

HEYDER FERREIRA NASCIMENTO

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS DE SOLO SOB CLIMA  
TEMPERADO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO UTILIZANDO ENERGIA  
ULTRASSÔNICA

Trabalho de conclusão de curso  
apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências  
do Programa de Graduação em  
Agronomia

Orientador: Professor Dr. Beno Wendling

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS - BRASIL

2014

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
INTRODUÇÃO.....	1
MATERIAL E MÉTODOS.....	4
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	6
CONCLUSÃO.....	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	10

## RESUMO

NASCIMENTO, HEYDER FERREIRA. **Análise da estabilidade dos agregados do solo sobre diferentes sistemas de cultivo utilizando energia ultrassônica.** 2014, Uberlândia: UFU, 2014. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Uberlândia.<sup>1</sup>

O objetivo deste trabalho foi avaliar estabilidade dos agregados de solo em diferentes sistemas de cultivo (lavoura, floresta e pecuária), com duas idades diferentes cada, utilizando energia ultrassônica correspondente à  $36,3 \text{ J mL}^{-1}$ . Além disso, comparar o comportamento da estabilidade de duas classes hierárquicas de agregados (micro e macro-agregados). O trabalho foi realizado na University of Natural Resources and Life Sciences, onde coletaram-se três repetições de amostras de agregados de cada sistema de cultivo e classificaram-nos quanto ao seu tamanho ( $>5000\mu\text{m}$  e  $>250\mu\text{m}$ ). Por análise foi utilizado 5g de agregados imerso em 200 mL de água destilada. Após cada sonificação os mesmos foram passados em peneiras de 5000, 2000, 1000, 500 e  $250\mu\text{m}$ , secados em estufa à  $105^\circ\text{C}$  por 24 horas e pesados para obter a porcentagem de solo retido em cada peneira. Com este nível de energia utilizado a estabilidade dos agregados decresceram na seguinte ordem: pastagem de 350 anos, floresta de 4000 anos, floresta de 350 anos, pastagem de 50 anos e culturas anuais de 350 anos e 4000 anos. Concluiu-se que a estabilidade de agregados foi influenciada pelos teores de carbono orgânico, visto que o teor de carbono orgânico decresceu na mesma ordem.

Termos para indexação: ultra-som, carbono, estrutura do solo, agregação do solo.

---

<sup>1</sup> Orientador: Beno Wendling – UFU (Orientador), Winfred E. H. Blum e Georg Lair – BOKU (Co-orientadores).

### **ABSTRACT**

**NASCIMENTO, HEYDER FERREIRA. Analysis of the aggregates soil stability on different cropping systems using ultrasonic energy.** 2014, Uberlândia: UFU, 2014. Bachelor work– Federal University of Uberlândia.<sup>2</sup>

The aim of this work was evaluate the aggregate stability of three different agriculture system (grassland, crop and forest), with two different age each one, using ultrasonic energy of  $36,3\text{JmL}^{-1}$ . Beyond that, compare the behaviour of the aggregate stability of two different classes (micro and macro-aggregates). The work was realized at the University of Natural Resources and Life Sciences, wicth were collected three repetition of soil of each agriculture system and than classicated with its size ( $>5000\mu\text{m}$  e  $>250\mu\text{m}$ ). The samples were used 5g of aggregates immersed in 200 mL of distillated water. After the sonification the samples were sieved on sieves of 5000, 2000,1000, 500 e  $250\mu\text{m}$ , dried in stove on  $105^{\circ}\text{C}$  for 24 hour and than weighted. The ultrasonic energy level makes the aggregates stability decline in the following order: grassland (350 years), forest (4000 years), forest (350 years), grassland (50 years), cropland (350 years) and cropland (4000 years). The organic matter influenced the aggregate stability, since that the organic carbon decline following the same way.

Index terms: ultrasound, carbon, soil structure, and soil aggregation.

---

<sup>2</sup> Guidance comitee: Beno Wendling – UFU (Major professor), Winfred E. H. Blum and Georg Lair – BOKU.

## **INTRODUÇÃO**

O solo é um recurso natural que deve ser manejado sustentavelmente para garantir o futuro da humanidade. Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação), agricultura sustentável consiste, “na conservação do solo, da água e dos recursos naturais e dos recursos genéticos animais e vegetais, além de não degradar o ambiente, ser tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável”. Dentro deste contexto, a estrutura do solo está intimamente relacionada com o manejo de seus recursos para sustentar a produtividade agrícola e a garantia do meio ambiente sustentavelmente equilibrado.

A estrutura do solo é caracterizada pela sua forma e estabilidade (Kay et al., 1988). A forma da estrutura do solo refere-se aos diferentes arranjos entre as partículas sólidas e os espaços vazios que existem entre eles em um determinado momento, enquanto que a estabilidade da estrutura do solo refere-se à habilidade do solo em manter estes arranjos unidos quando expostos a diferentes estresses (Angers e Carter, 1996).

Solos bem estruturados, normalmente, apresentam características desejadas para garantir boas produtividades, além de manter a qualidade do meio ambiente. Para que isto seja possível é necessária a presença de agregados estáveis. A estabilidade dos agregados do solo e os poros que formam entre eles afetam: o movimento e a armazenagem de água; a aeração; a erosão; a atividade biológica; e, o crescimento das raízes de plantas. Portanto, a estabilidade dos agregados do solo influenciam os processos físicos, químicos e biológicos de solos nativos e cultiváveis (Amézketa, 1999).

Desta maneira, manter a estabilidade dos agregados do solo é essencial para manter sua produtividade, minimizar a erosão e a degradação do solo, e, conseqüentemente, diminuir a poluição do meio ambiente. Arshad e Coen (1992) propuseram que a estabilidade dos agregados do solo são uma das principais propriedades que servem como indicador da qualidade do solo. Assim, analisar a estabilidade dos agregados do solo pode fornecer parâmetros, como a qualidade do solo, erodibilidade, compactação, entre outros.

Agregação do solo é um processo no qual agregados ou diferentes partículas do solo são unidas ou mantidas unidas por diferentes materiais de origem inorgânica e/ou orgânica. O processo de formação dos agregados do solo ocorre, normalmente, em virtude de forças

físicas; enquanto, a estabilidade dos agregados do solo ocorre em virtude de vários fatores como, por exemplo, a presença de agente estabilizantes inorgânicos e orgânicos (Lynch e Bragg, 1985; Oades, 1993; Dalal e Bridge, 1996).

As forças físicas envolvidas na formação dos agregados incluem: alternância entre secagem e molhamento do solo (regiões semiáridas e sub-úmidas); congelamento e descongelamento (regiões temperadas); ação compressiva e secagem das raízes; mecanismo alimentar da fauna do solo, principalmente, das minhocas, cupins e formigas. Enquanto que os agentes inorgânicos estabilizantes incluem: as argilas; metais polivalentes de cátions como  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ , e  $\text{Al}^{+3}$ ; óxidos e hidróxidos de Fe e Al; carbonatos de cálcio e magnésio.

Os agentes orgânicos estabilizantes são divididos em três grupos, sendo eles: 1) momentâneo, compostos que são rapidamente degradados pelos microrganismos e incluem os polissacarídeos de plantas e microrganismos; 2) temporário, caracterizado pelas raízes, hifas, e alguns fungos; e 3) persistente, constituído de materiais resistentes dificilmente degradados, tais como, cadeias húmicas aromáticas associadas a metais cátions (Tisdall e Oades, 1982).

A ordem hierárquica dos agregados do solo proposta por Tisdall e Oades (1982) foi:  $<0,2\mu\text{m}$ ,  $0,2-2\mu\text{m}$ ,  $2-20\mu\text{m}$ ,  $20-500\mu\text{m}$ , e  $>2000\mu\text{m}$  de diâmetro. Neste modelo, micro e macro-agregados são separados pelas unidades menores e maiores do que  $250\mu\text{m}$ , respectivamente. Além disso, um solo bem estruturado é caracterizado como aquele em que todas as ordens hierárquicas são bem desenvolvidas e estão estáveis contra a ação da água e agentes externos de estresse mecânico (Dexter, 1988).

Diferentes mecanismos de agregação operam, especificamente, para cada classe de agregados. Assim, macro-agregados, maiores do que  $250\mu\text{m}$  e, especialmente, aqueles maiores do que  $2\text{mm}$  de diâmetro, são mantidos unidos, principalmente, devido a finas raízes e hifas de fungos. Agregados de  $20-250\mu\text{m}$  consiste, normalmente, de partículas entre  $2-20\mu\text{m}$  de diâmetro ligadas por vários agentes cimentantes, tais como materiais orgânicos, óxidos cristalinos e aluminossilicatos altamente desordenados (Tisdall e Oades, 1982). Micro-agregados com diâmetro de  $2-20\mu\text{m}$  consistem de partículas menores que  $2\mu\text{m}$  de diâmetro ligadas por ligações orgânicas persistentes (restos de plantas de fungos com compostos inorgânicos). Unidades menores do que  $2\mu\text{m}$  de diâmetro consistem de partículas de argila mantidas unidas por agentes cimentantes inorgânicos e orgânicos e ligações eletrostáticas. Conseqüentemente, agregados de diferentes classes terão diferentes estabilidades. Dexter

(1988) concluiu que quanto melhor a classe hierárquica do agregado maior sua força interna comparada as classes com maior diâmetro.

Atualmente, há vários métodos para analisar a estabilidade dos agregados do solo (Jastrow e Miller, 1991). A razão para a existência de tantos métodos diferentes pode ser explicada pelo fato de haver de vários mecanismos para produzir a desestabilização, além de diferentes escalas para determinar sua estabilidade.

A utilização da energia ultrassônica vem sendo efetivamente utilizada na ciência do solo a partir da segunda metade do século XX, conforme o trabalho de Edwards e Bremner (1967) no qual observaram a dispersão total do solo sem o uso de dispersantes químicos (Christensen, 1992). Atualmente, a energia ultrassônica tem sido utilizada para os mais variados propósitos, como exemplo, avaliação da textura do solo (Vitorino et al., 2001); extração de argila para análise mineralógica (Sá, 2002); estudo da matéria orgânica em diferentes frações de agregados (Christensen, 1985, 1986, 1987; Roscoe et al., 2000) e em fracionamento propriamente dito (Edwards, Bremner, 1967; Gregorich et al., 1988; Morra et al., 1991); para a avaliação de salinização (Mulyar e Minkin, 1993); estudos de atividade enzimática e conteúdo de ATP no solo (De Cesare et al., 2000) e na avaliação da estabilidade de agregados do solo (North, 1979; Fuller e Goh, 1992; Raine e So, 1993, 1994; Tippkötter, 1994; Barral et al., 1998; Sá et al., 1999; Cerdà, 2000; Sá et al., 2000a), sendo ainda propostos modelos para estimativa da erodibilidade do solo a partir da estabilidade de agregados determinadas por ultrassom (Sá et al., 2002; Sá et al., 2004).

A quebra dos agregados do solo a partir da sonificação é causada pela cavitação, ou seja, pela formação de bolhas de ar no líquido, que ocorre principalmente na superfície dos agregados e em suas fendas e linhas de fraqueza (Tippkötter, 1994). Esse processo pode ser dividido em três etapas: nucleação (formação de bolhas microscópicas), crescimento e implosão (colapso) das bolhas (Christensen, 1992).

A utilização da energia ultrassônica na avaliação da estabilidade dos agregados do solo é bastante promissora em virtude da capacidade de mensuração da energia aplicada, proporcionando assim uma base de comparação entre trabalhos que relacionam a quebra dos agregados sobre diferentes condições.

De acordo com Saly (1967), a exposição à energia ultrassônica não destrói as partículas elementares do solo, ocasiona apenas a quebra de agregados e conseqüentemente dispersão.

Estudos prévios demonstram ser necessário, em geral, entre 1500 e 1800 J mL<sup>-1</sup> para promover a total dispersão do solo (Gregorich et al., 1988; Christensen, 1992; De Cesare et al., 2000). Entretanto, a energia necessária para dispersão total fornece poucas informações sobre o potencial de desagregação influenciado pelo manejo (North, 1979; Raine e So, 1993; Sá et al., 2000).

Segundo Gregorich (1988) são necessários de 300 a 500 J mL<sup>-1</sup> para destruir macroagregados, os quais, segundo Tisdall e Oades (1982), tem a estabilidade influenciada pelo manejo. Sá et al. (2002), concluíram que a melhor faixa de energia ultrassônica para se detectar a estabilidade de agregados está entre 30 e 90 J mL<sup>-1</sup>.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar estabilidade dos agregados do solo em diferentes sistemas de cultivo (lavoura, floresta e pecuária) com diferentes idades, sobre determinada energia ultrassônica. Além de analisar o comportamento dos agregados em duas classes hierárquicas diferentes (micro e macro-agregados).

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no laboratório de ciências do solo da University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), situada na cidade de Viena, Áustria. Foram utilizados três sistemas de cultivo (culturas anuais, floresta e pastagem) cada uma com duas idades diferentes. As coordenadas geográficas dos locais, o tipo de solo e idade estimada da exploração de cada atividade encontram-se listadas na **Tabela 1**. O clima da região é do tipo Dfb na classificação de Köppen, caracterizado como clima temperado frio sem estação seca, com verão temperado, precipitação média anual de 685mm e temperatura média anual de 9,4°C.

**Tabela 1.** Tipo de sistema de cultivo e sua respectiva idade, coordenadas geográficas (latitude e longitude), tipo de solo segundo a nomenclatura internacional.

Sistema de cultivo (idade)	Latitude	Longitude	Tipo de Solo
Pastagem (50anos)	N 48° 07' 40,8"	E 16° 43' 35,5"	Fluvisol
Culturas anuais (350 anos)	N 48° 08' 29,2"	E 16° 41' 56,8"	Leptosol
Floresta (350 anos)	N 48° 08' 41,4"	E 16° 41' 56,8"	Leptosol
Pastagem (350 anos)	N 48° 08' 39,1"	E 16° 52' 33,7"	Leptosol
Floresta (4000 anos)	N 48° 13' 25,4"	E 16° 42' 12,1"	Chernozem
Culturas anuais (4000 anos)	N 48° 12' 40,5"	E 16° 37' 09,7"	Chernozem



As áreas estudadas situam-se num raio de 20Km, e são homogêneas quanto a pedoforma e declividade, que está entre 5% e 10%, e sob diferentes tipos de uso: pastagem de 50 anos; culturas anuais, sob preparo convencional de 350 anos; floresta com 350 anos; pastagem de 350 anos; floresta nativa de 4000 anos; e, por fim, culturas anuais, sob preparo convencional de 4000 anos. Em cada área foi coletada três sub-amostras ao acaso, que serviram como três repetições, a uma profundidade de 0-30 cm de profundidade, ao lado da linha de plantio na cultura anual, entre as touceiras de capim na área de pastagem e entre as árvores nas áreas de vegetação arbórea. A coleta das amostras seguiu os padrões ISO (ISO 10381-2).

Cada amostra foi seca ao ar, e passadas em peneiras de 5000, 2000, 1000, 500 e 250 $\mu$ m. Entretanto, foram analisadas apenas as amostras correspondentes as frações retidas nas peneiras de 5000 e 250 $\mu$ m. Em seguida, foi determinado a fração mineralógica do solo, o teor de nitrogênio, carbono orgânico e inorgânico e total, e relação C/N.

Toda análise de textura do solo foi feita pelo método da pipeta utilizando  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  para dispersão e  $\text{H}_2\text{O}_2$  para destruição da matéria orgânica (ISO 11277). Os teores de carbono e nitrogênio foram mensurados utilizando combustão à seco com Carlo Erba NA 1500 (ISO 10694; ISO 13878). SOM (soil organic matter) foi calculado a partir da seguinte equação:  $\text{C}_{\text{org}} \times 1,724$ , a suposta média da concentração de carbono na matéria orgânica de 58% (Scheffer e Schachtschabel, 2010). A determinação de  $\text{CaCO}_3$  foi de acordo com o método volumétrico de Scheibler (ISO 10693).

As sonificações foram realizadas com um equipamento de ultrassom desenvolvido pelo Instituto de Física da Universidade de BOKU, o qual é uma adaptação de um ultrassom utilizado para testar ensaios de materiais (Mayer 2006). A sonda apresenta um diâmetro de 30mm e realiza vibrações de ressonância em uma frequência de 20kHz, no qual conduzem a emissão de ondas de pressão na solução contendo o solo. A amplitude da vibração é regulada com uma bobina de indução em um circuito eletrônico de malha fechada que a mantém constante e com uma elevada precisão. O aparelho forneceu uma potência nominal de 154W, correspondendo a uma potência real de  $120,9 \pm 3,1\text{W}$ , calculada a partir do procedimento padrão, baseado em técnicas calorimétricas, descritas por Sá et al. (2000b). Cada tratamento constituiu de agregados maiores do que 5000 $\mu$ m (macro-agregados) e 250 $\mu$ m (micro-agregados), com o objetivo de avaliar o comportamento da estabilidade dos agregados dentro de cada sistema de cultivo, cujo peso de cada amostra sonificada constituída de 5g de TFSA

(terra fina seca ao ar). As sonificações foram feitas em béquer com 200mL de água destilada na relação solo:água de 1:40 durante 60 segundos.

Segundo Sá et al. (2002), a melhor faixa de energia ultrasônica para detectar a estabilidade de agregados equivale a  $36,3\text{JmL}^{-1}$ , calculada segundo Sá et al. (2000b), pela equação:  $EA=(P_c t_s)/v$ , onde EA corresponde à energia-ultrasônica aplicada à amostra ( $\text{JmL}^{-1}$ );  $P_c$  é a potência (W) emitida pelo aparelho calculada através da calibração;  $t_s$  representa o tempo de sonificação (s); e  $v$  é o volume da suspensão (mL).

A ponta da haste do aparelho, com comprimento de 30mm, foi inserida na água a uma profundidade de 8mm. Cada amostra após a sonificação foi passada em peneiras correspondentes ao diâmetro de  $5000\mu\text{m}$ ,  $2000\mu\text{m}$ ,  $1000\mu\text{m}$ ,  $500\mu\text{m}$ ,  $250\mu\text{m}$  e  $20\mu\text{m}$ . O material retido em cada peneira foi secado em estufa por 24 horas a  $105^\circ\text{C}$  e pesado.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições, seis tipos de sistema de cultivo e dois tamanhos de agregados ( $5000\mu\text{m}$  e  $250\mu\text{m}$ ) para cada uso do solo. Dentro de cada tratamento foi feita análise de variância e aplicado o teste de Duncan, 5% de probabilidade, visando comparar qual sistema de cultivo apresenta maior estabilidade dos agregados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

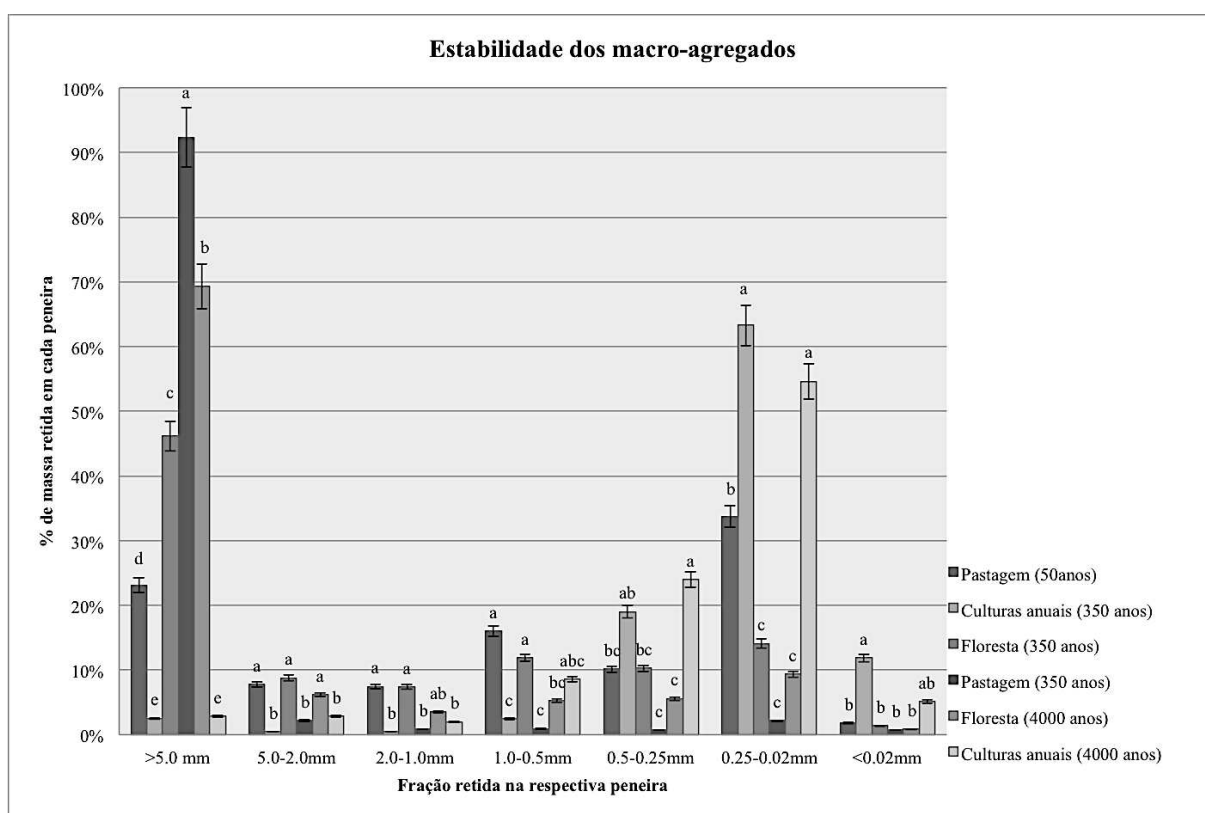
A média dos resultados das análises da fração mineralógica, do teor de nitrogênio, do teor de carbono orgânico, inorgânico e total, da relação C/N e do SOM das amostras estudadas encontram-se listadas na **Tabela 2**.

**Tabela 2.** Resultado das análises da fração mineralógica, do carbono orgânico e inorgânico, do teor de nitrogênio e da relação C/N dos locais em estudo.

	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	C-org (%)	C (%)	SOM	N (%)	C/N
Cn (>5000 $\mu\text{m}$ )	32,9	42,7	24,3	18,6	2,89	5,1	5,0	0,2	18,7
Cn (>250 $\mu\text{m}$ )	30,0	43,5	26,5	18,3	2,60	4,8	4,5	0,1	18,1
Fn (>5000 $\mu\text{m}$ )	21,7	53,0	25,3	18,7	4,39	6,8	7,8	0,3	15,9
Fn (>250 $\mu\text{m}$ )	20,8	51,1	28,1	18,9	4,52	6,7	7,6	0,3	15,6
Pa (>5000 $\mu\text{m}$ )	8,4	62,0	27,1	20,8	4,93	7,8	9,2	0,3	15,7
Pa (>250 $\mu\text{m}$ )	8,1	62,9	29,1	21,2	5,32	7,5	8,5	0,3	14,5
Pn (>5000 $\mu\text{m}$ )	15,5	65,7	18,8	21,1	3,05	5,8	5,6	0,2	19,3
Pn (>250 $\mu\text{m}$ )	24,1	54,4	21,5	21,8	3,23	5,7	5,3	0,2	19,4
Fa (>5000 $\mu\text{m}$ )	19,7	50,0	30,4	15,0	5,59	7,1	9,1	0,3	16,3
Fa (>250 $\mu\text{m}$ )	19,3	50,1	30,6	14,2	5,26	7,3	9,6	0,3	18,7
Ca (>5000 $\mu\text{m}$ )	21,2	48,1	28,5	13,3	2,64	4,4	4,8	0,2	15,9
Ca (>250 $\mu\text{m}$ )	18,7	52,5	28,8	13,6	2,79	4,3	4,5	0,2	15,7

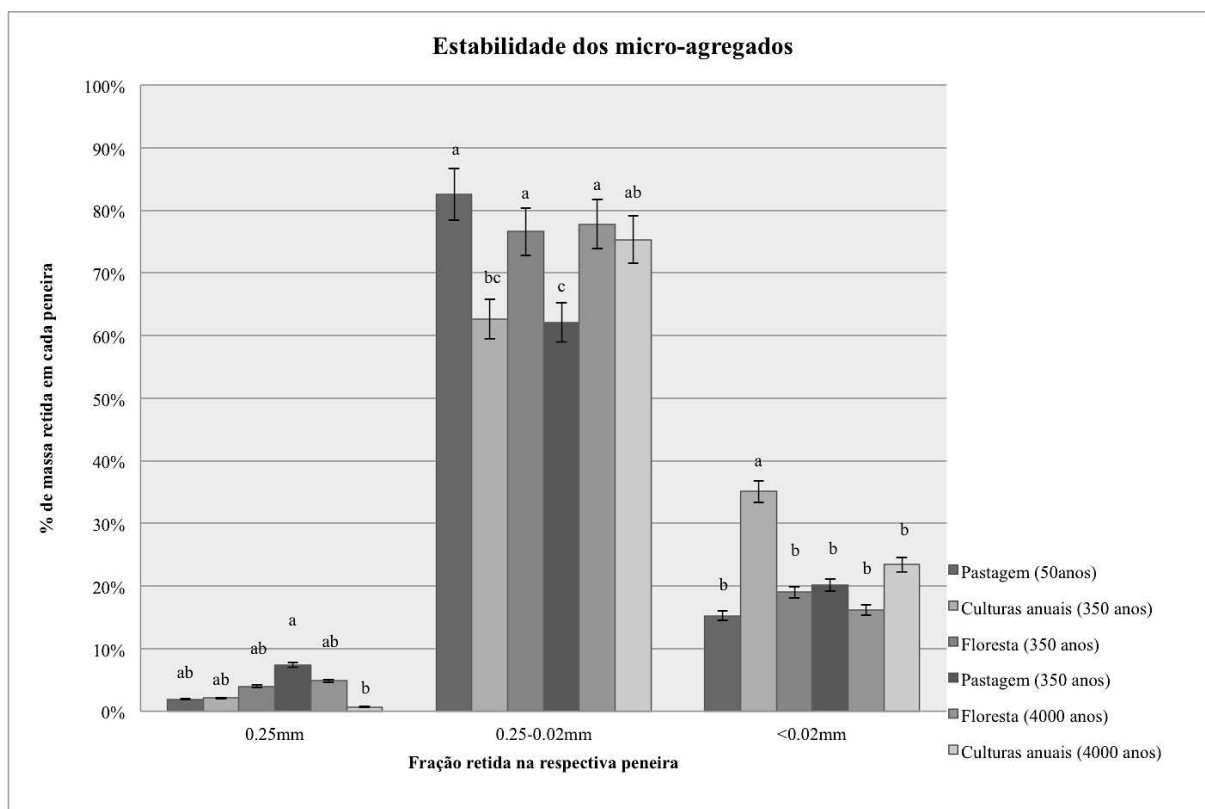
Onde: Cn - Culturas anuais com até 350 anos; Fn – Floresta com até 350 anos; Pa – Pastagem com até 350 anos; Pn – Pastagem com até 50 anos; Fa – Floresta com mais de 4000 anos; e Ca – Culturas anuais com mais de 400 anos.

Como pode ser observado no **Gráfico 1**, a estabilidade dos macro-agregados seguiu uma sequência decrescente na seguinte ordem: pastagem de 350 anos, floresta de 4000 anos, floresta de 350 anos, pastagem de 50 anos e culturas anuais de 350 anos e 4000 anos. Além disso, como pode ser observado na **Tabela 2**, os teores de carbono orgânico decresceram aproximadamente na mesma sequência, verificando-se diferença estatísticas para ambas as análises.



**Gráfico 1.** Resultado da análise da estabilidade dos macro-agregados sobre diferentes usos do solo utilizando energia ultrassônica.

Seguindo o mesmo padrão dos macro-agregados, observa-se no **Gráfico 2** que a estabilidade dos micro-agregados seguiu uma sequência decrescente na seguinte ordem: pastagem de 350 anos; sem diferença estatística para a floresta de 4000 anos, floresta de 350 anos, culturas anuais de 350 anos e pastagem de 50 anos; e, por último, culturas anuais de 4000 anos.



**Gráfico 2.** Resultado da análise da estabilidade dos micro-agregados sobre diferentes usos do solo utilizando energia ultrassônica.

Como a mineralogia destes solos são bastante semelhante, acredita-se que o teor de carbono orgânico esteja influenciando na estabilidade de agregados. Sá et al. (2002), encontraram resultados semelhantes para análise da estabilidade dos agregados sobre diferentes sistemas de cultivos, e concluíram que o teor de matéria orgânica influenciou diretamente na estabilidade dos agregados dos solos estudados.

Schomakers et al. (2011), trabalhou com a mensuração da estabilidade dos agregados do solo usando baixa intensidade de vibração ultrassônica e concluíram que o teor de matéria orgânica e de argila, nos diferentes tipos de solos estudados, interferiram na sua estabilidade dos agregados. Além disso, observaram que a matéria orgânica proporcionou à superfície dos agregados uma melhor resistência a dispersão quando expostos a condições adversas. Ainda segundo estes autores, quando o solo é exposto à intenso preparo, as raízes e as hifas são decompostas rapidamente, o que diminui o teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, a estabilidade dos agregados dos solos em sistemas de cultivo convencional.

Conforme proposto por Sá et al. (2002), o nível de energia específica de  $36,3 \text{ J mL}^{-1}$  é o mais adequado para a avaliação da estabilidade de agregados do solo utilizado, uma vez que apresenta boa sensibilidade na detecção das diferenças proporcionadas pelo uso, com baixo

coeficiente de variação. Além disso, trata-se de um método fácil e rápido, visto que a partir de um minuto de sonificação de 5g de TFSA em 200mL de água destilada, com o aparelho fornecendo uma potência nominal de  $120,9 \pm 3,1W$ , calculada a partir do procedimento descrito por Sá et al. (2000b), no qual possibilitou um rendimento de aproximadamente 20 amostras por hora. Para este tempo de sonificação, foi dispensado o banho de gelo, conforme proposto por Raine e So (1994), já que a temperatura da suspensão não atinge  $35^{\circ}C$ , o que torna possível sua utilização em determinações de rotina.

Casos em que o aparelho de ultrassom emitem maior ou menor potência, o tempo de sonificação pode ser reduzido ou aumentado, respectivamente, mantendo-se a relação expressa pela equação  $EA=(Pc.ts)/v$ . Mantendo sempre a relação solo-água de 1:40, para facilitar comparações, uma vez que a mesma influi na eficiência da dispersão (Raine e So, 1994).

Fristenski e Grismer (2008) observaram que quanto maior o tamanho dos agregados do solo, menor a estabilidade dos mesmos. Entretanto, no presente trabalho foi observado que quando submetidos a uma mesma quantidade de energia, os macro-agregados apresentaram uma maior estabilidade comparados aos micro-agregados.

Riberito et al. (2010) ao analisarem a estabilidade dos agregados em três tipos de Latossolos cultivados com cana-de-áçúcar utilizando energia ultrasônica, concluíram que os agregados de tamanho de 1-2mm previamente tratados com vinhaça apresentaram maior estabilidade comparado aos solos não tratados. Isso se deve ao fato de existir compostos orgânicos que são incorporados ao solo e promovem a proteção dos agregados contra a cavitação, ou seja, a vinhaça contribui na floculação e a ligação das partículas do solo. Além de aumentar a atividade microbiana do solo.

O efeito microbiano na estabilidade do agregado é devido à presença de microorganismos (hifas de fungos e mucilagem de bactérias) e por seus produtos, o qual tem uma ação química e físico-química. A partir desses produtos, os polissacarídeos são considerados por serem mais eficientes na estabilização dos agregados (Molope et al., 1985). O mecanismo de ação dos polissacarídeos e outros polímeros sintéticos ou naturais foram estudados experimentalmente por vários autores (Chenu, 1985). A medida molecular, a carga dos polímeros e a concentração eletrolítica influenciam o efeito dos polímeros. Polímeros catiônicos são efetivos na floculação da argila e mantêm alta taxa de infiltração até mesmo

com água destilada, enquanto polímeros aniônicos são eficientes somente em soluções com alta concentração eletrolítica (Theng, 1982).

O efeito do  $\text{CaCO}_3$  na estabilidade dos agregados e infiltração ou erosão não tem sido estudado intensamente. Bem-Hur et al. (1985), comparando solos calcariados e não calcariados, não observaram efeito do  $\text{CaCO}_3$  na taxa de infiltração sob chuva simulada. No entanto, Merzouk e Blake (1991) no estudo de solos no Marrocos encontrou que, entre outros parâmetros, a ação do  $\text{CaCO}_3$  foi bom indicador para erodibilidade do solo. Do ponto de vista químico, carbonatos no solo deveriam ser mais favoráveis na estabilidade de agregados e taxa de infiltração porque tem cátions Ca. No entanto, o efeito provavelmente depende da faixa de distribuição das partículas de  $\text{CaCO}_3$  no conteúdo de argila.

A agregação do solo pela calagem tem sido atribuída à interação entre cálcio e a matéria orgânica do solo (MOS) e aos atributos gerados pelos microorganismos. Vários estudos tem demonstrado que a calagem pode provocar a dispersão da argila no solo. Este efeito mais evidente em solos com baixos teores de matéria orgânica e em sistema de manejo de solo menos conservacionista, como é o caso do sistema convencional. Em sistemas de cultivos mais equilibrados, como a semeadura direta, os efeitos da calagem sobre a estabilidade de agregados a dispersão de argila são poucos conhecidos.

## **CONCLUSÃO**

A estabilidade de agregados do solo seguiu uma sequência decrescente na seguinte ordem: pastagem de 350 anos, floresta de 4000 anos, floresta de 350 anos, pastagem de 50 anos e culturas anuais de 350 anos e 4000 anos. Além disso, a estabilidade de agregados foi influenciada pelos teores de carbono orgânico.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANGERS, D.A. E M.R. CARTER. 1996. Aggregation and organic matter storage in cool, humid agricultural soils. pp. 193 211. In Carter M.R. & B.A. Stewart (eds.). Structure and organic matter storage in agricultural soils. Advances in Soil Science. Lewis Publishers, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.

ARSHAD, M.A. E G.M. COEN. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. Am. J. Altern. Agric. 7:25-32.

BARRAL, M. T.; ARIAS, M.; GNÉRIF, J. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 46, p. 261-272, 1998.

Ben-Hur, M.; SHAINBERG, M. I.; BAKKER, D.; KEREN R. Effect of soil texture and CaCO<sub>3</sub> content on water infiltration in crusted soil as related to water salinity. *Irrig. Sci.* 6: 281-294, 1985.

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

CHRISTENSEN, B. T. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish Arable soils by ultrasonic dispersion and gravity sedimentation. *Acta Agriculture Scandinavica*, Copenhagen, v. 35, n. 2, p. 175 – 187, 1985.

CHRISTENSEN, B. T. Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 19, n. 4, p. 429-435, Jul/Ago. 1987.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary partible size and density separates. *Advances in Soil Science*, New York, v. 20, p. 2-76, 1992.

CHRISTENSEN, B. T. Straw incorporation and soil organic matter in macro-aggregates and particle size separates. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 37, n. 1, p. 125 – 135, Mar. 1986.

DALAL, R.C. E B.J. BRIDGE. 1996. Aggregation and organic matter storage in sub-humid and semi-arid soils. pp. 263 307. In Carter, M.R. & B. A. Stewart (eds.). *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. *Advances in Soil Science*. Lewis Publishers, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.

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

DEXTER, A.R. 1988. *Advances in characterization of soil structure*. *Soil & Till. Res.* 11:199-238.

E. AMÉZKETA (1999): Soil Aggregate Stability: A Review, *Journal of Sustainable Agriculture*, 14:2-3, 83-151.

EDWARDS, A. P.; BREMMER, J. M. Dispersion of soil particles by sonic vibration. *Journal of Soil Science, Oxford*, v. 18, n. 1, p. 47-63, 1967.

EDWARDS, A.P. E J.M. BREMNER. 1967. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.* 18:64-73.  
El Rayah, H.M.E. e D.L. Rowell. 1973. The influence of iron and aluminium hydroxides on the swelling of Na-Montmorillonite and the permeability of a Na-Soil. *J. Soil Sci.* 24:137-144.

FRISTENSKY A, GRISMER ME.. A simultaneous model for ultrasonic aggregate stability assesment. *Catena* 74:153-164. 2008.

FULLER, L. G.; GOH, T. G.; OSCARSON, D. W. Cultivation effects on dispersive clay of doil aggregates. *Canadian Journal of Soil Science, Ontario*, v. 75, n. 1, p. 101-107, Feb. 1995.

GREGORICH, E. G.; KANCHANOSKI, 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, Mai. 1988.

ISO 10381-2. 2002. Soil quality. Sampling Part 2: Guidance on sampling techniques.

ISO 10693. 1995. Soil quality. Determination of carbonate contente. Volumetric method.

ISO 10694. 2009. Soil quality. Determination of organic and total carbono after dry combustion (elementar analysis).

ISO 11277. 2009. Soil quality. Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation.

ISO 13878. 1998. Soil quality. Determination of nitrogen content by dry combustion (elementary analysis).

JASTROW, J.D. E R.M. MILLER. 1991. Methods for assessing the effects of biota on soil structure. *Agric., Ecosystems & Environm.* 34:279-303.

KAY, B.D., D.A. ANGERS, P.H. GROENEVELT E J.A. BALDOCK. 1988. Quantifying the influence of cropping history on soil structure. *Can. J. Soil Sci.* 68:359-368.



LYNCH, J.M. E E. BRAGG. 1985. Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Sci.* 2: 133-171.

MAYER H. 2006. Ultrasonic Torsion and Tension-Compression Fatigue Testing: Measuring Principles and Investigations on 2024T351 Aluminium Alloy. *Int. J. Fatigue* 28: 1446-1455.

MERZOUK, A.; BLAKE, G. R. Indices for the estimation of interrill erodibility of Moroccan soils. *Catena* 18: 537-559, 1991.

MOLOPE, M. B.; I. C. GRIEVE; E. R. Trixtropic changes in the stability of molded soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:979-983, 1985.

MORRA, M. J.; BLANK, R.R.; FREEBORN, L. L.; SHAFII, B. Size fractionation of soil organo-mineral complexes using ultrasonic dispersion. *Soil Science, Baltimore*, v. 152, n. 4, p. 294-303, Out. 1991.

MULYAR, I. A.; MINKIN, M. B. Use of ultrasound in the analyses of water extract from soils. *Eurasian Soil Science, Maryland*. V. 24, n. 8, p. 119-124, 1993.

NORTH, P. F. Assessment of the ultrasonic method of determining soil structural stability in relation to soil management properties. *Journal of Soil Science, Oxford*, v.30, n. 3, p. 463-472, Set.. 1979.

OADES, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56:377-400.

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

RIBEIRO, B. T.; LIMA, J. M.; CURI, N.; OLIVEIRA, G. C. Aggregate breakdown and dispersion of Brazilian soil samples amended with sugarcane vinasse by ultrasonic energy.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J. Disruption of soil aggregates by varied amounts of ultrasonic energy in fractionation of organic matter of a clay Latosol; carbon, nitrogen, and <sup>13</sup>C distribution in particle-size fractions. *European Journal of Soil Science, Oxford*, v. 51, p. 445-454, Set. 2000.

SÁ, M. A. C. Energia ultra-sônica: uso e erodibilidade de solos. 2002. 95 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MASSAROTO, J. A.; MARQUES, J. J. G. S. M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizontes B textural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 7, p. 691-699, jul. 2004.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; LAGE, G. Procedimento-padrão para medida da medida da potência liberada pelo aparelho de ultrassom. *Comunicação. Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 24, n. 1, p. 300-306, jan./mar. 2000b.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; MELLO, C. R. Nível de energia ultra-sônica para o estudo da estabilidade de agregados de um Latossolo sob diferentes usos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1649-1655, nov. 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. 2000.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; Dias Júnior, M. S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 3, p. 525-531, jul/set. 1999.

SALY, R. Use of ultrasonic vibration for dispersing soil samples. *Soviet Soil Science*, Silver Spring, v. 11, p. 1547-1559, 1967.

SCHEFFER F., SCHACHTSCHABEL P. 2010. *Lehrbuch der Bodenkunde*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

SCHOMAKER, J.; MENTLER, A.; DEGISCHER, N.; BLUM, W. E. H.; MAYER, H. Measurement of Soil Aggregate Stability using Low Intensity Ultrasonic Vibration. *SJSS*, v.1, n. 1, 2011.

TIPPKÖTTER, R. The effect of ultrasound on the stability of mesoaggregates (60-200  $\mu\text{m}$ ). *Zeitschrift Pflanzenernährung und Bodenkunde*, Berlin, v. 157, n. 2, p. 99-104, Apr. 1994.

TISDALL, J.M. E J.M. OADES. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.