UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

QUALIDADE FÍSICA DO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB MANEJO DE APLICAÇÃO DE CINZA VEGETAL EM PASTAGEM EM RECUPERAÇÃO NO CERRADO MATO-GROSSENSE

Luiz Fernando dos Santos Miranda

Rondonópolis – 2018

QUALIDADE FÍSICA DO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB MANEJO DE APLICAÇÃO DE CINZA VEGETAL EM PASTAGEM EM RECUPERAÇÃO NO CERRADO MATO-GROSSENSE

Luiz Fernando dos Santos Miranda
Engenheiro Agrícola

Orientadora: Profª. Dra. EDNA MARIA BONFIM-SILVA

Coorientador: Dr. HELON HÉBANO DE FREITAS SOUSA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Linha de pesquisa: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Rondonópolis – 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

D722q DOS SANTOS MIRANDA, LUIZ FERNANDO.
QUALIDADE FÍSICA DO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB MANEJO DE APLICAÇÃO DE CINZA VEGETAL EM PASTAGEM EM RECUPERAÇÃO NO CERRADO MATO-GROSSENSE / LUIZ FERNANDO DOS SANTOS MIRANDA. -- 2018
57 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: EDNA MARIA BONFIM-SILVA.
Co-orientador: HELON HÉBANO DE FREITAS SOUSA.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Porosidade do solo. 2. Índice S. 3. Curva característica do solo. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Certificado de provação

Título: QUALIDADE FÍSICA DO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB MANEJO DE APLICAÇÃO DE CINZA VEGETAL EM PASTAGEM EM RECUPERAÇÃO NO CERRADO MATO-GROSSENSE.

Autor: LUIZ FERNANDO DOS SANTOS MIRANDA
Orientadora: Profª. Dra. EDNA MARIA BONFIM-SILVA
Coorientador: Dr. HELON HÉBANO DE FREITAS SOUSA

Aprovado em 09 de julho de 2018.

Comissão examinadora

Profª. Drª. EDNA MARIA BONFIM-SILVA (Orientadora)

Dr. HELON HÉBANO DE FREITAS SOUSA (Coorientador)

Prof. Dr. TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA (Examinador interno)

Drª. ANA PAULA ALVES BARRETO DAMASCENO (Examinador externo)

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus. A minha família pelo apoio durante a caminhada. Aos meus colegas de mestrado 2016/2. Aos integrantes do grupo de práticas de agua e solo (GPAS) que me ensinaram a força do trabalho em equipe.

Deixar meus agradecimentos especiais a minha orientadora professora Edna e meu coorientador Helon, pela dedicação no ensinar, e a paciência que sempre tiveram comigo, estendo meus agradecimentos a todos os professores componentes do programa de pós-graduação em engenharia agrícola.

QUALIDADE FÍSICA DO NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB MANEJO DE APLICAÇÃO DE CINZA VEGETAL EM PASTAGEM EM RECUPERAÇÃO NO CERRADO MATO-GROSSENSE

Resumo: A cinza vegetal proveniente da queima de madeira tem potencial para ser utilizada como condicionante físico do solo, alterando sua qualidade e características físicas. No estudo da qualidade física do solo, é primordial a caracterização de indicadores e índices relacionados às propriedades físicas. Assim, a aplicação de cinza vegetal pode ser uma alternativa ao fornecimento de material orgânico no solo, tanto no incremento químico, por ser rica em nutrientes essenciais as plantas, quanto na possível influência que poderá conferir a qualidade física do solo. Nesse contexto, objetivou-se estudar a influência da cinza vegetal e formas de aplicação (incorporada com grade leve e não incorporada) na qualidade física do Neossolo Quartzarênico em área de pastagem de capim Marandu em recuperação. O experimento foi conduzido a campo no Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), localizado no munícipio de Rondonópolis-MT localizada geograficamente na latitude 16º 33' sul; longitude 54º 37' oeste e altitude de 314 m O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas em faixas em esquema fatorial 6x2, correspondendo a seis doses de cinza vegetal (0; 3; 6; 9; 12 e 15 t ha^{-1}) e duas formas de aplicação (incorporado com grade leve e não incorporado), com quatro repetições. A cinza vegetal foi aplicada de forma manual à superfície do solo. Procedeu-se a coleta de amostras de solo com estrutura deformada e indeformada nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m de profundidade dentro da parcela útil de cada tratamento. Realizou-se avaliações das propriedades físicas do solo, tais como a granulometria, densidade de partículas para caracterização do solo, e os resultados da densidade de solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, curva de retenção de água no solo e índice S. Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando significativos as variáveis qualitativas (formas de incorporação) ao teste de Tukey e as variáveis quantitativas (doses de cinza vegetal) a análise de regressão, ambas até o nível de significância de 5% de probabilidade de erro. A aplicação da cinza vegetal nos dois anos de estudo não prejudicou a qualidade física do solo, mantendo seus índices S, como muito boa qualidade física para todas as doses de cinza vegetal e manejo de aplicação. No primeiro ano de estudo a cinza vegetal diminuiu a densidade do solo na camada (0-0,20 m), sendo a macroporosidade e microporosidade consequentemente influenciadas pela cinza vegetal, obtendo efeitos benéficos conforme o aumento das doses.

Palavras chave: Porosidade do solo, índice S, curva característica do solo.

PHYSICAL QUALITY OF THE ENTISOLS QUARTZIPSAMMENTS UNDER MANAGEMENT OF APPLICATION OF WOOD ASH IN GRASSLAND IN RECOVERY IN THE CERRADO MATO GROSSENSE.

Abstract: The ash from the burning of wood has the potential to be used as physical conditioning of the soil, changing its quality and physical characteristics. In the study of soil physical quality, the characterization of indicators and indexes related to physical properties is paramount. Thus, the application of wood ash can be an alternative to the supply of organic material in the soil, as much in the chemical increment, because it is rich in essential nutrients the plants, as in the possible influence that can confer the physical quality of the soil. In this context, the objective was to study the influence of the wood ash and forms of application (incorporated with light and non-incorporated grid) in the physical quality of entisols quartzipsamments in recovering Marandu grass pasture. The experiment was conducted in the field at the Mato Grosso do Sul Cotton Institute (IMAmt), located in the municipality of Rondonópolis-MT located geographically at latitude 16º 33 'south; longitude 54º 37 'west and altitude of 314 m The experimental design was in randomized blocks with plot plots in factorial scheme 6x2, corresponding to six doses of wood ash (0, 3, 9, 12 and 15 t ha^{-1}) and two forms of application (incorporated with light grid and not incorporated), with four repetitions. The ash was applied manually to the soil surface. Soil samples with deformed and undisturbed structure were collected in the 0-0.20 m layers and 0.20-0.40 m depth within the useful portion of each treatment. The soil physical properties, such as particle size, particle density for soil characterization, and soil bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity, soil water retention curve and S. index were evaluated. Results were submitted to analysis of variance and when significant the qualitative variables (incorporation forms) to the Tukey test and the quantitative variables (doses of wood ash) the regression analysis, both until the level of significance of 5% of probability of error. The application of the wood ash in the two years of study did not affect the physical quality of the soil, maintaining its S indexes, as very good physical quality for all the doses of wood ash and application management. In the first year of study the wood ash decreased the density of the soil in the layer (0-0,20 m), being the macroporosity and microporosity consequently influenced by the wood ash, obtaining beneficial effects as the increase of the doses.

Key words: Soil porosity, index S, soil characteristic curve.

Sumário

1 INTRODUÇÃO 10
2 REFERENCIAL TEÓRICO 12
2.1 Qualidade física do solo 12
2.2 Propriedades físicas do solo 13
2.2.1 Granulometria do solo 13
2.2.2 Densidade do solo 14
2.2.3 Porosidade do solo 15
2.2.4 Curva de retenção da água no solo 16
2.2.5 Indicadores de qualidade física do solo 17
2.2.6 Índice S 18
2.3 Neossolo Quartzarênicos 19
2.4 Cinza Vegetal 21
3. MATERIAL E MÉTODOS 23
3.1 Local de instalação do experimento 23
3.2 Instalação e delineamento experimental 24
3.3 Coleta de solo para avaliação física 26
3.4 Avaliações físicas do solo em laboratório 27
3.4.1 Granulometria 27
3.4.2 Densidade do solo 29
3.4.3 Densidade de partículas 30
3.4.4 Curva de retenção da água 30
3.4.5 Porosidade total 32
3.4.6 Micro e Macroporosidade 32
3.4.7 Índice S 33
3.5 Análise estatística 34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 35
4.1 Densidade do solo 35
4.2 Porosidade total 38
4.3 Macroporosidade 39
4.4 Microporosidade 41
4.5 Curva de retenção de água no solo e índice S 42

5. CONCLUSÕES 47
6 REFERENCIAS 48

1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso considerado natural não renovável, devido as suas baixas taxas de renovação, composto em sua fase solida por matéria orgânica, organismos e minerais, além de água e ar nos espaços vazios do solo (BUOL, 2010).

A capacidade de produção de um solo depende não somente da sua fertilidade, mas também de suas características físicas, uma vez que o desenvolvimento da parte vegetativa dependerá do desenvolvimento da raiz, sendo essa fortemente influenciada pelo equilíbrio entre a umidade e a aeração do solo. Portanto, antes de iniciar qualquer atividade agrícola, é importante conhecer as propriedades físicas do solo para um diagnóstico detalhado de sua qualidade física.

No estudo da qualidade física do solo, é primordial a caracterização de indicadores e índices relacionados às propriedades físicas, como o arranjamento das partículas e do espaço poroso, incluindo densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, compactação, condutividade hidráulica e capacidade de armazenamento de água, que refletem em limitações ao crescimento radicular, à emergência das plântulas, à infiltração e o movimento da água no perfil do solo, afetando assim a disponibilidade de água às plantas.

Contudo, o material de origem de um solo bem como o grau de intemperismo, são responsáveis diretos na determinação de suas propriedades físicas, e indiretamente influenciados pela presença de matéria orgânica. Os solos caracterizam-se por serem mais arenosos ou mais argilosos, diferenciando-se principalmente pelo grau de intemperismo, que influencia diretamente no tamanho de seus poros onde, solos arenosos apresentam maior volume de macroporos, aumentando assim a velocidade de infiltração da água e acelerando a decomposição do material orgânico presente nas camadas mais superficiais, enquanto solos argilosos, apresentam maior volume de microporos, os quais são responsáveis por diminuição da velocidade de infiltração da água e retardamento da mineralização de material orgânico.

No Estado de Mato Grosso, os Neossolos Quartzarênico têm ocorrência em cerca de 117 mil km^2, distribuídos por todas as regiões do estado (SEPLAN, 2007), apresentando geralmente baixa fertilidade natural, devido à capacidade de troca de cátions e saturação por bases baixas, com textura muito arenosa, conferindo pouca retenção de água, principalmente nas camadas superficiais.

Devido a esses fatores sua utilização no cultivo agrícola pode se tornar um desafio, não somente por ser um solo quimicamente pobre, baixa retenção de água tanto por evaporação quanto por percolação, com isso a incorporação de material orgânico pode promover o aumento da retenção de água.

Estima-se que aproximadamente 480 milhões de toneladas de cinzas de biomassa vegetal podem ser geradas em todo o mundo anualmente (VASSILEV et al., 2010). Esta quantidade é comparável à das cinzas de carvão, ou seja, 780 milhões de toneladas por ano (IZQUIERDO et al., 2012). Portanto, algumas das principais questões abertas relacionadas à combustão de biomassa vegetal de forma extensiva, são o que vamos fazer com essa enorme quantidade de cinza vegetal e se há algum risco ambiental relacionado à utilização alternativa do resíduo (VASSILEV et al., 2012).

Assim, a aplicação de cinza vegetal pode ser uma alternativa ao fornecimento de material orgânico no solo, tanto no incremento químico, por ser rica em nutrientes essenciais as plantas, quanto na possível influência que poderá conferir a qualidade física do solo, além na destinação mais adequada do resíduo no ambiente. Contudo, pouco se sabe sobre os efeitos da aplicação de cinza vegetal na qualidade física do solo e qual seria o manejo mais adequado dessa aplicação.

Nesse contexto, objetivou-se estudar a influência da cinza vegetal e formas de aplicação (incorporada com grade leve e não incorporada) na qualidade física do Neossolo Quartzarênico em área de pastagem de capim Marandu em recuperação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Qualidade física do solo

Uma das consequências negativas do grande avanço da agricultura é a degradação física dos solos, gerando erosão e compactação. O que traz modificações em suas propriedades físicas e a interação com a água, contribuindo diretamente em sua qualidade física, causando prejuízos nos rendimentos das culturas, alterando também as funções do solo, o que é de difícil reversão e de alto custo financeiro (SANS, 2000).

Contudo, o avanço da agricultura, que muitas vezes ocorre de forma pouco planejada, pode implicar na degradação dos solos, modificando suas propriedades físicas e a forma como a água interage com a fase sólida. Sabe-se que o funcionamento do solo não depende somente de suas relações físicas, mas também das interações de processos químicos e biológicos (TÓTOLA et al., 2002

Entende-se por qualidade física do solo a capacidade do solo em promover ao sistema radicular das plantas condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento vegetativo (LARSON et al., 1994; DEXTER, 2004; REICHERT et al., 2003; RICHART et al., 2005). Essas condições estão diretamente relacionadas com a estrutura do solo, sendo determinadas através da disponibilidade de água, aeração, temperatura e resistência que o solo oferece à penetração das raízes (REICHERT et al., 2003).

Os espaços porosos no solo têm influência direta no favorecimento do contato entre as raízes e o solo (SILVA et al., 2010). Para que o solo seja considerado de boa qualidade física deve-se apresentar espaço poroso suficiente para movimentação de água e difusão de gases (HILLEL, 2004), além da capacidade em adsorver nutrientes e reter água (BEUTLER et al., 2003).

O estudo da qualidade física de um solo se baseia em avaliações qualitativas e quantitativas de propriedades isoladas, em que as interações desses aspectos determinam sua qualidade física (TARDIEU, 1994; ISLAM et al., 2000). Portanto é indispensável que se faça a investigação de propriedades que possam ser usadas com esse propósito.

2.2 Propriedades físicas do solo

Os solos minerais são constituídos por uma mistura de partículas sólidas de natureza mineral e orgânica, ar e água, formando um sistema trifásico, sólido, gasoso e líquido, sendo que as partículas da fase sólida variam grandemente em tamanho, forma e composição química e a sua combinação nas várias configurações possíveis forma a chamada matriz do solo (AMARO FILHO et al., 2008).

As propriedades físicas do solo são fatores que determinam a disponibilidade de oxigênio, a mobilidade da água, além de interferir nas reações químicas, e componentes biológicos do solo (OLIVEIRA, 2008). São influenciadas, principalmente, pela quantidade, tamanho, forma e disposição de suas partículas, pelo volume total de poros e pela taxa de ocupação desses por água e ar (FANNING, 1989).

2.2.1 Granulometria do solo

Pode ser definida como a distribuição dos tamanhos das partículas sólidas do solo, baseando-se nos diâmetros destas partículas (TAN, 1996). Aquelas menores que 2 mm são divididas em três frações: areia, silte e argila. Vários sistemas de classificação têm definido diferentes limites para estas frações (GEE et al., 1986), cujos dados servem de base para estimar propriedades hidráulicas do solo (HWANG et al., 2003), as diferenças de estrutura e granulometria influenciam diretamente os processos físicos do solo que pode ser observado nas curvas de retenção de água no solo

Considerada como uma avalição básica no estudo da física do solo, existem diversos métodos de mensuração granulométrica, basicamente incluem: peneiramento; peneiramento combinado com sedimentação e métodos de sedimentação (RYZAK et al., 2007), isso por ser em três etapas: tratamento prévio das amostras para remoção de agentes cimentantes e floculantes; dispersão das amostras e quantificação das frações do solo (CHAUDHARI, 2008).

Informações sobre a granulometria podem ser utilizadas na estimativa das propriedades hidráulicas do solo, inclusive da curva de retenção da água (HWANG, 2003). Conforme a concentração de argila pode se inferir a capacidade do solo em retenção e fornecimento de água às plantas (SALTER et al., 1966).

A granulometria de um solo tem pouca variação ao longo do tempo, ocorrendo mudança somente quando houver alteração na composição do solo em função de erosão seletiva e/ou processos de intemperismo, que ocorrem em escala de séculos a milênios (OLIVEIRA, 2008).

2.2.2 Densidade do solo

A densidade do solo pode ser um indicador de sua compactação (FREITAS, 2000). É a razão entre massa seca e o volume ocupado pela amostra de solo. Esse volume de solo inclui o volume de partículas do solo e de poros entre as partículas do solo, sendo expressa em massa/volume (EMBRAPA, 2011). É uma importante medida física do solo, pois reflete a capacidade desse em funcionar como suporte estrutural onde ocorrem movimentos de água e ar (KLEIN, 2006).

Comparativamente, em solos com mesma textura e material de origem, altas densidades indicam diminuição da porosidade e consequente compactação do solo (KLEIN, 2005). Essa condição causa restrições ao crescimento das raízes (DEXTER, 1988) e impedimento na circulação de ar e água através do solo. Com a compactação pode ocorrer o enraizamento superficial, resultando em baixo crescimento das plantas, o que influencia diretamente no rendimento das culturas além de reduzir a cobertura vegetal que, eventualmente, protege o solo da erosão (BENNIE, 1996).

São vários os fatores que influenciam a densidade do solo, desde suas características pedogenéticas (BERTOL et al., 2004), crescimento radicular das plantas (SUZUKI et al., 2007), tráfego de animais e máquinas agrícolas (PROFFITT et al., 1993) ou, até mesmo, o impacto de gotas da chuva e de irrigação (KLEIN, 2006).

Com o aumento da compactação, o solo apresenta problemas com a infiltração e percolação da água no perfil do solo, podendo levar ao aumento do escoamento superficial e da erosão de terras em declive ou solos encharcados em áreas mais planas (CAMPOS et al., 1995). Aumentos na densidade do solo não são

necessariamente prejudiciais ao crescimento das culturas, porque até certos limites este aumento pode contribuir com o armazenamento de água no solo e com a capacidade de suporte de carga (REICHERT et al., 2009), em solos arenosos a compactação pode beneficiar a retenção da água em seu perfil, sendo justificada pelo adensamento dos macroporos (JARVIS et al., 1995).

A presença de matéria orgânica tem papel importante na variabilidade da densidade do solo e, consequentemente, na compactação (BUCKMAN et al., 1979). Solos com maior presença de material orgânico apresentam menor densidade quando comparados a solos com baixa presença de matéria orgânica (COSTA, 1983; CAMPOS et al., 1995). Islabão, (2013) em seu estudo com doses de cinza vegetal proveniente de casca de arroz, concluiu que com o aumento das doses da cinza vegetal houve diminuição da densidade de um solo Argissolo Vermelho Amarelo.

2.2.3 Porosidade do solo

A porosidade do solo refere-se ao volume de vazios criado pelo arranjo das partículas do solo que, em condições naturais é preenchido por água e ar, usualmente é expressado em porcentagem (EMBRAPA, 2011). É inversamente relacionado à densidade do solo (REICHARDT et al., 2004), solos soltos e porosos têm menor densidade e maior porosidade do que solos fortemente compactados (RIGATTO et al., 2005).

O tamanho dos poros é provavelmente uma das características físicas mais importantes de um solo, controlando o movimento e armazenamento hídrico e aeróbico. Os poros se apresentam em diversos tamanhos, embora a argila proporcione poros predominantemente pequenos (microporos) e as areias poros grandes (macroporos) (KLEIN, 2005), a maioria dos solos é uma mistura de partículas de areia, silte e argila havendo, portanto, uma mistura de diferentes tamanhos de poros no solo (KIEHL, 1979).

A porosidade do solo pode variar dependendo do tamanho das partículas e do grau de agregação, sendo maior em solos argilosos e orgânicos do que em solos arenosos (CURMI et al., 1994). A distribuição do diâmetro dos poros no solo tem um papel preponderante nesse contexto. Através de lâminas delgadas, Curmi et al.

(1994), relataram que o espaço poroso é constituído por dois tipos de poros: um resultante do arranjamento dos microagregados, formando o espaço poroso intra-agregados, contínuo, irregular e policôncavo e que ocupa um volume importante do solo (diâmetro < 0,0002 mm), ao passo que o outro é formado por canais e cavidades com dimensões maiores (diâmetro > 0,0002 mm), denominados poros interagregados (micro e macroporos).

O manejo do solo reflete diretamente na porosidade, podendo sofrer alteração na relação entre a macro e microporosidade, tendo em vista a frequente redução dos poros de maior diâmetro verificada com o uso do solo, que ocorre devido à quebra de agregados (WU et al., 1992). Klein e Libardi (2002), estudando diferentes tipos de manejo em um Latossolo Vermelho, concluíram que o manejo do solo, quando irrigado, diminuiu a porosidade total e alterou a distribuição do diâmetro dos poros, diminuindo o volume de macroporos e aumentando de microporos.

2.2.4 Curva de retenção da água no solo

Libardi (2005) a curva de retenção da água no solo, é um modelo que descreve a relação entre o conteúdo da água no solo e a tensão em que ela se encontra retida. Pode ser representada por um modelo matemático, em que seus valores são obtidos por meio de determinação em campo/laboratório, em outras palavras, expressa à relação entre o potencial mátrico e a umidade do solo, a base de massa ou volume (SILVA, 2005).

A retenção de água do solo está relacionada a forças superficiais que determinam o nível de energia da água do solo. Existem dois processos responsáveis pela retenção: um deles ocorre nos microporos por capilaridade e o outro processo ocorre nas superfícies dos grânulos do solo como filmes presos à superfície, pela adsorção (LIBARDI, 2005). O teor de água retido nos microporos é denominado umidade capilar. O teor de água retido nas superfícies dos grãos do solo é denominado umidade higroscópica (AMARO FILHO et al., 2008), diminuindo a espessura da película de água que envolve as partículas, consequentemente aumentará a força de adsorção dessas partículas com a água, sendo necessário elevar o potencial de sucção para retirar a água (DEXTER, 2004).

A curva de retenção da água no solo, pode ser considerada uma ferramenta no esclarecimento da qualidade física do solo em relação a sua capacidade de retenção hídrica (DEXTER, 2004b), uma vez que pode fornecer informações inerentes a quantidade de água disponível associada a variações de volume com a molhagem e secagem, tendo uma enorme importância na caracterização dos solos à sua aptidão agrícola (NASCIMENTO, 2009).

A textura tem influência direta na adsorção da água às partículas do solo, pois em solos arenosos, pequenos aumentos na tensão causam enormes reduções no volume da água retida, sendo explicado pela maior concentração de macroporos (AMARO FILHO et al., 2008), em comparação a solos argilosos, que por sua vez apresentam maior capacidade de retenção da água mesmo quando submetidos a elevadas tensões de sucção, devido a maior presença de microporos provenientes da fração argila (OLIVEIRA et al., 2004).

A curva de retenção da água apresenta potencial para fornecer informações que viabilizem tomadas de decisão no campo agrícola, quando relacionado a disponibilidade de água às plantas, infiltração e manejo da irrigação (TORMENA et al., 2002). Assim, permite interpretar as características da armazenagem da água no solo em relação as necessidades hídricas de determinado cultivo (URACH, 2007).

2.2.5 Indicadores de qualidade física do solo

Os indicadores físicos fornecem informações sobre as características hidrológicas do solo, como infiltração e retenção da água, o que influencia diretamente a disponibilidade para às plantas (DORAN et al., 1994). Alguns indicadores estão relacionados a disponibilidade de nutrientes por sua influência no volume de enraizamento e no estado de aeração (CAMPOS et al., 1995). Outras medidas nos dizem sobre o status erosivo (BERTOL et al., 2004). Sendo observados como principais indicadores de qualidade física do solo: estabilidade agregados; água disponível; infiltração de água; teor de matéria orgânica; estrutura do solo; porosidade (DORAN et al., 1994).

A estabilidade de agregados refere-se à capacidade dos agregados do solo de resistir à desintegração quando forças destrutivas exercidas pelo uso de

maquinários agrícolas ou até mesmo o impacto das gotas de água provenientes da chuva ou irrigação (MEROTTO et al., 1999). A estabilidade do agregado úmido sugere quão bem um solo pode resistir ao impacto da gota de chuva e à erosão hídrica (HAMBLIN, 1985), mudanças em sua estabilidade podem servir como indicadores iniciais de recuperação ou degradação de solos.

O solo é um grande reservatório de água (COOPER et al., 2012), sendo a disponibilidade de água um indicador importante, porque o crescimento das plantas e a atividade biológica do solo dependem da água para a hidratação e disponibilização de nutrientes em solução (BETZ et al., 1998). Os volumes de escoamento e lixiviação também são determinados pela capacidade de armazenamento e distribuição do tamanho dos poros (KOOISTRA et al., 1992).

O teor de matéria orgânica é um importante indicador relacionado a diversas propriedades do solo, sendo considerada um importante indicador de qualidade do solo (REICHERT et al., 2003). Desempenha papel direto nas propriedades físicas do solo, influenciando diretamente na agregação e indiretamente na retenção da água e taxa de infiltração (BAYER et al., 1999).

2.2.6 Índice S

O índice S proposto por Dexter (2004 a, b, c) é considerado indicador de qualidade física e tem sido relacionado com muitas propriedades do solo, além de expressão direta ou indireta do volume e /ou função do espaço poroso do solo. No entendimento sobre indicadores da qualidade física do solo, a própria curva de retenção da água no solo pode ser considerada um indicador, sendo utilizada para a avaliação de sua qualidade física em relação ao armazenamento e transporte da água (DORAN et al., 1994). Em 2004, Dexter estudando a curva de retenção da água, definiu o índice S, que se apresenta igual à inclinação da curva de retenção da água no solo em seu ponto de inflexão. O valor de S é indicativo da extensão em que a porosidade do solo é concentrada em uma faixa estreita de tamanhos de poros (DEXTER, 2004a), com valores de índice S, é possível então aferir sobre qualidade física do solo.

Dexter (2004a, b, c), com base na sua experiência prática, sugere categorias descritivas da qualidade física do solo, em termos dos valores correspondentes de S:

		S	>	0,050	Muito boa
0,050	>	S	>	0,035	Boa
0,035	>	S	>	0,020	Pobre
0,020	>	S			Muito pobre

Fonte: (DEXTER, 2004a, b, c).

A partir dos dados publicados por Dexter (2004a, b, c), através de funções de pedotransferência, observou-se que o crescimento de raízes não ocorria quando valores de S< 0,020 e que poucas raízes cresceriam entre 0,020< S <0,035. Por outro lado, para valores S> 0,035, o crescimento de raízes é favorecido. Esses valores críticos do índice S são sugeridos por Dexter (2004a): um valor do índice S> 0, 035 é estabelecido como limite para indicar condições físicas favoráveis para o crescimento das raízes; valores 0,020<S<0,035 são considerados pouco favoráveis (pouco crescimento de raízes) e S<0,020 são considerados altamente restritivos (nenhum crescimento radicular). Segundo Dexter (2004a) é mais conveniente ajustar a inclinação da reta tangente ao ponto de inflexão a partir dos parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (1980), nesse caso o valor de S é sempre negativo, sendo conveniente usar o módulo nas discussões. Segundo Dexter (2004a), a textura, a densidade do solo e o teor de matéria orgânica afetam o índice S. Dexter (2004b) observou que a friabilidade do solo e o preparo no plantio direto influenciam nos valores do índice S, apresentando valores superiores a 0,035.

2.3 Neossolo Quartzarênicos

Os Neossolos Quartzarênicos apresentam, por definição, textura arenosa e não possuem desenvolvimento significativo do perfil do solo. Eles exibem o horizonte de superfície parcialmente formado (camada superior) com baixa concentração de húmus, sendo desprovidos de acumulação de argila com predominância da fração areia em sua constituição mineral (JUNQUEIRA et al., 2010). Dada a sua excessiva

permeabilidade e baixo teor de nutrientes, o uso agrícola desses solos requer um manejo cuidadoso.

Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2014), o Neossolo Quartzarênico caracteriza-se por ser pouco evoluído e não apresentar o horizonte B diagnóstico. O prefixo grego “Neo” que denota solo jovem e indica pouco desenvolvimento.

Os Neossolos ocupam 14,5% do território brasileiro, sendo 42% classificados como Neossolos Quartzarênicos (IBGE, 2015), ocorrem em praticamente todos os estados brasileiros, no Mato Grosso corresponde a 13% do território (SEPLAN, 2007).

São formados predominantemente por minerais com maior concentração do quartzo, com pouca ou nenhuma evidencia de desenvolvimento de horizontes com alterações pedogenéticas (OLIVEIRA, 2008), portanto, não fornecendo reserva de nutrientes para as plantas.

Os Neossolos são solos considerados quimicamente pobres do ponto de vista da fertilidade do solo, podendo apresentar baixa saturação por bases (distróficos) ou alta (eutróficos) quando ocorre deposição de material orgânico (COELHO et al., 2002), sendo a alta, inerente a possível presença de material orgânico (Húmus). Mesmo quando adubados sofrem com a lixiviação dos nutrientes, devido a sua baixa capacidade em adsorvê-los (OLIVEIRA, 2008).

A adoção de práticas agrícolas que incrementam a incorporação de material orgânico aos solos arenosos é a principal responsável pela elevação da CTC do solo (PRADO; FRAZÃO et al., 2008; CARNEIRO et al., 2009; SALES et al., 2010), pois a maior parte de sua capacidade de troca catiônica advém da fração orgânica do solo (SILVA et al., 2011), amenizando suas limitações ao uso agrícola, trazendo benefícios em sua fertilidade e, consequentemente, alterações na qualidade.

Além das limitações nutricionais às plantas, solos dessa classe demostram limitações na capacidade de retenção da água ao longo do seu perfil, devido a sua natureza arenosa (PARAHYBA et al., 2009), com exceção do Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, que estão sob influência do lençol freático, elevado por grande período de tempo (OLIVEIRA, 2008).

Brandão et al. (2006), estudando diferentes níveis de energia cinética da água no potencial de infiltração em Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Flúvico e Neossolo Quartzarênico, comprovaram que os Neossolos Quartzarênicos possuem maiores taxas de infiltração

de água, somente diminuída com o acréscimo da energia cinética, porém mantendo taxas superiores às classes de solo avaliadas no estudo, sendo a passagem da água facilitada pelo maior volume da macroporosidade (SOUZA et al., 2005).

Os Neossolos, mesmo possuindo altas taxas de infiltração, apresentam susceptibilidade à erosão hídrica, sendo pouco indicados para lavoura e aptos com restrições para pastagens plantadas se forem bem manejados (MACEDO et al., 1998). O aumento da energia cinética da água, proporciona um aumento progressivo da taxa de perda de solo, devido à redução da infiltração provocada pelo encrostamento superficial do solo, contudo a níveis não prejudiciais de perda de solo, pois além de menor teor de argila, seus constituintes minerais são mais densos, e a tensão cisalhante de escoamento superficial não foi capaz de transportar grandes volumes deste solo (BRANDÃO et al., 2006).

Alguns pontos importantes devem ser considerados no manejo agrícola da classe dos Neossolos, devido a todos os aspectos já abordados, os investimentos na melhoria destes solos podem ser mais elevados do que os benefícios, portanto, avaliar a viabilidade econômica de seu uso é primordial (CORREIA et al., 2004). Contudo, o incremento de material orgânico proveniente de resíduos, pode ser uma alternativa para a melhoria de sua qualidade física e química, diminuindo os custos de seu manejo.

2.4 Cinza Vegetal

A cinza vegetal é um dos resíduos da queima de material vegetal para produção de energia calorífica para diferentes fins, comum na indústria alimentícia, secagem de grãos e ceramista, dentre outras. Suas características quantitativas e qualitativas são determinadas pelo material de origem e pela temperatura a qual o material é submetido, apresentando condições químicas e granulométricas variadas (BODÍ et al., 2014).

Devido ao grande volume gerado de cinza, as indústrias encontram dificuldade na destinação correta desse material, que muitas vezes é disposta em aterros sem controle e sem estudo do seu impacto ambiental. No Brasil não existe uma legislação específica a respeito da cinza vegetal, sendo então classificadas como

resíduo Classe II-A (não inerte). Para essa classificação são consideradas propriedades como, combustibilidade, biodegrabilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004).

A cinza vegetal pode ser utilizada na agricultura, devido seu potencial como corretivo da acidez do solo foi objeto de diversos estudos (OSAKI, 1991; DAROLT et al., 1993; SANTOS et al., 1995; SOFIATTI et al., 2007; BONFIM-SILVA et al., 2011; SANTOS, 2012; BEZERRA, 2013).

Antes do descobrimento das jazidas de sais potássicos solúveis, a cinza proveniente da queima de madeira era a única forma de adubação potássica utilizada na agricultura (OLIVEIRA, 2006), com quantidades de K_2O presentes em sua composição variando entre 5 a 25% K_2O (CHIRENJE, 2002). Porém mesmo tendo conteúdo elevado de óxidos, hidróxidos e carbonatos de Ca e Mg, o volume utilizado para elevação do pH com a cinza vegetal é superior as observadas na pratica de calagem tradicional (ISLABÃO et al., 2016), o que pode se tornar um fator limitante a sua utilização, devido ao alto custo do transporte de grandes quantidades desse material.

Os benefícios da aplicação de cinza vegetal ao solo vão além daqueles relacionados as propriedades químicas e fertilidade do solo. As respostas de sua utilização em avaliações físicas do solo comprovaram a sua influência na textura, densidade aparente, capacidade de retenção de água e distribuição de tamanho de partículas (CHANG et al., 1977; PAGE et al., 1979).

Em estudos desenvolvidos por Karmakar et al. (2010) foi observado diminuição da densidade do solo com aplicação cinza de origem industrial, semelhante a Masulili et al. (2010), que observaram diminuição da densidade, resistência à penetração, aumento da porosidade total e da disponibilidade hídrica com a incorporação de biocarvão no solo.

Islabão et al. (2016) em seu estudo com cinza proveniente da queima de casca de arroz, puderam confirmar a influência de sua aplicação nas propriedades físicas do solo, constatando a diminuição da densidade, aumento da porosidade total e macroporosidade do solo, porém não afetou a microporosidade, a capacidade de campo, o ponto de murcha permanente e a capacidade de água disponível no Argissolo Vermelho Amarelo.

Portanto a utilização da cinza vegetal pode influenciar as características químicas e físicas do solo e, consequentemente, a microbiota do solo, sendo a qualidade do solo diretamente afetada por esses três aspectos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de instalação do experimento

O experimento foi realizado em campo, em área do centro de pesquisa do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), em área de Cerrado, no munícipio de Rondonópolis, Mato Grosso, localizada geograficamente na latitude 16º 33’ Sul; longitude 54º 37’ Oeste e altitude de 314 m, distante 16 quilômetros da Universidade Federal de Mato Grosso, campus universitário de Rondonópolis (Figura 1), sendo conduzido entre 2015 a 2017, com coletas e avaliações realizadas em 2016 e 2017.

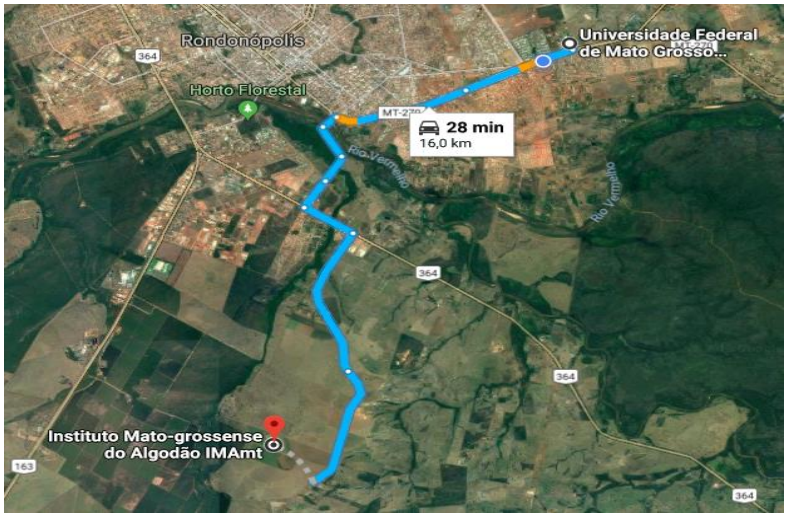

Figura 1. Representação geográfica (2018) da localização do experimento em referência a Universidade Federal De Mato Grosso, local do experimento: Instituto Mato-Grossense Do Algodão (ImaMT).

3.2 Instalação e delineamento experimental

O experimento foi instalado em área de pastagem formada por *Brachiaria brizantha urochloa* cv. Marandu em processo de recuperação. O solo sob a pastagem foi classificado como Neossolo Quartzarênico (EMBRAPA, 2013).

O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados em faixa, em esquema fatorial 6x2, com seis doses de cinza vegetal (0; 3; 6; 9; 12 e 15 t ha^{-1}) e duas formas de aplicação da cinza, (incorporada com grade leve e não incorporada) e quatro repetições. As doses de cinza vegetal foram estabelecidas a partir de estudos com *Urochloa brizantha* cv. Marandu realizado por (BONFIM-SILVA et al., 2015; BEZERRA et al., 2016) e o manejo de aplicação (não incorporado e incorporado com grade leve) de acordo com Bonfim-Silva et al. (2016).

Foi realizado a caracterização química e física do solo EMBRAPA (2011), com amostras coletadas antes da implantação do experimento (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química de um Neossolo Quartzarênico coletado na implantação do experimento em área de recuperação de pastagem

pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	CTC	SB	M.O	V%
	------mg dm^{-3}----		---------- $cmol_c$ dm^{-3}----------						g dm^{-3}	%
4,1	1,1	12	0,2	0,2	0,8	3,0	4,2	0,4	12,3	10,4

pH - Potencial de Hidrogênio em $CaCl_2$ (cloreto de cálcio); P - Fósforo; K - Potássio; Ca - Cálcio; Mg - Magnésio; Al - Alumínio; H - Hidrogênio; CTC - Capacidade de troca de cátions; SB - Soma de bases; M.O. - Matéria orgânica; V% - Saturação por bases.

A cinza vegetal utilizada foi proveniente de indústria de cerâmica e analisada como fertilizante (Tabela 2), de acordo com metodologia proposta por Darolt et al. (1993).

Tabela 2. Análise química da cinza vegetal como fertilizante, utilizada em 2015 e 2016.

	pH	PN	PRNT	RE	N	P_2O_5	K_2O	Ca	S	Mn	B	Zn	Cu
	----------%----------				----------g kg^{-1}----------								
I ano	10,7	20,3	17,12	84,3	2,8	29,8	33,2	31,5	1,5	0,7	0,15	0,11	0,11
II ano	6,6	7,8	8,78	112	3,8	3,1	4,2	1,7	0,4	0,33	0,006	0,01	0,006

pH: Potencial de Hidrogênio em $CaCl_2$ (cloreto de cálcio); PN: Poder de neutralização; PNPRNT: Poder relativo de neutralização total; RE: Reatividade; N: Nitrogênio total; P_20_5: Fósforo; K_2O: Potássio; Ca: Cálcio; S: Enxofre; Mn: Manganês; B: Boro; Zn: Zinco; Cu: Cobre. Ano I: Aplicação em 2015; Ano II: Aplicação em 2016 no solo.

As parcelas experimentais principais com as dimensões de 8 por 30 m (240 m²) receberam as doses de cinza vegetal, enquanto as subparcelas de 8 por 15 m (120 m²) as formas de aplicação, incorporada com grade leve e não incorporada. Foram utilizadas 4 repetições, perfazendo o total de 24 parcelas e 48 subparcelas na área experimental (Figura 2).

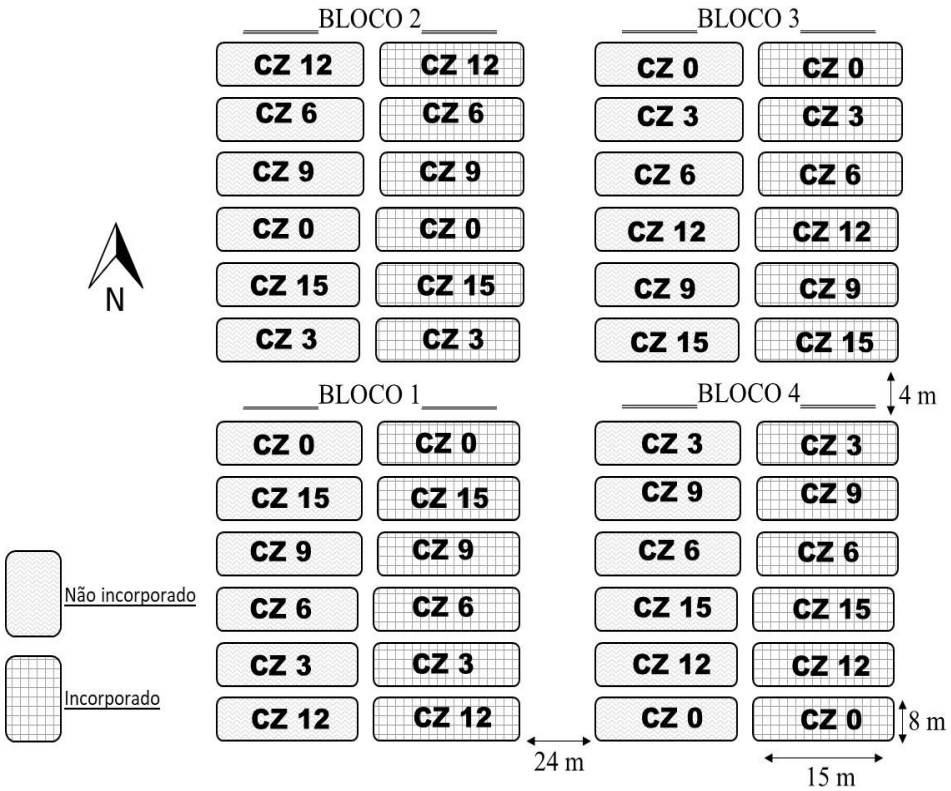

Figura 2. Croqui do experimento blocos casualizados em faixas, em esquema fatorial 6x2, com seis doses de cinza vegetal (CZ) vegetal (0; 3; 6; 9; 12 e 15 t ha^{-1}) e duas formas de aplicação, incorporado com grade leve e não incorporado.

A aplicação da cinza vegetal foi realizada manualmente para garantir uma distribuição uniforme dentro de cada parcela, nas faixas onde receberam o manejo

incorporado, foi passado grande leve. Os manejos de aplicação foram realizados em dezembro de 2015 e dezembro de 2016.

Foi realizada adubação nitrogenada na dose de 100 kg ha^{-1} em todas as subparcelas experimentais, utilizando-se a ureia como fonte, parcelada em três vezes no período chuvoso, logo após o corte das gramíneas. A necessidade de aplicação de nitrogênio ocorre devido a cinza de madeira apresentar baixo teor desse nutriente, que é perdido durante processo de combustão do material vegetal nas caldeiras (Bonfim-Silva et al., 2014).

3.3 Coleta de solo para avaliação física

A coleta e o preparo das amostras de solo seguiram os métodos recomendados pela EMBRAPA (2011), para análises físicas. Procedeu-se a coleta de amostras de solo com estrutura deformada e indeformada nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m dentro da parcela útil de cada tratamento (Figura 3).

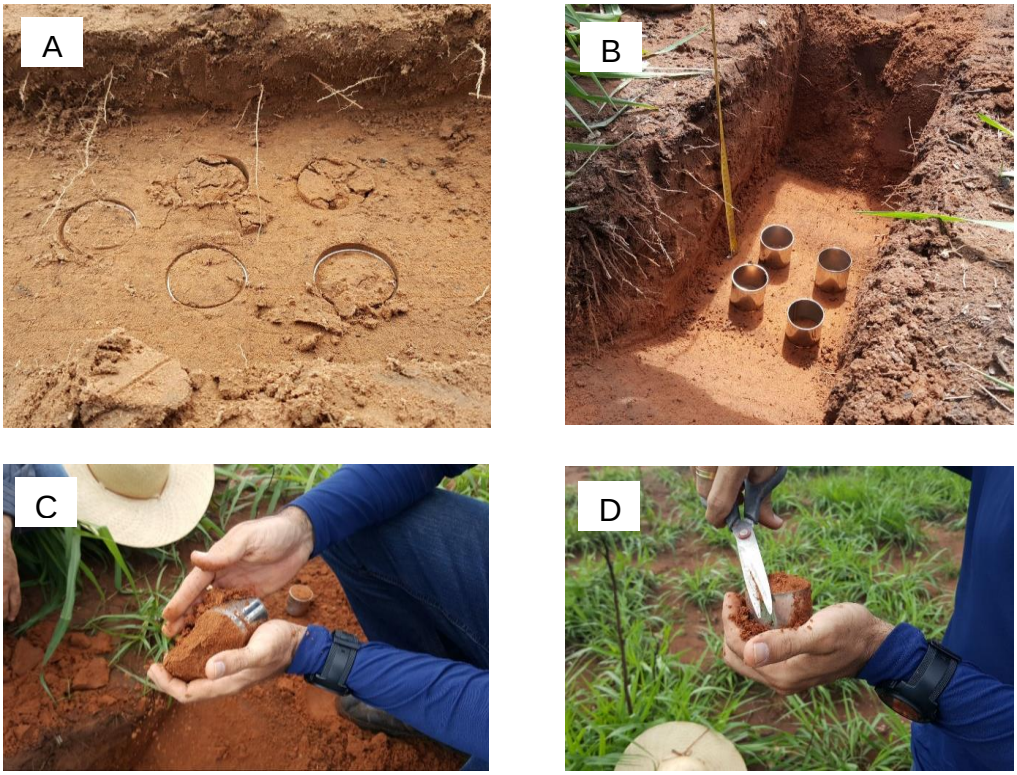

Figura 3. Coleta de amostras de solo indeformadas, (A) profundidade 0-0,20m, (B) profundidade 0,20-0,40m. (C e D) Preparo da amostra indeformada.

As amostras com estrutura deformada foram coletadas com a utilização do trado e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados. As amostras com estrutura indeformada foram coletadas verticalmente utilizando, como amostrador, anéis volumétricos de aço inox com dimensões de 0,25m de comprimento e 0,05m de diâmetro, para extração do solo, retirado com auxílio de uma pá de jardinagem e embalado com papel filme também etiquetado.

Foram coleadas amostras referentes a dois anos de aplicação da cinza vegetal, 2015 e 2016, as amostras indeformadas foram envolvidas por plástico PVC (policloreto de vinila) e as deformadas acondicionadas em sacos plásticos, no intuído de preservar as características físicas do solo. Para os dois anos do estudo foram avaliadas: Granulometria; argila dispersa em água; densidade do solo e densidade de partícula; curva de retenção da água; porosidade total; macro e microporosidade; índice S.

3.4 Avaliações físicas do solo em laboratório

3.4.1 Granulometria

A determinação da granulometria foi realizada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 2011) por meio da sedimentação das partículas que compõem o solo. As partículas suspensas em água decantam diferencialmente dependendo da sua área por unidade de volume. As partículas de argila têm grande quantidade de área superficial por unidade de volume e decantam vagarosamente, enquanto as partículas de areia decantam rapidamente por causa da sua baixa superfície por unidade de volume.

Utilizou-se o densímetro (ou hidrômetro) modelo ASTM 152H Soil Hydrometer, de 60 cm^3 calibrado para 20 °C. Foi utilizado como dispersante químico o hidróxido de sódio.

Com o auxílio de um cronômetro, foram realizadas duas leituras no densímetro. A primeira aos 40 s, e a segunda leitura das 2 h que corresponde à

quantidade de gramas de argila por litro de suspensão. Antes da leitura aos 40 s agitou-se vigorosamente a suspensão com um agitador manual, em seguida procedeu-se a leitura do densímetro (correspondente a quantidade em gramas de areia por litro de suspensão) e mediu-se a temperatura. Após a leitura, foi realizada novamente a agitação da suspensão e deixado por 2 h em repouso (tempo necessário para sedimentar as partículas de areia e silte), realizando então a última leitura do densímetro e medindo a temperatura da suspensão.

Como o densímetro é calibrado para 20 °C, ambas as leituras foram corrigidas, conforme equação 1 e 2:

Equação 1.

$$LC_{40s} = L40s + (0{,}36(T\ °C\ 40s - 20\ °C))\ (g\ kg^{-1})$$

Sendo:

LC_{40s} – leitura corrigida dos quarenta segundos (g kg^{-1});

L40s – leitura aos quarenta segundos (g kg^{-1});

0,36 – Fator de correção (adimensional);

T °C 40s – Temperatura da suspensão aos quarenta segundos (°C);

20 °C – Temperatura na qual o hidrômetro (densímetro está calibrado).

Equação 2.

$$LC_{2h} = L2h + (0{,}36(T\ °C\ 2h - 20\ °C))\ (g\ kg^{-1})$$

Sendo:

LC_{2h} – leitura corrigida das duas horas (g kg^{-1});

L 2h – leitura as duas horas (g kg^{-1});

0,36 – Fator de correção (adimensional);

T °C 2h – Temperatura da suspensão nas duas horas (°C);

20 °C – Temperatura na qual o hidrômetro (densímetro está calibrado).

A quantidade de areia da amostra foi obtida pela subtração da leitura corrigida do hidrômetro aos 40s pelo peso total da amostra. O silte foi obtido por diferença. Uma vez obtido os valores das proporções relativas das frações areia, silte e argila,

procedeu-se a classificação textural do solo, utilizando o triângulo de classificação textural.

O solo da área experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico que em geral, apresentam classe textural Areia ou Areia Franca ao longo de pelo menos 2 m de profundidade, constituídos essencialmente de grãos de quartzo, sendo, por conseguinte, praticamente destituídos de minerais primários pouco resistentes ao intemperismo (EMBRAPA, 2013).

A granulometria do solo apresentou nas camadas (0-0,20 e 0,20-0,40 m) a textura do solo dentro da classe textural Franco Arenosa (Tabela 3).

Tabela 3. Média da distribuição de frações granulométricas nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m de profundidade e classe textural da área sob pastagem em recuperação no Instituto Mato-grossense do Algodão (IMAmt), Rondonópolis-MT, 2016.

Camada (m)	Frações granulométricas (g kg^{-1})			Classe textural
	Areia	Silte	Argila	
0-0,20	830,13	21,27	148,81	Franco Arenosa
0,20-0,40	818,32	21,33	160,64	Franco Arenosa

3.4.2 Densidade do solo

A Densidade do solo (Ds) em (Mg m^{-3}), foi determinada pelo método do anel volumétrico de acordo com Embrapa (2011), a partir da razão entre a massa do solo seco em estufa a 105º C e o volume do cilindro por ela ocupado (equação 3). A altura e o diâmetro dos anéis foram medidos em três repetições, utilizando um paquímetro digital, sendo atribuída uma média para cada cilindro.

Equação 3.

$$D_s = \frac{\text{Massa de solo seco}}{\text{Volume do cilindro}} \ (Mg\ cm^{-3})$$

3.4.3 Densidade de partículas

Foi determinada conforme a metodologia do balão volumétrico que consiste na determinação do volume de álcool etílico gasto para aferir um balão de 50 mL com 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em seu interior (BLAKE & HARTGE, 1986), calculada pela (equação 4), mantendo média de 2.69 Mg m^{-3}.

Equação 4.

$$D_p = \frac{\text{Massa de solo seco}}{50 - (\text{Volume gasto de álcool})} \ (Mg \ m^{-3})$$

3.4.4 Curva de retenção da água

A curva de retenção da água no solo foi construída aplicando-se as seguintes tensões (2, 6, e 10 kPa) em mesa de tensão e (33, 70, 100 e 1500 kPa) em câmara de pressão de Richards (Figura 4B). Na mesa de tensão foram utilizadas amostras indeformadas em cilindros (Figura 5), já no Extrator de Richards adotou-se amostras deformadas passadas em peneiras com malha de abertura de 02 mm de diâmetro, utilizando anéis de silicone no represamento do solo de cada parcela (Figuras 4-A B).

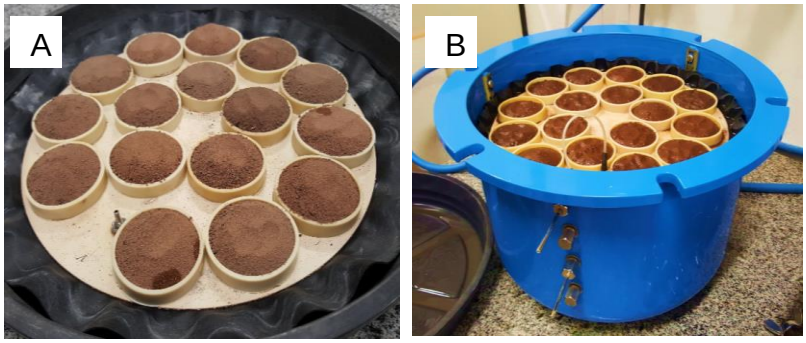

Figura 4. Amostras deformadas represadas com anel de silicone (A) no Extrator de Richards (B), tensões (33, 70, 100, 500 e 1500kpa).

Após constatado o equilíbrio das amostras tanto na mesa de tensão quanto no extrator de Richards, foram aferidas as massas do solo, logo após colocadas na

estufa para secagem do solo a 105º C por 48h. Com os valores do solo em equilíbrio e seco, obteve-se os valores da umidade volumétrica para cada tensão. O ajuste foi realizado pelo modelo matemático de Van Genuchten (1980) descrito na (equação 5), para a obtenção dos parâmetros foi utilizado o sistema R.

Equação 5.

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \cdot \left(\frac{1}{1 + (\alpha \cdot \Psi_m)^n} \right)^m$$

Sendo:

m = 1 - 1/n

θ: Umidade volumétrica

Ψ_m: O potencial matricial

θ_s: Conteúdo volumétrico de água na saturação

θ_r: Conteúdo volumétrico de água residual

α e N: Parâmetros de ajuste

A câmara de Richards consiste, basicamente, de uma câmara construída para suportar alta pressão, com uma placa de cerâmica porosa no seu interior. As amostras são colocadas na superfície da placa de cerâmica, as quais, juntamente com a placa, são saturadas com água, de preferência destilada, por 24 horas. Em seguida o conjunto é colocado no interior da câmara e a pressão de ar é introduzida. Isto faz com que a solução se mova do solo para o pequeno reservatório sob a placa, gotejando no tubo de saída até que, depois de certo tempo, para, atingindo, portanto, a condição de equilíbrio (LIBARDI, 2005).

Com base neste método, os seguintes parâmetros de qualidade do solo foram calculados:

- Capacidade de campo (CC), definida como o conteúdo volumétrico de água no solo em -10 kPa;
- Ponto de murcha permanente (PMP), teor volumétrico de água no solo com potencial matricial de -1500 kPa;

- Capacidade relativa de campo (RFC), definida por Reynolds et al. (2008) como proporção entre CC e θ s;
- A capacidade total de água (CTA), calculado como a diferença entre o CC e o PMP.

3.4.5 Porosidade total

A porosidade total do solo foi calculada a partir da densidade do solo (Ds) e da densidade de partículas (Dp), indicando o valor relativo de espaços vazios do solo. Após determinar a densidade de solo e a densidade de partículas, a porosidade total (PT) foi obtida pela equação 6:

Equação 6.

$$P_T = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) x100$$

3.4.6 Micro e Macroporosidade

A microporosidade foi determinada em mesa de tensão (Figura 4), pela aplicação de tensão correspondente a 6 kPa sobre as amostras até a obtenção de equilíbrio indicado pelo fim da drenagem (DANIELSON & SUTHERLAND, 1986).

As amostras indeformadas foram uniformizadas, depois acondicionadas com tecido TNT presa ao anel por um elástico (para evitar perda da massa de solo), logo após foram saturadas por 48 horas em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Foram então colocadas na placa de cerâmica ajustando a 60 cm de altura de coluna d’água abaixo da mesa, ocorrendo a sucção da água (provocada pelo vácuo formado da mesa) contida na macroporosidade das amostras previamente saturadas, após o sessar do gotejamento a amostra estará em equilíbrio com a tensão aplicada (Figura 5).

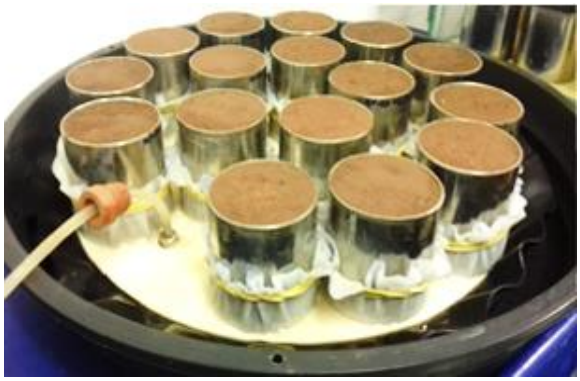

Figura 5. Amostras indeformadas de solo em equilíbrio na tensão de 60 cm de coluna d'água.

Após pesagem, antes e depois de ir à estufa a 105°C, obtém-se a massa de água retida na microporosidade, considerando a densidade igual a 1, tem-se o volume de água que é igual ao volume de microporos (Equação 7), e então por diferença em relação à porosidade total, têm-se os valores de macroporos contidos na amostra de solo.

Equação 7.

$$\text{Microporosidade} = \frac{\text{PE - PS}}{Vol}\ x100$$

Sendo:

PE: Peso da amostra submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de água (g).

PS: Peso da amostra seca a 105º C (g).

Vol: Volume do cilindro (cm^3).

3.4.7 Índice S

Para a obtenção do valor do índice S utilizou-se o modelo de ajuste de van Genuchten (1980) (equação 6). Determinou-se, com base nos parâmetros obtidos, o índice S, tangente à curva característica de água no solo no ponto de inflexão, segundo a equação proposta por Dexter (2004), (equação 8).

Equação 8.

$$S = - N\ (\theta s - \theta r)\ .\ \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{-(1+m)}$$

Sendo:

m = 1 - 1/n

S: Índice s

θs: Conteúdo volumétrico de água na saturação

θr: Conteúdo volumétrico de água residual

N: Parâmetro de ajuste

3.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância, até o nível de significância de 5% de probabilidade de erro, quando significativos às doses de cinza vegetal foram analisadas por regressão e as formas de aplicação pelo teste Tukey, ambos também até 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Os parâmetros da curva de retenção de água no solo e o índice S foram determinados conforme a metodologia proposta por (CARDUCCI et al., 2011) por meio de procedimentos de ajuste de modelos não lineares do software R nos pacotes desenvolvidos por Zeviani (2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis analisadas do Neossolo Quartzarênico sob doses de cinza vegetal e formas de aplicação na pastagem em recuperação de *Urochloa Brachiaria brizantha urochloa* cv. Marandu em processo de recuperação, apresentaram diferença estatística a até 5% de probabilidade somente no primeiro ano de avaliação (2016) nas camadas (0,0-0,20 e 0,20-0,40 m), para o segundo ano de avaliação foi avaliado as características físicas do solo na camada (0,0-0,20 m), a qual não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Para o segundo ano de avaliação (2017) são apresentados os resultados médios (Tabela 4).

Tabela 4. Médias observadas nas variáveis físicas do Neossolo Quartzarênico submetido a doses de cinza vegetal e formas de aplicação em pastagem em recuperação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em processo de recuperação.

Valores Médios observados no ano 2017 na camada (0,0-0,20 m)	
Porosidade Total	0.44 (m^3 m^{-3})
Macroporosidade	0.13 (m^3 m^{-3})
Microporosidade	0.30 (m^3 m^{-3})
Densidade do solo	1.50 (Mg m^{-3})
Capacidade total de água disponível	0.39 (cm^3 cm^{-3})

4.1 Densidade do solo

A densidade do solo para o primeiro ano de estudo na camada 0-0,20 m apresentou efeito isolado para as doses de cinza vegetal (Figura 6A) e para as formas de aplicação (Figura 6B). Para as doses de cinza vegetal, a densidade de solo ajustou-se ao modelo linear de regressão decrescente, sob diferentes doses de cinza vegetal e formas de aplicação (incorporado com grade leve e não incorporado).

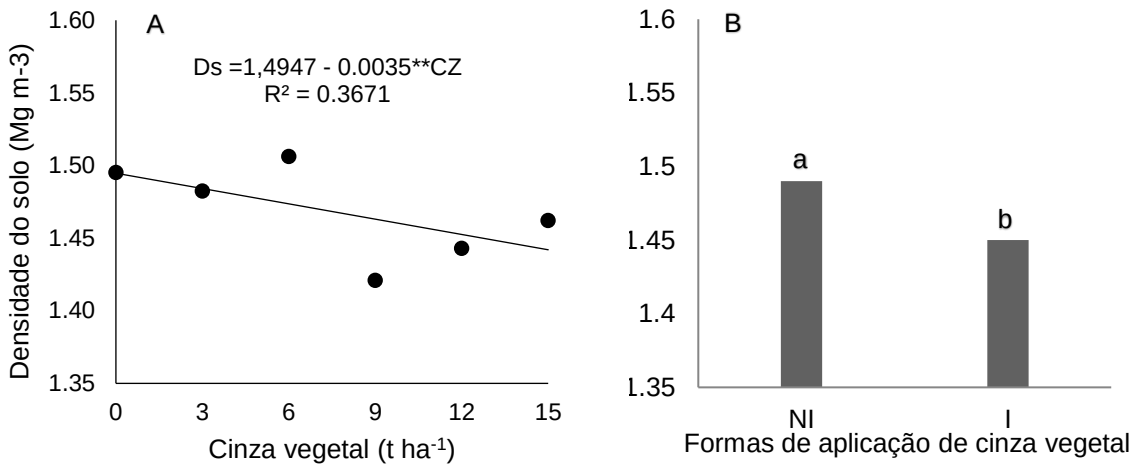

Figura 6. Densidade do primeiro ano num Neossolo Quartzarênico em função das doses de cinza vegetal e formas de aplicação (A) na pastagem em recuperação de *Urochloa Brachiaria brizantha* cv. Marandu em processo de recuperação na camada de 0-0,20 m. CV = 2,46%. **significativo a 1% de probabilidade de erro e formas de aplicação de cinza vegetal (B): NI – não incorporado e I- incorporado com grade leve; CV= 1,45%. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Como a densidade do solo se relaciona com o volume combinado dos espaços sólidos e porosos, os solos com alta proporção de poros para sólidos possuem menores densidades do que aqueles que são mais compactos e possuem menos espaço poroso (HAMZA et al., 2005).

Observa-se que o aumento das doses de cinza vegetal proporcionou uma diminuição da densidade do solo na camada 0,0-0,20 m, de 1,49 Mg m^{-3} para 1,45 Mg m^{-3}, diminuindo assim seu nível de compactação no primeiro ano avaliado. Vários trabalhos demonstram a diminuição da densidade do solo com a aplicação de doses de cinza proveniente de biomassa de produtos vegetais (GUERRINI et al., 2004; KARMAKAR et al. 2010; MASULILI et al., 2010; GLAB et al., 2016). Islabão et al. (2016) constataram a mesma tendência na diminuição da densidade de um solo argiloso, por meio do aumento das doses de cinza vegetal proveniente da queima de biomassa da casca de arroz, encontrando valores de 1,68 Mg m^{-3} sem aplicação e 1,31 Mg m^{-3} na maior dose (120 t ha^{-1}), sendo sua dose 8 vezes superior a maior dose testada neste estudo (15 t ha^{-1}). Alguns estudos indicam limitações a utilização desse resíduo em alguns solos, a adição de doses elevadas de vários tipos de biocarvão e cinza vegetal, podem melhorar as propriedades físicas do solo, no entanto, em sistemas de larga escala, como, plantios florestais, áreas agrícolas e pastagens, a

aplicação em taxas tão altas (< 40 t ha^{-1}) se tornam inviáveis (YU et al., 2013; ISLABÃO et al., 2016).

O efeito da aplicação de cinza vegetal nas propriedades físicas do solo é pouco conhecido, no entanto, a adição de cinzas vegetal ao solo pode afetar fortemente a aeração (SULIMAN et al., 2016) e a capacidade de retenção de água (DAS et al., 2015), uma vez que a cinza vegetal é essencialmente composta de partículas finas, e sua aplicação pode alterar a textura dos solos (SULIMAN et al., 2016).

Gartzia-Bengoetxea et al. (2013) relatam que as partículas de cinzas vegetal se expandem em contato com a água, podendo obstruir os poros do solo, porém quando em processo de ressecamento, o espaço ocupado inicialmente pela partícula de cinza vegetal úmida, diminui, causando um aumento de espaços vazios no solo (BODÍ et al., 2014) e consequente diminuição da densidade do solo com o aumento da macroporosidade.

Com a diminuição da densidade do solo, espera-se um melhor desenvolvimento radicular da pastagem de capim marandu em recuperação no Neossolo Quartzarênico, o que é demostrado no trabalho desenvolvido por Reichert et al. (2003), no qual indicaram a faixa de densidade do solo considerada limitante ao desenvolvimento vegetal sendo entre, 1,30 a 1,40 Mg m^{-3} para solos argilosos, 1,40 a 1,50 Mg m^{-3} para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 Mg m^{-3} para os franco-arenosos.

Houve diferenças significativas para as formas de aplicação de cinza nas avaliações do primeiro ano (Figura 6-B), na camada de 0-0,20m. A forma de aplicação incorporado com grade leve proporcionou menor valor de densidade (1,45 Mg m^{-3}), na forma não incorporada observou-se o maior valor de densidade de solo (1,49 Mg^{-3}).

A cinza vegetal incorporada apresentou potencial para diminuição da densidade do Neossolo Quartzarênico, a simples incorporação do solo com grade leve, sem a dose de cinza vegetal, apresentou diminuição da densidade do solo, talvez por desagregar as partículas do solo, porém com o aumento das doses de cinza vegetal a diminuição da densidade do solo foi evidenciada.

Cortez et al. (2011), testando sistemas de preparos mecânicos em um solo argiloso, observaram valores médios de densidade do solo, com variações não significativas entre os sistemas de preparo nas camadas até 0,20 m de profundidade. No entanto, Saitua et al. (2017), testando doses de cinza vegetal e biocarvão, em dois solos, um arenoso e outro argiloso, de forma não incorporada, não encontraram

diferenças significativas na densidade dos solos analisados, em relação à aplicação dos resíduos.

4.2 Porosidade total

A porosidade total do solo apresentou diferença significativa apenas na camada 0-0,20 m para as doses de cinza vegetal e formas de aplicação, isoladamente, sendo somente no primeiro ano de avaliação. Para as doses de cinza vegetal a porosidade total ajustou-se ao modelo linear de regressão (Figura 7-A) e para as formas de aplicação a 5% de probabilidade pelo teste Tukey (Figura 7-B).

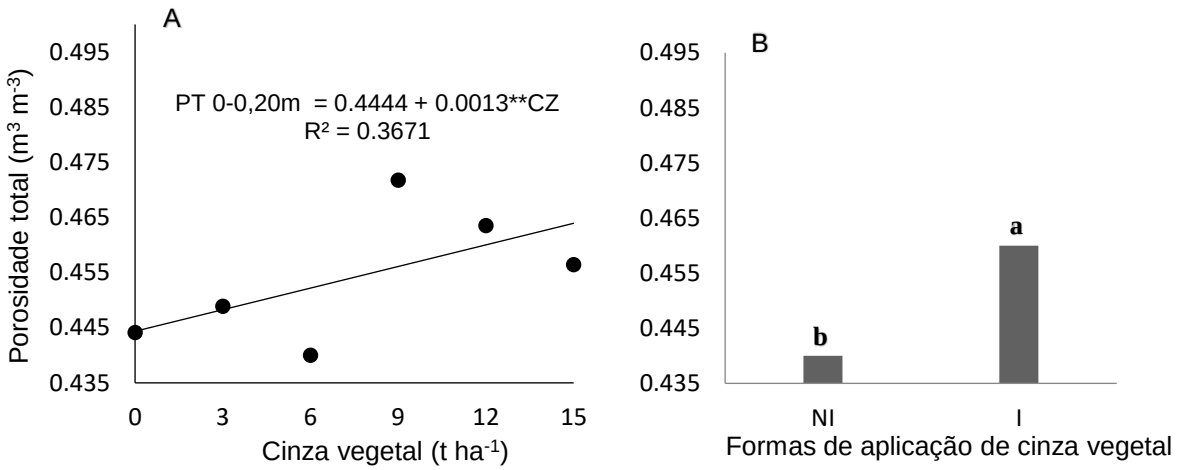

Figura 7. Porosidade total do Neossolo Quartzarênico no primeiro ano, na camada 0-0,20 m. Doses de cinza vegetal (A) \ CV = 2,95%. **significativo a 1% de probabilidade de erro. E formas de aplicação (B): NI – não incorporado e I- incorporado com grade leve; CV= 1,74%. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade de erro pelo teste Tukey.

O maior valor de porosidade total (0,46 m^3 m^{-3}) foi obtido na dose de cinza vegetal de 15 t ha^{-1}, valor esse dentro do intervalo esperado para Neossolo Quartzarênicos, que variam entre 0,42 e 0,47 m^3 m^{-3} (EMBRAPA, 1999). A aplicação incorporada com grade leve proporcionou maior valor da porosidade total no primeiro ano de avaliações na camada 0-20 m (Figura 7-B).

Os valores de porosidade total modificaram conforme houve alteração da densidade do solo, quanto menor a densidade do solo maior a porosidade total, mostrando-se inversamente proporcional a densidade do solo, corroboram os resultados obtidos por Are et al. (2018), em que, apesar de não haver diferenças significativas entre os resíduos testados, a porosidade total dos solos analisados, foi consistentemente maior do que o controle não alterado, quando este submetido a uma dose fixa de 5 t ha^{-1} de biocarvão.

As aplicações de cinza vegetal de forma incorporada com grade leve proporcionaram aumento na porosidade total do solo, tais resultados também foram observados por Uzoma et al. (2011), que trabalhando com doses de biocarvão puderam constatar um aumento linear da porosidade total de um solo arenoso de forma incorporada com grade, testando até uma dose máxima de 20 t ha^{-1}. No entanto, Saitua et al. (2017) fizeram um comparativo entre biocarvão e cinza vegetal, em solo arenoso, de forma não incorporada ao solo, tendo suas quantidades definidas através do balanceamento para gerar efeitos de calagem semelhantes, concluindo não haver diferenças significativas entre as diferentes fontes de material pirolisado para os índices de poros no solo.

4.3 Macroporosidade

A macroporosidade do solo nas camadas 0-0,20 e 0,20-0,40 m do primeiro ano de avaliação apresentaram diferença estatística para as doses de cinza vegetal, não diferindo na forma de aplicação, ajustando-se ao modelo linear de regressão (Figura 8 A-B).

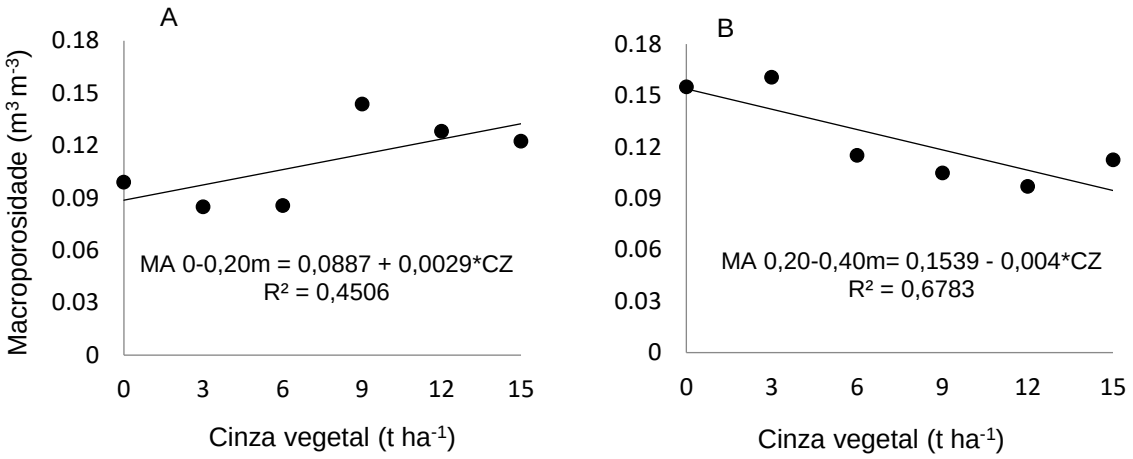

Figura 8. Macroporosidade do Neossolo Quartzarênico do primeiro ano, na camada de 0-0,20 m (A), 0,20-0,40 m (B) no primeiro ano de avaliação do experimento CV=29,42%. *significativo a 5% de probabilidade de erro.

A capacidade do solo para cumprir funções ecológicas no agroecossistema pode ser alterada a partir da permeabilidade do ar e da água, sendo os macroporos do solo responsáveis diretos nas trocas gasosas e infiltração de agua ao longo do perfil do solo (TEEPE et al., 2003), na exploração das raízes das plantas e no habitat dos organismos do solo (DEXTER et al., 2008).

A influência na porosidade em solo arenoso foi investigada por Suliman et al. (2017) em laboratório, testando temperaturas na produção de biocarvão, utilizando uma taxa fixa de 20 g de biocarvão a cada kg de solo. Como resposta esses autores atribuíram o aumento significativo na macroporosidade após a adição de biocarvão oxidado.

Os teores de macroporos apresentaram resultados inversamente proporcionais nas camadas avaliadas, observando um aumento da macroporosidade na camada 0-0,20 e diminuição na camada 0,20-0,40 m apresentando comportamento linear conforme o aumento das doses de cinza vegetal (Figura 8-B). Essa diminuição da macroporosidade no Neossolo Quartzarênico pode ser atribuída a sua alta capacidade de infiltração de água ao longo do perfil do solo, teoria evidenciada pela uniformidade na espessura dos macroporos, até a profundidade de 2 m (EMBRAPA, 1999), ao qual pode ter contribuído para eluviação (descida) da cinza vegetal para camadas mais profundas, ocupando assim os macroporos, acarretando em sua diminuição. Nas camadas mais superficiais a aplicação da cinza vegetal aliada a

presença de raízes de gramíneas, apresenta formação de agregados do solo e aumento da macroporosidade (DEVERAUX et al., 2012).

A adição de cinza vegetal proveniente de fontes pirolisadas pode aumentar a agregação do solo e o volume de macroporos (BARNES et al., 2014), porem em solos arenosos a macroporosidade apresenta uma tendência de diminuição em profundidade e evidenciamento da microporosidade (UZOMA et al., 2011).

4.4 Microporosidade

A microporosidade do solo na camada de 0,20-0,40m apresentou diferença estatística para as doses de cinza vegetal no primeiro ano de avaliação, ajustou-se ao modelo linear de regressão (Figura 9).

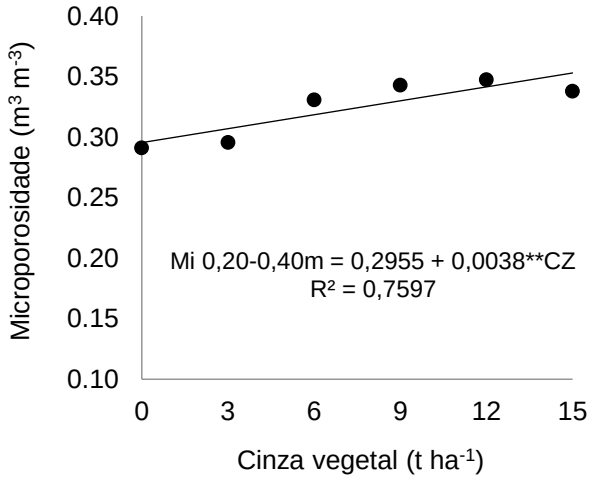

Figura 9. Microporosidade do Neossolo Quartzarênico na camada de 0,20-0,40 no primeiro ano de avaliação; CV= 9,79%. **significativo a 1% na análise de regressão.

A microporosidade apresentou resposta inversa da macroporosidade, aumentando em consequência da diminuição da macroporosidade na camada 0,20-0,40 m. Jones et al. (2010) observaram aumento mesoporos (poros entre 50 e 0,2 µm) e microporos (poros menores que 0,2 µm), levando a um aumento na capacidade de retenção de água com a aplicação de biocarvão em solos arenosos corroborando os resultados apresentados por Novak et al. (2009), que encontraram um aumento na

retenção de água no solo com adição de biocarvão, devido ao aumento nos microporos de um solo arenoso.

4.5 Curva de retenção de água no solo e índice S

Os valores de Ur e Us, como parâmetros α, m e n, obtidos do ajuste dos dados das curvas de retenção de água no solo pelo modelo de van Genuchten (1984), estão apresentados na (Tabela 7). Com os dados obtidos através da curva de retenção de agua do solo foi possível mensurar a capacidade de água disponível (CAD), sendo estimada, subtraindo o conteúdo volumétrico de água entre as tensões aplicadas (-1500 e -10 kPa), respectivamente correspondente ao ponto de murcha permanente e capacidade de campo (BRITO et al., 2010), representando o teor de água disponível representa a quantidade de água que pode ser mantida e estará disponível para a planta (QUIN et al., 2014). Com a análise dos dados estimados para CAD, não foi observado diferença significativa para as doses de cinza vegetal e formas de aplicação apresentando médias de (0,13 cm^3 cm^{-3}) no primeiro ano e (0,20 cm^3 cm^{-3}) no segundo ano. Comparando as médias de disponibilidade de água para plantas, é possível observar um aumento na capacidade de armazenamento de água do solo arenoso quando reaplicado as doses de cinza vegetal, causando benefícios ao desenvolvimento vegetal.

Observou-se aumento da capacidade de retenção de agua do solo conforme a elevação das doses de cinza vegetal em tensões de sucção entre -2 e -10 Kpa, independentemente da forma de aplicação da cinza vegetal, corroborando com Pereira et al. (2016) que em seu trabalho com doses de cinza vegetal, constataram um aumento significativo na capacidade de retenção de água no solo com a adição de cinza vegetal, apresentando um comportamento linear do modelo de regressão, com um aumento de 33,16% da capacidade de retenção de agua em um Latossolo. Os resultados do presente estudo discordam dos observados por Saitua et al. (2017), que variando doses de cinza vegetal com e sem enriquecimento de nitrogênio, em um solo arenoso e outro argiloso, puderam constatar que a aplicação de cinzas vegetal (4,5 t ha^{-1}) enriquecidas com (0,8%) de nitrogênio, contribuiu com uma redução na inclinação da curva de retenção de agua no solo argiloso, sendo o mesmo

comportamento observado para o solo franco-arenoso com a aplicação de cinza vegetal sem nitrogênio, os quais levaram a alterações no comportamento da curva de retenção, reduzindo o conteúdo de água em baixas tensões (-1 KPa e -33 Kpa).

Tabela 7. Parâmetros de ajuste da equação de Van-Genuchten, (1980), para curva de retenção de água do Neossolo Quartzarênico cultivado com *Urochloa brizantha* cv. marandu em processo de recuperação nos anos de (2016 e 2017) sob doses de cinza vegetal, incorporada com grade leve e não incorporada.

Doses de Cinza Vegetal	Parâmetros (2016)		Parâmetros (2017)	
Camada (0,0-0,20 m)	Incorporado	Não incorporado	Incorporado	Não incorporado
0	α = -1,6186 m = 1-1/n n = 2,4699 θr = 0,0361 θs =0,4479	α = -1,5492 m = 1-1/n n = 2,8568 θr = 0,0528 θs =0,4818	α = -1,7706 m = 1-1/n n = 3,0216 θr = 0,0558 θs =0,4414	α = -1,6973 m = 1-1/n n = 3,1389 θr = 0,0600 θs =0,4425
3 t ha^{-1}	α = -1,5639 m = 1-1/n n = 3,0158 θr = 0,0539 θs =0,4800	α = -1,5354 m = 1-1/n n = 2,3249 θr = 0,0355 θs =0,4623	α = -1,6992 m = 1-1/n n = 3,1314 θr = 0,0567 θs =0,4485	α = -1,8471 m = 1-1/n n = 4,4662 θr = 0,0684 θs =0,4342
6 t ha^{-1}	α = -1,5661 m = 1-1/n n = 3,2836 θr = 0,0635 θs =0,4838	α = -1,6023 m = 1-1/n n = 3,0456 θr = 0,0631 θs =0,4579	α = -1,7253 m = 1-1/n n = 3,3734 θr = 0,0700 θs =0,4583	α = -1,6441 m = 1-1/n n = 2,9556 θr = 0,0578 θs =0,4523
9 t ha^{-1}	α = -1,5549 m = 1-1/n n = 2,7289 θr = 0,0588 θs =0,4305	α = -1,5534 m = 1-1/n n = 2,7843 θr = 0,0551 θs =0,4315	α = -1,9211 m = 1-1/n n = 3,8598 θr = 0,0720 θs =0,4382	α = -1,7117 m = 1-1/n n = 2,7410 θr = 0,0458 θs =0,4473
12 t ha^{-1}	α = -1,5678 m = 1-1/n n = 2,8124 θr = 0,0600 θs =0,4360	α = -1,5467 m = 1-1/n n = 2,9637 θr = 0,064 θs =0,4344	α = -1,9026 m = 1-1/n n = 3,5127 θr = 0,0536 θs =0,4275	α = -1,9877 m = 1-1/n n = 3,4112 θr = 0,0497 θs =0,4342
15 t ha^{-1}	α = -1,4858 m = 1-1/n n = 2,6166 θr = 0,0496 θs =0,4636	α = -1,6131 m = 1-1/n n = 2,6558 θr = 0,0527 θs =0,4585	α = -2,0807 m = 1-1/n n = 3,9048 θr = 0,0603 θs =0,4080	α = -2,0171 m = 1-1/n n = 3,5657 θr = 0,0646 θs =0,4385

α, m, n: Parâmetros de ajuste, θs: Conteúdo volumétrico de água na saturação, θr: Conteúdo volumétrico de água residual.

Porem nos potenciais mais elevados de sucção entre (-100 e -1500 Kpa), observa-se um menor potencial na retenção da agua no solo com o aumento das doses de cinza vegetal, independendo da forma de aplicação nos dois anos de observações. Entretanto, alguns autores atribuem a diminuição da capacidade de retenção de agua em altas tensões a ação altas temperaturas (ALAUZIS et al., 2004; KITZBERGER et al., 2005; SILVA et al., 2006).

Stoof et al. (2010), estudando a influência da cinza vegetal incorporada e não incorporada, nas propriedades hídricas em solos aquecidos a temperaturas entre 0 e 500 º C, constataram que a diminuição da retenção de água foi significativa para todas as tensões entre (100 e 1500 kpa), exceto na capacidade de campo (10 kpa), mesmo nos tratamentos sem aquecimento, discutem ainda que devido à ausência de um efeito significativo na capacidade de campo com a aplicação da cinza vegetal e diferentes temperaturas, aumentou significativamente a água disponível na planta, no entanto, diminuiu a quantidade total de água que pode ser armazenada no solo.

Zavala et al. (2010), testando temperaturas do solo e presença de material pirolisado na forma de cinza, constataram que, com a diminuição da umidade do solo a repelência do solo a agua foi evidenciada. Contrariamente de Pathan et al. (2003), que testando doses de cinza volante e laminas de irrigação em grama, puderam constatar que quando irrigada diariamente, a retenção da água no solo aumentou progressivamente com a elevação das taxas de cinzas volantes.

O Índice-S (Tabela 8), determinado conforme a metodologia proposta por Dexter (2004). Apresentam índices dentro do intervalo como possuindo (ótima qualidade física do solo) com valores máximos de 0,14 e 0,17 no primeiro (2016) e segundo ano (2017) de avaliação, respectivamente, e mínimos de 0,07 e 0,10 no primeiro e segundo ano de avaliação, respectivamente. Constata-se um aumento do Índice-S de um ano para o outro, evidenciando que até a dose máxima utilizada no estudo, e nas duas formas de aplicação da cinza vegetal, não houve prejuízos na qualidade física do solo.

Tabela 8. Índice S de um Neossolo Quartzarênico cultivado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em processo de recuperação sob doses de cinza vegetal incorporada com grade leve e não incorporada. Em dois anos de avaliação (2016 e 2017).

Cinza vegetal t ha^{-1}	Manejo	Índice S 2016	Índice S 2017
0	Incorporado	0.1096	0.1154
	Não incorporado	0.1243	0.1186
3	Incorporado	0.1499	0.1212
	Não incorporado	0.0980	0.1718
6	Incorporado	0.1496	0.1298
	Não incorporado	0.1203	0.1146
9	Incorporado	0.0955	0.1453
	Não incorporado	0.1241	0.1064
12	Incorporado	0.1250	0.1349
	Não incorporado	0.1373	0.1356
15	Incorporado	0.1239	0.1393
	Não incorporado	0.0790	0.1376

****S** > 0,0500 (Muito boa)

** Intervalos de qualidade do índice S proposto por Dexter, (2004). S > 0,050 (muito boa) / 0,050 > S > 0,035 (boa) / 0,035 > S > 0,020 (pobre) / 0,020 > S (muito pobre).

A qualidade do solo, além das propriedades físicas, também está relacionada às características químicas e biológicas do solo (DEXTER et al., 2008). índices que atribuem características precisas desses aspectos facilitam as avaliações de diferentes manejos em solos distintos. Xu et al. (2017) apresentaram um estudo da correlação do Índice S com o Índice SQ, demonstrando que o Índice S não só tem a capacidade de apresentar a qualidade física do solo, mas também pode indicar a qualidade química do solo até certo ponto, sendo necessárias menos variáveis de entrada em comparação com os métodos tradicionais para mensurar os índices de qualidade do solo.

O índice S é alterado conforme a distribuição dos tamanhos dos poros no solo (DEXTER, 2004). No entanto, KIEHL (1979) já havia determinado a distribuição ideal de tamanho de poros no perfil do solo, assumindo valores de macroporosidade de 1/3 e cerca de 2/3 para microporos.

Os resultados do presente estudo estão de acima dos parâmetros para índice S considerados críticos para um solo franco arenoso apresentado por Prevedello (1996), com intervalos (0,025 a 0,042 Índices S). Assim, o maior valor do índice S, indica que parte da porosidade do solo é composta por uma faixa mais estreita de tamanho de poros (DEXTER, 2004). Nesse sentido, presença de poros estruturais

exerce uma maior influência no parâmetro S, uma vez que são mais sensíveis a fatores externos e são essenciais para uma boa qualidade do solo (DEXTER et al., 1985).

A não alteração do intervalo do índice S para os tratamentos com aplicação de cinza vegetal e com o manejo de sua aplicação demonstra que não houve prejuízos físicos ao solo, uma preocupação decorrente quanto ao descarte de resíduos dessa natureza na agricultura. De acordo com Barnes et al. (2014) foram da seguinte opinião; a expansão e o encolhimento da cinza vegetal, por umedecimento e secamento, poderia levar ao entupimento dos poros, diminuição do raio poroso e possivelmente uma variação na densidade do solo Porém essa alteração nas propriedades físicas do solo acarretariam em diminuição da qualidade física do mesmo, e consequente diminuição do Índice S, o que não ocorreu no presente estudo com o aumento de doses de cinza vegetal até 15 t ha^{-1} e nem em relação a sua forma de aplicação, devido a não alteração da faixa de qualidade física proposta pelo índice S.

5. CONCLUSÕES

1. A cinza vegetal melhora a qualidade física do solo na camada de 0-0,20 m de profundidade por meio da redução da densidade do solo aumentando a porosidade total;

2. A macroporosidade e microporosidade foram influenciadas pela cinza vegetal, obtendo efeitos benéficos conforme o aumento das doses nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m;

3. A forma de aplicação da cinza vegetal incorporada ao solo, proporcionou maior diminuição de sua densidade e aumento a porosidade na camada de 0-0,20 m de profundidade;

4. A aplicação da cinza nos dois anos de estudo não prejudicou a qualidade física do solo, mantendo seus índices S, como muito boa qualidade física para todas as doses de cinza vegetal e manejo de aplicação.

6 REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **Resíduos sólidos – Classificação**. NBR 10004: 2004.

ALAKUKKU, L. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic I. Long-term effects on the properties of fine-textured soils. **Soil & Tillage Research**. 37, 223–238. 1996.

ALAUZIS, M.V.; MAZZARINO, M.J.; RAFFAELE, E.; ROSELLI, L. Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a Nothofagus forest soil. Forest Ecology and Management 192 (2–3), 131–142. 2004.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N. & MOTA, J.C. **Física do Solo: conceitos e aplicações**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 289p. 2008.

ARE, K. S.; ADELANA, A. O.; FADEMI, I. O.; AINAB, O. A.; Improving physical properties of degraded soil: Potential of poultry manure and biochar. **Agriculture and Natural Resources** 51 454e462. 2018.

BARNES, R.T., GALLAGHER, M.E., MASIELLO, C.A., LIU, Z., DUGAN, B. Biochar induced changes in soil hydraulic conductivity and dissolved nutrient fluxes constrained by laboratory experiments. **PLoS One** 9, e108340. 2014.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: **Gênesis**, 1999.

BENNIE, A. T. P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots**. New York: M. Dekker, p. 453-470. 1996.

BERTOL, I. et al. 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**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 155- 163. 2004.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas comparadas às de campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:155-163, 2004.

BERTSCH, P.M; SEAMAN, J.C. Characterization of complex mineral assemblages: implications for contaminant transport and environmental remediation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. USA, 96:3350-3357, 1999.

BETZ, C. L.; ALLMARAS, R.R.; COPELAND, S.M.; RANDALL, G.W. Least limiting water range: traffic and long-term tillage influences in a Webster soil. **Soil Science Society of America Journal**, Baltimore, v.62, p.1384-1393, 1998.

BEUTLER, A.N.; CENTURION J.F.; Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 38: 849-856, 2003.

BEZERRA, M. D. L.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; SOUSA, H. H. F.; DUARTE, T. F.; ESPIRÍTO SANTO, E. S.; PACHECO, A. B. Wood ash on the fertilization of marandu grass in Brazilian cerrado soils. **African Journal of Agricultural Research.** Vol. 11(17), pp. 1504-1510, 28 April, 2016.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, pt. 1, p. 363-382, 1986.

BODÍ, M.B., MARTIN, D.A., BALFOUR, V.N., SANTÍN, C., DOERR, S.H., PEREIRA, P., CERDÀ, A., MATAIX-SOLERA, J., Wildland fire ash: production, composition and eco-hydrogeomorphic effects. **Earth-Science.** Rev. 130, 103–127. 2014.

BONFIM-SILVA, E. M.; SANTOS, C. C.; SILVA, T. J. A. Wood ash fertilization on structural characteristics and chlorophyll index of tropical forage grasses. **American Journal of Plant Sciences**. v. 6, p.1341-1348, 2015.

BONFIM-SILVA, E. M.; PEREIRA, M. T. J.; SOUSA, J. V. R.; SILVA, T. J. A.; SCHLICHTING, A. F. Pastures recovery systems in the brazilian cerrado. **International journal of current research**, v. 8, (08), p. 36843-36847, 2016.

BOYER, J. S; KRAMER, P.J. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic, 495 p. 1995.

BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTINEZ, M. A.; MENEZES, S. J. M. C. Resistência Hidráulica da Crosta Formada em Solos Submetidos a Chuvas Simuladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 30, p. 13-21, 2006.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, C. A.; MORAES, S. O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1939-1948. 2011.

BRUBAKER, S.C.; HOLZHEY, C.S. & BRASHER, B.R. Estimating the waterdispersible clay content of soils. Soil Science. Soc. Am. J., 56:1227-1232, 1992.
BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1979. 647 p.

BUOL, S.W. Evolution of the text Soil Genesis and Classification. **Soil Survey Horizons** 51, 116–117. 2010.

CALERO, N.; BARRON, V.; TORRENT, J. Water dispersible clay in calcareous soils of Southwestern Spain. **Catena**, v.74, p.22-30, 2008.

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**, 19:121-126, 1995.

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**, 19:121-126, 1995.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:77-86. 2011.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos Físicos, Químicos e Biológicos de Solo de Cerrado sob diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, R. P.; DANIEL, O.; DAVIDE, A. C.; SOUZA, F. R. Atributos físicos e químicos de um neossolo quartzarênico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 148 – 159. 2015.

CHANG, A.C., LUND, L.J., PAGE, A.L., WARNEKE, J.E. Physical properties of fly ash amended soils. **Journal of Environmental Quality.** 6, 267– 270. 1977.

CHAUDHARI, S. K.; SINGH, R.; KUNDU, D.K. Rapid textural analysis for saline and alkaline soils with different physical and chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 72, n. 2, p.431-441, 2008.

CHIRENJE, T.; MA L.Q. **Impact of high-volume wood-fired boiler ash amendment on soil properties and nutrients**. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.33, n.1-2, p. 1-17, 2002.

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, E. F.; AGLIO, M. L. D. O Recurso Natural Solo. In.: MANZATTO, C. V. (org.). **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2002, cap. 1, p. 1-12.

COOPER, M.; DALLA ROSA, J.; MEDEIROS, J.C.; OLIVEIRA, T.C.; TOMA, R.S.; JUHÁSZ, C.E.P. Hydro-physical characterization of soils under tropical semideciduous forest. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 69, p. 152-159, 2012.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas Relações com o Uso e o Manejo. In.:SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina. **Embrapa Cerrados**, 2004, cap. 1, p. 29-61.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.

CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, M. R. D.; OLSZEVSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de ciência do solo**. 35:1207-1216, 2011.

COSTA, M. P. **Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo.** 1983. 137 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Piracicaba, 1983.

CURMI, P.; KERTTZMAN, F. F.; QUEIROZ NETO, J. P. Degradation of structure and hydraulic properties in an Oxisol under cultivation, Brazil. In: RINGROSE-VOASE, A. J.; HUMPHERYS, G. S. Soil micromorphology: studies in management and genesis. Amsterdam: **Elsevier**, p. 596-579. 1994.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, pt. 1, p.443-461, 1986.

DAROLT, M.R.; BIANCO NETO, V.; ZAMBON, F.R.A. Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 11, n.1, p.38-40,1993.

DAS, O.; SARMAH, A. K. The love–hate relationship of pyrolysis biochar and water: A perspective. **Science of the Total Environment** 512–513 682–685. 2015.

Deveraux, R.C., Sturrock, C.J., Mooney, S.J. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth. **Earth and environmental science transactions of the Royal Society of Edinburgh.** 103, 13e18. 2012.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, n. 2, p. 199-238, May 1988.

DEXTER, A.R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture density and organic matter and effects on root growth. **Geoderma**, 120:201-214, 2004a.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard setting. **Geoderma**, 120:215-225, 2004b.

DEXTER, A.R. Soil physical quality Part: III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, 120:227-239, 2004c.

DEXTER, A.R., Advances in Characterization of Soil Structure. **Soil & Tillage Research**, v.11, pg. 199-238, 1988.

DEXTER, A.R.; BIRKAS, M. Prediction of the soil structures produced by tillage. **Soil and Tillage Research**., 79:233-238, 2004.

DEXTER, A.R.; CZYŻ, E.A; RICHARD, G.; RESZKOWSKA, A. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil, **Geoderma** 143, 243–253, 2008.

DEXTER, A.R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Research**., v.31:139-147, 1985.

DONTSOVA, K.M.; HAYES, C.; PENNINGTON, J.C. & PORTER, B. Sorption of high explosives to water-dispersible clay: influence of organic carbon, aluminosilicate clay, and extractable iron. **Journal of Environmental Quality**. 38:1458–1465, 2009.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, 1994.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**. 230 p. 2011.

EMBRAPA CERRADOS. Distribuição de poros por classes de tamanho nos solos. Planaltina. N38. P1-6. 1999.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 4. ed. – Brasília, 2014.

FANNING, D. S. & FANNING M. C. B. **Soil Morphology, Genesis and Classification**. United States of America. John Wiley & Sons. 1989.

FRAZÃO, L. A.; PÍCCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 43, p. 641-648, 2008.

FREITAS, R. A. **Argila dispersa em água determinada por agitação rápida, lenta e ultrassom.** Viçosa: Dissertação Mestrado. UFV, 51p. 2011.

FREITAS, R. A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 60f. 2000.

Gartzia-Bengoetxea, N.; Arias-González, A. Evaluación de las cenizas de la caldera de biomasa de corteza para su utilización como fertilizante en plantaciones de Pinus radiata. Technical Report. NEIKER-Tecnalia Basque Institute for Agricultural Research and Development, Derio, Bizkaia. 2013.

GEE, G. W.; DODSON, M.E. Soil water content by microwave drying: a routine procedure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 1234-1237, 1986.

GLAB, T.; PALMOWSKA, J.; ZALESKI, T.; GONDEK, K. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. **Geoderma** 281, 11-20. 2016.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revisa Brasileira De Ciência Do Solo**, 28(6):1069-1076, 2004.
HAMBLIN, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. San Diego, **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 95-158, 1985.

HAMZA, M., ANDERSON, W. Soil compaction in cropping systems. Soil & Tillage Research. 82, 121–145. 2005.

HARALDSEN, T.K.; PEDERSEN, P.A.; GRONLUND, A. Mixtures of bottom wood ash and meat and bone meal as NPK fertilizer. In: INSAM, H.; KNAPP, B.A. (Ed). **Recycling of biomass ashes**. New York: Springer, 2011.

HILLEL, D.; **Introduction to environmental soil physical**, University of Massachusetts, Massachusetts, USA. p. 494, 2004.

HWANG, S.I.; POWERS, S.E. Using particle-size distribution models to estimate soil hydraulic properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, n. 4, p. 1103–1112, July/Aug. 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de solos do Brasil**: escala 30 1:5.000.000. 2015.

IGWE CA, ZAREI M, STAHR K. Clay dispersion of hardsetting inceptisols in Southeastern Nigeria as influenced by soil components. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 37; 2006.

ISLABÃO, G. O. **Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo**. 2013. 84p. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

ISLABÃO, G. O.; LIMA, G. L. R.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; TEIXEIRA, J. B. S. Hydro-physical properties of a typic hapludult under the effect of rice husk ash. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**. 40 0150161. 2016.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. J. **Soil and Water Conserv**. 55: 69-78. 2000.

IZQUIERDO M.; QUEROL, X. Leaching behaviour of elements from coal combustion fly ash: an overview. **International Journal of Coal Geology - Elsevier** 94:54–66. 2012.

JARVIS, N.J.; MESSING, L. Near-saturated hydraulic conductivity in soils of contrasting texture measured by tension infiltrometers. **Soil Science Society of America Journal**, 59:27-34, 1995.

JONES, B.E.H.; HAYNES R.J.; PHILLIPS I.R. Effect of amendment of bauxite processing sand with organic materials on its chemical, physical and microbial properties. **Journal of Environmental Management** 91 2281e2288. 2010.

JUNQUEIRA, K. R.; CORRECHEL, V.; CUSTÓDIO FILHO, R. O.; SANTOS, F. C. V.; JUNQUEIRA, M. F. R. Estabilidade de agregados de um Neossolo Quartzarênico sob pastagem e mata em Baliza-GO. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 10, p. 1-7, 2010.

KARMAKAR, S., MITTRA, B.N., GHOSH, B.C., 2010, Enriched Coal Ash Utilization for Augmenting Production of Rice Under Acid Lateritic Soil. Coal Combustion and Gasification Products 2, 45-50, 2010.

KIEHL, E. J. Manual de edafologia: **relação solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 262p. 1979.

KITZBERGER, T.; RAFFAELE, E.; HEINEMANN, K.; MAZZARINO, M.J.; HARCOMBE, P. Effects of fire severity in a north Patagonian subalpine forest. **Journal of Vegetation Science** 16 (1), 5–12. 2005.

KLEIN, V. A. **Propriedades do solo e manejo da água em ambientes protegidos com cultivo de morangueiro e figueira**. Passo Fundo: UPF, 2005.

KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, 30:959-964, 2000.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**., 5:26-32, 2006.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um LATOSSOLO VERMELHO, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-867, 2002.

KOOISTRA, M. J.; SCHOONDERBEEK, D.; BOONE, F. R.; VEEN, B. W.; NOORDWIJK, M. van. Root soil contact of maize, as measured by a thin section technique – II: effects of soil compaction. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 139, p. 119-129, 1992.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. STEWART, B.A.,

eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America Special** 35, 1994.

LIBARDI, P.L.: **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: editora da Universidade de São Paulo, 335p., 2005.

LIMA, J. M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.85-90, 1990.

MACEDO, J. R.; MARTINS, J. S.; ARDHENGUI, A. F.; SOBRINHO, J. S.; ASSIS, D. S. Uso e Conservação de Solos Arenosos sob Pastagens em São Gabriel do Oeste, MS - recomendações técnicas (Circular técnica n° 3). Rio de Janeiro. **EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1998.

MASULILI, A.; UTOMO, W. H.; MS, S. Rice Husk Biochar for Rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonésia. **Journal of Agricultural Science**, 2(1):39 – 47, 2010.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; SILVEIRA, V. H.; LEVIEN, R.; ZULPO, L. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um argissolo vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:1185-1195, 2013.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 197-202, 1999.

MIRANDA, M. F. A.; PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. DOS S.; FREIRE, F. J. Correção de solo salino-sódico com soluções de cloreto de cálcio cultivado com sorgo sudanense. **Revista Caatinga**, v.21, p.18-25, 2008.

NASCIMENTO, P. dos S. Análise do uso da curva de retenção da água no solo determinada por diferentes métodos e planilha para manejo da irrigação. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.

NOVAK, J.M.; LIMA, I.; XING, B.; GASKIN, J.W.; STEINER, C. Characterization of biochar produced at different temperatures and its effects on clayey sand. **Annals of Environmental Science** 3, 195-206. 2009.

OLIVEIRA R. F. de; FURLAN JÚNIOR, J.; TEIXEIRA, L.B. Composição química de cinzas de caldeira da agroindústria do dendê. Comunicado Técnico, **Embrapa** Amazônia Oriental, n. 155, 2006.

OLIVEIRA, G. C.; SEVERINO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho na microregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 265-270, 2007.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S, CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28: 327-336, 2004.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2008.

OSAKI, F.; DAROLT, M. R. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba, **Revista Setor Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.11, n.1, p.197-205, 1991.

PAGE, A.L., ELSEEWI, A.A., STRAUGHAN, I.R. Physical and chemical properties of fly ash from coal-fired power plants with special reference to environmental impacts. Residue Rev. 71, 83 120. 1979.

PARAHYBA, R. B. V.; LEITE, A. P.; NETO, M. B. O.; SANTOS, J. C. P. Hidropedologia. In.: SANTOS, J. C. P. (org.). **Avaliação Detalhada do Potencial de Terras para Irrigação nas Áreas de Reassentamento de Colonos do Projeto Jusante** - área 3, Glória, Ba. Embrapa Solos - UEP/NE, 2008.

PATHAN, S.M., AYLMORE, L.A.G., COLMER, T.D. Soil properties and turf growth on a sandy soil amended with fly ash**. Plant Soil** 256, 103–114. 2003.

PEREIRA, T. J.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; GUEDES, R. B. M. Applying wood ash and soil moisture on gladiolus (Gladiolus grandiflorus) cultivation. **Australian Journal of Crop Science** 10(3): 393-401. 2016.

PRADO, H. **Pedologia Fácil – Aplicações na Agricultura**. 2 ed. Piracicaba. 145p. 2008.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: SAEAFS, 446p. 1996.

PROFFITT, A.P.B.; BENDOTTI, S.; HOWELL, M.R. & EASTHAM, J. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red – Brown earth. J. **Agricultural Soil Research**., 44:317-331, 1993.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri, São Paulo: Manole, 2004. 478p.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental** 27:29-48, 2003.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**., 27:29-48, 2003.

REICHERT, J.M; REINERT D.J. BRAIDA, J.A. Manejo, qualidade do solo e sustentabilidade: condições físicas do solo agrícola. Congresso brasileiro de ciência do solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. Palestras. Ribeirão Preto: SBCS, 2003.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina**, v.26, p.321-344, 2005.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de Pinus taeda. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 701-709, set./out. 2005.

RYZAK, M.; BIEGANOWSKI, A.; WALCZAK, R.T. Application of laser diffraction method for determination of particle size distribution of grey-brown podzolic soil. **Research Agricultural Engineering**, v. 53, n. 1, p. 34–38, 2007.

SAITUA, L. M.; GONZÁLEZ, A. A.; BENGOETXEA, N. G. B.; Effects of biochar and wood ash on soil hydraulic properties: A field experiment involving contrasting temperate soils. **Geoderma** 305 144–152. 2017.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 34, p. 667-674, 2010.

SALTER, P.J.; BERRY, G.; WILLIAMS, J.B. Influence of texture on the moisture characteristics of soils. III. Quantitative relationships between particle size, composition, and available-water capacity. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 17, n. 1, p. 93-98, 1966.

SANS, L.M.A. Avaliação da qualidade do solo. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; ROMERO, R.E.; SILVA, J.E.C. (eds). Agricultura, sustentabilidade e o semiárido. Fortaleza, UFC, SBCS, 2000. p. 170-213.

SANTOS, J.A.G., MOREAU, A.M.S.S., REZENDE, J.O; COELHO, I.A. Efeito da Aplicação de Cinza, Oriunda de Biomassa Vegetal, na Atividade Microbiana de um Solo Podzólico Amarelo Cultivado com Eucalipto. In: **congresso brasileiro de ciência do solo**, 25. 2: 457-459,1995.

SEPLAN, (Secretaria de estado planejamento e coordenação geral de Mato Grosso). **Mato Grosso solos e paisagens**, editora: Entrelinhas. Autores (as): Moreira, Maria Lucidalva Costa; Vasconcelos, Teresa Neide Nunes. Mato Grosso – Cuiabá. 272p. 2007.

SILVA, A.P. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q.J. 1º Edição; **física do solo**; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG; p. 242-280, 2010.

SILVA, J.S.; REGO, F.C.; MAZZOLENI, S. Soil water dynamics after fire in a Portuguese shrubland. **International Journal of Wildland Fire** 15, 99–111. 2006.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, Á. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v.35, n.3, 2005.

SMITH, A. P.; CHEN, D.; CHALK, P. M. N2 fixation by faba bean (Vicia faba L.). A gypsum amended sodic soil. **Biology and Fertility of Soils**, v.45, p.329-333, 2009.

SOFIATTI, V.; LIMA, R. de L. S. de; GOLDFARB, M.; BELTRÃO, N. E. de M. Cinza de madeira e lodo de esgoto como fonte de nutrientes para o crescimento do algodoeiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.7, n.1, p.144-152, 2007.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO e um Latossolo Vermelho sob diferentes Sistemas de Manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. V.40, p.1135-1139, 2005.

STOOF, C. R.; WESSELING, J. G.; RITSEMA, C.J. Effects of fire and ash on soil water retention. **Geoderma** 159 276–285. 2010.

SUAREZ, D.L., RHOADES, J.D., LAVADO, R. & GRIEVE, C.M. Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion. **Soil Science**. J., 48:50-55, 1984.

Suliman, W.; Harsh, J.; Abu-Lail, N.; Fortuna, A. M.; Dallmeyer, I.; Pérez, M. G. The role of biochar porosity and surface functionality in augmenting hydrologic properties of a sandy soil. **Science of the Total Environment** 574 139–147. 2017.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**., 42:1159-1167, 2007.

TAN, K.H. **Soil sampling, preparation and analysis**. New York: Marcel Dekker, 1996.

TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subjected to soil compaction: towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, Amsterdan, v. 30, p. 217- 243, 1994.

TEEPE, R., DILLING, H., BEESE, F. Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. J. Plant Nutr. **Soil Science**. 166, 111–119. 2003.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, pp. 305 - 314, 2002.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. Tópicos em Ciências do Solo, **Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**, 2:195-276, 2002.

URACH, F. L. Estimativa da retenção da água em solos para fins de irrigação. 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

UZOMA, K.C.; INOUE, M.; ANDRY, H.; ZAHOOR, A.; NISHIHARA, E. Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. **Journal of Food, Agriculture and Environment**. 9, 1137e1143. 2011.

VAN GENUCHTEN, M.TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal. J.** 44, 892–898, 1980.

VASSILEV, S.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L.; VASSILEVA, C. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel** 89:913–33. 2010.

VASSILEV, S.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L.; VASSILEVA, C.; MORGAN, T. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. 94:1–33. 2012.

WU, L.; SWAN, J. B.; PAULSON, W. H.; RANDALL, G. W. Tillage effects on measured soil hydraulic properties. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v.25, p.17-33, 1992.
XU, C.; XU, X.; LIU, M.; YANG, J.; ZHANG, Y.; LI, Z. Developing pedotransfer functions to estimate the S-index for indicating soil quality. **Ecological Indicators** 83 338–345. 2017.

YU, O. Y.; RAICHLE, B.; Sink, S. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. **International Journal of Energy and Environment**. Eng. 4 (44), 1–9. 2013.

ZAVALA, L. M.; GRANGED, A. J. P.; JORDÁN, A.; MORENO, G. B. Effect of burning temperature on water repellency and aggregate stability in forest soils under laboratory conditions. **Geoderma** 158 366–374. 2010.

ZEVIANI, W., M. R development, estatística Aplicada à Ciência do Solo. EACS-UFPR. 2017. Disponível em <http://gitlab.c3sl.ufpr.br/walmes/EACS, https://github.com/walmes/EACS>. Acesso em 28 de junho de 2018.