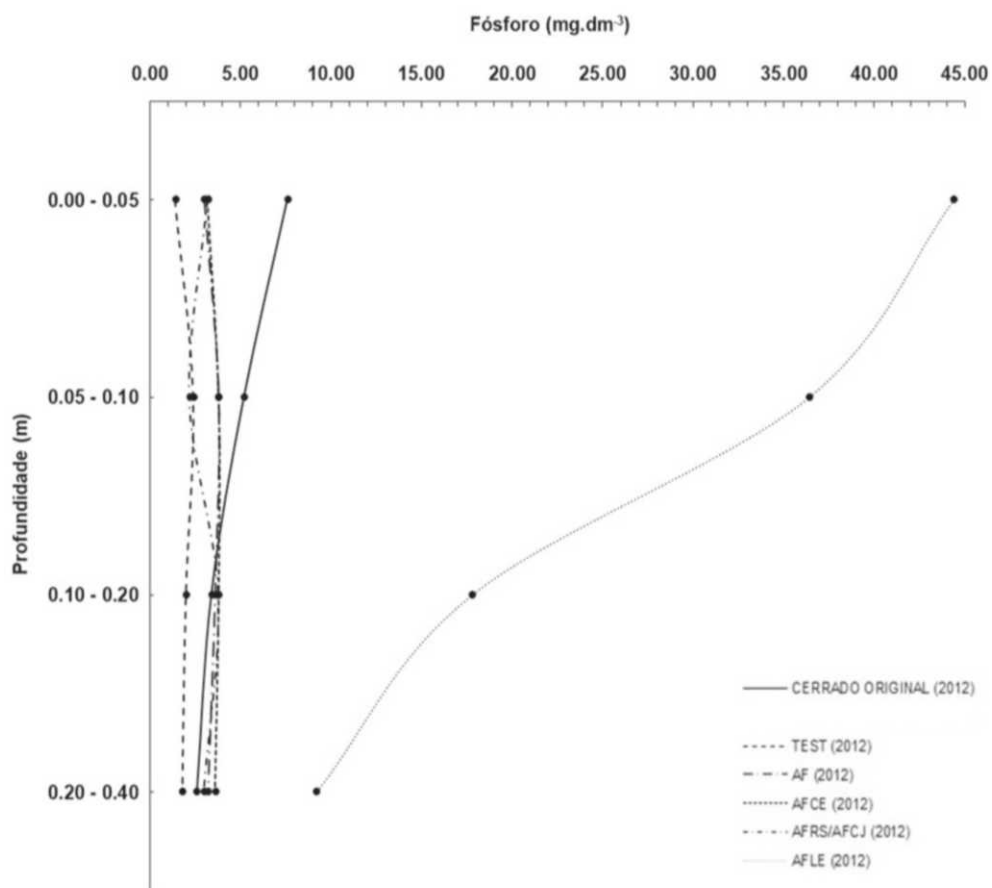


Figura 53. Comparativo dos valores médios de fósforo no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

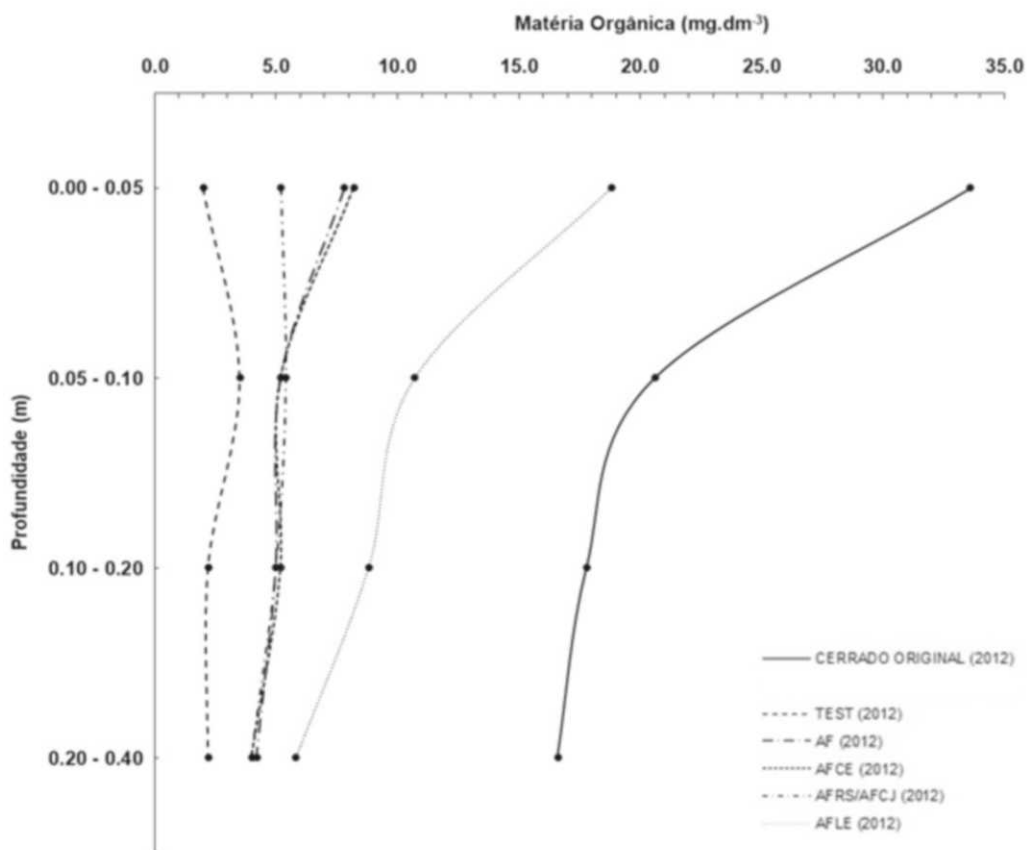


Figura 54. Comparativo dos valores médios de matéria orgânica no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

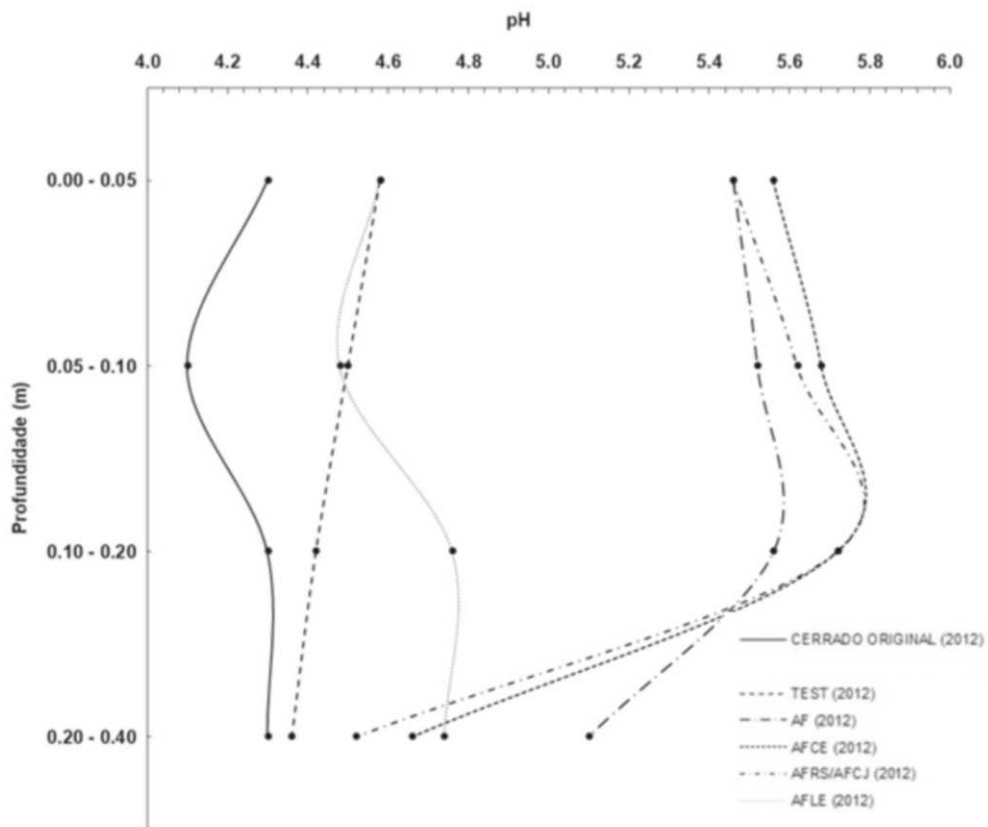


Figura 55. Comparativo dos valores médios de pH no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

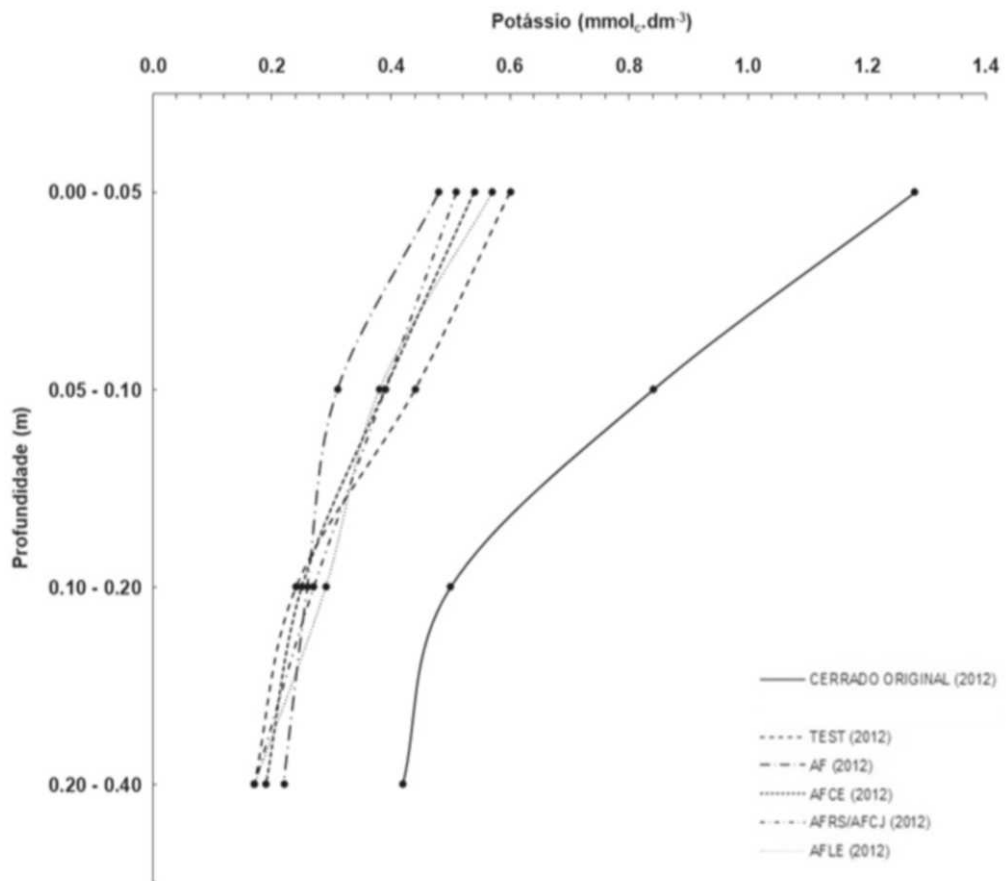


Figura 56. Comparativo dos valores médios de potássio no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

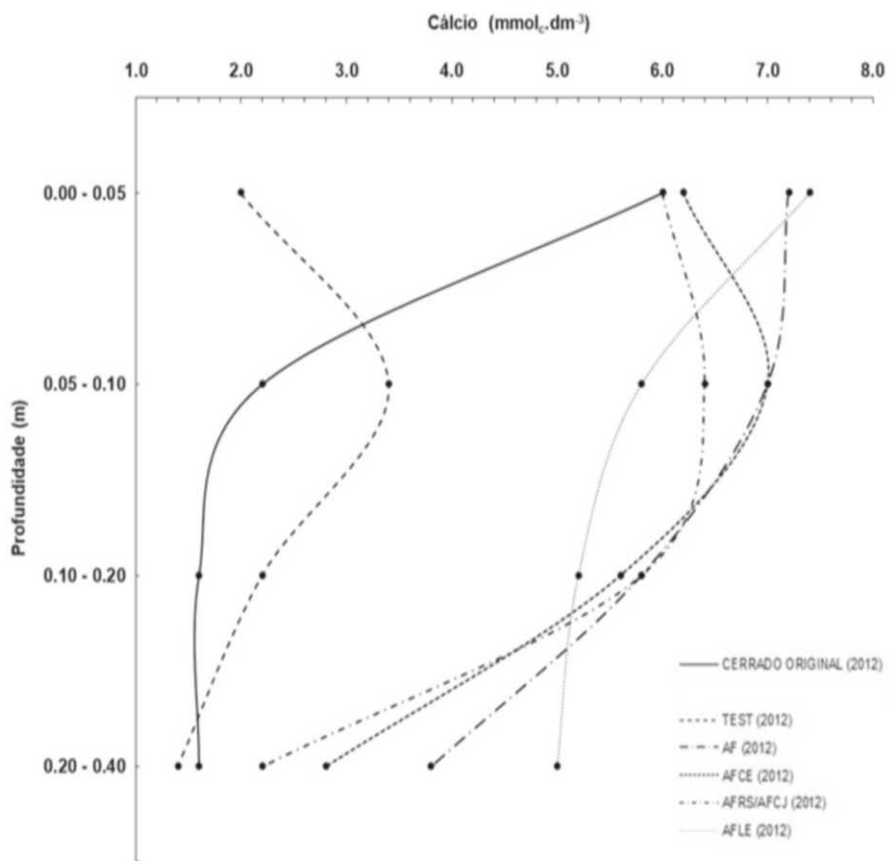


Figura 57. Comparativo dos valores médios de cálcio no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

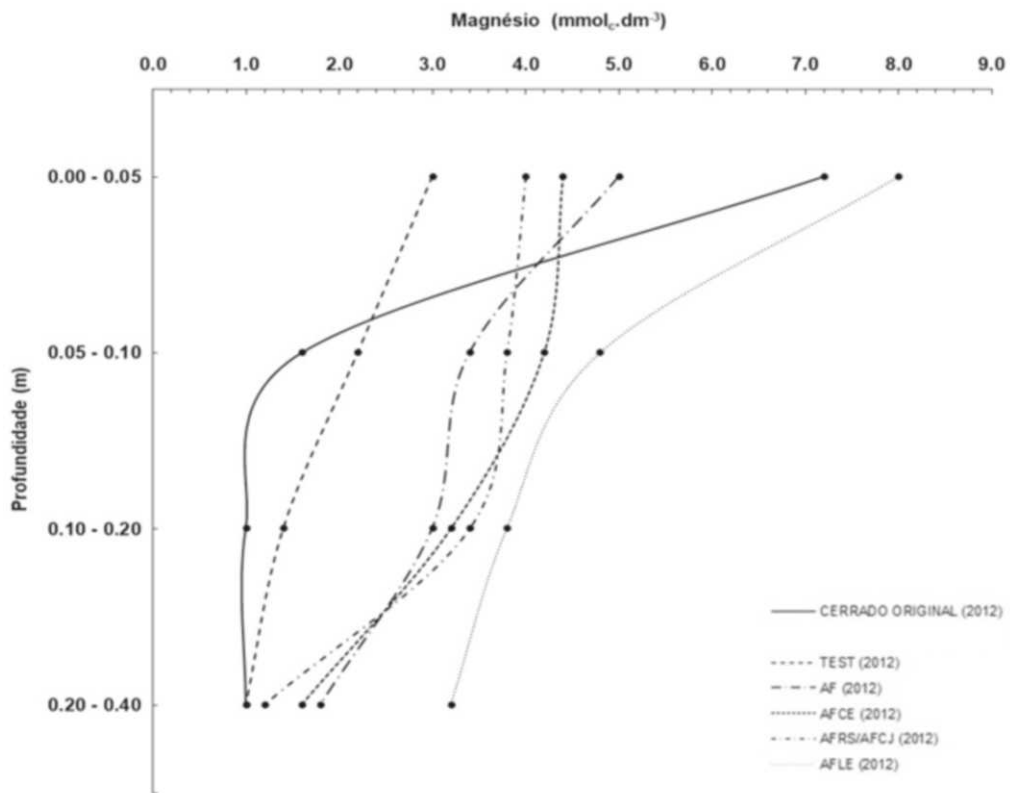


Figura 58. Comparativo dos valores médios de magnésio no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

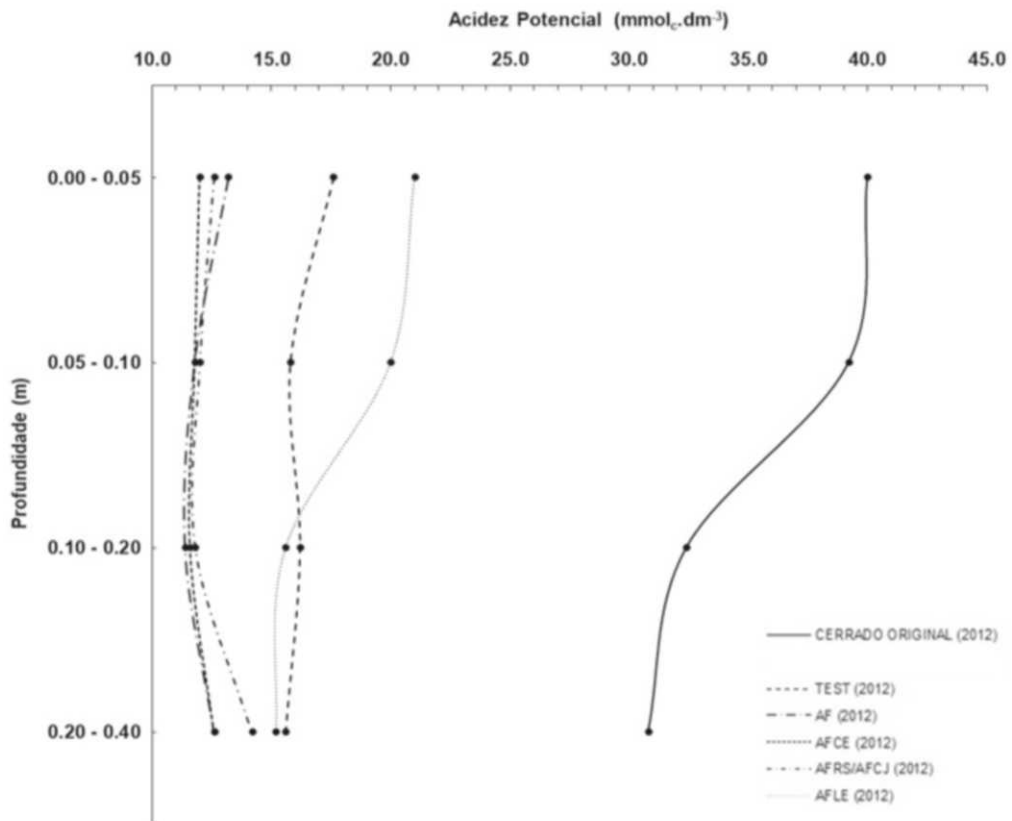


Figura 59. Comparativo dos valores médios de acidez potencial (H + Al) no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

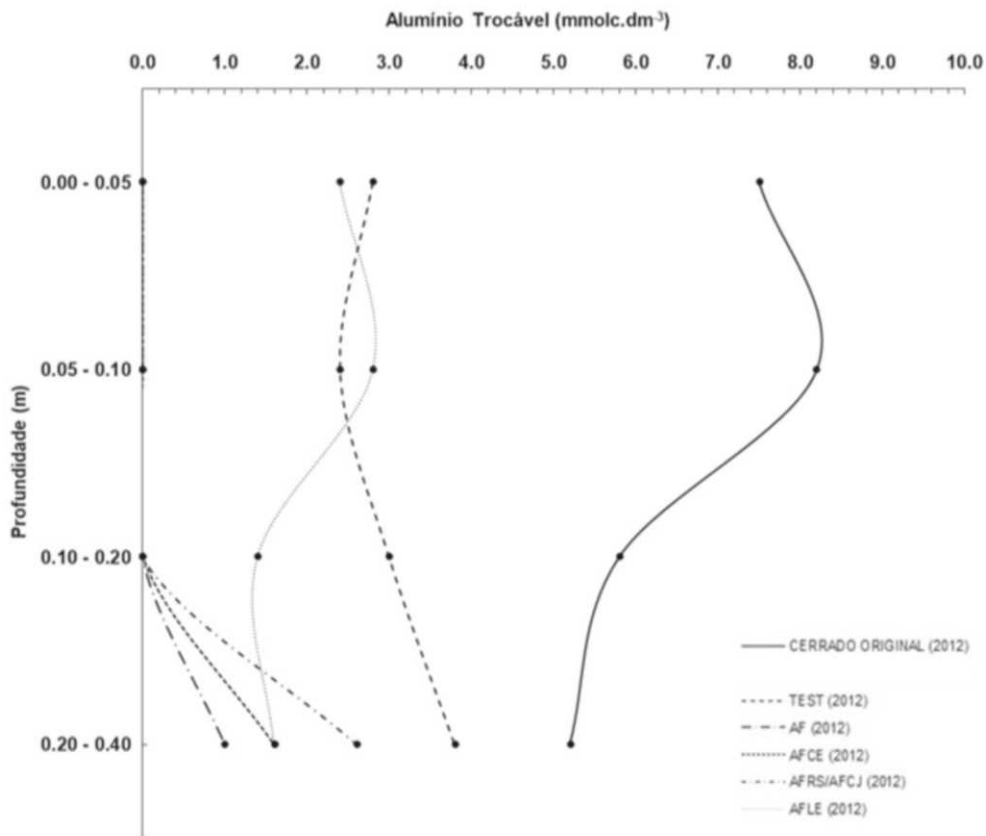


Figura 60. Comparativo dos valores médios de Alumínio Trocável (Al) no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

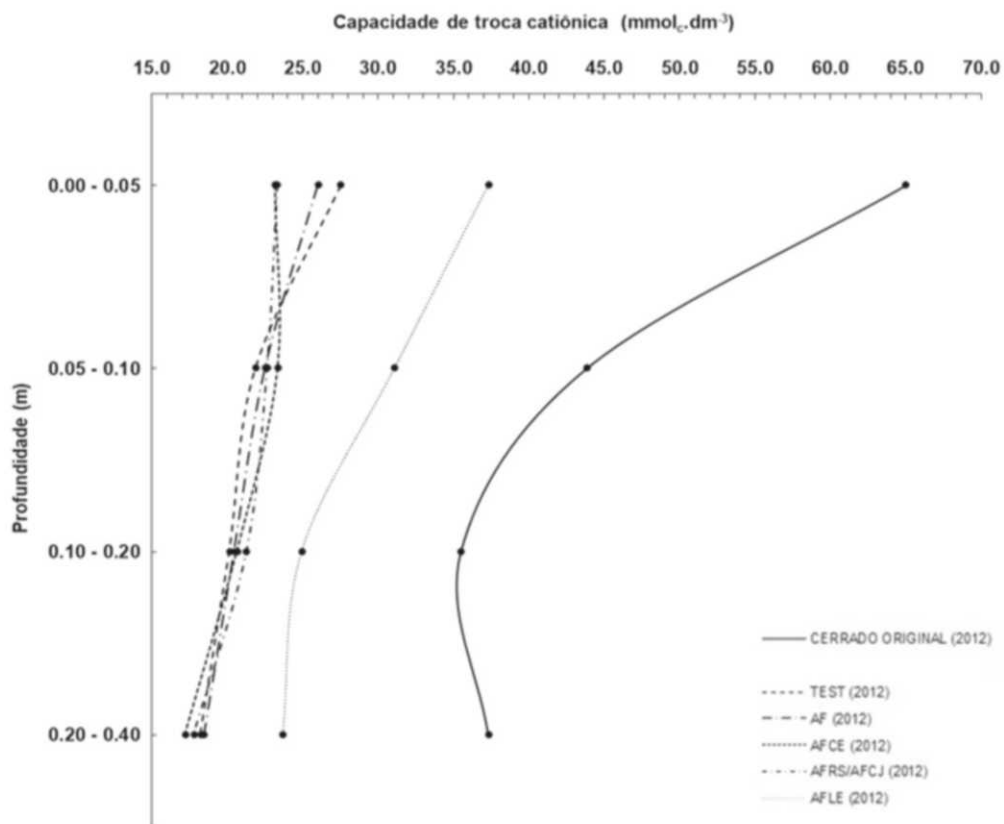


Figura 61. Comparativo dos valores médios da capacidade de troca catiônica (T) no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.

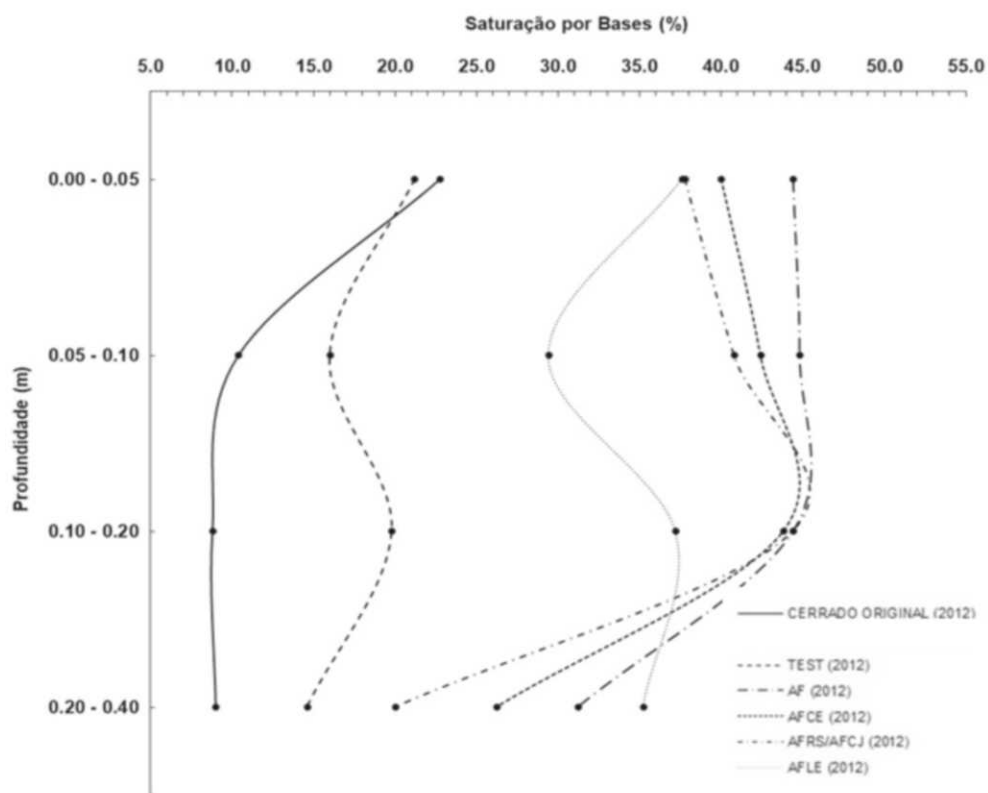


Figura 62. Comparativo dos valores médios de Saturação por Bases (V) no solo dos tratamentos com o cerrado original nas profundidades de 0,00–0,05m; 0,0–0,10m 0,10–0,20m 0,20–0,40m após oito anos, Selvíria, MS – Brasil.

Legenda: TEST = testemunha, AF = *Astronium fraxinifolium*, AFCE = *A. fraxinifolium*+*Canavalia ensiformis*, AFRS/AFCJ = *A. fraxinifolium*+*Raphanus sativus*, substituído por *A. fraxinifolium*+*Crotalaria juncea*, AFLE = *A. fraxinifolium*+*Brachiaria decumbens*+lodo de esgoto.