

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ENERGIA ULTRASSÔNICA ASSOCIADA A  
ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE UM LATOSSOLO  
SOB SISTEMAS DE MANEJO**

Acadêmica: Fabrícia da Silva Ramos

Aquidauana - MS  
Maio/2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ENERGIA ULTRASÔNICA ASSOCIADA A ESTABILIDADE DE  
AGREGADOS DE UM LATOSSOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO**

**Acadêmica: Fabrícia da Silva Ramos**  
**Orientador: Dr. Júlio Cesar Salton**  
**Co-orientadora: Dr. Michely Tomazi**

“Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)”.

Aquidauana – MS  
Maio/2016

R143e Ramos, Fabrícia da Silva

Energia ultrassônica associada a estabilidade de agregados de um latossolo sob sistemas de manejo/Fabrícia da Silva Ramos. Aquidauana, MS: UEMS, 2016.  
70p.; 24 cm.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal, Agronomia – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2016.

Orientador: Prof. Dr Júlio Cesar Salton.

1.Estabilidade de agregados 2. Energia ultrassônica 3. Sistemas de manejo I. Título.

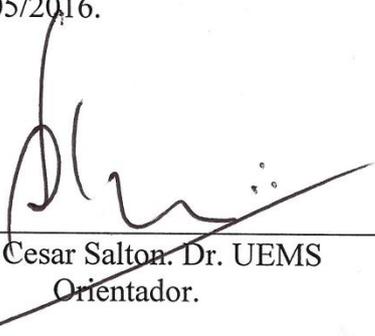
CDD 23.ed. 631.821

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
UNIDADE UNIVERSITÁRIA DE AQUIDAUANA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**FABRÍCIA DA SILVA RAMOS**

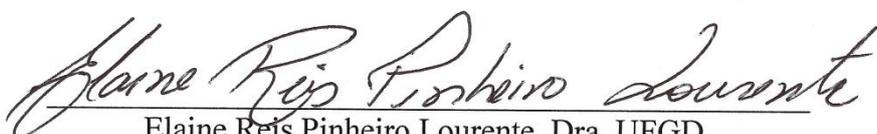
Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, como requisito para obtenção do grau de Mestra em Agronomia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 11/05/2016.



---

Júlio Cesar Salton. Dr. UEMS  
Orientador.



---

Elaine Reis Pinheiro Lourente. Dra. UFGD.



---

Elói Panachuki. Dr. UEMS.

## **EPÍGRAFE**

*“Nossa passagem pela Terra nada mais é do que um ofício ou missão a desempenhar, que nos dará a conta certa ao final de nossa empreitada. Busquemos, pois, aperfeiçoar – nós e fazer sempre o bem, porque quando atravessamos a Grande Barreira seremos simplesmente o que somos aqui.”*

André Luiz.

## **DEDICATÓRIA**

À Deus,

Aos meus pais, José Crispim e Diolina, pelo apoio incondicional.

Aos meus irmãos, pelo amor e companheirismo durante a jornada.

Dedico este trabalho!

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, que me fortalece e me anima em seguir em frente.

À Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Universitária de Aquidauana. A todos os professores do curso, que foram tão importantes no desenvolvimento desta dissertação.

Ao meu orientador prof. Dr. Júlio Cesar Salton pela oportunidade, orientação paciência, dedicação e incentivo que tornaram possível a realização deste trabalho.

À minha co-orientadora Dr. Michely Tomazi pela paciência, orientação durante o desenvolvimento do trabalho.

À Embrapa Agropecuária Oeste, por oferecer apoio necessário para a condução durante a realização do trabalho. À equipe do Laboratório de física do solo, em especial ao Ilson e ao Alison que foram muito importantes para a realização desse trabalho, e acima de tudo pela amizade estabelecida.

À Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPP), a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a realização deste trabalho só foi possível devido a participação de todos aqueles que estiveram próximos nesta etapa da minha vida que significou o encerramento de mais um ciclo na vida acadêmica.

## SUMÁRIO

	PÁG
LISTAS DE FIGURAS .....	7
LISTAS DE TABELAS.....	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	11
1 INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Formação dos agregados do solo .....	11
1.2 Modelo hierárquico de organização dos agregados do solo .....	12
2. Estabilidade de agregados do solo nos sistemas integrados de produção.....	14
2.1 Metodologias utilizadas para estudos da estabilidade de agregados .....	15
2.1.1 Impacto da gota.....	16
2.1.2 Peneiramento em água .....	16
2.1.3 Energia ultrassônica.....	17
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18
CAPÍTULO 2 - PROCEDIMENTO PARA CALIBRAÇÃO DA ENERGIA EMITIDA POR SONDA DE ULTRASSOM .....	22
RESUMO.....	22
INTRODUÇÃO .....	24
MATERIAL E MÉTODOS .....	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
CONCLUSÕES .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31
CAPÍTULO 3 - ENERGIA ULTRASSÔNICA ASSOCIADA A ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE UM LATOSSOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO .....	33
RESUMO.....	33
INTRODUÇÃO .....	35
MATERIAL E MÉTODOS .....	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
CONCLUSÕES .....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
APÊNDICE.....	50

## LISTAS DE FIGURAS

	Página
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	22
<b>Figura 1.</b> Aparato para utilização da haste da sonda de ultrassom e termômetro digital em garrafa térmica para calibração do equipamento. ....	27
<b>Figura 2.</b> Curva ajustada para os valores de perda de energia (H) em função da temperatura da água (°C) e taxa de perda de energia ( $J s^{-1}$ ).....	29
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	33
<b>Figura 1.</b> Esquema demonstrando o procedimento utilizado para separação de agregados em classes de tamanho, preparo de amostras e uso de energia ultrassônica e determinação do tamanho médio de agregados após aplicação de níveis de energia. ....	38

## LISTAS DE TABELAS

	Página
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	22
<b>Tabela 1.</b> Valores observados e utilizados para o cálculo da Capacidade Térmica da garrafa térmica (Cg) durante o processo de calibração da sonda de ultrassom Sonics. .	26
<b>Tabela 2.</b> Taxa de perda de energia em função do tempo e variação da temperatura da água.....	28
<b>Tabela 3.</b> Potência calibrada de um aparelho da marca SONIC na amplitude 60% e 90% de funcionamento.....	30
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	33
<b>Tabela 1.</b> Energia aplicada e desagregação (%D) de macroagregados (1,00 a 9,52 mm) oriundos de um LE argiloso submetido a sistemas de manejo durante 20 anos. Dourados, MS. 2016.....	40
<b>Tabela 2.</b> Energia ultrassônica aplicada e o diâmetro médio dos agregados (DMP) oriundos de um LE argiloso submetido a sistemas de manejo durante 20 anos. Dourados, MS. 2016.....	41
<b>Tabela 3.</b> Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados de um LE argiloso de Dourados, MS submetido a sistemas de manejo durante 20 anos, para classes de tamanho de macroagregados e níveis crescentes de energia ultrassônica aplicada.....	43

## RESUMO

A qualidade do solo pode ser estimada a partir de seus atributos químicos, físicos e biológicos, sendo que a estabilidade dos agregados pode ser empregada, com vantagens comparativas a outros atributos, como indicador físico da qualidade do solo. Para validar esse indicador foi realizado o presente estudo no período de maio a agosto de 2015, utilizando-se amostras de solo provenientes de um experimento de longa duração localizado em Dourados, MS. O trabalho foi dividido em três capítulos, sendo primeiro com objetivo de apresentar uma revisão bibliográfica geral sobre o tema. No capítulo II estão apresentados os procedimentos para calibração do equipamento de ultrassom e calcular a potência real emitida pela ponta da haste do sonificador. No capítulo III estão apresentados os métodos e a quantificação da energia necessária para rompimento de agregados e estimar a energia associada a estabilidade de macroagregados provenientes de diferentes sistemas de manejo do solo. Utilizou-se monólitos de solo (0-10 cm) coletados em quatro sistemas de manejo do solo, os quais foram separados em diferentes classes de tamanho de macroagregados (6,25 a 4,75; 4,75 a 2,00; 2,00 a 1,00 mm). Foram determinadas a energia necessária para o rompimento dos macroagregados, e calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e a percentagem de desagregação (%D) para os sistemas de produção. Tais variáveis foram influenciadas, nos diferentes tamanhos dos macroagregados e pelos sistemas de uso e manejo. Entre os sistemas de manejo, a pastagem permanente se destacou, resultando na formação de macroagregados mais estáveis e resistentes com maior estabilidade, maior DMP e menor %D nas diferentes classes de macroagregados. Já os sistemas com pastagem, em rotação com lavoura, apresentaram valores intermediários de DMP e %D. De modo geral, a utilização do Sistema Convencional e do Sistema Plantio Direto promoveram redução na formação de macroagregados estáveis, apresentando menor DMP e maior %D. Em todos os sistemas de manejo que contem a pastagem em rotação, os macroagregados apresentaram maior quantidade de energia associada à sua estabilidade. A utilização da energia ultrassônica apresentou-se como ferramenta viável, podendo ser utilizada para avaliar a agregação dos solos.

**Palavras-chaves:** integração lavoura-pecuária, matéria orgânica, pastagem, ultrassom

## ABSTRACT

Soil quality can be estimated from its chemical, physical and biological attributes, and the stability of the aggregates can be used, with comparative advantages to other attributes, as a physical indicator of soil quality. To validate this indicator, the present study was carried out from May to August 2015, using soil samples from a long-term experiment located in Dourados, MS. The work was divided in three chapters, being the first with the objective to present a general literature review on the subject. Chapter II presents the procedures for calibrating the ultrasound equipment and calculates the actual power emitted by the tip of the stem of the sonifier. Chapter III presents the methods and the quantification of the energy required to break aggregates and to estimate the energy associated with the stability of macroaggregates from different soil management systems. Soil monoliths (0-10 cm) were collected in four soil management systems, which were separated into different macroaggregates size classes (6.25 to 4.75; 4.75 to 2.00; 2.00 to 1.00 mm). The energy required for disruption of the macroaggregates was determined, and the mean weight diameter (MWD) and the percentage of disaggregation (%D) for the production systems were calculated. These variables were influenced in the different sizes of the macroaggregates and by the systems of use and management. Among management systems, permanent pasture stood out, resulting in the formation of more stable and resistant macroaggregates with higher stability, higher MWD and lower %D in the different classes of macroaggregates. On the other hand, the systems with pasture, in rotation with crop, showed intermediate values of MWD and %D. In general, the use of the Conventional Tillage System and the No-Tillage System promoted a reduction in the formation of stable macroaggregates, presenting lower MWD and higher %D. In all management systems that contain rotational pasture, the macroaggregates presented greater amount of energy associated to their stability. The use of ultrasonic energy was presented as a viable tool and could be used to evaluate soil aggregation.

**Key-words:** integrated crop-livestock, organic matter, pasture, ultrasound

# **CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS**

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 Formação dos agregados do solo**

O solo é constituído por partículas primárias classificadas quanto o tamanho em areia, silte e argila. A associação dessas partículas primárias com compostos orgânicos origina complexos organo-minerais secundárias, formando agregados do solo que se comportam mecanicamente como unidade estrutural (KEMPER & ROSENAU, 1986). A estrutura do solo está associada diretamente à qualidade do solo e o desempenho de suas diversas funções. Na agricultura, a estrutura afeta diretamente o crescimento das plantas pelo maior ou menor suprimento de água, oxigênio e suporte para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e atividade biológica (SOPRANO, 2002).

A formação e a estabilização dos agregados do solo são processos que ocorrem mediante a atuação de processos físicos, químicos e biológicos (SIX et al., 2000).

Normalmente solos com textura argilosa apresentam agregados mais estáveis que solos de textura média ou arenosa, evidenciando a relevância da composição mineral do solo e das relações entre os minerais. Para o solo apresentar agregados estáveis, dois processos são necessários: a formação dos agregados e sua posterior estabilização (TISDALL & OADES, 1982).

Nos processos físicos, os agregados podem ser formados por sucessivos ciclos de umedecimento e secagem, que promovem a aproximação e o afastamento das partículas constituintes do solo (BASTOS et al., 2005). Esses ciclos de umedecimento e secagem atuam diretamente sobre o agregado de forma diferenciada, quando os agregados secam, forças de ruptura pelo umedecimento rápido aumentam, favorecendo a desagregação, no entanto, a estabilização dos agregados aumenta devido à desidratação dos agentes cimentantes.

Nos processos químicos, a formação de agregados ocorre a partir da floculação com partículas primárias e secundárias. Para a formação de agregados estáveis, é necessária à atuação de substâncias ligantes, estabilizantes, como a matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, sílica e carbonato de cálcio.

Nos processos biológicos, as plantas e os micro-organismos atuam diretamente na agregação. O crescimento radicular das plantas causa efeito de pressão no solo, originando a aproximação das partículas. A absorção contínua de água pelas plantas promove a secagem das partículas, aproximando-as das mesmas e favorecendo a formação de agregados do solo (BASTOS et al., 2005).

Os compostos orgânicos envolvidos na estabilização dos agregados do solo podem ser transitórios, temporários e persistentes. Os transitórios são constituídos por polissacarídeos provenientes do metabolismo microbiano. Os temporários são raízes e hifas de fungos. E os persistentes são as substâncias húmicas (BASTOS et al., 2005, RANGEL et al., 2007).

Portanto, os processos físico-químicos de formação dos agregados estão associados principalmente com as argilas e, portanto, tendem a ser mais importantes em solos de textura argilosa. Estes são considerados como os mais importantes para a formação de agregados menores. E os processos biológicos importante na formação de agregados maiores.

Segundo Bastos et al. (2005), um solo só possui macroagregados estruturalmente estáveis se os mesmos forem constituídos por microagregados estáveis. A importância dos macroagregados no solo está diretamente relacionada com a manutenção da porosidade e aeração do solo, disponibilidade de oxigênio para as raízes, acumulação e sequestro de carbono no solo, crescimento das plantas e da atividade microbiana, infiltração de água no solo e controle dos processos erosivos.

Na literatura são encontrados vários trabalhos discutindo a ação das raízes na formação e estabilização dos agregados do solo, sendo apontadas como as grandes responsáveis principalmente das plantas perenes como as gramíneas, (SILVA & MIELNICZUK 1997a).

## **1.2 Modelo hierárquico de organização dos agregados do solo**

A interação entre os minerais, plantas, microbiota e o sistema solo, segue uma sequência de fenômenos, que resultam na formação de estruturas com diferentes graus de complexidade na formação de agregados.

Modelos propostos sobre os processos de organização e formação de agregados no solo são apresentados por vários autores. Emerson (1959), sugeriu que a matéria

orgânica estabiliza o agregado principalmente através da formação e fortalecimento dos laços entre domínios e entre as partículas de quartzo.

A seguir, Edwards & Bremner (1967), propuseram que as reações entre as moléculas orgânicas, cátions polivalentes como Fe, Al, Ca e as partículas de argilas formam os microagregados do solo. Estes autores postularam que a matéria orgânica complexada dentro dos microagregados poderia ser fisicamente protegida e inaccessível aos microrganismos do solo.

Na sequência Tisdall & Oades (1982), propôs hierarquia que consiste na decomposição lenta e gradual dos resíduos culturais que liberam compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade de agregados. Os mecanismos que atuam na formação de agregados de diferentes tamanhos no solo foram discutidos considerando que cada estágio de agregação é uma fase independente. Os agregados do solo podem ser divididos em: microagregados (agregados < que 0,250 mm), formado pelas frações granulométricas entre si e destas com as moléculas orgânicas, cátions polivalentes e argila; macroagregados (agregados > que 0,250 mm), resultantes da ação mecânica de raízes finas e hifas de fungos, principalmente os micorrízicos que entrelaçam os microagregados, formando estrutura mais complexas e diversificadas.

Essa distinção é baseada na hipótese de que o material cimentante dentro do microagregado é mais resistente do que aquele que liga os microagregados que formam um macroagregado (GOLDBERG et al., 1999).

Oades (1984) acrescenta uma alteração ao modelo hierárquico, na qual propõe que raízes e hifas atuam como núcleos de formação de microagregados e, por serem ligantes temporários, ao se decomporem, formam fragmentos recobertos por mucilagens e incrustados de argilas, dando origem a novos agregados.

Vezzani (2001), propôs que a organização pode estar em nível de ordem alto ou baixo no sistema solo. O nível alto é caracterizado pela presença de estruturas mais complexas e diversificadas, representadas pelos macroagregados, e maior quantidade de energia e matéria retida na forma de compostos orgânicos. O nível baixo é representado pelos microagregados, envolve menor quantidade de energia, pois são representados por estruturas mais simples.

Recentemente Six et al. (2004), citam, também, o conceito hierárquico de agregação, proposto por Tisdall & Oades, definindo-o como grande avanço teórico para entendimento da interação entre a MOS e os agregados. Dessa forma, os microagregados

foram classificados como mais estáveis e menos suscetíveis a práticas agrícolas de manejo do que os macroagregados.

Recentemente, Vezzani et al. (2011), em seus estudos citam, que os agregados do solo de diferentes tamanhos são estruturas dissipativas, pois o fluxo de energia e matéria na forma de compostos orgânicos causa dissipação de energia e promove à auto-organização do sistema solo. Para esses autores a auto-organização do sistema solo inicia pela interação das partículas minerais, e para a formação de agregados do solo, as estruturas maiores dependem da formação anterior de estruturas menores. Nessa escala de agregação inicia-se a interferência das plantas e dos microrganismos, compostos orgânicos resultantes da interação de ambos influenciam as cargas de superfície dos minerais, podendo aumentar ou diminuir a atração entre os minerais.

Sistemas de preparo do solo com rotação de culturas influenciam na formação de agregados do solo, pois está associada com a taxa de macroagregação devido o fluxo contínuo da decomposição dos resíduos culturais. Em consequência, haverá o estímulo para o agrupamento entre partículas primárias dispersas em água, microagregados, macroagregados e as associações com os microrganismos do solo, formando uma zona ativa de agregação com a reorganização de novos macroagregados em camadas no solo.

## **2. Estabilidade de agregados do solo nos sistemas integrados de produção**

A forma de uso do solo tem consequências diretas em seus atributos físicos, químicos e biológicos. Sistemas convencionais de cultivo, com o uso do revolvimento do solo, são considerados com maior poder de degradação do solo. No Brasil, o sistema integrado de produção agropecuária é uma alternativa quem vem sendo utilizada para a recuperação de áreas degradadas tanto em regiões de clima tropicais como subtropicais.

Sistemas conservacionistas tais como o plantio direto, integração lavoura pecuária/pastagem e as pastagens bem conduzidas, podem reduzir os processos degradativos e contribuir para maior formação e estabilização de agregados. Segundo Bonetti et al. (2015), essa recuperação dos processos degradativos é possível em função da diversidade de culturas e animais que podem ser utilizados nesse sistema. Todavia, a qualidade estrutural do solo e consequentemente a estabilidade de agregados, são afetados pelo uso e manejo do solo.

Assim, sistemas agrícolas sustentáveis vêm sendo estudados nas diferentes condições de uso e manejo com o objetivo fundamental que é entender os processos que

estão envolvidos na degradação do solo. Um fator importante nos sistemas integrados de produção é o uso de gramíneas na fase de pastagem. O sistema radicular agressivo e a alta produção de biomassa são características dessas culturas que contribuem para a formação de agregados do solo.

Conforme demonstrado em vários trabalhos como o de Loss et al. (2011), a maior estabilidade de agregados ocorre em áreas cultivadas com plantio direto/integração lavoura-pecuária, do que em área com plantio direto, sem o uso de braquiária. Portanto, o uso da gramínea proporcionou boa cobertura vegetal ao solo o que impede ou diminui os processos degradativos. Além disso, acarreta melhor desenvolvimento do sistema radicular das culturas que contribuem para criação de um ambiente mais favorável a agregação do solo em comparação a área em plantio direto, sem braquiária.

Salton et al. (2008), obtiveram resultados semelhantes, ao avaliar a agregação e a estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Latossolo, no Mato Grosso do Sul. Esses autores observaram que os sistemas de manejo do solo com rotação de lavoura pastagem/braquiária em sistema plantio direto favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em comparação a sistemas apenas com lavouras, sem a braquiária. Mostrando a importância das gramíneas dentro desses sistemas, proporcionando um efeito agregante devido aos benefícios do sistema radicular. Os sistemas de integração lavoura-pecuária, em plantio direto, ocorrem aporte diferenciado de resíduos vegetais em relação aos sistemas puros de produção de grãos, tanto na superfície (parte aérea) e no perfil do solo (raízes) (SALTON et al., 2002). No entanto, se torna cada vez mais importante o estudo de sistemas agrícolas conduzido de forma sustentáveis nas diferentes condições de uso e manejo do solo com o objetivo fundamental que é entender os processos que estão envolvidos na agregação do solo.

## **2.1 Metodologias utilizadas para estudos da estabilidade de agregados**

A estabilidade de agregados é um importante atributo a ser caracterizado no solo. No século XX Bayer et al. (1973), postularam que a estabilidade da estrutura do solo refere-se à resistência que os agregados oferecem às forças de desagregação da água e de operações mecanizadas realizadas no solo. Nesse contexto, quanto maior a resistência à desagregação mais estáveis é essa estrutura.

Inicialmente, vários métodos são propostos para avaliar a estabilidade dos agregados (MCCALLA, 1944; KEMPER, 1965; BRUCE OKINE & LAL, 1973;

TISDALL & OADES, 1979; CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990). Segundo Amezketa (1999), cada método apresenta aspectos positivos e também suas limitações. O que em muitos casos dificulta comparações de resultados.

### **2.1.1 Impacto da gota**

É uma das metodologias empregadas para determinação da estabilidade de agregados, porém não muito utilizada em análises mais rotineiras. É baseada no método descrito por MCCALLA (1944); MUZURAKI & MOSHER (1968); e modificada por BRUCE-OKINE & LAL (1975); ÂNGULO et al. (1984); e FARRES & COUSEN (1985). Para esses autores, com esse método, é possível identificar a relação entre a energia cinética de impacto da gota e a quebra de agregados. O equipamento utilizado para fazer as determinações da estabilidade gera uma série de gotas de tamanho uniforme e dentro de uma determinada frequência. Vários trabalhos realizados pela gota, mostra que agregados que resistem mais que 200 gotas são consideradas de alta estabilidade e a continuação do procedimento de desagregação pela gota é desnecessária.

De Roo et al. (1996b), apresentaram um modelo de simulação de processo erosivo, que tem como variáveis de entrada, o número de gotas necessário para desagregar 50% da massa de agregados. Esse modelo é composto de uma base física que simula o escoamento superficial, a desagregação, o transporte e a deposição de sedimentos. Entretanto, para Sá et al. (2000b), esses testes são operacionalmente limitados por serem muito trabalhosos.

### **2.1.2 Peneiramento em água**

Entre os métodos utilizados para determinar a estabilidade de agregados, predominam aqueles que utilizam o peneiramento dos agregados em um jogo de peneiras imerso em água para separar os agregados por classe de tamanho, modelo inicialmente proposto por YODER (1936). No entanto, surgiram várias modificações a partir desse modelo, KEMPER & CHEPIL (1965); OLIVEIRA et al. (1983); KEMPER & ROSENAU (1986); POJASOK & KAY (1990); CARPENEDO & MIELNICZUK (1990); SILVA & MIELNICZUK (1997a) e por (SALTON et al., 2012).

Ocorre uma grande variação entre os métodos propostos, no qual é influenciado com a maneira de preparação, diâmetro dos agregados utilizados, número de peneiras que variam de acordo com as modificações e as condições de umidade.

Inicialmente o método tradicional utilizado apresenta limitações, no qual, considera somente uma determinada classe de agregados. Na separação das classes inicialmente é utilizada apenas agregados de tamanho entre 4,75 e 2,00 mm de diâmetro. Os agregados maiores que 4,75 e menores que 2,00 são descartados, restringindo a mensuração das demais classes.

Os resultados são expressos em diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e a porcentagem de agregados estáveis que resistiram o processo de peneiramento.

Modificações mais recentes propostas por Salton et al. (2012), usam como base o método descrito por Kemper & Chepil (1965), com alterações propostas por Carpenedo & Mielniczuk (1990) e por Silva & Mielniczuk (1997a), que considera o solo inteiro, o que o torna muito mais representativo. Consiste na separação dos agregados em classes de tamanho pela desagregação e peneiramento em meio seco e em água, que considera somente o DMP determinado a seco, o DMP em água e o índice de estabilidade de agregados. Essa modificação se torna muito mais criteriosa, além de considerar todos os agregados de tamanho menor que  $< 9,52$  mm de diâmetro, que envolve todas as partes do solo, que melhor representa a influência do manejo. É adotado o uso de um quarteador que possibilita operações repetidas, obtendo uma sub-amostra homogênea, sendo esta a mais representativa possível da amostra integral. Entretanto, os resultados obtidos pelos diferentes métodos são, às vezes, contrastantes, os quais não permitem a definição do nível de energia envolvido na desagregação do agregado.

### **2.1.3 Energia ultrassônica**

Outra metodologia que vem sendo utilizada, envolve o uso de energia ultrassônica. Essa, portanto é usado para avaliar a qualidade do sistema de manejo do solo e quantificar a qualidade da estrutura do solo em diferentes situações de uso. Sendo utilizado por diversos autores, como, North (1976); Raine & So (1994); Sá et al. (1999) e Sá et al. (2000). Utiliza-se uma sonda, visando quantificar a energia total aplicada a suspensão, com base na potência emitida pelo aparelho em Watts, obtido por calibração, necessária para dispersão dos agregados do solo. No entanto, esta técnica ainda carece de

maior conhecimento visando sua aplicação de forma rotineira em laboratório de análises de solos.

O princípio pelo qual ocorre a desagregação da amostra é a formação de bolhas de ar no líquido da suspensão, processo conhecido como cavitação (SÁ. 2002). Uma vantagem que esse método oferece é a mensuração da energia aplicada, para isso é necessário a calibração da potência emitida pelo aparelho utilizando técnicas calorimétricas, uma vez que a potência indicada de fábrica nem sempre é aquela emitida pela ponta da haste (SÁ & LIMA, 2005). Com o uso contínuo do aparelho, ocorre um desgaste da ponta da haste, que leva a uma redução da potência emitida (SÁ et al., 2001).

Segundo Oades (1984), o estudo da agregação do solo é de extrema importância, pois os agregados são componentes que fazem parte da estrutura do solo, importante na manutenção da porosidade e aeração do solo, no crescimento das plantas e da população microbiana, na infiltração de água e no controle dos processos erosivos.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMEZKETA, E. **Soil aggregate stability**: a review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14 (2/3), p.83-149, 1999.

ANGULO R. J.; ROLOFF, G. & SOUZA, M. L. P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.8, n.1, p.7-12, 1984.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, V. H.; CORRÊA M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 21-31, 2005.

BAYER, L. D.; GARDNER, W. H.; & GARDNER, W. R. Soil structure: classification and genesis. In: BAYER, L. D.; GARDNER, W. H.; & GARDNER, W. R. **Soil physics**. New York, John Wiley, p. 130-177, 1973.

BONETTI, J. A.; PAULINO, B. H.; SOUZA, D. E.; CARNEIRO, C. M.; SILVA, N. G. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.

BRUCE-OKINE, E.; LAL, R. Soil erodibility as determined by raindrop technique. **Soil Science**, v. 119, p.149-156, 1973.

BRUCE-OKINE, E.; LAL, R. Soil erodibility as determined by raindrop technique. **Soil Science**, Baltimore, v.119, n. 2, p.149-157, 1975.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.14, n. 1, p. 99-105, 1990.

- DE ROO, A. P.J.; OFFERMANS, R.J.E.; CREMERS, N.H.D.T. **LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. II: sensibility analysis, validation and application.** *Hydrological Processes*, v. 10, p.1119-1126, 1996b.
- EMERSON, W.W. **The structure of soil crumbs.** *Eur. J. Soil Science*. v.10, n.2, p.235-244, 1959.
- EDWARDS, A. P. & BREMNER, J.M. **Dispersion of soil particles by sonic vibration.** *Eur. J. Soil Science*. v.18, p. 47-63, 1967.
- FARRES, P. J.; COUSEN, S. M. An improved method of aggregate stability measurement. **Earth Surface Processes and Landforms**, Chichester, v.10, p.321- 329, 1985.
- GOLDBERG, S.; LEBRON, I.; SUAREZ, D.L. **Soil colloidal behavior.** In: SUMMER, M. (Ed.). *Handbook of science*. Boca Raton: CRC Press, 1999. p. B195-B240, 1999.
- IMESON, A. C.; VIS, M. Assessing soil aggregate stability by water-drop impact and ultrasonic dispersion. **Geoderma**, v. 34, p. 185-200. 1984.
- KEMPER, W. D. & CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C.A., eds. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy. p. 499-510, 1965.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy. pt 1: Physical and mineralogical methods, p. 425-443, 1986.
- KEMPER, W. D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A. et al.,eds. **Methods of Soil Analysis**. Madison, American Society of Agronomy, Part.1, p. 511-519, 1965.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO. S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo em plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.
- MAZURAK, A. P.; MOSHER, P. N. Detachment of soil particles in simulated rainfall. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.32, n.5 p.716- 719, 1968.
- MCCALLA, T. M. Water drop method of determining the stability of soil structure. **Soil Science Society of America. Proceedings**, Madison, v.7, p.209-214, 1944.
- NORTH, P. F. Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.27, n.4, p.451-459, 1976.
- OADES, J. M. Soil organic-matter and structural stability- mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, p.76:319-337, 1984.
- OLIVEIRA, M.; CURI, N.; FREIRE, J. C. Influência do cultivo na agregação de um podzólico vermelho-amarelo textura média/argilosa da região de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.3, p.317-322, 1983.
- POJASOK, T.; KAY, B. D. Assessment of a combination of wet sieving and turbidimetry to characterize the structural stability of moist aggregates. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.70, n.1, p.33- 42, 1990.

- RAINE, S.R.; SO, B. Ultrasonic dispersion of soil in water: the effect of suspension properties on energy dissipation and soil dispersion. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.32, n.6, p.1157- 1174, 1994.
- RANGEL, O. J.; SILVA C.A. Estoque de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 11-21, 2007.
- SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JUNIOR, M.S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n. 3, p.525-531, 1999.
- SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; LAGES, G. Procedimento-Padrão para medida da potência liberada pelo aparelho de ultra-som. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24, p.300-306, 2000.
- SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JÚNIOR, M. S. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1825-1834, 2000b.
- SÁ, M. A. C.; LAGE, G.; LIMA, J. M. Calibração da potência emitida pelo sonificador para uso em análises de solo. Lavras: Editora da UFPA, (**Boletim Agropecuário**, 41). p. 17, 2001.
- SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; MELLO, C. R. Nível de energia ultra-sônica para estudo da estabilidade de agregados de um Latossolo sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.11, p.1649-1655, 2002.
- SÁ, M. A. C.; LIMA J. M. (Documento 39). Embrapa Cerrados. Energia ultra-sônica: Uma ferramenta em ciências do solo. Planaltina, DF, 2005.
- SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, 69:32-34, 2002.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 32:11-21, 2008.
- SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZZI, M.; HERNANI, L. C. Determinação da agregação do solo: Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste (**Comunicado técnico**, 184), ISSN-1679-0472, 2012.
- SILVA, I. F. **Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso Agrícola**. 1993. 126f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.
- SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 313- 319, 1997.
- SILVA, I. F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 21:113-117, 1997b.
- SIX, J.; PAUSTRIAN, K.; ELLIOT.; COMBRINK. C. Soil structure and organic matter: Distribuicion of aggregate- size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science*, p. 681-698, 2000.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Till. Res.**, 79:7-31, 2004.

SOPRANO, E. **Estabilidade de agregados e dispersão de argila em função da calagem**. 2002. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em ciências do solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, p.429-441, 1979.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 141-163, Mar. 1982.

YOODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.28, p.337-351, 1936.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em ciências do solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.184, 2001.

VEZZANI, M. FABIANE; MIELNICZUK, JOÃO. **O solo como sistema**. 1 ed. Curitiba: 2011, p. 39-50.

## **CAPÍTULO 2 - PROCEDIMENTO PARA CALIBRAÇÃO DA ENERGIA EMITIDA POR SONDA DE ULTRASSOM**

**RESUMO** - Este capítulo apresenta o procedimento adotado com objetivo de calcular a potência real liberada pela ponta da haste do aparelho sonificador. Esse método baseia-se na medida do aumento da temperatura da água decorrente da aplicação de energia ultrassônica em um ambiente fechado. Para tanto foi utilizada uma garrafa térmica com determinado volume de água submetido a tempos específicos de sonificação. Inicialmente, foi medida a capacidade térmica da garrafa, a partir disso, mediu-se a relação da energia perdida no decorrer do tempo. A taxa de perda de energia diminuiu exponencialmente no intervalo de variação da temperatura da água em 1 °C, sendo que a perda de energia se relacionou positivamente com o aumento da temperatura da água sonificada. Observou-se que a energia indicada no painel do aparelho é maior do que a energia realmente emitida, sendo esta calculada no processo de calibração. Com o procedimento foi possível ajustar a energia do visor do aparelho a real energia aplicada. As energias emitidas foram de 54,33 e 83,47 J ml<sup>-1</sup>. O método da mistura é viável para ser utilizado na realização da calibração de aparelho ultrassom.

**PALAVRAS-CHAVE:** agregação do solo, energia ultrassônica, sonificação

## **CHAPTER 2 - PROCEDURE FOR ENERGY CALIBRATION EMITTED BY ULTRASOUND PROBE**

**ABSTRACT** - This chapter presents the procedure adopted to calculate the actual power released by the stem tip of the sonifier. This method is based on the measurement of the increase in water temperature resulting from the application of ultrasonic energy in a closed environment. For this purpose, a thermos bottle with a certain volume of water was used, submitted to specific times of sonification. Initially, the thermal capacity of the bottle was measured, and the ratio of energy lost over time was measured. The rate of energy loss decreased exponentially in the range of the water temperature by 1 ° C, and the energy loss was positively related to the increase in the temperature of the sonified water. It has been observed that the energy indicated on the instrument panel is greater than the energy actually emitted, which is calculated in the calibration process. With the procedure it was possible to adjust the energy of the display of the device to the actual applied energy. The emitted energies were 54.33 and 83.47 J ml<sup>-1</sup>. The mixing method is feasible for use in performing the ultrasonic device calibration.

**KEY WORDS:** soil aggregation, ultrasonic energy, sonification

## INTRODUÇÃO

Novas metodologias estão sendo desenvolvidas e adaptadas para estudos de solos, entre as quais a utilização de energia ultrassônica, para avaliar atributos físicos (NORTH, 1976; GREGORICH et al., 1988; RAINE & SO, 1993) e quantificar a energia necessária para dispersão dos agregados do solo. No entanto, o uso desta ferramenta ainda carece de maiores conhecimentos visando sua aplicação em estudos de análises de solos.

A energia ultrassônica vem sendo utilizada há muitos anos dentro da pesquisa científica. Segundo Wostson (1971), na ciência do solo seu uso foi registrado a partir de 1923. Atualmente ela tem sido utilizada para os mais variados propósitos; estudo da matéria orgânica em agregados do solo (ROSCOE et al., 2000), fracionamento da matéria orgânica do solo (MORRA et al., 2001), extração de argila para análises mineralógicas (SÁ, 2002), avaliação da textura do solo (PRADO et al., 2014) e estabilidade de agregados (MELO et al., 2015).

Para Sá & Lima (2005) a grande vantagem de usar energia ultrassônica está na sua praticidade, e na possibilidade de quantificar a energia necessária para desagregar o solo. A estabilidade de agregados medida dessa forma, permite quantificar, não somente o efeito do uso do solo, mas também estimar a energia associada aos processos relacionados à erosão do solo (SÁ & LIMA, 2005).

A forma de medição da estabilidade dos agregados tem sido motivo de controvérsia, uma vez que, a maioria dos métodos se limita a comparações entre solos e tratamentos, e o nível de energia aplicada é desconhecido (FULLER E GO, 1992). Mesmo tendo em comum o uso de energia ultrassônica, a comparação dos resultados de diferentes experimentos relatados na literatura, na maioria das vezes é prejudicada, pelo fato de diferenças entre os equipamentos e métodos utilizados (SALTON et al., 2012). A calibração da potência liberada pela haste da sonda de ultrassom é crucial para a validação de dados de pesquisa, uma vez que a potência registrada pelos aparelhos, geralmente não equivale àquela realmente aplicada à suspensão solo-água (SÁ, 1999; SÁ, et al., 2000). O desgaste da ponta do sonificador, por causa do uso contínuo, é outro motivo que torna indispensável à calibração da potência de saída, uma vez que com o desgaste há aumento de diferença entre a potência registrada e aquela que foi realmente emitida (HINDS & LOWE 1980).

Dessa maneira, a calibração do equipamento de ultrassom deve ser realizada de forma rotineira e para tanto, está descrito a seguir, o procedimento utilizado para

calibração de uma sonda da marca SONICS. Com objetivo de calcular a potência real do aparelho liberada pela ponta da haste do sonificador.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada a calibração de um aparelho da marca SONICS, no laboratório de análises de solo da Embrapa Agropecuária Oeste, seguindo a metodologia proposta por (SÁ et al., 2001), considerada como a referência mais atual para a quantificação e calibração da energia emitida por aparelhos de ultrassom.

Foi utilizado um Sonificador de haste, da marca SONICS VC 750 Watts; termômetro digital; garrafa térmica com bulbo de vidro com volume de 500 mL; béquer de vidro de 500 mL; balança digital, com duas casas decimais; cronômetro digital e água destilada.

### Procedimento utilizado

Inicialmente calculou-se a capacidade térmica da garrafa térmica ( $C_g$ ). Que é a quantidade de calor que um determinado corpo deve trocar para que sua temperatura sofra uma variação unitária, interpretando-a numericamente. Para tanto foi utilizado o método das misturas, que consiste em colocar na garrafa 200 g de água destilada ( $M_2$ ) na temperatura ambiente  $T_1$ ; e, em seguida, adicionar 200g de água ( $M_1$ ) com temperatura mais elevada  $T_2$ , aproximadamente o dobro da temperatura ambiente (SÁ, et al., 2001). A soma das duas massas de água deve ser a mesma daquela a ser sonificada para cálculo da potência.

A garrafa foi fechada imediatamente após a colocação da água, e através de um pequeno orifício na tampa foi inserido um termômetro, para monitoramento da temperatura (Figura 1). Após equilíbrio de temperatura das duas massas de água (na qual ocorre normalmente após uns 15 minutos), mediu-se a temperatura resultante  $T_3$  e calculou-se a capacidade térmica utilizando a equação proposta por (SÁ et al., 2001).

$$C_g = [M_1 \times 4,186 \times (T_3 - T_2) \div (T_3 - T_1)] - (M_2 \times C_a)$$

Onde:

$C_g$  = é a capacidade térmica da garrafa ( $J \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$T_1$  = é a temperatura ambiente da água adicionada inicialmente à garrafa ( $^\circ\text{C}$ );

T2= é a temperatura da água aquecida adicionada à garrafa (°C);

T3= é a temperatura de equilíbrio da mistura (°C);

M1= é a massa de água aquecida adicionada à garrafa (g);

M2= é a massa de água na temperatura ambiente, inicialmente na garrafa (g);

Ca= é o calor específico da água,  $4,186 \text{ J (g } ^\circ\text{C)}^{-1}$

Segundo Sá (2001), uma vez calculada a capacidade térmica, esta será válida apenas para a garrafa em questão, e não será necessária sua determinação todas as vezes que se for calibrar o aparelho. Para se obter um valor preciso, são necessárias várias repetições. A Tabela 1 apresenta os dados para realização dos cálculos:

**Tabela 1.** Valores observados e utilizados para o cálculo da Capacidade Térmica da garrafa térmica (Cg) durante o processo de calibração da sonda de ultrassom Sonics.

Repetições	T1	T2	T3	M1	M2	ca	cg
	----- °C -----			-----g-----		----- J °C <sup>-1</sup> -----	
1	25,9	55,8	38,4	199,87	199,92	4,186	327,76
2	26,9	54,3	38,8	199,86	199,80	4,186	253,34
3	26,8	53,4	38,0	199,89	199,90	4,186	313,74
4	26,3	52,6	37,5	199,87	199,86	4,186	291,38
5	25,8	53,4	37,6	199,81	199,87	4,186	283,28
6	25,5	55,4	37,9	199,78	199,84	4,186	343,70
7	26,2	50,7	37,0	199,95	199,90	4,186	224,96
8	26,3	52,8	38,0	199,90	199,78	4,186	222,21
9	24,9	53,6	37,4	199,50	199,85	4,186	245,73
10	24,8	49,9	36,0	199,79	199,85	4,186	201,36
Média							270,75
Desvio Padrão							48,53
Erro Padrão							15,35

T1: temperatura ambiente da água dentro da garrafa; T2: temperatura da água aquecida; T3: temperatura de equilíbrio da mistura; M1: massa de água aquecida; M2: massa de água na temperatura ambiente; Ca: calor específico da água; Cg: capacidade térmica da garrafa.

### Determinação da taxa de perda de energia (H)

A taxa de perda de energia foi calculada através do resfriamento da água na garrafa em função do tempo. Essa taxa será utilizada para a elaboração da curva de perda de energia. Colocou-se na garrafa térmica, 400 g de água destilada, previamente aquecida a 50°C, e foi inserida a ponta da haste do sonificador (que, neste caso, permanece desligado) e a haste do termômetro, para monitoramento da diminuição da temperatura da água em função do tempo, com auxílio de um cronômetro (Figura 1). A princípio, a

diminuição da temperatura é rápida, tornando-se tão mais lenta quanto mais próxima da temperatura ambiente. Posteriormente calculou-se o valor de H para cada faixa de queda da temperatura de 1 grau (ex. entre 49,6 e 48,6 °C, entre 48,6 e 47,6 °C e assim, sucessivamente, até atingir a temperatura ambiente), utilizando-se a equação:



**Figura 1.** Aparato para utilização da haste da sonda de ultrassom e termômetro digital em garrafa térmica para calibração do equipamento.

$$H = [(Ma \times Ca) \Delta T \div td]$$

Onde:

H= é a taxa de perda de energia ( $J s^{-1}$ );

Ma= é a massa de água (400g);

Ca= é o calor específico da água  $4,186 J (g^{\circ}C)^{-1}$ ;

$\Delta T$ = é a variação da temperatura, que corresponde a 1 °C;

Td= é o tempo, em segundos, necessário para diminuição na temperatura em 1

°C.

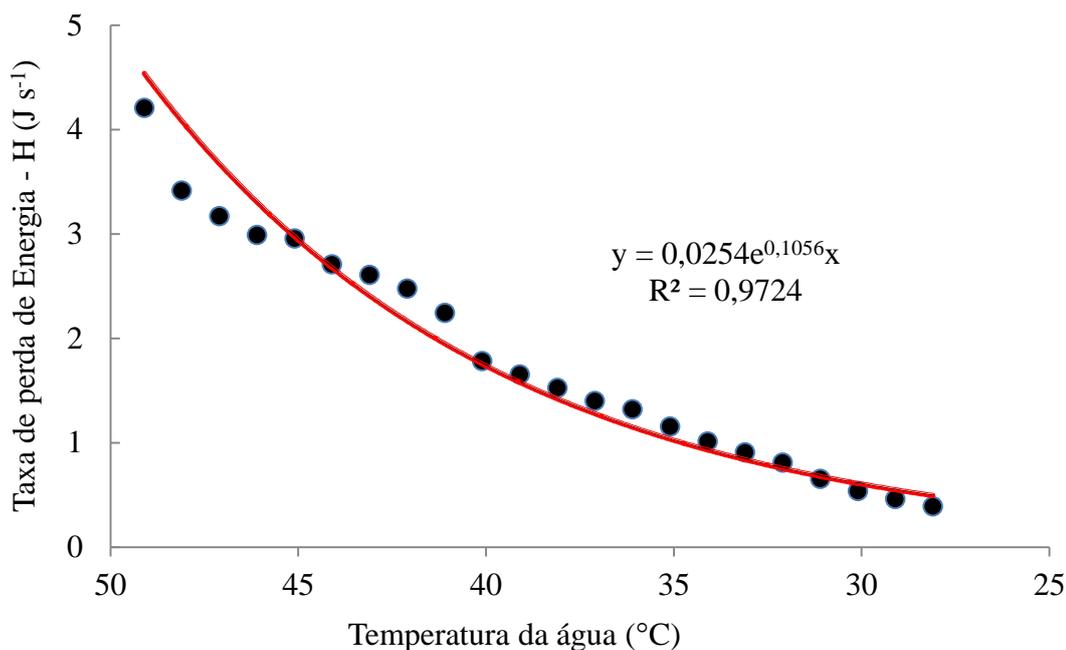
**Tabela 2.** Taxa de perda de energia em função do tempo e variação da temperatura da água.

Repetições	Faixas de temperatura	Temperatura do ponto médio	Ca	Ma	H	Tempo de queda
1	49,6 a 48,6	49,1	4,186	400	4,207	398
2	48,6 a 47,6	48,1	4,186	400	3,417	490
3	47,6 a 46,6	47,1	4,186	400	3,171	528
4	46,6 a 45,6	46,1	4,186	400	2,990	560
5	45,6 a 44,6	45,1	4,186	400	2,958	566
6	44,6 a 43,6	44,1	4,186	400	2,709	618
7	43,6 a 42,6	43,1	4,186	400	2,608	642
8	42,6 a 41,6	42,1	4,186	400	2,477	676
9	41,6 a 40,6	41,1	4,186	400	2,245	746
10	40,6 a 39,6	40,1	4,186	400	1,781	940
11	39,6 a 38,6	39,1	4,186	400	1,653	1013
12	38,6 a 37,6	38,1	4,186	400	1,526	1097
13	37,6 a 36,6	37,1	4,186	400	1,399	1197
14	36,6 a 35,6	36,1	4,186	400	1,319	1269
15	35,6 a 34,6	35,1	4,186	400	1,156	1449
16	34,6 a 33,6	34,1	4,186	400	1,012	1654
17	33,6 a 32,6	33,1	4,186	400	0,908	1845
18	32,6 a 31,6	32,1	4,186	400	0,811	2065
19	31,6 a 30,6	31,1	4,186	400	0,654	2561
20	30,6 a 29,6	30,1	4,186	400	0,539	3109
21	29,6 a 28,6	29,1	4,186	400	0,462	3622
22	28,6 a 27,6	28,1	4,186	400	0,391	4280

H: taxa de perda de energia; Ma: massa de água; Ca: calor específico da água;  $\Delta T$ : variação da temperatura.

### Curva de perda de energia

Os valores observados na Tabela 2 foram plotados em um gráfico, onde os valores de temperatura do ponto médio correspondem à variável determinada e os valores de H à variável indeterminada. A partir do ajuste matemático da curva obteve-se a equação na qual é possível obter-se valores de H para cada valor de temperatura da água. A equação ajustada foi do tipo exponencial com os valores  $H = 0,025478 e^{0,1056 \cdot T}$ .



**Figura 2.** Curva ajustada para os valores de perda de energia (H) em função da temperatura da água (°C) e taxa de perda de energia (J s<sup>-1</sup>).

### Cálculo da potência para calibração

O cálculo da potência foi realizado para cada intervalo de 30 segundos, calculando-se a média para os cinco minutos totais. Para medição da potência do sonificador (Pc), foi necessário, regular a operação de trabalho para a potência desejada. Sonificar 400g de água destilada em uma garrafa térmica, durante cinco minutos, anotando as alterações de temperatura (DT) a cada 30 segundos, utilizando um termômetro, a ponta do termômetro é inserida dentro da garrafa, mergulhado na água, tendo-se o cuidado para que este não toque a ponta do sonificador em funcionamento.

Para o cálculo da potência, o valor de H foi obtido através da equação ajustada anteriormente. É importante lembrar que essa curva de perda de energia é válida apenas para as condições de temperatura ambiente do laboratório onde foi determinada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados os resultados obtidos para um aparelho marca SONICS, modelo VC 750 Watts, 20 kHz, ao 60% e 90% de potência de funcionamento. Sendo

assim, 54,33 e 83,47 W que corresponde à potência que este aparelho realmente aplica a uma suspensão na amplitude 60% a e 90% (Tabela 3).

**Tabela 3.** Potência calibrada de um aparelho da marca SONIC na amplitude 60% e 90% de funcionamento.

Tempo s	Temperatura		$\Delta t$	$\Delta$ Tempo s	Ma g	Ca $J g^{-1} ^\circ C^{-1}$	Cg $J s^{-1}$	H $J s^{-1}$	Pc Watts
	Temperatura ----- $^\circ C$ -----	no ponto médio							
Amplitude 60%									
0	23,7	24,00	0	30	400	4,186	0	0,310	0
30	24,3	24,70	0,6	30	400	4,186	270,75	0,331	39,23
60	25,1	25,60	0,8	30	400	4,186	270,75	0,360	52,23
90	26,1	26,50	1,0	30	400	4,186	270,75	0,400	65,24
120	26,9	27,35	0,8	30	400	4,186	270,75	0,435	52,31
150	27,8	28,20	0,9	30	400	4,186	270,75	0,478	58,83
180	28,6	29,00	0,8	30	400	4,186	270,75	0,521	52,39
210	29,4	29,85	0,8	30	400	4,186	270,75	0,566	52,44
240	30,3	30,70	0,9	30	400	4,186	270,75	0,623	58,58
270	31,1	31,55	0,8	30	400	4,186	270,75	0,678	52,55
300	32	16,00	0,9	30	400	4,186	270,75	0,745	55,10
Média									54,33
Amplitude 90%									
0	28,6	29,00	0	30	400	4,186	0	0,521	0
30	29,4	30,10	0,8	30	400	4,186	270,75	0,566	52,44
60	30,8	31,10	1,4	30	400	4,186	270,75	0,657	51,43
90	31,4	31,70	0,6	30	400	4,186	270,75	0,700	39,60
120	32,1	32,80	0,7	30	400	4,186	270,75	0,753	46,14
150	33,5	34,80	1,4	30	400	4,186	270,75	0,873	91,65
180	36,1	36,80	2,6	30	400	4,186	270,75	1,149	169,73
210	37,5	38,00	1,4	30	400	4,186	270,75	1,332	32,11
240	38,6	39,40	1,1	30	400	4,186	270,75	1,497	72,82
270	40,2	40,70	1,6	30	400	4,186	270,75	1,772	105,51
300	41,3	20,60	1,1	30	400	4,186	270,75	1,990	73,31
Média									83,47

$\Delta T$ : variação da temperatura;  $\Delta T$ : variação do tempo; Ma: massa da água; Ca: calor específico da água; Cg: capacidade térmica da garrafa; H: perda de energia; Pc: potência de calibração.

A potência real emitida nesse aparelho (54,33 e 83,47) é menor que a potência de fábrica, registrada na tela pelo mostrador (Tabela 3). Corroborando com os resultados encontrados nesse estudo, Sá et al. (2000), calibrando um aparelho da marca MISONIX, modelo XL 2020TM, no estágio 9 de funcionamento encontraram valor 97,24 W, que

corresponde à potência que este aparelho realmente aplica a uma suspensão no estágio 9, esse valor foi menor do que o valor indicado no mostrador do aparelho (192,5W).

Segundo (Hinds & Lowe, 1980), é recomendado calibrar o aparelho com frequência, uma vez que o desgaste da ponta, devido ao uso, provoca redução da potência emitida pela ponta da haste do aparelho.

## CONCLUSÕES

O método da mistura é uma alternativa viável, simples e de fácil realização para medir a perda de temperatura da água dentro da garrafa. Com esse procedimento torna-se possível a realização da calibração de aparelho ultrassom.

Com essa metodologia foi possível ajustar a energia do visor para uma energia real aplicada, que foram de 54,33 e 83,47.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FULLER, L. G. & GOH, T.G. Stability-energy relationships and their application to aggregation studies. *Canadian Journal of Soil Science*, 72:453-466, 1992.
- GREGORICH, E. G.; KACHANOSKI, R. G.; VORONEY, R. P. Ultrasonic Dispersion of aggregates: Distribution of organic matter in size fractions. *Canadian Journal of Soil Science*, Ontario, v. 68 n. 2, p. 395-403, 1988.
- HINDS, A. A.; LOWE, L. E. The use of ultrasonic probe in soil dispersion and the bulk isolation of organo-mineral complexes. *Canadian Journal of Soil Science*, Ontario, v.60, n. 2, p.389-392, may 1980.
- MELO, L. B. B.; OLIVEIRA, G. C.; SILVA, E. A.; SANTOS, J.B.; PEREIRA, C. Estabilidade de agregados de um Cambissolo háplico sob dois usos do solo. **7º Jornada científica e tecnológica do insulminas**. Poços de Caldas, 2015.
- MORRA, M. S.; BLANK, R. R.; FREEBORN, L. L.; SHAFLL, B. Fractionation of soil organo-mineral complexes using ultrasonic dispersion. *Journal of Soil Science*, Baltimore, v. 152, n. 4, p. 294-303, 1991.
- NORTH, P.F. Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 27, n. 4, p. 451-459, 1976.
- PRADO, E.A. F.; VITORINO, A. C.; OLIVEIRA, W. H.; ESPINDOLA, D. L.; ARANTES, H. P. Índice de dispersão de agregados de um Latossolo vermelho distroférico cultivado com cana sob aplicação de vinhaça. *Ciências Agrárias*, Londrina, v. 35, n. 4, p. 2347- 2356, 2014.

- RAINE, S. R.; SO, B. Energy based parameter for the assessment of aggregate bond energy. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 44, n. 2, p. 249-259, 1993.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da MOS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Rio de Janeiro; Embrapa Solos, p 86, 2000.
- SÁ, M. A. C.; LIMA J. SILVA.; M. L. N.; DIAS JUNIOR, M.S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v 23, n 03, p 525-531, 1999.
- SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; LAGE, G. Procedimento-padrão para medida da potência liberada pelo aparelho de ultra-som. Comunicação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 300-306, 2000.
- SÁ, M. A. C.; LAGE, G.; LIMA, J. M. Calibração da potência emitida pelo sonificador para uso em análises de solo. Lavras: Editora da UFLA, (Boletim Agropecuário, 41) p. 17, 2001.
- SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; MELLO, C. R. Nível de energia ultra-sônica para estudo da estabilidade de agregados de um Latossolo sob diferentes usos. *Pesq. Agropec. Bras*, Brasília, v.37, n.11, p.1649-1655, 2002.
- SÁ, M. A. C.; LIMA J. M. (Documento 39). Embrapa Cerrados. Energia ultra-sônica: Uma ferramenta em ciências do solo. Planaltina, DF, 2005.
- SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZZI, M.; HERNANI, L. C. Determinação da agregação do solo- metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. (Comunicado técnico, 184), ISSN-1679-0472, 2012.
- WATSON, J. R. Ultrasonic vibration as a method of soil dispersion. *Soil Fertil.* 34:127-134, 1971.

### **CAPÍTULO 3 - ENERGIA ULTRASSÔNICA ASSOCIADA A ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE UM LATOSSOLO SOB SISTEMAS DE MANEJO**

**RESUMO** - Os sistemas de manejo do solo exercem influência marcante na agregação do solo. Foram estudados macroagregados de diferentes classes de tamanhos de um Latossolo Vermelho argiloso, submetido por vinte anos, à sistemas de manejo do solo em um experimento de longa duração localizado em Dourados, MS. Foram coletados monólitos da camada de 0 a 10 cm para determinações da agregação do solo dos sistemas: a) lavoura em preparo convencional (SPC), b) lavoura em Sistema Plantio Direto (SPD), c) lavoura em rotação com pastagem em plantio direto (ILP) e d) pastagem permanente (PP). Foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e a percentagem de desagregação (%D) em função da aplicação de energia ultrassônica em níveis crescentes. Em todos os tratamentos, verificou-se diminuição da estabilidade e do DMP dos macroagregados com o aumento da energia aplicada. Os tratamentos com pastagem, permanente (PP) ou em rotação (ILP), tiveram a %D reduzida e maior DMP em relação aos sistemas SPD e SPC, em todas as classes de tamanho de macroagregados. Nos sistemas com lavoura em rotação com a pastagem, os macroagregados apresentaram maior resistência ao processo de desagregação, com energia inicial de  $16,30 \text{ J ml}^{-1}$  em relação aos sistemas apenas com lavoura. Com os resultados obtidos pode-se concluir quanto a viabilidade do uso da energia ultrassônica para estudos da agregação do solo, pois permite quantificar a energia necessária para o rompimento do solo e assim quantificar a energia associada à formação dos macroagregados.

**PALAVRAS-CHAVE:** matéria orgânica do solo, pastagem, plantio direto, urochloa

### **CHAPTER 3 - ULTRASONIC ENERGY ASSOCIATED TO THE STABILITY OF AGGREGATES OF A LATOSOL UNDER MANAGEMENT SYSTEMS**

**ABSTRACT** - Soil management systems exert a marked influence on soil aggregation. Macroaggregates of different size classes of a clay Red Latosol, submitted for twenty years to soil management systems were studied in a long - term experiment located in Dourados, MS. The monoliths were collected from the 0 to 10 cm layer for determination of the soil aggregation of the systems: a) conventional tillage (CT), b) no-tillage (NT), c) Rotation crop with no-tillage pasture (ICL) and (d) permanent pasture (PP). The mean weight diameter (MWD) and percentage of disaggregation (%D) were calculated as a function of the application of ultrasonic energy at increasing levels. In all treatments, the stability and the MWD of the macroaggregates were observed to decrease with the increase of the applied energy. The treatments with permanent pasture (PP) or in rotation (ICL), had reduced %D and higher MWD in relation to the NT and CT systems, in all macroaggregates size classes. In the systems with rotational crops with pasture, the macroaggregates presented greater resistance to the disintegration process, with initial energy of  $16.30 \text{ J ml}^{-1}$  in relation to the systems with only cropping. With the results obtained it is possible to conclude on the feasibility of the use of ultrasonic energy for studies of soil aggregation, since it allows quantifying the energy required for soil disruption and thus quantifying the energy associated with the formation of macroaggregates.

**KEY WORDS:** soil organic matter, pasture, no-tillage, urochloa

## INTRODUÇÃO

A qualidade estrutural e a estabilidade dos macroagregados do solo, entre outros atributos, são influenciados pelos sistemas de produção e de manejo do solo. A formação de macroagregados estáveis, é um dos principais responsáveis qualidade da estrutura do solo, (MIELNICZUK et al., 1997b). Solos bem estruturados possuem maior porosidade, o que resulta numa melhor percolação da água, além de melhores condições para o desenvolvimento do sistema radicular e maior resistência a processos erosivos do solo (SCHIMIGUEL et al., 2014).

A utilização do monocultivo contínuo, sob a forma convencional de preparo do solo é um dos principais causadores da perda de qualidade e, conseqüentemente, degradação dos solos agrícolas. Isso ocorre devido às elevadas perdas dos estoques iniciais da matéria orgânica do solo (MOS), uma vez que o revolvimento do solo ao fragmentar os agregados, expõe a MOS a ação de microrganismos decompositores. Nos sistemas conservacionistas sem o revolvimento do solo ocorre a formação de agregados de maior tamanho, contribuindo para a qualidade da estrutura do solo, uma vez que o tamanho dos agregados relaciona-se com a ocorrência de erosão e fixação de carbono ao solo (SCHIMIGUEL et al., 2014).

Outro ponto crucial é a contribuição das raízes na formação e estabilização dos macroagregados, principalmente as gramíneas. Essas plantas possuem sistema radicular abundante e de rápido crescimento, sendo capazes de agrupar fisicamente as partículas de solo e, em conjunto com a liberação de exsudatos, estimulam a cimentação dessas partículas e, conseqüentemente, a proteção e acúmulo de carbono em agregados do solo (SALTON et al., 2008). A utilização do Sistema Plantio Direto (SPD), integração lavoura-pecuária (ILP) e pastagem permanente (PP) podem contribuir para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, devido à presença da palha e das raízes que propiciam o aumento a MOS, e conseqüentemente a melhoria da estrutura do solo.

Uma das metodologias, envolve a energia ultrassônica, já utilizada há muitos anos em ciência do solo para avaliação da textura do solo (VITORINO et al., 2001); extração de argila para análises mineralógicas (SÁ 2002); estudo da matéria orgânica em diferentes frações de agregados (ROSCOE et al., 2002); avaliação da estabilidade de agregados (CERDÁ 2000, SÁ et al., 2002) e visando quantificar a energia necessária para dispersão dos agregados do solo (NORTH, 1976; GREGORICH et al., 1988; RAINE e

SO, 1993). Para Sá (2005) a grande vantagem de usar energia ultrassônica em relação aos métodos tradicionais, está na sua praticidade, por permitir o conhecimento da energia necessária para desagregar o solo. No entanto, esta técnica ainda carece de maior conhecimento visando sua aplicação de forma rotineira em laboratório de análises de solos.

Em função disso, o objetivo do presente estudo foi quantificar a energia necessária para rompimento de agregados de diferentes tamanhos, estimar a energia associada à estabilidade de agregados provenientes de diferentes sistemas de manejo do solo e avaliar a viabilidade da aplicação de energia ultrassônica.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Local do estudo**

Utilizou-se amostras de um experimento de longa duração localizado na área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, em Dourados, MS cujo solo é um Latossolo vermelho distroférico típico, caulínico (Embrapa, 2006), de textura muito argilosa com (680; 70; 180 g kg<sup>-1</sup> de argila, areia, e silte, respectivamente). O experimento foi implantado em 1995, localizando-se sob as coordenadas 22°14'S - 54°49'W e altitude de 430 metros. A área onde está o experimento, foi aberta e iniciado o cultivo na década de 1970, para produção de cereais e soja com preparo convencional do solo (Salton et al, 2015) e encontra-se em uma faixa de transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica sendo o clima, classificado como Cwa - clima mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos secos (FIETZ & FISCH, 2006).

### **Sistemas de manejo do solo**

As amostras do solo foram provenientes de quatro sistemas de manejo: 1) SPC: Lavoura em preparo convencional, com monocultivo de soja no verão e aveia no inverno e preparo do solo com grades de discos (pesada + niveladora); 2) SPD: Lavoura em Plantio Direto com rotação de culturas, tendo no verão as culturas de soja e milho. Durante o outono-inverno e primavera foram semeadas as culturas de trigo/aveia para produção de grãos e nabo/aveia para produção de palha, mantendo a sequência

nabo/milho/aveia/soja/trigo/soja; 3 e 4) ILP: Integração lavoura - pecuária com a alternância de lavoura (soja/aveia) com pastagem (*Urochloa decumbens*) conduzida em plantio direto. Sendo a área deste manejo subdividida em área com pastagem (ILP<sub>P</sub>) e área com lavoura (ILP<sub>L</sub>), que se alternam a cada dois anos. 5) PP: Pastagem permanente de *Urochloa decumbens* sob manejo controlado, com pressão de pastejo entre 7 e 8%, sem o uso de adubação ou corretivos.

### **Amostragem do solo**

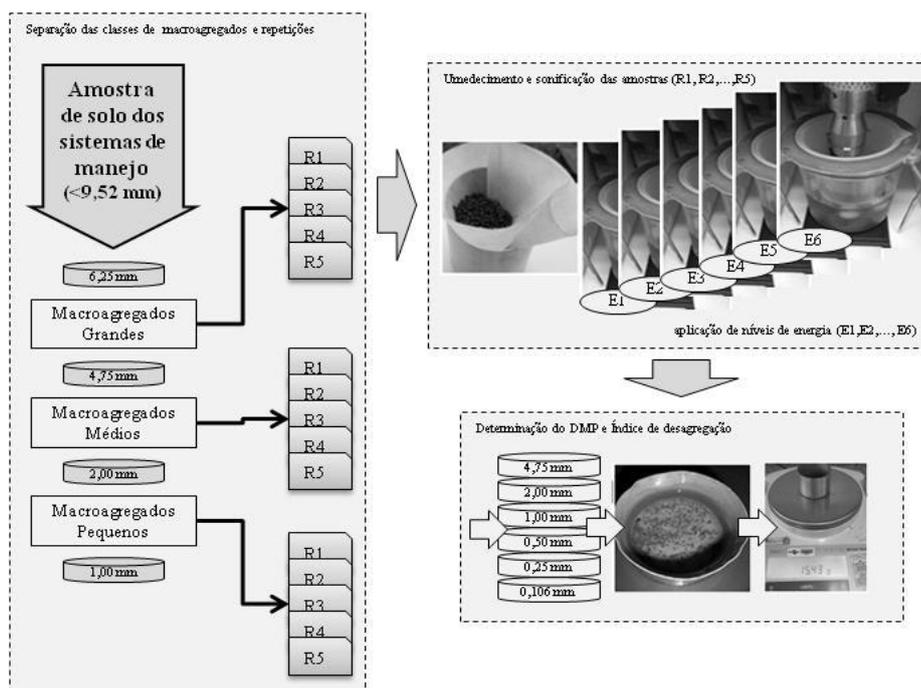
A amostragem foi realizada em maio de 2015, coletando-se amostras compostas em pequenas trincheiras, com uso de pá reta, para possibilitar a retirada de monólitos de aproximadamente 10 cm x 10 cm x 10 cm. Em laboratório, as amostras foram mantidas à sombra para o solo atingir o ponto de friabilidade, foram destorroadas manualmente, observando os pontos de fraqueza e até todo solo passar em peneira com abertura de malha em 9,52 mm.

As amostras contendo agregados < 9,52 mm foram subdivididas em diferentes classes denominadas de macroagregados grandes (6,25 a 4,75 mm), macroagregados médios (4,75 a 2,0 mm) e macroagregados pequenos (2,0 a 1,0 mm). Após, foram constituídas cinco repetições de 10 g que foram submetidas a seis níveis de energia no processo de sonificação (Figura 1).

### **Estabilidade de agregados com uso de ultrassom**

O procedimento adotado para determinar a estabilidade de agregados está representado de forma esquemática na Figura 1. Cada subamostra foi umedecida por capilaridade durante 16 horas. Posteriormente cada subamostra foi transferida para um bequer de com 500 mL de volume, contendo 200 mL de água destilada, (relação solo: água de 1:20), no qual foram realizadas sonificações com uma sonda marca Sonics®, modelo VC 750 operando a 20 kHz, nos tempos: 60; 300; 600; 900; 1.800; 2.400 segundos. A partir da prévia calibração do equipamento, estabeleceu-se que os tempos de sonificação correspondem às energias aplicadas (EA) de 16,30; 81,50; 162,99; 244,49; 488,97 e 651,96 J mL<sup>-1</sup>, respectivamente, na amplitude de 60% de regulagem do equipamento, calculadas conforme:

$$EA=[Pc*ts]/V$$



**Figura 1.** Esquema demonstrando o procedimento utilizado para separação de agregados em classes de tamanho, preparo de amostras e uso de energia ultrassônica e determinação do tamanho médio de agregados após aplicação de níveis de energia.

Onde: EA é a energia ultrassônica aplicada à amostra em (J mL); Pc é a potência emitida do aparelho (54,33W) na amplitude de 60%, calculada através de calibração prévia; ts é o tempo de sonificação (s); V é o volume da suspensão (mL).

A ponta da haste, com dimensões de 175 mm de comprimento por 20 mm de diâmetro, foi introduzida na suspensão a uma profundidade de 80 mm. Para reduzir o efeito da elevação da temperatura na amostra, o bequer foi colocado em banho de gelo a partir do tempo de 300 segundos, mantendo a temperatura da suspensão abaixo de 35 °C durante a sonificação, conforme Roscoe e Machado (2002).

Após cada sonificação, as amostras foram transferidas para um conjunto de peneiras, com abertura de malhas de 4,75; 2,0; 1,0; 0,500; 0,250; 0,106 mm, o qual foi submetido a 3 oscilações verticais em um recipiente com água, durante 5 segundos. O conteúdo das peneiras foi seco em estufa por 24 horas a 105° C e determinado a massa correspondente. Nas classes de macroagregados “pequenos” (2,0 a 1,0 mm) foi descontado a quantidade de areia presente nas amostras, através da dispersão do material retido em cada peneira em solução de NaCl (5g l<sup>-1</sup>). Com a massa resultante de cada classe calculou-se a distribuição percentual de agregados em cada classe de diâmetro e o diâmetro médio ponderado (DMP), conforme (Salton et al., 2012):

$$DMP = \sum_{i=1}^R (x_i \cdot w_i)$$

Onde,  $w_i$  = massa de cada classe em gramas e  $x_i$  = diâmetro médio das classes expresso em mm.

Para fim do presente estudo, considerou-se como tamanho médio inicial dos macroagregados ( $DMP_i$ ) para cada classe de tamanho, o valor médio do tamanho das peneiras.

Para calcular a percentagem de desagregação foi utilizada a equação:

$$\%D = 100 - (DMP_f * 100 / DMP_i)$$

onde:  $D$  (%) = Percentagem de desagregação da amostra em função da energia de sonificação (s);  $DMP_f$  = Diâmetro médio ponderado final e  $DMP_i$  = Diâmetro médio ponderado inicial.

### **Análise estatística**

Considerou-se um delineamento em blocos casualizados, com os cinco sistemas de manejo, seis níveis de energia (16,30; 81,50; 162,99; 244,49; 488,97 e 651,96 J mL<sup>-1</sup>), cinco repetições e três classes de tamanho dos macroagregados totalizando 450 amostras de solo.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, análise de variância, e ajuste de regressão, pelo teste Shapiro-Wilk. Os resultados de  $DMP_f$  e  $\%D$ , foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Verificou-se que os sistemas de manejo do solo influenciaram significativamente o tamanho médio dos agregados e a intensidade de desagregação. Em uma primeira análise, considerando-se os macroagregados na classe de tamanho de 1,00 a 9,52 mm, para todos os sistemas de manejo, a porcentagem de desagregação ( $\%D$ ), aumentou na medida que foram sendo aplicados níveis mais elevados de energia, (Tabela 1).

**Tabela 1.** Energia aplicada e desagregação (%D) de macroagregados (1,00 a 9,52 mm) oriundos de um LE argiloso submetido a sistemas de manejo durante 20 anos. Dourados, MS. 2016.

Tratamentos	%D											
	Energia (J ml <sup>-1</sup> )											
	16,30		81,50		162,99		244,49		488,97		651,96	
SPC	81,46	a	84,97	a	87,28	a	88,25	a	90,86	a	91,97	a
SPD	57,38	b	73,11	a	74,72	a	83,90	ab	84,87	a	87,59	a
ILP-L	35,02	c	42,19	b	47,45	b	57,30	b	71,45	ab	72,52	ab
ILP-P	26,53	c	37,08	b	44,55	b	54,87	bc	71,41	ab	69,51	ab
PP	19,48	c	23,71	b	25,20	b	31,72	c	45,32	b	48,98	b

Médias seguidas de letras diferentes entre os sistemas, diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPC: Preparo convencional, com monocultivo de soja no verão/aveia no inverno e preparo do solo usando grades de disco; SPD: Plantio direto com rotação de culturas, no verão soja/milho e outono/inverno/primavera trigo, aveia e nabo; ILP: Integração lavoura-pecuária com alternância soja/milho com a pastagem, *Urochloa decumbens* com ciclos de dois anos; PP: Pastagem permanente, *Urochloa decumbens* manejada em pastejo rotativo; %D: percentagem de desagregação.

No sistema de preparo convencional (SPC), verificaram-se os maiores valores de %D para todos os níveis de energia, enquanto que no sistema de pastagem permanente (PP) observou-se os menores valores. Os sistemas contendo lavouras ficaram em posições intermediárias, sendo que aqueles contendo pastagem em rotação (ILP<sub>L</sub> e ILP<sub>P</sub>) apresentaram valores mais próximos ao PP enquanto que o SPD aproximou-se do SPC. Assim, pode-se inferir que a presença da pastagem no sistema de manejo pode proporcionar maior estabilidade dos macroagregados.

O diâmetro médio ponderado (DMP) dos macroagregados sofreram influência dos níveis de energia, apresentando menores valores para o aumento da energia aplicada, tanto nos sistemas apenas com lavoura, quanto naqueles com pastagem (Tabela 2). Resultados semelhantes foram encontrados por Salton et al (2008), para esse mesmo experimento, porém com a determinação do DMP pelo método tradicional de agitação em água.

**Tabela 2.** Energia ultrassônica aplicada e o diâmetro médio dos agregados (DMP) oriundos de um LE argiloso submetido a sistemas de manejo durante 20 anos. Dourados, MS. 2016.

Sistemas de manejo	DMP (mm)											
	Energia (J ml <sup>-1</sup> )											
	16,30		81,50		162,99		244,49		488,97		651,96	
SPC	0,68	c	0,60	c	0,49	c	0,48	c	0,39	c	0,32	c
SPD	1,74	b	1,32	b	1,09	b	0,71	c	0,62	c	0,51	c
ILP-L	2,10	ab	1,90	b	1,90	b	1,54	b	1,06	b	1,32	ab
ILP-P	2,50	a	2,19	ab	1,87	b	1,58	b	1,17	b	1,11	b
PP	2,81	a	2,68	a	2,63	a	2,53	a	2,12	a	1,97	a

Médias seguidas de letras diferentes entre os sistemas, diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPC: Preparo convencional, com monocultivo de soja no verão/aveia no inverno e preparo do solo usando grades de disco; SPD: Plantio direto com rotação de culturas, no verão soja/milho e outono/inverno/primavera trigo, aveia e nabo; ILP: Integração lavoura-pecuária com alternância soja/milho com a pastagem, *Urochloa decumbens* com ciclos de dois anos; PP: Pastagem permanente, *Urochloa decumbens* manejada em pastejo rotativo; %D: percentagem de desagregação.

O maior valor de %D e o menor DMP observados para o SPC reflete o que se verifica de modo geral nas áreas sob este sistema de manejo, com o predomínio de macroagregados de menor diâmetro, deixando o solo mais suscetível aos processos erosivos (Wendling et al., 2005), enquanto que no SPD o DMP de maneira geral, foi duas vezes superior aos valores encontrados no SPC. Resultados semelhantes foram observados por Carpenedo e Mielniczuk (1990) e Salton et al. (2008), o que pode ser atribuído à não destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo do solo, e à proteção que a palha oferece à superfície do solo (Corrêa, 2002).

Em relação aos sistemas contendo pastagem, permanente (PP) ou em rotação com lavouras (ILP), observou-se nesses sistemas, maior DMP e menor %D, quando comparados aos sistemas apenas com lavouras. O sistema ILP quando na fase lavoura apresentou valores de DMP próximos ao verificado no SPD, sendo, possivelmente, decorrente da ausência de pastagem nos últimos dois anos. Porém, em estudos de Loss et al. (2011), em áreas de lavouras em com ILP sob plantio direto encontraram maiores valores de DMP do que em áreas em SPD, sem a pastagem. Na integração lavoura pecuária- pastagem (ILP<sub>P</sub>), os valores de DMP e %D permaneceram intermediários a ILP<sub>L</sub> e a pastagem permanente.

Verificou-se, na pastagem permanente (PP), valores superiores de DMP e maior estabilidade de agregados. Certamente influenciado pelo longo tempo com o cultivo da pastagem (20 anos). Conforme Carpenedo e Mielniczuk, (1990), o tipo de vegetação interfere na estruturação dos solos, ou seja, as gramíneas são mais eficientes em aumentar

e manter a estabilidade de agregados, por apresentarem um sistema radicular extenso e renovado constantemente.

Corroborando com estes resultados, Silva et al. (2015) estudando estabilidade de agregados em um Latossolo vermelho observaram que em sistemas como o ILP e ILPF, há uma tendência na melhoria da estabilidade de agregados com relação ao SPD somente com lavouras de grãos possivelmente, pelo elevado aporte de fitomassa e efeito da pastagem. Para esses autores, a qualidade estrutural e a estabilidade de agregados são afetadas pelos sistemas de uso e manejo do solo.

Para uma análise mais detalhada dos efeitos dos sistemas de manejo, os macroagregados foram subdivididos em três classes de tamanho: Pequenos ((2,0 a 1,0 mm), Médios (4,75 a 2,0 mm) e Grandes (6,25 a 4,75 mm). De maneira geral, a influência da energia ultrassônica na desagregação variou entre as classes de tamanho dos macroagregados para cada sistema de manejo. Observou-se que a energia necessária para desagregação é dependente do sistema de manejo do solo, assim, alguns sistemas são mais susceptíveis a eventos de degradação do solo (Tabela 3).

Quanto aos macroagregados pequenos, o sistema em preparo convencional (SPC) e plantio direto (SPD) apresentaram desagregação superior à 70% já na energia inicial de  $16,30 \text{ J mL}^{-1}$ . Enquanto que nos sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP<sub>L</sub> e LP<sub>P</sub>) e com a pastagem permanente (PP) os índices de desagregação foram inferiores à 30% (Quadro 3). Salton et al., (2008) afirmam que o uso contínuo e adequado de pastagem ao longo do tempo, com sistema radicular ativo e abundante, tem papel importante na formação e estabilização dos agregados, justificando a menor desagregação apresentada no presente estudo.

Quanto aos macroagregados de tamanho médio, verificou-se, para a menor energia aplicada, que os valores de desagregação estão mais discrepantes entre os sistemas de manejo, com diferenças significativas entre todos, mas com a mesma sequência apresentada para os da classe pequenos. Nos sistemas SPC e SPD, observa-se que os macroagregados da classe Pequenos foram mais resistentes à desagregação do que os médios e esses mais que os grandes, o que faz sentido considerando a energia de ligação entre os minerais e a menor presença de raízes.

**Tabela 3.** Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados de um LE argiloso de Dourados, MS submetido a sistemas de manejo durante 20 anos, para classes de tamanho de macroagregados e níveis crescentes de energia ultrassônica aplicada.

Energia J mL <sup>-1</sup>	Sistemas de manejo	Macroagregados grandes (DMPi = 5,500 mm)		Macroagregados médios (DMPi = 3,375 mm)		Macroagregados pequenos (DMPi = 1,500 mm)	
		DMP <sub>f</sub> mm	%D	DMP <sub>f</sub> mm	%D	DMP <sub>f</sub> mm	%D
		16,30	SPC	1,158 e	78,95 a	0,662 e	80,40 a
16,30	SPD	3,408 c	38,03 c	1,361 d	59,68 b	0,439 b	70,76 b
16,30	ILP <sub>L</sub>	2,916 d	46,99 b	2,286 c	32,25 c	1,113 a	25,83 c
16,30	ILP <sub>P</sub>	3,759 b	31,65 d	2,630 b	21,53 d	1,104 a	26,41 c
16,30	PP	4,440 a	19,28 e	2,843 a	15,75 e	1,149 a	23,42 c
81,50	SPC	1,007 d	81,69 a	0,701 c	79,23 a	0,090 c	93,99 a
81,50	SPD	2,920 c	46,90 b	0,863 c	78,64 a	0,169 c	88,71 a
81,50	ILP <sub>L</sub>	2,621 c	52,35 b	2,219 b	34,25 b	0,867 b	42,19 b
81,50	ILP <sub>P</sub>	3,496 b	36,44 c	2,149 b	36,33 b	0,923 ab	38,47 bc
81,50	PP	4,287 a	22,05 d	2,674 a	20,76 c	1,075 a	28,32 c
162,99	SPC	0,914 d	83,38 a	0,424 d	87,43 a	0,121 c	91,97 a
162,99	SPD	2,333 c	57,59 b	0,808 c	75,99 b	0,142 c	90,58 a
162,99	ILP <sub>L</sub>	2,615 bc	52,46 bc	2,295 a	32,00 d	0,800 b	46,68 b
162,99	ILP <sub>P</sub>	3,022 b	45,06 c	1,921 b	43,08 c	0,662 b	55,89 b
162,99	PP	4,337 a	21,15 d	2,455 a	27,27 d	1,085 a	27,67 c
244,49	SPC	0,796 d	85,52 a	0,560 c	83,42 a	0,073 c	95,14 a
244,49	SPD	1,868 c	59,42 b	0,206 c	93,89 a	0,067 c	95,50 a
244,49	ILP <sub>L</sub>	2,566 b	53,34 bc	1,497 b	55,63 b	0,568 b	62,14 b
244,49	ILP <sub>P</sub>	2,698 b	40,53 c	1,519 b	55,00 b	0,518 b	65,49 b
244,49	PP	4,428 a	19,50 d	2,351 a	30,36 c	0,820 a	45,32 c
488,97	SPC	0,781 d	85,81 a	0,330 c	90,23 a	0,067 b	95,53 a
488,97	SPD	1,479 cd	73,12 ab	0,265 c	92,15 a	0,116 b	92,30 a
488,97	ILP <sub>L</sub>	1,915 bc	65,19 bc	0,888 b	73,70 b	0,370 a	75,33 b
488,97	ILP <sub>P</sub>	2,550 b	53,63 c	0,803 b	76,21 b	0,147 b	90,21 a
488,97	PP	3,795 a	31,00 d	2,040 a	39,54 c	0,518 a	65,44 b
651,96	SPC	0,524 c	90,47 a	0,380 c	88,76 a	0,060 b	96,04 a
651,96	SPD	1,022 c	81,41 a	0,470 c	86,07 a	0,048 b	96,85 a
651,96	ILP <sub>L</sub>	2,667 b	51,51 b	1,205 b	64,29 b	0,090 b	94,04 a
651,96	ILP <sub>P</sub>	1,990 b	63,82 b	1,251 b	62,95 b	0,102 b	93,20 a
651,96	PP	3,532 a	35,79 c	2,006 a	40,55 c	0,360 a	76,00 b

Médias seguidas de letras diferentes entre os sistemas, diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. SPC: Preparo convencional, com monocultivo de soja no verão/aveia no inverno e preparo do solo usando grades de disco; SPD: Plantio direto com rotação de culturas, no verão soja/milho e outono/inverno/primavera trigo, aveia e nabo; ILP: Integração lavoura-pecuária com alternância soja/milho com a pastagem, *Urochloa decumbens* com ciclos de dois anos; PP: Pastagem permanente, *Urochloa decumbens* manejada em pastejo rotativo; DMP<sub>i</sub>: Diâmetro médio ponderado inicial; DMP<sub>f</sub>: Diâmetro médio ponderado final e %D: percentagem de desagregação.

Conforme Vezzani (2001), a maior desagregação dos macroagregados médios e grandes (2,0 a 6,25 mm) no SPC pode ser devido a maior susceptibilidade a ação

desestruturante do revolvimento do solo e ao efeito mecânico que ocasiona a quebra dos agregados maiores, fazendo com que não haja concentração de agregados nas classes maiores que 2 mm.

O sistema PP, apresentou maior resistência, sendo superior aos demais sistemas tanto nos macroagregados pequenos e médios, quanto nos grandes (Quadro 3). Esse comportamento pode estar associado a adição de matéria orgânica via resíduos e raízes suprimindo o solo e ao mesmo tempo aumentando a fertilidade. Dessa forma, a pastagem melhorou significativamente a qualidade do solo em resposta ao aumento da matéria orgânica ao longo do tempo, que segundo estudos de Colman (2014), para a mesma área experimental, o teor de matéria orgânica, na pastagem permanente foi de 39,7 g kg<sup>-1</sup>, 37,6 g kg<sup>-1</sup> na ILP, 32,2 g kg<sup>-1</sup> no SPD e 32,0 g kg<sup>-1</sup> no SPC. A melhoria da qualidade do solo em decorrência do aumento da matéria orgânica evidencia o efeito do manejo do solo na formação de agregados mais estáveis. Estes resultados corroboram os de Salton et al. (2002), ao avaliarem os sistemas de ILP, no qual observaram a ocorrência de aporte diferenciado de resíduos vegetais em relação aos sistemas convencional, tanto na superfície (parte aérea) quanto no perfil do solo (raízes).

Com relação aos macroagregados grandes, foi verificado uma expressiva diferença entre os sistemas de manejo, em que a %D no SPC apresentou elevada desagregação em todos os níveis de energia aplicados, de modo semelhante ao observado para as demais classes de tamanho. O reduzido aporte de palha na superfície e de raízes, pela sequência soja/aveia aliada a prática de revolvimento do solo por gradagens, resulta no rompimento dos macroagregados e intensificação da mineralização da MOS, refletindo-se claramente na baixa resistência da agregação.

Na ILP<sub>L</sub>, no SPD e ILP<sub>P</sub> a desagregação variou, apresentando valores em torno de 47% na ILP<sub>L</sub>, (38%) no SPD e (31%) na ILP<sub>P</sub>, com energia inicial de 16,30 J mL<sup>-1</sup>, indicando que o efeito do manejo e o sistema radicular das plantas parece ser fator predominante para formação de macroagregados estáveis nesse tamanho. Contudo, o sistema PP continuou sendo significativamente diferente em relação aos demais, permanecendo com menor desagregação, na energia de 16,30 J mL<sup>-1</sup>, evidenciando o efeito positivo da pastagem sobre a resistência de macroagregados do solo. O menor índice de desagregação indica a maior estabilidade de agregados do solo, o que segundo Santos (2008) é um indicativo de aumento da qualidade física do solo. O efeito do sistema radicular em desenvolvimento ocasiona a formação de macroagregados, mas o uso do solo de forma inadequada pode quebrar estas estruturas maiores recém-formadas,

reduzindo-as em diâmetros menores. O revolvimento do solo rompe a sequência de fenômenos que conduzem o sistema a ordenação em macroagregados (Vezzani, 2001).

Sistemas de manejo do solo, com a participação de pastagens com *Urochloa*, com aumento dos teores de matéria orgânica via resíduos, podem estar influenciando na formação de uma estrutura com maior quantidade de macroagregados, agregados resistentes e mais estáveis, pois a interação de troca de energia através das raízes, colmos e folhas dentro desse sistema é muito maior. Segundo Loss et al (2011), sistemas de ILP propiciam a manutenção da estrutura do solo e contribuem no aumento dos teores de matéria orgânica. A matéria orgânica é o atributo que mais representa a qualidade do solo, embora ela seja facilmente alterada pelas práticas de manejo. Corroborando com esses resultados, Rozane et al. (2010) ao avaliarem estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho sob diferentes manejos observaram aumento do diâmetro de agregados no sistema com pastagem ao comparar com o preparo convencional do solo.

A desagregação associada a baixos níveis de energia aplicada no SPC e no SPD em todas as classes de tamanhos, pode ser atribuída ao baixo grau de estruturação do solo. A facilidade na desagregação aumenta os riscos de erosão, ocasionando a perda de matéria orgânica do solo que é fundamental no processo de macroagregação, desencadeando assim o processo gradativo de perda da qualidade e degradação do solo.

Em relação a intensidade da energia necessária para o rompimento de agregados, já com níveis iniciais de energia, de  $16,30 \text{ J mL}^{-1}$ , o manejo do solo interfere no índice de desagregação, ou seja, todos os manejos apresentaram diferentes níveis de degradação. A partir desse nível de energia, o SPC e o SPD foram os mais afetados, o que sugere que os macroagregados destes sistemas encontra-se mais susceptíveis a processo de degradação do solo. Porém, com o aumento dos níveis de energia acima de  $81,50 \text{ J mL}^{-1}$  a desagregação de macroagregados tendem a estabilizar, isso ocorre para todos os sistemas de manejo estudados. Tisdall e Oades (1982) também observaram que menores níveis de energia representam melhor a distribuição da estabilidade de macroagregados, quando esta é influenciada pelo manejo do solo. Conforme Gregorich et al. (1988), para romper macroagregados são necessários de 300 a  $500 \text{ J mL}^{-1}$  de energia ultrassônica, diferente do encontrado neste presente estudo, pois, o índice de desagregação irá variar em função do tipo do solo, da quantidade de matéria orgânica e do sistema de manejo do solo. Corroborando com este estudo, Sá et al. (2002), buscando relacionar a influência do sistema de manejo do solo aos níveis de energia ultrassônica, identificaram o nível de energia ultrassônica mais adequado para se detectar diferenças nas estabilidades de

agregados quando influenciada pelo uso do solo, concluíram que níveis de energia a partir de  $18,1 \text{ J mL}^{-1}$  apresentam maior precisão na determinação das diferenças proporcionadas ao solo pelos tipos de uso, níveis abaixo não foram detectadas diferenças na estabilidade dos agregados. Porém, muitos estudos usam a dispersão total do solo para quantificar a desagregação, para Sá et al. (2000b) a dispersão total fornece poucas informações sobre o potencial de desagregação quando este, é influenciado pelo manejo do solo. Conforme estudos de De Cesare et al. (2000), para ocorrer a dispersão total do solo são necessários níveis de energia entre  $1.500$  e  $1.800 \text{ J mL}^{-1}$ .

Tais resultados evidenciam que os níveis de energia necessários para desagregação estão relacionados com a qualidade dos agregados, proporcionadas pelo tipo de uso do solo. Embora não se tratando do mesmo estudo, os resultados obtidos vieram a corroborar os de Melo et al. (2015) que, ao estudarem a estabilidade de agregados pelo método de sonificação em um Cambissolo háplico distrófico típico, sob dois sistemas de uso do solo, mata e pinus, concluíram que em níveis de energia inferiores a  $19,13 \text{ J mL}^{-1}$  o uso do solo não interferiu nos índices de desagregação, ou seja, os dois sistemas apresentaram a mesma degradação. Diferentemente do observado por esses autores, o presente estudo detectou influência do uso do solo na desagregação com níveis de energia inicial de  $16,30 \text{ J mL}^{-1}$ , abaixo do indicado pela literatura abordada nas diferentes classes de macroagregados.

## CONCLUSÕES

Diferentes sistemas de uso e manejo do solo influenciam o processo de agregação do solo, sendo que os sistemas com a presença de pastagem (permanente ou em rotação com lavouras) favorecem a formação de macroagregados mais estáveis e resistentes em relação a sistemas apenas com lavouras.

De modo geral, os macroagregados pequenos, médios e grandes dos sistemas que contem pastagem apresentam maior quantidade de energia associada à sua estabilidade que os macroagregados dos sistemas apenas com lavouras contínuas ou em rotação, com ou sem revolvimento periódico do solo.

No sistema de preparo convencional, níveis baixos de energia foram suficientes para romper cerca de 80% dos macroagregados, independentemente da classe de tamanho.

A utilização da energia ultrassônica apresentou viabilidade para uso em estudos da agregação do solo, sendo uma alternativa promissora para uso em análises rotineiras da qualidade física do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.14, n. 1, p. 99-105, 1990.

CERDÀ, A. Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 57, p. 159-166, 2000.

COLMAN, B. A. **Qualidade microbiológica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária em três ambientes de Mato Grosso do Sul**. Aquidauana, Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, 2014, 51 p. Dissertação (Mestrado).

CORREA, J. C. Efeitos de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho- amarelo em Querência, MT. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 203- 209, 2002.

DE CESARE, F.; GARZILLO, A. M. V.; BUONOCORE, V.; BADALUCCO, L. Use of sonication for measuring acid phosphatase activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 32, p. 825-832, 2000.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Centro nacional de pesquisa de solos, Rio de Janeiro. ed. 2, 2006.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. O clima da região de Dourados, MS. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, (Embrapa Agropecuária Oeste. **Documentos**, 85). p. 32, 2006.

GREGORICH, E.G.; KACHANOSKI, R. G.; VORONEY, R. P. Ultrasonic Dispersion of aggregates: Distribution of organic matter in size fractions. **Canadian Journal of Soil Science**, Ontario, v.68 n. 2 p. 395-403, 1988.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO. S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo em plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MELO, L. B. B.; OLIVEIRA, G. C.; SILVA, E. A.; SANTOS, J.B.; PEREIRA, C. Estabilidade de agregados de um Cambissolo háplico sob dois usos do solo. **7º Jornada científica e tecnológica do insulminas**. Poços de Caldas, 2015.

NORTH, P. F. Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.27, n.4, p.451-459, 1976.

RAINE, S.R.; SO, B. Na energy based parameter for the assessment of aggregate bond energy. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 44, n. 2, p. 249-259, 1993.

- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.de A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica, Dourados – MS: Embrapa Agropecuária Oeste e Embrapa Solos, 2002. 86 p.
- ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Biosciense Journal**, Uberlândia, v26, n.1, p. 24-32, 2010.
- SÁ, M. A. C.; LIMA J. M. (Documento 39). Embrapa Cerrados. Energia ultra-sônica: Uma ferramenta em ciências do solo. Planaltina, DF, 2005.
- SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; MELLO, C. R. Nível de energia ultra-sônica para estudo da estabilidade de agregados de um Latossolo sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.11, p.1649-1655, 2002.
- SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JÚNIOR, M. S. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1825-1834, set. 2000b.
- SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z. & OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, 69:32-34, 2002.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:11-21, 2008.
- SALTON, J. C.; PEZARICO, C. R.; TOMAZI; COMAS, C. C.; RICHETTI, A.; MERCANTE, F. M.; CONCENCO, G. 20 anos de experimentação em Integração Lavoura-Pecuária na Embrapa Agropecuária Oeste: relatório 1995-2015. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2015, 167 p. (**Documentos**).
- SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZZI, M.; HERNANI, L. C. Determinação da agregação do solo- metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. (**Comunicado técnico**, 184), ISSN-1679-0472, 2012.
- SANTOS, G.A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654 p.
- SCHIMIGUEL, R.; SÁ, J. C. M.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. **Revista Synergismus Scyentifica UTFP**. Londrina, 2014.
- SILVA, A. H.; GOULARTE, G. D.; FAVARRETO, N. CAVALIERI, K. M. V.; PARRON, L. M.; MARTINS, V. C.; SOUZA, M. T.; CABRAL, A. C. F.; LOPES, B. G. **Estabilidade de agregados do solo: implicações na avaliação da qualidade física em sistemas agrícolas complexos**. IV Reunião Paranaense de ciências do solo.2015.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:113-117, 1997b.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 141-163, 1982.
- VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001,184 p. Tese (Doutorado).

VITORINO, A. C. T.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M.S.; SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N. Níveis de energia ultra-sônica na dispersão de argilas em solos da região de Lavras. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v 25 n.6, 1330-1336 p. 2001.

WINDLING, B.; JUJSCH, I.; MENDOÇA, E, SÁ.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e Estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 487-494, 2005.

## APÊNDICE

**Apêndice 1.** Tabela com os valores das repetições da massa de agregados, médias das Repetições, desvio padrão, coeficiente de variação e DMP de macroagregados grandes (4,75 a 6,25mm), dos sistemas de lavoura em plantio direto, lavoura em plantio convencional, integração lavoura- pecuária com lavoura, integração lavoura-pecuária com pastagem e pastagem permanente.

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
SPD	16,30	4,75	3,78	3,23	4,56	2,71	5,54	3,96	1,00	23	3,41
		2,00	2,7	3,27	2,24	2,50	2,05	2,55	0,54	21	
		1,00	1,02	0,97	0,74	0,96	0,56	0,85	0,21	26	
		0,50	0,83	0,59	0,55	0,81	0,43	0,64	0,17	28	
		0,25	0,40	0,28	0,28	0,41	0,20	0,31	0,08	28	
		0,11	0,28	0,29	0,22	0,31	0,17	0,25	0,06	23	
		<0,106	0,99	1,37	1,41	2,30	1,05	1,42	0,22	18	
SPD	81,50	4,75	4,17	1,96	3,82	3,32	2,91	3,24	0,55	16	2,92
		2,00	2,19	2,42	2,4	2,24	2,04	2,26	0,15	7	
		1,00	1,09	0,93	1,0	0,71	0,69	0,88	0,20	23	
		0,50	0,87	0,70	0,71	0,59	0,73	0,72	0,11	16	
		0,25	0,41	0,49	0,34	0,4	0,54	0,44	0,08	20	
		0,11	0,23	0,43	0,25	0,38	0,37	0,33	0,08	26	
		<0,106	1,04	3,07	1,48	2,36	2,72	2,13	0,77	41	
SPD	162,99	4,75	2,22	3,4	1,82	1,74	1,83	2,20	0,70	32	2,33
		2,00	3,63	2,13	2,85	1,99	2,28	2,58	0,67	26	
		1,00	0,99	1,08	1,09	0,83	1,05	1,01	0,11	11	
		0,50	0,79	0,86	1,01	0,64	0,86	0,83	0,13	16	
		0,25	0,45	0,45	0,55	0,51	0,50	0,49	0,04	9	
		0,11	0,3	0,30	0,41	0,50	0,46	0,39	0,09	23	
		<0,106	1,62	1,78	2,27	3,79	3,02	2,50	0,91	36	
SPD	244,49	4,75	0,99	2,98	1,38	1,9	1,13	1,68	0,40	30	1,87
		2,00	2,68	2,95	2,43	2,82	1,94	2,56	0,39	16	
		1,00	1,01	1,14	1,4	1,37	1,0	1,18	0,22	18	
		0,50	0,82	0,90	1,18	0,98	0,72	0,92	0,20	22	
		0,25	0,56	0,43	0,62	0,51	0,51	0,53	0,05	10	
		0,11	0,28	0,49	0,44	0,36	0,51	0,42	0,10	25	
		<0,106	3,66	1,11	2,55	2,06	4,19	2,71	0,98	31	

Continua...

Continuação do apêndice 1

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
SPD	488,97	4,75	0,93	0,76	0,72	0,36	1,77	0,91	0,52	58	1,48
		2,00	2,48	2,29	1,31	1,29	3,01	2,08	0,76	36	
		1,00	1,48	0,94	0,50	0,94	1,45	1,06	0,41	39	
		0,50	1,24	0,88	0,52	0,85	0,94	0,89	0,26	29	
		0,25	0,71	0,67	0,52	0,63	0,45	0,60	0,11	18	
		0,11	0,53	0,56	0,58	0,63	0,40	0,54	0,09	16	
		<0,106	2,63	3,90	5,85	5,30	1,98	3,93	1,66	42	
SPD	651,96	4,75	0,8	0,77	0,36	0,16	0,93	0,60	0,33	54	1,02
		2,00	2,08	1,93	0,70	0,60	1,98	1,46	0,74	51	
		1,00	0,75	0,62	0,52	0,32	0,97	0,64	0,24	38	
		0,50	0,55	0,55	0,47	0,29	0,91	0,55	0,23	41	
		0,25	0,52	0,53	0,64	0,55	0,54	0,56	0,05	9	
		0,11	0,55	0,57	0,76	0,69	0,46	0,61	0,12	20	
		<0,106	4,75	5,03	6,55	7,39	4,21	5,59	1,33	24	
SPC	16,30	4,75	0,47	0,66	0,34	0,79	0,38	0,53	0,19	36	1,16
		2,00	1,18	1,31	1,3	1,11	0,97	1,17	0,14	12	
		1,00	1,07	1,42	1,67	1,42	1,18	1,35	0,23	17	
		0,50	2,32	2,28	2,34	2,41	2,39	2,35	0,05	2	
		0,25	1,41	1,48	1,46	1,78	1,91	1,61	0,22	14	
		0,11	1,32	1,21	1,38	1,15	1,41	1,29	0,11	9	
		<0,106	2,23	1,64	1,51	1,34	1,76	1,70	0,34	20	
SPC	81,50	4,75	0,52	0,15	0,32	0,13	0,2	0,26	0,16	61	1,00
		2,00	1,32	0,81	1,01	1,53	1,21	1,18	0,28	24	
		1,00	1,39	1,20	1,3	1,48	1,37	1,35	0,10	8	
		0,50	2,32	2,18	2,28	2,31	2,19	2,26	0,07	3	
		0,25	1,68	1,71	1,72	1,66	1,43	1,64	0,12	7	
		0,11	1,17	1,14	1,25	1,18	1,03	1,15	0,08	7	
		<0,106	1,60	2,81	2,12	1,71	2,57	2,16	0,53	24	
SPC	162,99	4,75	0,20	0,48	0,32	0,08	0,35	0,29	0,15	53	0,91
		2,00	1,06	1,30	0,71	0,64	0,84	0,91	0,27	30	
		1,00	1,56	1,37	1,07	1,08	1,48	1,31	0,23	17	
		0,50	2,33	2,13	2,46	1,77	2,11	2,16	0,26	12	
		0,25	1,44	1,50	1,80	1,44	1,25	1,49	0,20	13	
		0,11	1,16	1,09	1,42	1,05	1,18	1,18	0,14	12	
		<0,106	2,25	2,13	2,22	3,94	2,79	2,67	0,76	28	

Continua...

Continuação do apêndice 1

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			-----Massa de agregados (g) -----								
SPC	244,49	4,75	0,2	0,28	0,26	0	0	0,15	0,13	69	0,79
		2,00	0,68	0,71	0,48	0,90	0,9	0,72	0,17	25	
		1,00	1,28	0,98	1,21	1,81	1,33	1,17	0,15	13	
		0,50	2,73	2,02	2,58	1,06	2,20	2,34	0,33	14	
		0,25	1,85	1,73	1,92	2,17	1,58	1,70	0,15	8	
		0,11	1,21	1,12	1,37	1,44	1,17	1,26	0,11	9	
		<0,106	2,05	3,16	2,18	3,09	2,82	2,66	0,53	21	
SPC	488,97	4,75	0,17	0	0,13	0,32	0,19	0,31	0,08	41	0,78
		2,00	1,47	0,10	0,5	0,34	0,48	0,71	0,52	75	
		1,00	1,93	0,54	1,69	1,05	0,94	1,43	0,48	34	
		0,50	2,12	1,04	2,03	1,51	1,44	1,85	0,35	20	
		0,25	1,66	2,03	1,87	1,42	1,48	1,68	0,20	13	
		0,11	0,75	1,13	0,73	0,82	0,06	0,64	0,36	60	
		<0,106	1,90	5,16	3,05	4,54	5,41	3,38	1,56	42	
SPC	651,96	4,75	0,36	0	0	0	0	0,07	0,16	224	0,52
		2,00	0,47	0,10	0,17	0,72	0,25	0,34	0,25	74	
		1,00	0,87	0,54	0,87	1,51	0,69	0,90	0,37	41	
		0,50	1,53	1,04	1,75	1,95	1,55	1,56	0,34	22	
		0,25	1,65	2,03	2,2	2,17	2,39	2,09	0,28	13	
		0,11	0,86	1,13	1,04	0,80	1,04	0,97	0,14	14	
		<0,106	4,26	5,16	3,97	2,85	4,08	4,06	0,83	20	
ILP <sub>L</sub>	16,30	4,75	2,52	2,43	2,67	3,04	3,06	2,74	0,29	11	2,92
		2,00	3,07	3,37	3,29	3,18	3,02	3,19	0,15	5	
		1,00	1,66	1,58	1,54	1,52	1,40	1,54	0,09	6	
		0,50	1,19	1,07	0,93	0,95	1,10	1,05	0,11	10	
		0,25	0,34	0,32	0,31	0,33	0,35	0,33	0,02	5	
		0,11	0,26	0,32	0,21	0,19	0,21	0,24	0,05	22	
		<0,106	0,96	0,91	1,05	0,79	0,86	0,91	0,10	11	
ILP <sub>L</sub>	81,50	4,75	1,67	2,36	2,25	2,69	4,84	2,76	0,43	19	2,62
		2,00	3,37	2,88	2,50	3,2	3,07	3,00	0,38	13	
		1,00	1,73	1,75	1,99	1,45	0,54	1,49	0,22	13	
		0,50	1,34	1,27	1,35	1,0	0,37	1,07	0,16	13	
		0,25	0,49	0,41	0,50	0,38	0,15	0,39	0,06	13	
		0,11	0,19	0,25	0,29	0,23	0,10	0,21	0,04	17	
		<0,106	1,21	1,08	1,12	1,05	0,93	1,08	3,97	356	

Continua...

Continuação do apêndice 1

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1 R 2 R 3 R 4 R 5					m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
ILP <sub>L</sub>	162,99	4,75	1,48	1,73	2,19	3,05	2,46	2,18	0,62	28	2,61
		2,00	3,71	2,59	3,3	3,10	2,91	3,12	0,42	13	
		1,00	1,78	2,16	1,70	1,34	1,47	1,69	0,32	19	
		0,50	1,10	1,26	1,16	0,85	1,09	1,09	0,15	14	
		0,25	0,37	0,42	0,43	0,25	0,43	0,38	0,08	20	
		0,11	0,25	0,32	0,23	0,27	0,26	0,27	0,03	13	
		<0,106	1,31	1,52	0,99	1,14	1,38	1,27	0,21	16	
ILP <sub>L</sub>	244,49	4,75	2,48	2,45	1,86	1,66	2,27	2,14	0,37	17	2,58
		2,00	3,3	2,98	2,82	3,18	3,45	3,15	0,25	8	
		1,00	1,25	1,36	1,89	1,74	1,55	1,56	0,26	17	
		0,50	0,98	0,93	1,19	1,25	1,12	1,09	0,14	12	
		0,25	0,36	0,33	0,48	0,44	0,35	0,39	0,06	16	
		0,11	0,21	0,23	0,32	0,28	0,24	0,26	0,04	17	
		<0,106	1,42	1,72	1,44	1,45	1,02	1,41	0,25	18	
ILP <sub>L</sub>	488,97	4,75	0,95	0,51	1,97	0,82	2,27	1,30	0,73	48	1,91
		2,00	1,6	2,26	1,9	1,92	3,45	2,23	0,83	38	
		1,00	1,34	1,58	1,43	1,28	1,55	1,44	0,12	8	
		0,50	1,39	1,23	1,20	1,10	1,12	1,21	0,13	11	
		0,25	0,59	0,47	0,46	0,49	0,35	0,47	0,10	21	
		0,11	0,53	0,36	0,36	0,50	0,24	0,40	0,13	33	
		<0,106	3,60	3,59	2,68	3,89	1,02	2,96	1,29	46	
ILP <sub>L</sub>	651,96	4,75	2,65	2,76	2,75	4,33	2,53	3,00	0,11	4	2,67
		2,00	2,32	2,95	2,41	2,29	3,53	2,70	0,56	20	
		1,00	1,16	1,10	1,28	0,83	0,88	1,05	0,17	15	
		0,50	0,74	0,70	1,02	0,60	0,68	0,75	0,16	20	
		0,25	0,33	0,28	0,36	0,24	0,27	0,30	0,04	14	
		0,11	0,27	0,20	0,23	0,19	0,18	0,21	0,04	18	
		<0,106	2,53	2,01	1,95	1,52	1,93	1,99	0,29	14	
ILP <sub>P</sub>	16,30	4,75	4,97	4,48	4,21	4,83	4,67	4,63	0,30	6	3,76
		2,00	2,76	3,51	2,96	3,02	3,07	3,06	0,28	9	
		1,00	0,84	0,69	1,02	0,79	0,75	0,82	0,13	15	
		0,50	0,55	0,49	0,69	0,52	0,51	0,55	0,08	15	
		0,25	0,23	0,15	0,30	0,18	0,20	0,21	0,06	27	
		0,11	0,14	0,16	0,22	0,14	0,04	0,14	0,06	46	
		<0,106	0,51	0,52	0,60	0,52	0,76	0,58	0,11	18	

Continua...

Continuação do apêndice 1

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			-----Massa de agregados (g) -----								
ILP <sub>P</sub>	81,50	4,75	5,26	3,67	4,22	4,50	3,51	4,23	0,70	17	3,50
		2,00	2,57	3,05	2,71	2,49	3,21	2,81	0,31	11	
		1,00	0,71	1,23	1,04	1,12	1,05	1,03	0,19	19	
		0,50	0,45	0,79	0,73	0,68	0,6	0,65	0,13	20	
		0,25	0,16	0,30	0,33	0,30	0,25	0,27	0,07	25	
		0,11	0,15	0,21	0,23	0,17	0,23	0,20	0,04	18	
		<0,106	0,70	0,75	0,74	0,74	1,15	0,82	0,19	23	
ILP <sub>P</sub>	162,99	4,75	2,56	2,73	3,89	4,01	3,12	3,26	0,66	20	3,02
		2,00	3,14	2,97	3,02	2,47	2,8	2,88	0,26	9	
		1,00	1,31	1,27	1,03	0,92	1,16	1,14	0,16	14	
		0,50	0,96	0,86	0,68	0,69	0,87	0,81	0,12	15	
		0,25	0,39	0,41	0,25	0,25	0,35	0,33	0,08	23	
		0,11	0,27	0,27	0,17	0,24	0,27	0,24	0,04	18	
		<0,106	1,37	1,49	0,96	1,42	1,43	1,33	0,21	16	
ILP <sub>P</sub>	244,49	4,75	2,68	2,26	0,74	2,66	3,09	2,67	0,34	13	2,63
		2,00	2,42	2,75	2,78	2,74	2,58	2,62	0,16	6	
		1,00	1,09	1,10	1,42	1,59	0,83	1,15	0,32	28	
		0,50	1,03	0,85	1,13	1,03	0,98	0,97	0,09	9	
		0,25	0,45	0,40	0,52	0,42	0,38	0,41	0,03	7	
		0,11	0,38	0,29	0,42	0,28	0,26	0,30	0,05	18	
		<0,106	1,95	2,35	2,99	1,28	1,88	1,87	3,66	196	
ILP <sub>P</sub>	488,97	4,75	4,13	4,33	1,33	1,17	2,14	2,62	1,52	58	2,55
		2,00	1,87	2,91	3,3	2,59	2,25	2,58	0,56	22	
		1,00	0,75	0,70	1,28	1,10	1,09	0,98	0,25	25	
		0,50	0,62	0,48	0,90	0,94	0,87	0,76	0,20	26	
		0,25	0,30	0,21	0,42	0,51	0,46	0,38	0,12	32	
		0,11	0,26	0,17	0,33	0,45	0,41	0,32	0,11	35	
		<0,106	2,07	1,20	2,44	3,24	2,78	2,35	0,77	33	
ILP <sub>P</sub>	651,96	4,75	1,02	2,18	5,14	2,2	1,87	2,48	0,55	30	1,90
		2,00	1,81	2,0	1,62	2,08	2,83	2,07	0,45	21	
		1,00	0,83	0,88	0,54	1,09	1,03	0,87	0,12	13	
		0,50	0,81	0,78	0,49	1,05	1,03	0,83	0,14	16	
		0,25	0,51	0,41	0,25	0,48	0,45	0,42	0,04	9	
		0,11	0,58	0,39	0,20	0,39	0,42	0,40	0,09	20	
		<0,106	4,44	3,36	1,76	2,71	2,37	2,93	0,91	28	

Continua...

## Continuação do apêndice 1

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	----- Massa de agregados (g) -----							DP	CV %	DMP (mm)
			R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m				
PP	16,30	4,75	5,65	6,42	5,8	7,72	7,14	6,55	0,88	13	2,84	
		2,00	3,06	2,36	3,05	1,38	1,83	2,34	0,74	32		
		1,00	0,28	0,28	0,26	0,16	0,20	0,24	0,05	23		
		0,50	0,15	0,15	0,14	0,07	0,13	0,13	0,03	26		
		0,25	0,05	0,06	0,07	0,04	0,05	0,05	0,01	21		
		0,11	0,04	0,05	0,0	0,0	0,04	0,03	0,02	68		
		<0,106	0,77	0,68	0,68	0,63	0,61	0,67	0,06	9		
PP	81,50	4,75	5,9	5,81	6,02	6,65	6,51	6,18	0,38	6	2,67	
		2,00	2,85	2,83	2,4	2,12	2,13	2,47	0,36	15		
		1,00	0,11	0,31	0,27	0,21	0,29	0,24	0,08	34		
		0,50	0,16	0,20	0,17	0,18	0,18	0,18	0,01	8		
		0,25	0,08	0,10	0,06	0,07	0,06	0,07	0,02	23		
		0,11	0,07	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,01	13		
		<0,106	0,83	0,69	1,02	0,72	0,76	0,80	0,13	16		
PP	162,99	4,75	7,66	6,57	5,41	5,93	7,3	6,57	0,93	14	2,45	
		2,00	1,03	2,31	2,83	2,36	1,25	1,96	0,78	40		
		1,00	0,16	0,18	0,32	0,35	0,25	0,25	0,08	33		
		0,50	0,11	0,13	0,24	0,27	0,18	0,19	0,07	37		
		0,25	0,06	0,06	0,11	0,11	0,08	0,08	0,03	30		
		0,11	0,06	0,0	0,09	0,10	0,07	0,06	0,04	61		
		<0,106	0,92	0,75	1,00	0,88	0,87	0,88	0,09	10		
PP	244,49	4,75	6,87	6,34	7,35	6,67	6,81	6,81	0,37	5	2,35	
		2,00	1,78	1,91	1,19	1,99	1,68	1,71	0,31	18		
		1,00	0,24	0,26	0,20	0,25	0,27	0,24	0,03	11		
		0,50	0,16	0,18	0,16	0,16	0,20	0,17	0,02	10		
		0,25	0,06	0,08	0,09	0,10	0,08	0,08	0,01	18		
		0,11	0,01	0,08	0,02	0,06	0,05	0,04	0,03	65		
		<0,106	0,88	1,15	0,99	0,77	0,91	0,94	0,14	15		
PP	488,97	4,75	5,05	4,42	4,92	6,2	5,32	5,18	0,66	13	2,06	
		2,00	2,6	2,17	3,09	1,81	2,91	2,52	0,53	21		
		1,00	0,42	0,55	0,38	0,22	0,38	0,39	0,12	30		
		0,50	0,26	0,45	0,30	0,21	0,29	0,30	0,09	30		
		0,25	0,13	0,23	0,15	0,12	0,13	0,15	0,04	30		
		0,11	0,10	0,16	0,09	0,10	0,08	0,11	0,03	30		
		<0,106	1,44	2,02	1,07	1,34	0,89	1,35	0,43	32		

Continua...

Continuação do apêndice 1

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
PP	651,96	4,75	6,29	4,74	5,53	4,77	2,8	4,83	1,30	27	2,00
		2,00	1,91	1,92	2,17	2,45	2,9	2,27	0,42	18	
		1,00	0,24	0,38	0,27	0,55	0,74	0,44	0,21	48	
		0,50	0,22	0,39	0,20	0,41	0,59	0,36	0,16	44	
		0,25	0,10	0,22	0,12	0,15	0,27	0,17	0,07	41	
		0,11	0,06	0,17	0,10	0,12	0,26	0,14	0,08	54	
		<0,106	1,18	2,18	1,61	1,55	2,44	1,79	0,51	28	

**Apêndice 2.** Tabela com os valores das repetições da massa de agregados, médias das Repetições, desvio padrão, coeficiente de variação e DMP de macroagregados médios (2,00 a 4,75mm), dos sistemas de lavoura em plantio direto, lavoura em plantio convencional, integração lavoura- pecuária com lavoura, integração lavoura- pecuária com pastagem e pastagem permanente.

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
SPD	16,30	2,00	2,88	3,35	3,33	3,45	3,09	3,22	0,23	7	1,36
		1,00	0,96	1,18	0,97	1,02	1,31	1,12	0,16	14	
		0,50	0,67	0,76	0,76	0,86	0,95	0,80	0,11	13	
		0,25	0,64	0,49	0,54	0,65	0,30	0,52	0,14	27	
		0,11	0,61	0,60	0,53	0,55	0,50	0,56	0,05	8	
		<0,106	5,20	3,62	3,87	3,47	3,85	3,78	0,69	18	
SPD	81,50	2,00	1,32	1,73	1,84	2,36	0,67	1,58	0,43	24	0,86
		1,00	0,75	0,53	0,86	1,26	0,70	0,82	0,31	36	
		0,50	0,72	0,59	0,61	1,08	0,55	0,71	0,23	30	
		0,25	0,66	1,02	0,61	0,74	0,56	0,72	0,18	24	
		0,11	0,79	0,49	0,71	0,64	0,79	0,68	0,13	19	
		<0,106	5,76	5,64	5,37	3,92	0,73	5,48	0,85	16	
SPD	162,99	2,00	0,73	2,03	2,61	1,67	1,08	1,62	0,75	46	0,81
		1,00	0,84	0,91	1,46	0,96	0,66	0,97	0,30	31	
		0,50	0,70	0,75	0,99	0,78	0,40	0,72	0,21	29	
		0,25	0,62	0,70	0,63	0,53	0,54	0,60	0,07	12	
		0,11	0,78	0,67	0,53	0,71	0,63	0,66	0,09	14	
		<0,106	6,33	4,94	3,78	5,35	6,69	5,42	1,16	21	
SPD	244,49	2,00	0,08	0,53	0,17	1,67	0,13	0,52	0,21	90	0,20
		1,00	0,0	0,53	0,10	1,04	0,23	0,38	0,23	107	
		0,50	0,12	0,52	0,16	0,82	0,35	0,39	0,18	64	
		0,25	0,49	0,62	0,43	0,64	0,58	0,55	0,09	16	
		0,11	0,69	0,76	0,83	0,65	0,74	0,73	0,06	8	
		<0,106	8,62	7,04	8,31	5,18	7,97	7,42	0,68	9	
SPD	488,57	2,00	0,54	1,71	0,21	0,25	0,66	0,67	0,22	53	0,26
		1,00	0,27	0,91	0,09	0,21	0,26	0,35	0,08	40	
		0,50	0,23	0,80	0,17	0,31	0,34	0,37	0,08	29	
		0,25	0,53	0,59	0,49	0,55	0,51	0,53	0,03	5	
		0,11	0,66	0,75	0,81	0,70	0,76	0,74	0,07	9	
		<0,106	7,77	5,24	8,23	7,98	7,47	7,34	0,32	4	

Continua...

Continuação do apêndice 2

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
SPD	651,96	2,00	1,38	0,41	0,08	0,61	0,96	0,69	0,43	51	0,47
		1,00	0,89	0,24	0,03	0,38	0,51	0,41	0,28	55	
		0,50	0,77	0,26	0,12	0,43	0,6	0,44	0,22	43	
		0,25	0,68	0,56	0,48	0,59	0,60	0,58	0,05	8	
		0,11	0,73	0,78	0,78	0,76	0,76	0,76	0,02	3	
		<0,106	5,55	7,75	8,51	7,23	6,57	7,12	0,95	14	
SPC	16,30	2,00	0,74	0,68	0,56	0,74	0,75	0,69	0,08	12	0,66
		1,00	1,44	1,44	1,50	0,40	1,28	1,21	0,46	38	
		0,50	1,82	1,60	1,95	1,66	1,53	1,71	0,17	10	
		0,25	2,28	2,14	2,14	2,32	2,24	2,22	0,08	4	
		0,11	0,90	0,94	0,98	0,90	0,99	0,94	0,04	5	
		<0,106	2,82	3,20	2,87	3,98	3,21	3,22	0,46	14	
SPC	81,50	2,00	0,83	0,28	0,52	0,78	0,70	0,62	0,22	36	0,70
		1,00	1,33	1,41	1,38	1,98	1,52	1,52	0,26	17	
		0,50	1,97	1,73	2,15	2,15	1,66	1,93	0,23	12	
		0,25	2,36	2,05	2,82	2,30	2,18	2,34	0,29	12	
		0,11	0,94	0,94	0,63	0,85	0,97	0,87	0,14	16	
		<0,106	2,57	3,59	2,50	1,94	2,97	2,71	0,61	23	
SPC	162,99	2,00	0,20	0,17	0,50	0,13	0,33	0,27	0,15	57	0,42
		1,00	0,58	0,91	1,28	0,91	0,72	0,88	0,26	30	
		0,50	0,93	1,07	1,59	1,19	1,08	1,17	0,25	21	
		0,25	1,78	1,77	1,94	2,03	1,91	1,89	0,11	6	
		0,11	1,01	1,03	1,02	1,11	1,04	1,04	0,04	4	
		<0,106	5,50	5,05	3,67	4,63	4,92	4,75	0,68	14	
SPC	244,49	2,00	0,80	0,40	0,13	0,52	0,45	0,46	0,18	33	0,56
		1,00	1,40	0,68	2,28	1,02	0,80	1,24	0,32	32	
		0,50	2,01	1,24	2,92	1,42	1,35	1,79	0,34	23	
		0,25	2,51	2,11	3,05	2,07	1,88	2,32	0,26	12	
		0,11	0,90	0,88	1,34	0,99	0,83	0,99	0,07	7	
		<0,106	2,38	4,69	0,28	3,98	4,69	3,20	1,09	28	
SPC	488,97	2,00	0,12	0,10	0,25	0,20	0,63	0,26	0,22	83	0,39
		1,00	0,38	0,67	0,61	1,03	0,76	0,69	0,24	34	
		0,50	0,75	1,10	1,13	1,49	1,33	1,16	0,28	24	
		0,25	1,57	1,57	1,63	2,07	1,93	1,75	0,23	13	
		0,11	0,93	0,88	0,8	0,80	0,87	0,86	0,06	7	
		<0,106	6,25	5,68	5,58	4,41	4,48	5,28	0,80	15	

Continua...

Continuação do apêndice 2

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
SPC	651,96	2,00	0,27	0,15	0,27	1,10	0,24	0,41	0,06	24	0,38
		1,00	1,15	0,18	0,84	1,66	0,60	0,89	0,41	59	
		0,50	2,05	0,35	1,19	2,13	1,05	1,35	0,70	60	
		0,25	2,18	1,05	1,68	1,71	2,14	1,75	0,53	30	
		0,11	1,0	0,68	0,88	0,57	1,12	0,85	0,19	20	
		<0,106	3,35	7,59	5,14	2,83	4,85	4,75	1,76	34	
ILP <sub>L</sub>	16,30	2,00	4,97	5,74	5,69	6,55	5,67	5,72	0,56	10	2,29
		1,00	1,88	1,89	1,63	1,57	1,8	1,75	0,15	8	
		0,50	1,05	0,96	1,13	0,74	0,79	0,93	0,17	18	
		0,25	0,41	0,35	0,40	0,24	0,25	0,33	0,08	25	
		0,11	0,31	0,26	0,28	0,16	0,0	0,20	0,13	62	
		<0,106	1,38	0,80	0,87	0,74	1,49	1,06	0,35	33	
ILP <sub>L</sub>	81,50	2,00	5,86	5,02	5,94	5,59	4,86	5,45	0,49	9	2,22
		1,00	1,82	2,02	1,6	1,73	1,91	1,82	0,16	9	
		0,50	0,88	1,24	1,03	1,11	1,17	1,09	0,14	13	
		0,25	0,33	0,41	0,37	0,39	0,46	0,39	0,05	12	
		0,11	0,21	0,28	0,26	0,22	0,26	0,25	0,03	12	
		<0,106	0,90	1,03	0,80	0,96	1,34	1,01	0,20	20	
ILP <sub>L</sub>	162,99	2,00	3,37	6,09	6,3	5,03	6,15	5,89	0,58	10	2,29
		1,00	2,27	1,4	1,17	1,82	1,35	1,44	0,28	19	
		0,50	1,65	0,95	0,78	1,04	0,89	0,92	0,11	12	
		0,25	0,64	0,32	0,25	0,37	0,29	0,31	0,05	16	
		0,11	0,45	0,24	0,41	0,23	0,2	0,27	0,09	35	
		<0,106	1,62	1,00	1,09	1,51	1,12	1,18	0,23	19	
ILP <sub>L</sub>	244,49	2,00	2,63	3,92	3,63	2,95	2,56	3,14	0,61	19	1,50
		1,00	1,69	1,57	1,91	2,12	1,73	1,80	0,21	12	
		0,50	1,62	1,56	1,51	1,92	1,65	1,65	0,16	10	
		0,25	0,52	0,58	0,57	0,79	0,63	0,62	0,10	17	
		0,11	0,51	0,42	0,41	0,47	0,52	0,47	0,05	11	
		<0,106	3,03	1,95	1,97	1,75	2,91	2,32	0,60	26	
ILP <sub>L</sub>	488,97	2,00	0,84	1,75	1,14	1,99	2,92	1,95	0,74	38	0,94
		1,00	0,71	1,30	0,97	1,22	1,11	1,15	0,14	12	
		0,50	0,98	1,27	1,22	1,22	1,02	1,18	0,11	9	
		0,25	0,59	0,58	0,61	0,54	0,51	0,56	0,04	8	
		0,11	0,63	0,46	0,60	0,41	0,51	0,50	0,08	16	
		<0,106	6,25	4,64	5,46	4,62	3,93	4,66	0,63	13	

Continua...

Continuação do apêndice 2

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
ILP <sub>L</sub>	651,96	2,00	4,16	3,89	3,50	1,24	1,04	2,77	1,50	54	1,20
		1,00	1,63	0,97	1,33	0,79	0,53	1,05	0,44	41	
		0,50	1,17	0,77	1,07	0,87	0,61	0,90	0,23	25	
		0,25	0,43	0,35	0,45	0,48	0,40	0,42	0,05	12	
		0,11	0,34	0,40	0,35	0,50	0,54	0,43	0,09	21	
		<0,106	2,27	3,62	3,30	6,12	6,88	4,44	1,97	44	
ILP <sub>P</sub>	16,30	2,00	6,99	7,28	6,53	7,41	7,72	7,19	0,45	6	2,65
		1,00	1,19	0,91	1,31	1,04	0,77	1,04	0,22	21	
		0,50	0,73	0,73	0,92	0,58	0,40	0,67	0,19	29	
		0,25	0,31	0,25	0,36	0,23	0,15	0,26	0,08	31	
		0,11	0,15	0,15	0,23	0,16	0,10	0,16	0,05	29	
		<0,106	0,63	0,68	0,65	0,58	0,86	0,68	0,11	16	
ILP <sub>P</sub>	81,50	2,00	5,6	6,1	5,14	5,32	4,76	5,38	0,50	9	2,15
		1,00	1,44	1,41	1,58	1,46	1,85	1,55	0,18	12	
		0,50	0,96	0,63	0,93	1,08	1,20	0,96	0,21	22	
		0,25	0,39	0,26	0,38	0,47	0,51	0,40	0,10	24	
		0,11	0,27	0,20	0,35	0,30	0,32	0,29	0,06	20	
		<0,106	1,34	1,40	1,62	1,37	1,36	1,42	0,11	8	
ILP <sub>P</sub>	162,99	2,00	4,51	5,6	4,76	4,10	4,63	4,72	0,55	12	1,92
		1,00	1,68	1,35	1,51	1,49	1,23	1,45	0,17	12	
		0,50	1,05	0,92	1,03	1,19	0,93	1,02	0,11	11	
		0,25	0,43	0,39	0,45	0,51	0,41	0,44	0,05	11	
		0,11	0,36	0,26	0,30	0,39	0,43	0,35	0,07	20	
		<0,106	1,97	1,48	1,95	2,32	2,37	2,02	0,36	18	
ILP <sub>P</sub>	244,49	2,00	3,84	2,72	6,21	2,74	4,66	3,49	0,94	27	1,52
		1,00	1,57	1,31	1,19	1,4	1,45	1,43	0,11	8	
		0,50	1,18	1,05	0,69	1,05	1,08	1,09	0,06	6	
		0,25	0,54	0,55	0,29	0,55	0,50	0,54	0,02	4	
		0,11	0,45	0,52	0,18	0,49	0,40	0,47	0,05	11	
		<0,106	2,42	3,85	1,04	3,77	1,91	2,99	0,97	33	
ILP <sub>P</sub>	488,97	2,00	1,66	1,62	1,79	2,23	1,66	1,79	0,25	14	0,85
		1,00	0,88	0,85	0,72	0,94	0,84	0,85	0,08	10	
		0,50	0,87	0,68	0,64	0,96	0,76	0,78	0,13	17	
		0,25	0,55	0,43	0,46	0,62	0,51	0,51	0,08	15	
		0,11	0,71	0,60	0,70	0,64	0,66	0,66	0,04	7	
		<0,106	5,33	5,82	5,69	4,61	5,57	5,40	0,48	9	

Continua...

Continuação do apêndice 2

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) ----								
ILP <sub>P</sub>	651,96	2,00	2,82	3,56	3,43	1,88	2,24	2,79	0,73	26	1,25
		1,00	1,14	1,39	1,25	1,15	1,06	1,20	0,13	11	
		0,50	1,02	1,23	0,95	0,99	1,15	1,07	0,12	11	
		0,25	0,55	0,58	0,47	0,57	0,59	0,55	0,05	9	
		0,11	0,53	0,45	0,46	0,56	0,63	0,53	0,07	14	
		<0,106	3,94	2,79	3,44	4,85	4,33	3,87	0,80	21	
PP	16,30	2,00	7,92	7,84	8,11	8,05	8,28	8,04	0,17	2	2,84
		1,00	0,71	0,78	0,59	0,72	0,55	0,67	0,10	14	
		0,50	0,3	0,32	0,28	0,24	0,22	0,27	0,04	15	
		0,25	0,11	0,12	0,10	0,09	0,03	0,09	0,04	39	
		0,11	0,07	0,05	0,08	0,0	0,06	0,05	0,03	60	
		<0,106	0,89	0,89	0,84	0,90	0,86	0,88	0,03	3	
PP	81,50	2,00	6,95	7,70	7,60	7,76	7,30	7,46	0,34	5	2,67
		1,00	0,71	0,77	0,77	0,69	0,81	0,75	0,05	7	
		0,50	0,44	0,35	0,38	0,34	0,48	0,40	0,06	15	
		0,25	0,19	0,14	0,13	0,13	0,15	0,15	0,02	17	
		0,11	0,13	0,13	0,08	0,09	0,13	0,11	0,02	22	
		<0,106	1,58	0,91	1,04	0,99	1,13	1,13	0,26	23	
PP	162,99	2,00	6,59	6,53	7,13	6,45	6,65	6,67	0,27	4	2,45
		1,00	0,86	0,91	0,90	0,99	1,07	0,95	0,08	9	
		0,50	0,57	0,58	0,52	0,63	0,56	0,57	0,04	7	
		0,25	0,20	0,23	0,21	0,25	0,24	0,23	0,02	9	
		0,11	0,17	0,07	0,14	0,17	0,18	0,15	0,05	31	
		<0,106	1,61	1,68	1,10	1,51	1,30	1,44	0,24	17	
PP	244,49	2,00	7,02	7,29	6,69	5,42	5,4	6,36	0,90	14	2,35
		1,00	0,92	0,86	0,88	0,94	1,03	0,93	0,07	7	
		0,50	0,48	0,45	0,50	0,65	0,69	0,55	0,11	20	
		0,25	0,21	0,18	0,24	0,32	0,35	0,26	0,07	28	
		0,11	0,12	0,10	0,19	0,29	0,23	0,19	0,08	42	
		<0,106	1,25	1,12	1,50	2,38	2,30	1,71	0,59	35	
PP	488,97	2,00	5,25	6,62	5,56	5,05	5,57	5,61	0,61	11	2,06
		1,00	0,68	0,59	0,83	0,96	0,65	0,74	0,15	20	
		0,25	0,51	0,41	0,44	0,63	0,44	0,49	0,09	18	
		0,50	0,30	0,18	0,25	0,28	0,25	0,25	0,05	18	
		0,11	0,27	0,18	0,20	0,28	0,08	0,20	0,08	40	
		<0,106	2,99	2,02	2,72	2,80	3,01	2,71	0,40	15	

Continua...

Continuação do apêndice 2

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
		2,00	6,32	6,5	5,94	3,39	5,17	5,46	1,27	23	
		1,00	0,48	0,65	0,78	0,78	0,72	0,68	0,12	18	
PP	651,96	0,50	0,36	0,41	0,46	0,50	0,43	0,43	0,05	12	2,00
		0,25	0,18	0,19	0,21	0,25	0,20	0,21	0,03	13	
		0,11	0,14	0,17	0,19	0,24	0,38	0,22	0,09	42	
		<0,106	2,52	2,08	2,42	4,84	3,10	2,99	1,10	37	

**Apêndice 3.** Tabela com os valores das repetições da massa de agregados, médias das Repetições, desvio padrão, coeficiente de variação e DMP de macroagregados pequenos (1,00 a 2,00 mm), dos sistemas de lavoura em plantio direto, lavoura em plantio convencional, integração lavoura- pecuária com lavoura, integração lavoura- pecuária com pastagem e pastagem permanente.

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	-----Massa de agregados (g) -----						DP	CV %	DMP (mm)
			R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m			
SPD	16,30	1,00	3,52	3,86	2,71	2,46	1,87	2,87	0,81	28	0,57
		0,50	1,26	1,22	0,79	1,04	0,66	0,99	0,26	26	
		0,25	0,69	0,65	0,59	0,71	0,62	0,60	0,05	8	
		0,11	0,75	0,75	0,71	0,88	0,78	0,71	0,06	8	
		<0,106	3,78	3,52	5,20	4,91	6,07	4,66	1,05	22	
SPD	81,50	1,00	0,88	1,13	0,71	1,50	1,38	1,11	0,33	30	0,28
		0,50	0,45	0,48	0,46	0,84	0,55	0,55	0,16	29	
		0,25	0,60	0,57	0,57	0,59	0,56	0,53	0,02	3	
		0,11	0,81	0,82	0,83	0,92	0,82	0,77	0,05	5	
		<0,106	7,26	7,00	7,43	6,15	6,69	6,87	0,51	7	
SPD	162,99	1,00	0,35	0,42	0,16	2,17	1,58	0,93	0,89	95	0,25
		0,50	0,38	0,25	0,11	1,18	0,81	0,54	0,44	81	
		0,25	0,46	0,45	0,40	0,84	0,63	0,51	0,18	33	
		0,11	0,75	0,73	0,78	0,84	0,75	0,70	0,04	6	
		<0,106	8,06	8,15	8,55	4,97	6,23	7,15	1,53	21	
SPD	244,49	1,00	0,54	0,51	0,27	0,72	0,22	0,44	0,21	46	0,15
		0,50	0,28	0,28	0,18	0,35	0,13	0,24	0,09	36	
		0,25	0,41	0,52	0,46	0,49	0,43	0,41	0,04	10	
		0,11	0,86	0,74	0,75	0,69	0,71	0,68	0,07	9	
		<0,106	7,91	7,95	8,34	7,75	8,51	8,05	0,32	4	
SPD	488,49	1,00	0,24	0,67	0,84	1,0	0,99	0,67	0,36	47	0,22
		0,50	0,16	0,27	0,51	0,50	0,79	0,42	0,26	53	
		0,25	0,42	0,42	0,53	0,57	0,62	0,52	0,09	16	
		0,11	0,66	0,78	0,74	0,75	0,76	0,73	0,05	6	
		<0,106	8,52	7,86	7,38	7,18	6,84	7,65	0,73	10	
SPD	651,96	1,00	1,7	0,67	0,16	0,31	0,14	0,60	0,25	77	0,13
		0,50	0,81	0,27	0,14	0,25	0,09	0,31	0,09	46	
		0,25	0,7	0,42	0,47	0,48	0,42	0,50	0,03	7	
		0,11	0,75	0,78	0,73	0,72	0,74	0,74	0,03	4	
		<0,106	6,04	7,86	8,50	8,24	8,61	7,85	0,33	4	

Continua...

Continuação do apêndice 3

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1 R 2 R 3 R 4 R 5					m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
SPC	16,30	1,00	1,18	1,33	1,63	1,65	1,64	1,47	0,22	15	0,58
		0,50	2,75	3,05	3,39	3,07	2,48	2,94	0,35	12	
		0,25	2,90	3,14	2,72	2,62	2,70	2,76	0,21	7	
		0,11	1,27	0,99	0,85	1,18	0,96	0,99	0,17	16	
		<0,106	1,90	1,49	1,41	1,48	2,22	1,67	0,35	21	
SPC	81,50	1,00	0,37	0,60	1,03	0,47	0,56	0,59	0,25	42	0,32
		0,50	1,03	1,70	2,05	0,99	1,48	1,44	0,45	31	
		0,25	1,76	2,24	2,24	2,14	2,42	2,10	0,25	11	
		0,11	1,05	0,99	0,93	1,46	1,15	1,06	0,21	19	
		<0,106	5,79	4,47	3,75	4,94	4,39	4,64	0,76	16	
SPC	162,99	1,00	0,22	0,79	0,50	0,93	1,0	0,69	0,22	27	0,40
		0,50	0,79	1,80	1,25	2,47	2,75	1,81	0,68	33	
		0,25	1,28	1,55	1,93	2,83	2,84	2,09	0,65	28	
		0,11	0,67	0,74	0,82	1,28	0,98	0,90	0,24	25	
		<0,106	7,04	5,12	5,50	2,49	2,43	4,52	1,65	43	
SPC	244,49	1,00	0,58	0,19	0,36	0,45	1,33	0,58	0,16	41	0,22
		0,50	1,08	0,53	0,98	0,99	1,81	1,08	0,25	28	
		0,25	1,66	0,99	1,70	1,50	1,82	1,54	0,33	22	
		0,11	0,79	0,58	0,75	0,77	0,77	0,73	0,10	13	
		<0,106	5,89	7,71	6,21	6,29	4,23	6,07	0,81	12	
SPC	488,97	1,00	0,32	0,42	0,69	0,43	0,41	0,44	0,14	31	0,25
		0,50	0,57	1,30	1,20	1,07	1,03	1,02	0,28	27	
		0,25	1,3	1,88	1,54	1,82	1,73	1,59	0,24	14	
		0,11	0,79	0,90	0,75	0,77	1,05	0,80	0,12	15	
		<0,106	7,02	5,50	5,82	5,91	5,78	5,98	0,59	10	
SPC	651,96	1,00	0,51	0,51	0,44	0,25	0,31	0,39	0,12	29	0,23
		0,50	1,03	0,99	0,94	0,51	1,4	0,96	0,32	33	
		0,25	1,53	1,47	1,50	1,22	1,38	1,36	0,13	9	
		0,11	0,75	0,88	0,86	0,79	0,60	0,72	0,11	14	
		<0,106	6,18	6,15	6,26	7,23	6,31	6,40	0,45	7	
ILP <sub>L</sub>	16,30	1,00	7,38	7,05	7,40	6,69	8,27	7,34	0,59	8	1,23
		0,50	1,5	1,59	1,37	1,58	0,72	1,35	0,36	27	
		0,25	0,26	0,40	0,36	0,45	0,20	0,32	0,10	31	
		0,11	0,09	0,27	0,22	0,31	0,13	0,18	0,09	45	
		<0,106	0,77	0,69	0,65	0,97	0,68	0,72	0,13	17	

Continua...

Continuação do apêndice 3

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
ILP <sub>L</sub>	81,50	1,00	6,34	6,11	5,22	5,33	5,69	5,72	0,48	8	1,17
		0,50	1,66	1,6	2,08	1,67	1,79	1,76	0,19	11	
		0,25	0,5	0,52	0,62	0,43	0,53	0,50	0,07	13	
		0,11	0,32	0,35	0,38	0,38	0,38	0,33	0,03	7	
		<0,106	0,05	0,19	0,47	0,96	0,38	0,36	0,38	96	
ILP <sub>L</sub>	162,99	1,00	4,87	5,65	6,11	4,88	4,96	5,28	0,56	11	0,99
		0,50	2,35	2,08	1,65	1,96	2,10	2,02	0,25	13	
		0,25	0,76	0,66	0,48	0,63	0,62	0,61	0,10	16	
		0,11	0,48	0,42	0,30	0,45	0,38	0,38	0,07	17	
		<0,106	1,54	1,19	1,46	2,08	1,94	1,61	0,36	22	
ILP <sub>L</sub>	244,49	1,00	3,47	4,69	3,31	3,67	3,58	3,73	0,55	15	0,74
		0,50	1,48	1,69	2,04	1,70	1,83	1,74	0,21	12	
		0,25	0,57	0,58	0,58	0,52	0,69	0,57	0,06	11	
		0,11	0,53	0,42	0,46	0,49	0,47	0,45	0,04	9	
		<0,106	3,95	2,62	3,61	3,62	3,43	3,41	0,50	14	
ILP <sub>L</sub>	488,97	1,00	1,2	3,03	3,48	2,07	0,99	2,15	1,02	42	0,51
		0,50	1,01	1,07	1,28	1,24	0,71	1,06	0,13	11	
		0,25	0,61	0,50	0,56	0,63	0,51	0,56	0,06	10	
		0,11	0,57	0,49	0,49	0,71	0,62	0,58	0,10	18	
		<0,106	6,61	4,91	4,19	5,35	7,17	5,65	1,02	19	
ILP <sub>L</sub>	651,96	1,00	0,53	2,36	0,44	0,20	1,24	0,95	0,45	74	1,19
		0,50	0,55	1,51	0,64	0,26	1,01	0,79	0,31	50	
		0,25	0,3	0,85	0,39	0,33	0,47	0,47	0,08	20	
		0,11	0,46	0,77	0,46	0,52	0,50	0,54	0,03	6	
		<0,106	8,16	4,51	8,07	8,69	6,78	7,24	0,81	10	
ILP <sub>P</sub>	16,30	1,00	6,20	7,96	7,38	6,94	7,84	7,25	0,72	10	1,20
		0,50	1,43	0,71	1,11	1,32	0,83	1,08	0,31	29	
		0,25	0,60	0,23	0,25	0,44	0,29	0,33	0,16	43	
		0,11	0,44	0,27	0,38	0,34	0,21	0,27	0,09	28	
		<0,106	1,33	0,83	0,88	0,96	0,83	0,93	0,21	22	
ILP <sub>P</sub>	81,50	1,00	6,69	5,57	5,61	5,13	7,38	6,06	0,93	15	1,05
		0,50	1,10	1,29	1,66	1,74	0,93	1,34	0,35	26	
		0,25	0,31	0,46	0,42	0,61	0,33	0,39	0,12	28	
		0,11	0,29	0,37	0,44	0,51	0,22	0,31	0,12	32	
		<0,106	1,61	2,31	1,87	2,01	1,14	1,75	0,44	25	

Continua...

Continuação do apêndice 3

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	----- Massa de agregados (g) -----							DP	CV %	DMP (mm)
			R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m				
ILP <sub>P</sub>	162,99	1,00	4,84	4,96	7,20	3,15	4,49	4,93	0,83	19	0,80	
		0,50	1,68	1,44	0,97	0,78	1,45	1,26	0,39	29		
		0,25	0,58	0,46	0,35	0,31	0,53	0,45	0,12	25		
		0,11	0,49	0,42	0,20	0,61	0,45	0,43	0,08	17		
		<0,106	2,41	2,72	1,28	5,15	3,08	2,93	1,24	37		
ILP <sub>P</sub>	244,49	1,00	4,30	2,08	2,86	1,21	4,42	2,92	1,14	33	0,68	
		0,50	1,48	1,19	1,61	0,66	1,42	1,31	0,18	12		
		0,25	0,66	0,60	0,84	0,48	0,59	0,64	0,12	17		
		0,11	0,59	0,80	0,67	0,68	0,55	0,72	0,11	17		
		<0,106	2,97	5,33	4,02	6,97	3,02	4,41	1,11	29		
ILP <sub>P</sub>	488,97	1,00	1,38	0,71	0,50	1,21	1,58	1,08	0,37	31	0,30	
		0,50	0,91	0,42	0,60	0,66	0,57	0,63	0,21	32		
		0,25	0,66	0,29	0,42	0,48	0,41	0,45	0,15	34		
		0,11	0,73	0,90	0,62	0,68	0,63	0,71	0,12	16		
		<0,106	6,32	7,68	7,86	6,97	6,81	7,13	0,56	8		
ILP <sub>P</sub>	651,96	1,00	0,60	1,49	2,20	0,15	0,50	0,99	0,57	83	0,21	
		0,50	0,55	0,69	0,93	0,21	0,47	0,57	0,20	42		
		0,25	0,52	0,45	0,50	0,38	0,38	0,45	0,07	15		
		0,11	0,83	0,61	0,53	0,68	0,77	0,68	0,10	13		
		<0,106	7,50	6,76	5,84	8,58	7,88	7,31	0,76	10		
PP	16,30	1,00	7,58	7,48	7,36	7,81	7,86	7,59	0,21	3	1,23	
		0,50	0,87	0,94	0,97	0,9	0,87	0,90	0,04	5		
		0,25	0,20	0,23	0,20	0,19	0,16	0,18	0,03	13		
		0,11	0,15	0,14	0,19	0,13	0,10	0,12	0,03	23		
		<0,106	1,20	1,21	1,28	0,97	1,01	1,11	0,12	11		
PP	81,50	1,00	6,32	6,5	7,58	7,41	7,85	7,10	0,68	10	1,16	
		0,50	1,09	0,93	0,81	0,91	0,80	0,90	0,12	13		
		0,25	0,23	0,21	0,19	0,19	0,21	0,19	0,02	8		
		0,11	0,24	0,23	0,15	0,14	0,15	0,16	0,05	27		
		<0,106	2,12	2,13	1,27	1,35	0,99	1,55	0,52	33		
PP	162,99	1,00	5,56	7,37	7,02	7,31	7,09	6,87	0,17	2	1,16	
		0,50	1,03	0,74	1,0	0,95	0,64	0,87	0,17	21		
		0,25	0,34	0,21	0,26	0,24	0,24	0,26	0,02	9		
		0,11	0,27	0,13	0,22	0,15	0,19	0,19	0,04	23		
		<0,106	2,80	1,55	1,50	1,35	1,84	1,81	0,21	13		

Continua...

Continuação do apêndice 3

Sistemas	Energia (J mL <sup>-1</sup> )	Peneiras (mm)	R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	m	DP	CV %	DMP (mm)
			----- Massa de agregados (g) -----								
PP	244,49	1,00	4,46	5,96	4,33	6,01	6,48	5,42	0,98	18	0,93
		0,50	1,11	1,09	1,01	0,90	0,99	1,01	0,08	8	
		0,25	0,39	0,38	0,31	0,26	0,34	0,32	0,05	16	
		0,11	0,34	0,21	0,29	0,18	0,26	0,23	0,06	25	
		<0,106	3,70	2,36	4,06	2,65	1,93	2,92	0,90	31	
PP	488,97	1,00	3,85	3,63	4,18	1,79	3,82	3,43	0,95	28	0,62
		0,50	0,90	0,78	0,71	0,63	1,00	0,80	0,15	18	
		0,25	0,39	0,38	0,28	0,28	0,40	0,33	0,06	18	
		0,11	0,36	0,44	0,29	0,33	0,46	0,35	0,07	19	
		<0,106	4,50	4,77	4,54	6,97	4,32	5,00	1,10	22	
PP	651,96	1,00	2,45	1,39	2,36	3,43	6,48	2,07	0,83	35	0,46
		0,50	0,78	0,83	0,63	0,77	0,99	0,69	0,09	11	
		0,25	0,30	0,30	0,29	0,32	0,34	0,28	0,01	4	
		0,11	0,31	0,35	0,36	0,36	0,26	0,35	0,02	7	
		<0,106	6,16	7,13	6,36	5,12	1,93	6,61	0,83	13	

**Apêndice 4.** Valores da energia aplicada, diâmetro médio ponderado (DMP), DMP inicial (DMPi), DMP final (DMPf) e desagregação do solo (%D), para classes de tamanho de macroagregados dos sistemas de lavoura em plantio direto, lavoura em plantio convencional, integração lavoura- pecuária com lavoura, integração lavoura- pecuária com pastagem e pastagem permanente.

Energia J ML <sup>-1</sup>	Sistemas de manejo	Macroagregados grandes (DMPi = 5,500 mm)		Macroagregados médios (DMPi = 3,375 mm)		Macroagregados pequenos (DMPi = 1,500 mm)	
		DMP <sub>f</sub> mm	%D	DMP <sub>f</sub> mm	%D	DMP <sub>f</sub> mm	%D
16,30	SPC	1,158	78,95	0,662	80,40	0,224	85,03
16,30	SPD	3,408	38,03	1,361	59,68	0,439	70,76
16,30	ILP <sub>L</sub>	2,916	46,99	2,286	32,25	1,113	25,83
16,30	ILP <sub>P</sub>	3,759	31,65	2,630	21,53	1,104	26,41
16,30	PP	4,440	19,28	2,843	15,75	1,149	23,42
81,50	SPC	1,007	81,69	0,701	79,23	0,090	93,99
81,50	SPD	2,920	46,90	0,863	78,64	0,169	88,71
81,50	ILP <sub>L</sub>	2,621	52,35	2,219	34,25	0,867	42,19
81,50	ILP <sub>P</sub>	3,496	36,44	2,149	36,33	0,923	38,47
81,50	PP	4,287	22,05	2,674	20,76	1,075	28,32
162,99	SPC	0,914	83,38	0,424	87,43	0,121	91,97
162,99	SPD	2,333	57,59	0,808	75,99	0,142	90,58
162,99	ILP <sub>L</sub>	2,615	52,46	2,295	32,00	0,800	46,68
162,99	ILP <sub>P</sub>	3,022	45,06	1,921	43,08	0,662	55,89
162,99	PP	4,337	21,15	2,455	27,27	1,085	27,67
244,49	SPC	0,796	85,52	0,560	83,42	0,073	95,14
244,49	SPD	1,868	59,42	0,206	93,89	0,067	95,50
244,49	ILP <sub>L</sub>	2,566	53,34	1,497	55,63	0,568	62,14
244,49	ILP <sub>P</sub>	2,698	40,53	1,519	55,00	0,518	65,49
244,49	PP	4,428	19,50	2,351	30,36	0,820	45,32
488,97	SPC	0,781	85,81	0,330	90,23	0,067	95,53
488,97	SPD	1,479	73,12	0,265	92,15	0,116	92,30
488,97	ILP <sub>L</sub>	1,915	65,19	0,888	73,70	0,370	75,33
488,97	ILP <sub>P</sub>	2,550	53,63	0,803	76,21	0,147	90,21
488,97	PP	3,795	31,00	2,040	39,54	0,518	65,44
651,96	SPC	0,524	90,47	0,380	88,76	0,060	96,04
651,96	SPD	1,022	81,41	0,470	86,07	0,048	96,85
651,96	ILP <sub>L</sub>	2,667	51,51	1,205	64,29	0,090	94,04
651,96	ILP <sub>P</sub>	1,990	63,82	1,251	62,95	0,102	93,20
651,96	PP	3,532	35,79	2,006	40,55	0,360	76,00