

RENATO SALDANHA BASTOS

**COMPOSTOS ORGÂNICOS DE DIFERENTES GRAUS DE
HIDROFOBICIDADE NA FORMAÇÃO E ESTABILIDADE DE
AGREGADOS DO SOLO**

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Solos e Nutrição de Plantas, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2003

RENATO SALDANHA BASTOS

**COMPOSTOS ORGÂNICOS DE DIFERENTES GRAUS DE
HIDROFOBICIDADE NA FORMAÇÃO E ESTABILIDADE DE
AGREGADOS DO SOLO**

Tese apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Solos e Nutrição de Plantas, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 30 de janeiro de 2003.

Prof. Víctor Hugo Alvarez V.
(Conselheiro)

Prof. Ivo Jucksch

Prof. Raphael Bragança Alves
Fernandes

Prof. Antônio Teixeira de Matos

Prof. Eduardo de Sá Mendonça
(Orientador)

*A **Deus** pela minha vida,
A **Anna** pelo seu amor,
A **Luma** pelo seu brilho.*

AGRADECIMENTOS

Momento mais prazeroso e pessoal nesta tese não há, portanto, regozijo-me.

Aos meus pais, Pedro e Milzete, por terem acreditado em mim sem restrições, por nunca terem me deixado desamparado e pelo amor que dispensam. Vocês são fenomenais!

Aos meus sogros, Sr. Omar e Sra. Ângela, pelo maravilhoso presente que puseram no mundo para mim, pela amizade e compreensão.

Ao Professor Eduardo de Sá Mendonça orientador, conselheiro, companheiro e amigo. Sempre compreensivo e incentivador.

Aos meus conselheiros, Professor Víctor Hugo Alvarez Venegas e Professor Liovando Marciano da Costa, pelas críticas e sugestões para a melhoria deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, pelos conhecimentos repassados e pela atenção desprendida. Agradeço especialmente ao Professor João Carlos Ker pelo apoio que se estende de longa data até hoje, muito obrigado por sua amizade.

Aos grandes amigos que fiz durante minha estadia na cidade de Viçosa, que tornaram esta muito mais feliz: Víctor (Borracha), José Heleno, Alexandre (Jiló), Guilherme (Guilhermão), Wanilton (Negão) e Carlusson (Caliu). Em especial, ao Romildo Nicolau e ao Marcelo Metri, que estiveram do meu lado nas horas em que a “barra pesou”. A todos os colegas do Departamento de Solos da UFV.

Ao pessoal da capoeira e, principalmente, à Professora Vanessa (Pernalonga), por ter sido uma grande amiga e por fazer daqueles poucos minutos no final do dia, uma grande confraternização.

Ao Marihus e ao Marco pela imensa ajuda na estatística, que algumas vezes me pareceu “estatrística”.

Aos meus parentes que, mesmo sem imaginar, influenciaram, e muito, na execução deste trabalho. Em especial à Tia Alda, Tia Joana e Davi, aqueles que sempre estiveram por perto.

Aos meus irmãos de tempos atrás, Antônio Marcos (Jiraya) e Ornelas (Cabeça). Valeu por tudo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu País e todo o povo brasileiro pela oportunidade que me deram.

A todos que de forma direta, ou não, tornaram esse trabalho possível.

BIOGRAFIA

RENATO SALDANHA BASTOS, filho de Pedro Ermes Bastos e Milzete Saldanha Bastos, nasceu no dia 12 de fevereiro de 1977, no Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

De 1988 a 1994, cursou o primeiro e segundo grau no Colégio Pedro II do Rio de Janeiro.

Em março de 1995, ingressou no curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, concluindo-o em dezembro de 1999.

Em setembro de 2000, iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na mesma Universidade, defendendo tese no dia 30 de janeiro de 2003.

ÍNDICE

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Estrutura do solo: formação e fatores que a afetam.....	3
2.2. A matéria orgânica do solo e a estabilização de agregados.....	5
2.3. A hidrofobicidade de compostos orgânicos e a estruturação do solo.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1. Caracterização do solo.....	9
3.2. Caracterização dos compostos orgânicos usados nos tratamentos.....	9
3.3. Tratamentos e delineamentos experimentais.....	10
3.3.1. Experimento de doses – Experimento I.....	11
3.3.2. Experimento de incubação – Experimento II.....	12
3.3.3. Experimento de ciclos de umedecimento e secagem – Experimento III.....	13
3.4. Avaliação das características físicas e morfológicas dos agregados.....	13
3.4.1. Variáveis morfológicas avaliadas via seca.....	13
3.4.2. Variáveis morfológicas avaliadas via úmida.....	14
3.4.3. Grau de repelência à água.....	15
3.5. Análises estatísticas.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1. Efeito de doses dos compostos orgânicos.....	17
4.2. Efeito de incubação.....	29
4.3. Efeito dos ciclos de umedecimento e secagem.....	36

5. CONCLUSÕES.....	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
7. APÊNDICE.....	49

RESUMO

BASTOS, Renato Saldanha, M.S. Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2003. **Compostos orgânicos de diferentes graus de hidrofobicidade na formação e estabilidade de agregados do solo**. Orientador: Eduardo de Sá Mendonça. Conselheiros: Víctor Hugo Alvarez V. e Liovando Marciano da Costa.

O presente trabalho objetivou mostrar como compostos orgânicos com diferentes graus de hidrofobicidade podem fornecer um aumento da estabilidade dos agregados do solo, e como os ciclos de umedecimento e secagem influenciam nesse aumento. Para isto, com amostras de dois horizontes (A e B) de um Latossolo Vermelho Amarelo, foram conduzidos três experimentos: o primeiro, utilizando a matriz Pan-Puebla III modificada variando a dose dos compostos orgânicos adicionados, em um único tempo de incubação; o segundo, um fatorial incompleto $2 \times 3 [(4-1) + (4-1)]$, constituído por: dois horizontes (A e B), três intervalos de tempo (40, 80 e 160 dias), três compostos orgânicos (amido, ácido esteárico e ácido húmico) em combinações amido sem e com ácido húmico (Am e AmAH) e ácido esteárico sem e com ácido húmico (E e EAH) menos a testemunha; e o terceiro, semelhante ao segundo, com a diferença que ao invés de ser incubado, o solo foi exposto a ciclos semanais de umedecimento e secagem (5 semanas e 5 dias, 11 semanas e 3 dias e 22 semanas e 6 dias). Os resultados obtidos indicaram que o composto hidrofílico (amido) apresenta as melhores respostas em doses mais baixas e quando o tempo de incubação é de 160 dias, e que quando se tem uma única dose ($9,9 \text{ g kg}^{-1}$) o menor tempo de incubação (40 dias) proporciona maior agregação. Para o composto hidrofóbico (ácido esteárico) a melhor dose nos tempos de incubação maiores (160 dias) variou entre $4,8$ e $5,1 \text{ g kg}^{-1}$ conforme a variável analisada, sendo que doses maiores que essa dificultam a

agregação. Em tempos de incubação de 80 a 160 dias, a dose de $9,9 \text{ g kg}^{-1}$ aumenta a estabilidade de agregados em água. Utilizando um composto com características, tanto hidrofóbica como hidrofílica (ácido húmico), verificou-se resposta sempre positiva na agregação para doses até $9,9 \text{ g kg}^{-1}$, quando incubados durante 160 dias. Para esse mesmo composto, incrementos significativos na agregação foram observados para todas as variáveis analisadas, seja por via úmida ou via seca. De maneira geral, os ciclos semanais de umedecimento e secagem dificultaram a formação e a estabilização de agregados em ambos os horizontes.

ABSTRACT

BASTOS, Renato Saldanha, M.S. Universidade Federal de Viçosa, January 2003. **Organic compounds with different hidrophobicity levels in the soil aggregates formation and stability.** Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Committee members: Víctor Hugo Alvarez V. and Liovando Marciano da Costa.

How the organic compounds with different hidrophobicity levels, and wet-drying cycles can improve the aggregate stability was the objective of this work. Then, with samples of two horizons (A and B) from an Oxissol was conducted three experiments: first, plotted in a Pan-Puebla III modified matrix varying the organic compounds doses in a single incubation time; second, plotted in a incomplete factorial $2 \times 3[(4-1)+(4-1)]$, where the factors are, two horizons (A and B), three interval time (40, 80, 160 days), three organic compounds (starch, stearic acid and humic acid) in combinations starch with or without humic acid (Am and AmAH) and stearic acid with or without humic acid (E and EAH) less control; third, was similar to second, the difference was that the soil didn't stay incubated but exposed to wet-drying weekly cycles (5 weeks and 5 days, 11 weeks and 3 days and 22 weeks and 6 days). The results showed that to the hydrophobic compound (starch) the best results are at lower doses when the incubation time was 160 days, and when there was a single dose the lower incubation time (40 days) provided higher aggregations. To the hydrophobic compound (stearic acid) the best dose, in highest incubation time (160 days), varied between 4,8 until 5,1 g kg⁻¹ depending to the analysed variable, in this way higher dose make difficult the aggregation. Nevertheless, in higher incubation times (80 and 160 days) the 9,9 g kg⁻¹ improve the aggregate stability in water. Utilizing the hydrophobic and hydrophilic characters compound (humic acid) the result was always positive aggregation to doses until 9,9 g kg⁻¹, when incubated

during 160 days. Improvements in aggregation were observed for all analyzed variables either by wet or dry way. Generally, the weekly wet drying cycles make difficult the aggregate formation and stabilization to both horizons.

1. INTRODUÇÃO

Como o solo é o substrato onde as plantas germinam e se desenvolvem, há muito tempo atrás, sua aptidão agrícola vem sendo estudada pelo homem. Tanto sua capacidade natural de fornecimento de nutrientes, quanto de manutenção da umidade e aeração em condições equilibradas, são fatores importantes e determinantes na regulação do desenvolvimento dos vegetais.

A matéria orgânica pode influenciar diversas propriedades do solo, tais como: estrutura, capacidade de troca catiônica, poder tamponante, transferência de calor, penetração das raízes no perfil, atividade biológica e retenção de água. Vários autores descrevem ainda, o papel deste constituinte na estruturação do solo por meio de interações com a fração mineral. Estas interações dão-se por meio de reações de superfície, a partir das quais se formam os complexos argilo-orgânicos, que são fundamentais na estabilização dos agregados do solo. Dessa forma, em solos constituídos por agregados mais estáveis espera-se menor risco de desagregação, portanto, menores serão o encrostamento e o transporte por fluxo superficial. Neste solo espera-se também, que seja maior a taxa de infiltração de água no perfil e, como consequência desse comportamento, por sua vez, ter-se-á uma menor taxa de erosão.

Mais recentemente, algumas pesquisas vêm enfocando o caráter hidrofóbico de materiais orgânicos como possível redutor da desagregação. A matéria orgânica do solo possui caráter hidrofóbico em vários graus, conforme seu tipo e forma. Tal caráter pode ser definido como uma propriedade da fração húmica que reduz a absorção de água por um agregado, logo o tornando menos propenso à desestruturação.

No Brasil, essa linha de pesquisa parece ser pouco estudada ou ainda inexistente. Este trabalho objetiva contribuir com o entendimento de que forma os compostos orgânicos com características hidrofóbicas e/ou

hidrofílicas podem promover a melhoria da estruturação do solo. Este trabalho objetiva, adicionalmente, verificar como os ciclos de umedecimento e secagem influenciam na formação e estruturação dos agregados do solo tratados com os compostos orgânicos. Uma das motivações para esse estudo é adquirirmos resultados que poderão subsidiar futuros direcionamentos no manejo da adubação orgânica, assim potencializando o uso dos solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Estrutura do solo: formação e fatores que a afetam

Agregados são componentes da estrutura do solo, portanto, de suma importância na manutenção da porosidade e aeração do solo, no crescimento de plantas e da população microbiana, na infiltração de água e no controle dos processos erosivos (OADES, 1984; DEXTER, 1988). Solos mais porosos possuem grande permeabilidade e assim são mais aerados, dessa forma, proporcionam menor impedimento à penetração radicular.

Na formação e estabilização dos agregados do solo estão envolvidos diversos processos físicos, químicos e biológicos. HILLEL (1980) reforça que, para a formação de agregados estáveis, é necessário que os colóides do solo se encontrem floculados (processo físico-químico), e que todos os componentes do agregado sejam posteriormente estabilizados por algum agente cimentante (processo biológico ou químico). Anteriormente, várias teorias procuraram explicar essa estabilização.

Por sua vez, RUSSEL (1934) propôs a teoria da "formação dos torrões", na qual a agregação dependeria apenas dos argilominerais, cátions trocáveis e moléculas de água. Estas últimas estariam polarizadas, ligando o cátion à superfície da partícula de argila. Posteriormente, EMERSON (1959) apresentou a teoria do "domínio argiloso", na qual destaca o papel da matéria orgânica como um importante elo de ligação entre a fração grosseira (representada pelo quartzo) e o domínio argiloso (fração de tamanho argila). Mais recentemente, o conceito de estrutura do solo ficou assumido como o arranjo das partículas do solo, no qual as partículas secundárias (agregados) são formadas por um agrupamento de partículas primárias (areia, silte e argila) (BAVER et al., 1973).

A teoria proposta por TISDALL e OADES (1982) é a mais aceita para esclarecer como se formam os agregados do solo, sendo denominada de

teoria da "hierarquização dos agregados". Esses autores propõem uma classificação conforme seu tamanho, sendo definidos cinco grupos de partículas ($< 0,2 \mu\text{m}$; de $0,02$ a $2 \mu\text{m}$; de 2 a $20 \mu\text{m}$; de 20 a $250 \mu\text{m}$ e $> 2000 \mu\text{m}$). Aqueles menores que $250 \mu\text{m}$ foram denominados microagregados e, os maiores, macroagregados. Percebe-se que na escala acima o segundo grupo engloba parte do primeiro, mesmo isso parecendo incomum, essa é uma cópia fiel da escala usada pelos autores. Os mesmos autores observaram que cada agregado é formado pela união dos agregados da classe que vem logo abaixo, seguindo, assim, uma ordem hierárquica. Conforme seus tamanhos, cada classe será unida por diferentes agentes de agregação.

OADES e WATERS (1991), trabalhando com Latossolos da Austrália (Oxisols), observaram que, em face à forte ação cimentante dos óxidos de ferro e alumínio nos macroagregados, a teoria da hierarquização não se aplicaria completamente em tais solos. SIX et al. (2000) verificaram a mesma resposta em solos predominantemente caulíníficos e com presença de óxidos de ferro e alumínio de baixa cristalinidade.

Diversos são os fatores que interferem na agregação do solo. Entre esses, os considerados mais importantes são: tipo e teor de argila; metais polivalentes; carbonato de cálcio; óxidos de ferro, alumínio e manganês; exudatos orgânicos de plantas; substâncias orgânicas provenientes da ação de microrganismos e outros compostos orgânicos. A matéria orgânica e os óxidos são considerados agentes cimentantes, tanto de partículas primárias quanto de partículas secundárias do solo (TISDALL e OADES, 1982).

CARVALHO (1991) cita ainda a ação do clima, por meio dos ciclos de umedecimento e secagem, aliada à textura, à mineralogia, ao teor de matéria orgânica e ao tempo, como importantes fatores na agregação das partículas do solo. MALTONI (1994), estudando diversos solos brasileiros, observou que a quantidade de microagregados de alta estabilidade foi diretamente relacionada com a ocorrência e a intensidade dos ciclos de umedecimento e secagem, característico das regiões dos trópicos. Nesses locais, as secas intensas e as temperaturas elevadas observadas na superfície do solo são seguidas de mudanças bruscas em virtude das

chuvas de alta intensidade, o que provoca a ocorrência de diversos ciclos de umedecimento e secagem no solo (SÁNCHEZ, 1981).

2.2. A matéria orgânica do solo e a estabilidade de agregados

Todas as substâncias orgânicas mortas no solo, em vários estágios de decomposição, compostos simples ou complexos, fazem parte da matéria orgânica do solo. Isso inclui materiais provenientes da decomposição de raízes, resíduos de plantas e animais, os microrganismos e qualquer outro composto orgânico (PRIMAVESI, 1990).

A matéria orgânica pode ser separada em dois grupos fundamentais. O primeiro é constituído pelos produtos da decomposição dos resíduos orgânicos e do metabolismo microbiano, como proteínas e aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, ligninas, e outros. Essas macromoléculas constituem aproximadamente 10 a 15 % da reserva total do carbono orgânico nos solos minerais. O segundo é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, constituindo 85 a 90 % da reserva total de carbono orgânico (ANDREAUX, 1996).

Os agentes orgânicos envolvidos na estabilização dos agregados do solo podem ser divididos em três grupos quanto à resistência à ação microbiana: os transicionais, os temporários e os persistentes. Os primeiros são os polissacarídeos que são rapidamente decompostos pelos microrganismos e que, normalmente, estão associados à estabilidade dos macroagregados do solo. Os agentes temporários são as hifas de fungos e raízes, que permanecem no solo por semanas, meses ou até anos, e que também estão associados aos macroagregados. As raízes podem apresentar uma ação mecânica, promovendo pressão nos constituintes do solo, e química por meio das secreções. Os agentes persistentes são os materiais orgânicos humificados, principalmente associados aos óxidos de ferro e alumínio de baixa cristalinidade, constituindo a parte mais importante na formação de microagregados do solo (TISDALL e OADES, 1982).

A matéria orgânica enquanto agente cimentante do solo tem sido objetivo de vários trabalhos (BAVER, 1968; TISDALL e OADES, 1982;

CHANEY e SWIFT, 1984; SILVA e MIELNICZUK, 1998; CASTRO FILHO et al., 1998). O aumento da estabilidade dos agregados está intimamente relacionado com a capacidade da matéria orgânica de se aderir às partículas minerais do solo, formando ligações argilo-metal-húmicas (EDWARDS e BREMNER, 1967).

Mais recentemente, diversos estudos têm avaliado o uso de materiais orgânicos com o objetivo de melhorar a agregação do solo. As substâncias húmicas, principalmente os ácidos húmicos, têm apresentado efeito benéfico na estabilidade dos agregados do solo (FORTUN et al., 1990; PICCOLO e MBAGWU, 1990, 1994; TISDALL e OADES, 1982; LYNCH e BRAGG, 1985).

HAMBLIN e GREENLAND (1977) e DUARTE et al. (1993) demonstraram que a composição da matéria orgânica (especialmente as frações humificadas) mais do que o teor total de matéria orgânica do solo, é a principal responsável pela estabilização dos agregados. ANGERS e MEHUYS (1989) verificaram uma correlação positiva entre o teor de carboidratos e a estruturação do solo. Entretanto, segundo TISDALL e OADES (1982), o efeito dos carboidratos na estabilidade dos agregados é efêmero, uma vez que tais compostos sofrem rápida decomposição pela micro e macrobiota do solo. Já as substâncias húmicas sofrem uma degradação biológica de menor intensidade, conferindo aos agregados do solo uma estabilidade mais duradoura.

2.3. A hidrofobicidade de compostos orgânicos e a estruturação do solo

Dois são os principais mecanismos envolvidos no aumento da estabilidade dos agregados pela ação da matéria orgânica do solo. O primeiro é que os materiais orgânicos formam ligações com as partículas minerais ou que tal ligação se dá pela ação física de raízes ou hifas de fungos (TISDALL e OADES, 1982 e CHENU et al., 1994). O segundo ocorre pela ação da matéria orgânica na redução da entrada de água no agregado, reduzindo assim sua quebra pela expulsão instantânea do ar. Este último

processo é também conhecido como repelência à água ou hidrofobicidade do agregado (SULLIVAN, 1990).

As substâncias húmicas podem ser divididas, conforme sua afinidade com água, em: hidrofílicas, constituídas principalmente por carboidratos neutros ou ácidos, de origem microbiana ou derivados de plantas (caráter polar); ou hidrofóbicas (caráter apolar), formadas por cadeias carbônicas longas, alifáticas e ricas em polifenóis oriundos principalmente da oxidação da lignina e da celulose (KAISER e ZECH, 2000).

Substâncias orgânicas quando adicionadas a determinados solos podem expressar severa repelência à água. Esta hidrofobicidade pode ser notada tanto em solos arenosos (BOND, 1969; WALLIS e HORNE, 1992) como em solos argilosos (MACGHIE e POSNER, 1980). Várias frações orgânicas são consideradas responsáveis pela hidrofobicidade dos solos, tais como ácidos húmicos, frações alifáticas ou ainda resíduos vegetais (CHENU et al., 2000).

Recentes pesquisas mostram o efeito de substâncias húmicas aumentando a estabilidade dos agregados do solo (MBAGWU e PICCOLO, 1989; PICCOLO e MBAGWU, 1989, 1994). Segundo PICCOLO et al. (1996) e CONTE e PICCOLO (1999), essas substâncias não são exatamente polímeros, e sim moléculas pequenas, ligadas por forças hidrofóbicas (peso molecular elevado aparente) que são facilmente separadas quando tratadas com ácidos orgânicos. Pela ligação de argila-metal-substância húmica, a porção hidrofílica da matéria orgânica se orienta na direção do interior dos agregados, enquanto a porção hidrofóbica se direciona para a face externa, formando, assim, uma camada repelente à água. Essa camada, por sua vez, reduz a possibilidade de desestruturação do solo pela expulsão rápida do ar (JONGE et al., 1999; PICCOLO e MBAGWU, 1999).

A resistência à entrada de água no agregado causada pelo caráter hidrofóbico da matéria orgânica contribui para sua maior estabilidade. HAYNES e SWIFT (1990) verificaram que agregados secos oriundos de pastagem (alto conteúdo de C orgânico de caráter hidrofóbico) eram mais estáveis em água do que os agregados de solos arados.

O ângulo de contato entre a água e a superfície de alguns materiais orgânicos do solo, foi observado por COUGHLAN et al. (1973), que

verificaram que seus valores foram sempre superiores a noventa graus (ângulo de contato da água com a maioria dos minerais). Isto indica que a matéria orgânica pode aumentar a estabilidade dos agregados pela redução da velocidade de entrada da água nas estruturas secundárias do solo. Esta observação permite a medição do grau de hidrofobicidade de um determinado composto a partir do ângulo de contato da água e a matéria orgânica. Esse ângulo é considerado um indicativo do grau de repelência à água de um determinado agregado do solo.

Em uma série de estudos com cera de abelha (fonte natural de ácidos graxos de cadeia longa), DINEL et al. (1991a; 1991b; 1992) constataram que o aumento da estabilidade dos agregados foi causado pela matéria orgânica de elevado peso molecular, principalmente, por compostos alifáticos e hidrofóbicos de cadeia longa.

SULLIVAN (1990) verificou que a distribuição não uniforme da matéria orgânica hidrofóbica retarda a entrada de água nos agregados, aumentando assim sua resistência deles quando expostos à água. A implicação prática dessa observação é que o tratamento do solo com materiais orgânicos contendo quantidades substanciais de compostos hidrofóbicos favorecerá a estabilidade dos agregados do solo, mais do que compostos com predominância de materiais hidrofílicos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do solo

Foram coletadas amostras dos horizontes A (0 – 20 cm) e B (40 – 60 cm) de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) da região de Viçosa, Minas Gerais. De acordo com as características físicas e químicas (Quadro 1), trata-se de um solo ácido, distrófico, com soma de bases de $0,12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no horizonte B, e textura muito argilosa. A mineralogia da fração argila é dominada pela caulinita, com alto grau de cristalinidade, e goethita. O teor de ferro extraído por ditionito-citrato-oxalato atinge valores de aproximadamente 11 dag kg^{-1} (CARVALHO FILHO, 1989). As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), utilizada na execução dos experimentos.

A razão do uso dos horizontes A e B do LVAd foi avaliar de que forma o teor de carbono original pode influenciar a formação e estabilidade dos agregados do solo. Para isso, foram elaborados três experimentos, os quais estão descritos a seguir. É merecedor de destaque o fato de o teor de carbono orgânico do horizonte A ser, aproximadamente, 12 vezes maior que o do horizonte B (Quadro 1).

3.2. Caracterização dos compostos orgânicos usados nos tratamentos

O composto orgânico de caráter hidrofóbico utilizado nos tratamentos foi o ácido esteárico (ácido octadecanóico – $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$) puro (E), usado na texturação de folhas de alumínio e fabricado por Chinie Test. Já o composto orgânico hidrofílico foi o amido solúvel ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ com ligações α 1-4) PA (Am), cujo fabricante é Labsynth. As características intermediárias de hidrofobicidade foram representadas por um ácido húmico (AH) extraído de

um Espodossolo da região de Lavras Novas, purificado e dialisado segundo a técnica recomendada pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas - IHSS (SWIFT, 1996).

Quadro 1 – Caracterização química e física do Latossolo Vermelho-Amarelo estudado.

Características	Horizonte	
	A	B
pH H ₂ O (1:2,5)	4,20	5,00
pH KCl (1:2,5)	4,00	5,24
P (mg dm ⁻³) ^{1/}	0,90	0,40
K (mg dm ⁻³) ^{1/}	18,00	7,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{2/}	0,18	0,05
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{2/}	0,06	0,05
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ^{2/}	1,15	0,00
H + Al (cmol _c dm ⁻³) ^{3/}	8,43	1,65
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,29	0,12
t (cmol _c dm ⁻³)	1,44	0,12
T (cmol _c dm ⁻³)	8,72	1,77
V (%)	3,32	6,78
m (%)	79,80	0,00
CO (dag kg ⁻¹) ^{4/}	3,21	0,26
Areia Grossa (%) ^{5/}	17,50	13,00
Areia Fina (%) ^{5/}	11,50	10,00
Silte (%) ^{5/}	6,50	5,50
Argila (%) ^{5/}	64,50	71,50

^{1/} Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997); ^{2/} KCl 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); ^{3/} Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7 (EMBRAPA, 1997); ^{4/} YOEMANS e BREMNER (1988); ^{5/} Método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

3.3. Tratamentos e delineamentos experimentais

Três experimentos foram conduzidos para avaliar os efeitos dos diferentes compostos orgânicos na formação, estabilização e grau de repelência à água dos agregados do solo. O período experimental estendeu-se entre os meses de novembro de 2001 e maio de 2002, caracterizado como verão quente e úmido, com temperaturas variando entre 20 e 37 °C.

Para todos os experimentos, 100 g de TFSA foram colocados em potes plásticos de volume aproximado de 250 mL. Todos os compostos foram adicionados em pó ao solo seco e homogeneizados. Em seguida, foi adicionada, em cada pote, água deionizada necessária para alcançar 80 %

da capacidade de campo, de seu respectivo horizonte, (29,36 dag kg⁻¹ no horizonte A e 30,48 dag kg⁻¹ horizonte B).

3.3.1. Experimento de doses – Experimento I

Neste experimento avaliaram-se características físicas e químicas de agregados do solo em resposta às doses de compostos orgânicos aplicados (Quadro 2), de forma isolada ou em combinação.

Quadro 2 – Doses dos compostos orgânicos utilizadas nos tratamentos do primeiro experimento.

Tratamentos			Amido	Ácido esteárico	Ácido húmico
Am	E	AH			
----- g kg ⁻¹ de solo -----					
-0,9	-0,9	-0,9	0,00	0,00	0,00
-0,4	-0,4	-0,4	2,75	2,75	2,75
-0,4	-0,4	0,4	2,75	2,75	7,15
-0,4	0,4	-0,4	2,75	7,15	2,75
-0,4	0,4	0,4	2,75	7,15	7,15
0,4	-0,4	-0,4	7,15	2,75	2,75
0,4	-0,4	0,4	7,15	2,75	7,15
0,4	0,4	-0,4	7,15	7,15	2,75
0,4	0,4	0,4	7,15	7,15	7,15
-0,9	-0,4	-0,4	0,00	2,75	2,75
-0,4	-0,9	-0,4	2,75	0,00	2,75
-0,4	-0,4	-0,9	2,75	2,75	0,00
0,9	0,4	0,4	9,90	7,15	7,15
0,4	0,9	0,4	7,15	9,90	7,15
0,4	0,4	0,9	7,15	7,15	9,90
0,0	0,0	0,0	4,95	4,95	4,95

Este primeiro experimento foi conduzido com os tratamentos gerados de acordo com a matriz Plan-Puebla III modificada, com as doses do espaço fatorial variando, para os três fatores, de -0,55 a 10,45 g kg⁻¹, e dispostos em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Nesse experimento, o tempo de incubação foi de 160 dias período no qual as unidades experimentais foram mantidas em uma incubadora de DBO (demanda biológica de oxigênio) a 25 °C. Semanalmente, todas as unidades

experimentais eram reorganizadas na incubadora a fim de minimizar a desuniformidade de condições locais existente no interior do aparelho. Nesta ocasião, era feita também uma breve abertura dos potes para reduzir a pressão de CO₂ interna, possibilitando a continuada atividade biológica. Após o término do período de incubação, as unidades experimentais foram retiradas da incubadora e os recipientes deixados abertos durante dez dias, a fim de que estas atingissem o equilíbrio com a umidade atmosférica.

3.3.2. Experimento de incubação – Experimento II

O experimento de incubação foi montado segundo o esquema fatorial incompleto 2x3[(4-1)+(4-1)], cujos fatores foram: dois horizontes (A e B), três intervalos de tempo (40, 80 e 160 dias), três compostos orgânicos (amido, ácido esteárico e ácido húmico), em combinações de ausência e presença de amido e ácido húmico (AmAH) menos AH (4-1) e, sem e com, ácido esteárico e ácido húmico (EAH), menos AH (4-1). Para as combinações de ausência e presença, foram utilizadas as doses 0,0 ou 9,9 g kg⁻¹ de cada composto orgânico. Já nos tratamentos AmAH e EAH, a dose de cada composto foi de 4,45 g kg⁻¹, resultando em uma dose total de 9,9 g kg⁻¹. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições. Todos os potes foram tampados e mantidos em uma incubadora de DBO a 25 °C, por intervalos de tempo de 40, 80 ou 160. Semanalmente, todos os potes foram retirados da incubadora e abertos para que se reduzisse a pressão de CO₂ interna, concomitantemente, fez-se um rearranjo dos potes, assim reduzindo a desuniformidade das condições no interior da incubadora. Após o término do período de incubação, as unidades experimentais foram retiradas da incubadora e os recipientes deixados abertos durante dez dias, a fim de que estas atingissem o equilíbrio com a umidade atmosférica. Em seguida, as amostras foram analisadas quanto às características físicas e morfológicas dos agregados do solo.

3.3.3. Experimento de ciclos de umedecimento e secagem – Experimento III

O experimento de ciclos de umedecimento e secagem foi levado no mesmo esquema fatorial, fatores, delineamento experimental e doses usados no experimento de incubação. A diferença foi que nesse experimento o solo foi submetido a ciclos de umedecimento e secagem semanais, em que os potes foram mantidos abertos, perdendo umidade em local sombreado e arejado. A quantidade de água perdida em uma semana era determinada por gravimetria e repostada até atingir novamente os 80 % da capacidade de campo. Ao final de cada intervalo de tempo 40, 80 ou 160 dias (5 semanas e 5 dias, 11 semanas e 3 dias e 22 semanas e 6 dias, foram usados esses períodos para que se obtivesse intervalos de tempo idênticos aos do experimento de incubação), o re-umedecimento era suspenso e, após 10 dias, o solo foi analisado quanto às mesmas características do experimento de incubação.

3.4. Avaliação das características físicas e morfológicas dos agregados

3.4.1. Variáveis morfológicas avaliadas via seca

Para a avaliação da estabilidade dos agregados foi utilizado o método indireto de peneiramento a seco. Este procedimento foi realizado para a separação inicial em três classe de agregados formados nos experimentos. Para tanto, foram utilizadas duas peneiras (4,00 e 2,00 mm) e um vibrador Produtest, agitando-se a amostra durante 5 min, na graduação nº 5 do aparelho. A seguir, uma porção de cada fração separada foi seca em estufa a 105 °C para correção de seu peso. Desta forma, calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG), segundo as equações propostas por KEMPER e CHEPIL (1965).

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n x_i d_i \quad \text{e} \quad \text{DMG} = 10^{\sum_{i=1}^n x_i \log d_i}$$

em que,

x_i = quociente da massa de agregados retidos na peneira i sobre a massa total

d_i = diâmetro médio da fração (mm)

3.4.2. Variáveis morfológicas avaliadas via úmida

O outro método indireto de avaliação da estabilidade dos agregados foi o peneiramento úmido, ou estabilidade de agregados via úmida. Nesta análise foram usados 20 g do solo que previamente havia passado pela peneira de 2,00 mm na separação via seca. Esta amostra foi pré-umedecida, segundo as recomendações de umedecimento lento descrito por KEMPER e CHEPIL (1965). Posteriormente, a amostra foi mantida em repouso sob temperatura ambiente, por 30 min, permitindo-se a penetração lenta de água nos agregados, minimizando assim sua destruição pela rápida expulsão do ar quando imerso na água. Na seqüência, a amostra pré-umedecida foi posta num aparelho de oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm de diâmetro conforme descrito por YODER (1936). Transcorridos 15 min de oscilação, as amostras retidas em cada peneira foram transferidas para cápsulas de alumínio com o auxílio de jatos de água, as quais foram secas em estufa a 105 °C por um período de 24 h para posterior pesagem. A partir dos valores das massas obtidos, calculou-se DMP, DMG e índice de estabilidade de agregados (IEA) pela seguinte fórmula proposta KEMPER e CHEPIL (1965):

$$IEA = 100 \left(\frac{M_{\text{total}} - M_{\text{agregados } < 0,25 \text{ mm}} - M_{\text{areia}}}{M_{\text{total}} - M_{\text{areia}}} \right)$$

em que,

M = massa (g)

3.4.3. Grau de repelência à água

O grau de repelência à água dos agregados foi avaliado pelo método do tempo de penetração da gota de água (LETEY, 1969). O teste do tempo de penetração da gota de água (TPGA) consiste na colocação de uma gota de água na superfície dos agregados do solo e a marcação do tempo gasto para que a água infiltre totalmente. Para o TPGA foi utilizada os agregados menores que 2,00 mm, obtidos pelo peneiramento a seco.

Aproximadamente 20 g de agregados de solo foram colocadas em um prato e a superfície foi alisada com a mão. Nove gotas de água, cada uma contendo $33 \pm 2,02 \mu\text{L}$ foram dispostas ao acaso sobre o solo seco ao ar e os tempos de infiltração cronometrados. O tempo médio de infiltração das nove gotas foi utilizado para classificar os agregados quanto a seu grau de repelência como proposto por KING (1981): tempo de infiltração inferior a 5 s - solo não repelente; de 5 a 60 s - repelência fraca; de 60 a 600 s - repelência forte; de 600 a 3.600 s - repelência muito severa e mais que 3.600 s - repelência extrema.

3.5. Análises estatísticas

A análise estatística do experimento de doses foi feita por regressão. As equações foram estimadas com o auxílio do programa SAS (Statistical Analysis System) versão 8.0. Já as superfícies de respostas foram plotadas com o auxílio do programa STATISTICA versão 6.0.

Os experimentos de incubação e ciclos de umedecimento e secagem foram analisados por contrastes. Nestes estudaram-se tanto o efeito do intervalo de tempo dentro das duas amostras do solo LVAd para os

tratamentos, como o efeito de tratamento dentro dos tempos e dentro dos horizontes. Os contrastes foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa SAEG versão 5.0.

Os contrastes de avaliação dos efeitos no fatorial incompleto $2 \times 3[(4-1)+(4-1)]$ foram montados da forma mostrada no Quadro 3.

Quadro 3 – Montagem dos contrastes

Composto orgânico	Contraste		
	C1	C2	C3
Testemunha	-3	0	0
Am	+	-	-
AH	+	-	+
Am+AH	+	+2	0
	Contraste		
	C4	C5	C6
Testemunha	-3	0	0
E	+	-	-
AH	+	-	+
E+AH	+	+2	0

Am – amido; AH – ácido húmico; E – ácido esteárico; Am+AH – amido e ácido húmico; E+AH – ácido esteárico e ácido húmico; C1-T vs Am+AH+(Am+AH); C2-Am+AH vs (Am+AH); C3-Am vs AH; C4- T vs E+AH+(E+AH); C5- E+AH vs (E+AH); C6-E vs AH.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeito de doses dos compostos orgânicos

Os efeitos de doses dos compostos orgânicos foram avaliados por meio de análise de regressão dos dados, de modo que se obteve para cada variável analisada uma superfície de respostas que descreve como se deu a resposta dos tratamentos. Como os fatores analisados foram três (amido (Am), ácido esteárico (E) e ácido húmico (AH)), para conseguir representar superfície de resposta em três dimensões, um fator teve seu valor fixado de modo a permitir a análise das repostas dos outros dois.

A primeira alternativa usada foi considerar o valor do ácido húmico (AH) igual a zero em todas as equações. Dessa forma objetivou-se entender o efeito do amido, composto hidrofílico, e do ácido esteárico, composto hidrofóbico, na ausência do ácido húmico.

Para o horizonte A, a análise de estabilidade de agregados via seca indicou que as duas variáveis avaliadas apresentaram o mesmo padrão de comportamento (Figuras 1 e 2). O diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) aumentaram linearmente e com índices semelhantes (0,1487 e 0,1570) tanto para a adição de amido quanto para a adição de ácido esteárico, sem efeito significativo da interação entre eles.

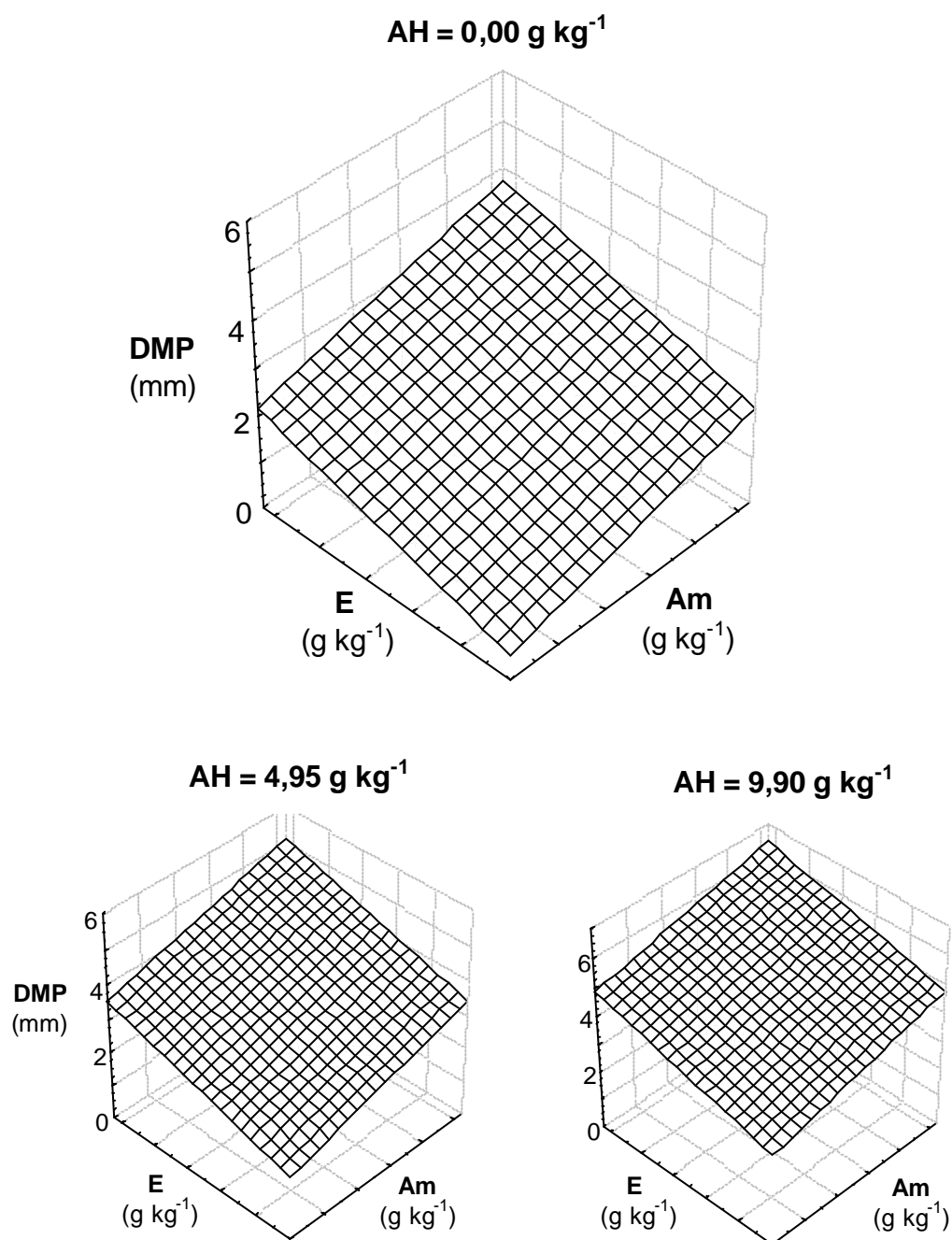
No horizonte A, onde o teor de matéria orgânica inicial é mais elevado ($3,21 \text{ dag kg}^{-1}$), o efeito dos tratamentos com amido ou ácido esteárico foi significativo para a formação e estabilização dos agregados. Sendo tanto maior quanto mais elevada for a dose do composto utilizado (até $9,9 \text{ g kg}^{-1}$). Resultados parecidos foram obtidos por CHANEY e SWIFT (1986 a) que estudaram amostras de solos nas profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 50 cm, provenientes de uma série de solos de geologia e topografia semelhantes entre elas, porém com diferentes estádios de agregação em função dos diferentes teores de matéria orgânica nativa. Neste trabalho, os autores

observaram que a adição de $0,5 \text{ dag kg}^{-1}$ de glucose, composto hidrofílico, proporcionou uma agregação da camada superficial de aproximadamente, o dobro do subsolo.

OADES e WATERS (1991) observaram que em solos dominados por óxidos e por argila do tipo 1:1 a matéria orgânica não apresenta papel relevante na agregação. Nestes solos, ocorrem atrações eletrostáticas entre os óxidos e a superfície da caulinita por causa da existência simultânea de cargas positivas e negativas.

No horizonte B, o efeito das variáveis analisadas foi quadrático e não linear. Tanto DMP quanto DMG (Figuras 3 e 4) apresentaram respostas parecidas, sendo verificadas as maiores formações de agregados nas menores doses de amido e ácido esteárico. Esses resultados mostram que neste horizonte de menor teor de carbono orgânico inicial ($0,26 \text{ dag kg}^{-1}$), a formação dos agregados não foi muito influenciada pela adição dos compostos orgânicos selecionados. Isso ocorre por causa da elevada concentração de caulinita e óxidos de ferro nesse horizonte (CARVALHO FILHO, 1989), já que essas argilas são as principais responsáveis pela estabilização dos agregados, tendo os compostos orgânicos adicionados papel secundário. Outra explicação para o fato das maiores taxas de agregação se encontrarem nas menores doses de adição de compostos orgânicos no horizonte B pode ser o maior teor de argila existente nesse horizonte.

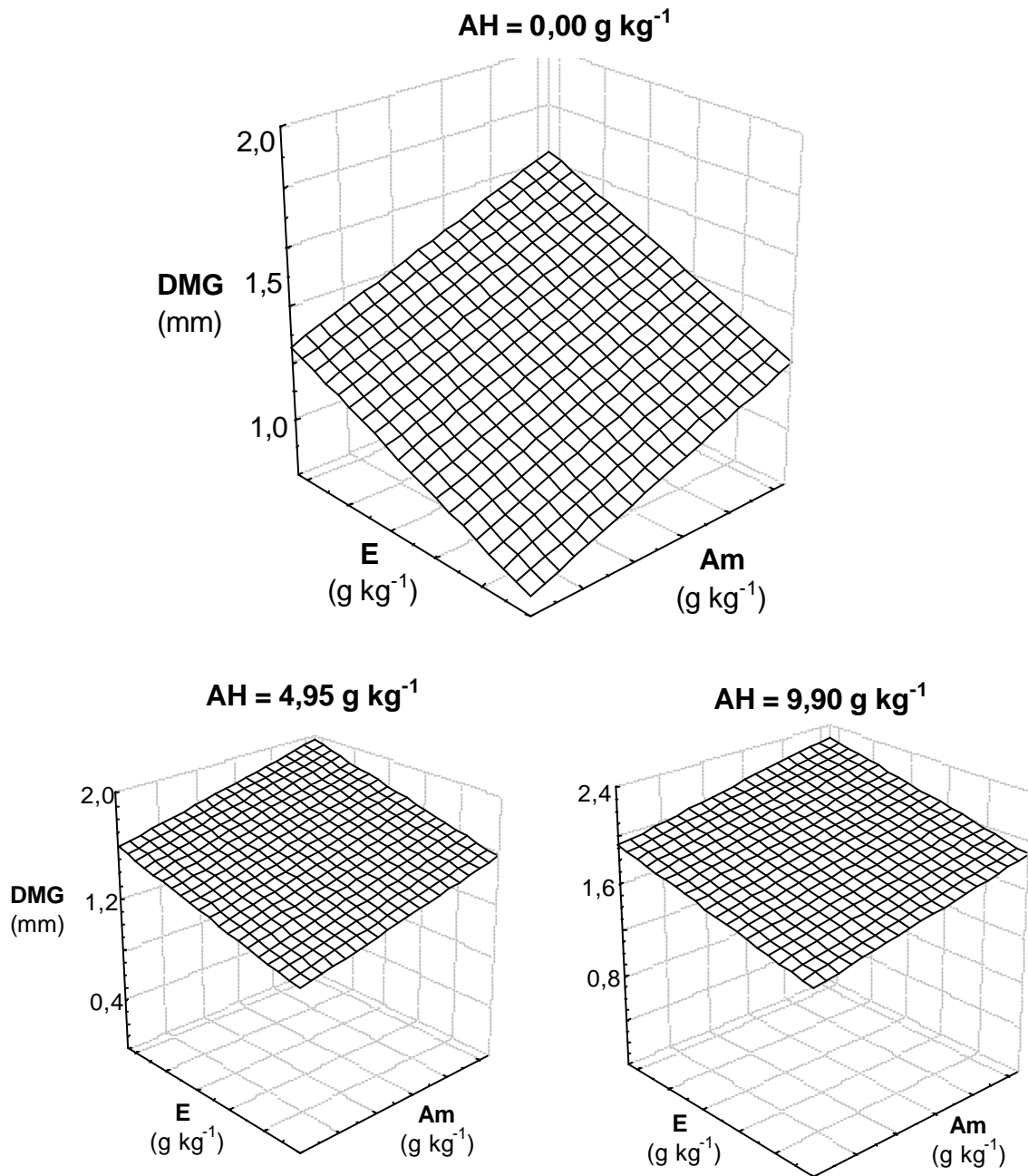
Nas Figuras 1 a 7 encontram-se três gráficos. Os gráficos menores foram plotados a fim de mostrar como se dá o efeito do aumento da dose de ácido húmico em todas as variáveis.



$$DMP = 0,5205 + 0,1487*Am + 0,1570**E + 0,2724***AH \quad R^2 = 0,804$$

Valores dos eixos de E e Am variam de 0,00 a 10,45. *, ** e *** - significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade..

Figura 1 – Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do horizonte A analisado por via seca em função da adição de amido (Am) e ácido esteárico (E), para diferentes valores de doses de ácido húmico (AH).

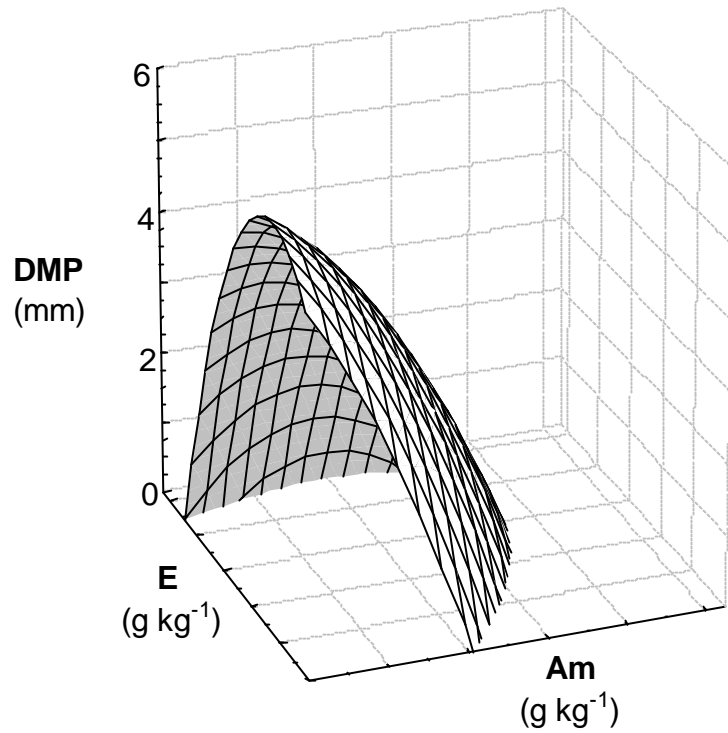


$$DMG = 0,8651 + 0,0353*Am + 0,0376*E + 0,0671^{***}AH \quad R^2 = 0,783$$

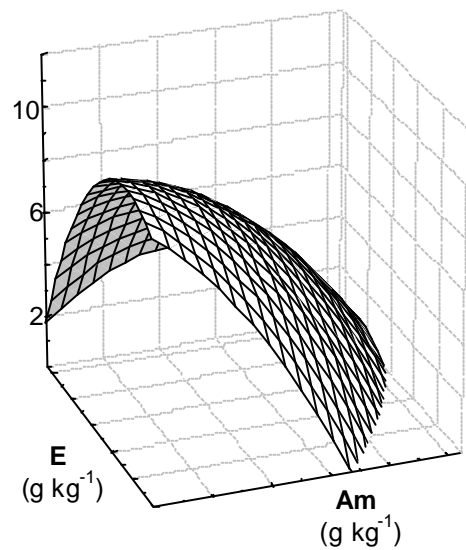
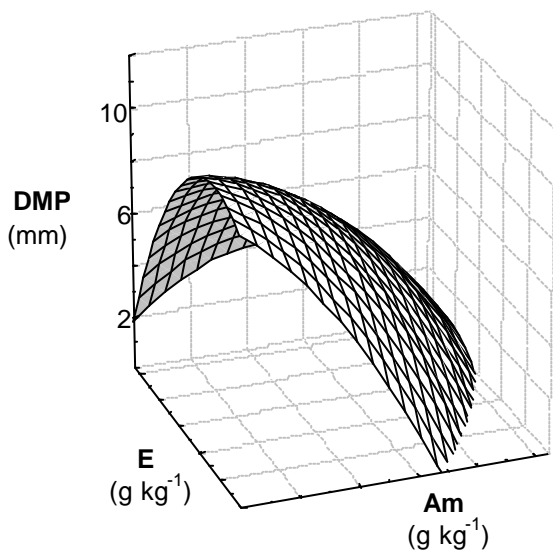
Valores dos eixos de E e Am variam de 0,00 a 10,45. * e *** - significativos a 5 e 0,1% de probabilidade.

Figura 2 – Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do horizonte A analisado por via seca em função da adição de amido (Am) e ácido esteárico (E), para diferentes valores de doses de ácido húmico (AH).

AH = 0,00 g kg⁻¹



AH = 4,95 g kg⁻¹

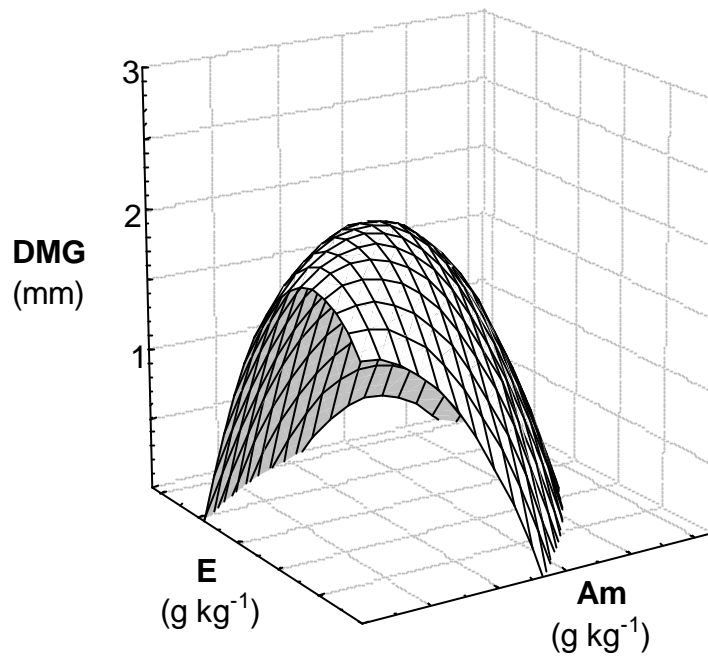


$$\text{DMP} = 5,0057 - 0,1930^{\text{ns}} \text{Am} + 0,5979^{\text{ns}} \text{E} + 1,5186^{\text{***}} \text{AH} - 0,1029^{\circ} \text{Am}^2 - 0,1312^{\circ} \text{E}^2 - 0,1025^{\circ} \text{AH}^2 + 0,1667^{\circ} \text{Am} \times \text{E} \quad R^2 = 0,649$$

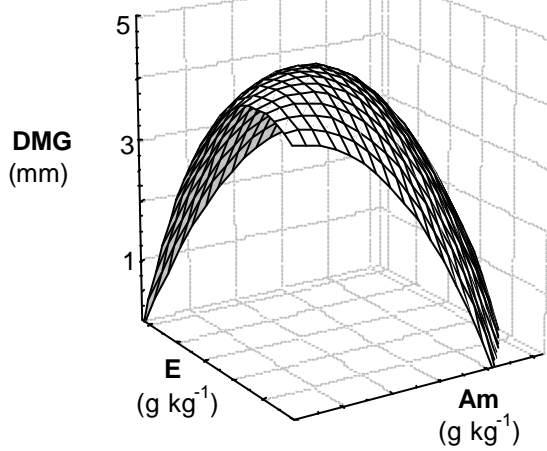
Valores dos eixos de E e Am variam de 0,00 a 10,45. °, * e *** - significativos a 10, 5 e 0,1% de probabilidade; ns - não significativo.

Figura 3 – Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do horizonte B analisado por via seca em função de amido (Am) e ácido esteárico (E), para diferentes doses de ácido húmico (AH).

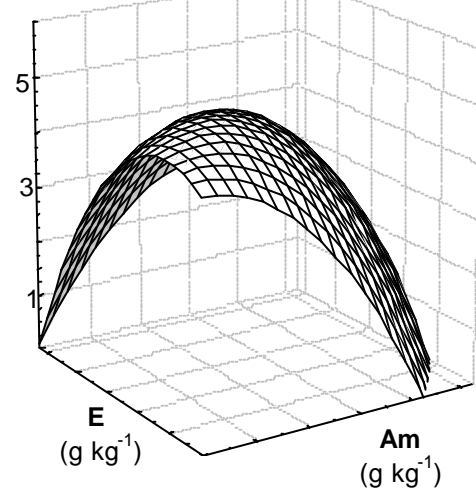
AH = 0,00 g kg⁻¹



AH = 4,95 g kg⁻¹



AH = 9,90 g kg⁻¹



$$DMG = 1,7571 - 0,0016^{ns} Am + 0,5979^{ns} E + 0,7017^{**} AH - 0,0615 * Am^2 - 0,0661 * E^2 - 0,0437 * AH^2 + 0,0801 * Am * E \quad R^2 = 0,675$$

Valores dos eixos de E e Am variam de 0,00 a 10,45. °, * e ** - significativos a 10, 5 e 1 % de probabilidade; ns - não significativo.

Figura 4 – Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do horizonte B analisado por via seca em função da adição de amido (Am) e ácido esteárico (E), para diferentes valores de doses de ácido húmico (AH).

Na análise de estabilidade de agregados via úmida no horizonte A, para a dose de ácido húmico de $0,0 \text{ g kg}^{-1}$, as três superfícies de resposta das variáveis DMP, DMG e IEA avaliadas (Figura 5, 6 e 7) revelaram um significativo efeito proporcionado pela adição de ácido esteárico. Esse tem efeito tanto linear quanto quadrático sempre significativo. Pelos gráficos observa-se que o ácido esteárico tem seus maiores efeitos na agregação nas doses em torno de $5,0 \text{ g kg}^{-1}$. Para valores inferiores ou superiores a essa dose, as medidas de estabilidade de agregados assumem valores menores. Portanto, doses na proximidade de $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ tornam-se as mais indicadas para uma maior resposta da agregação no horizonte A.

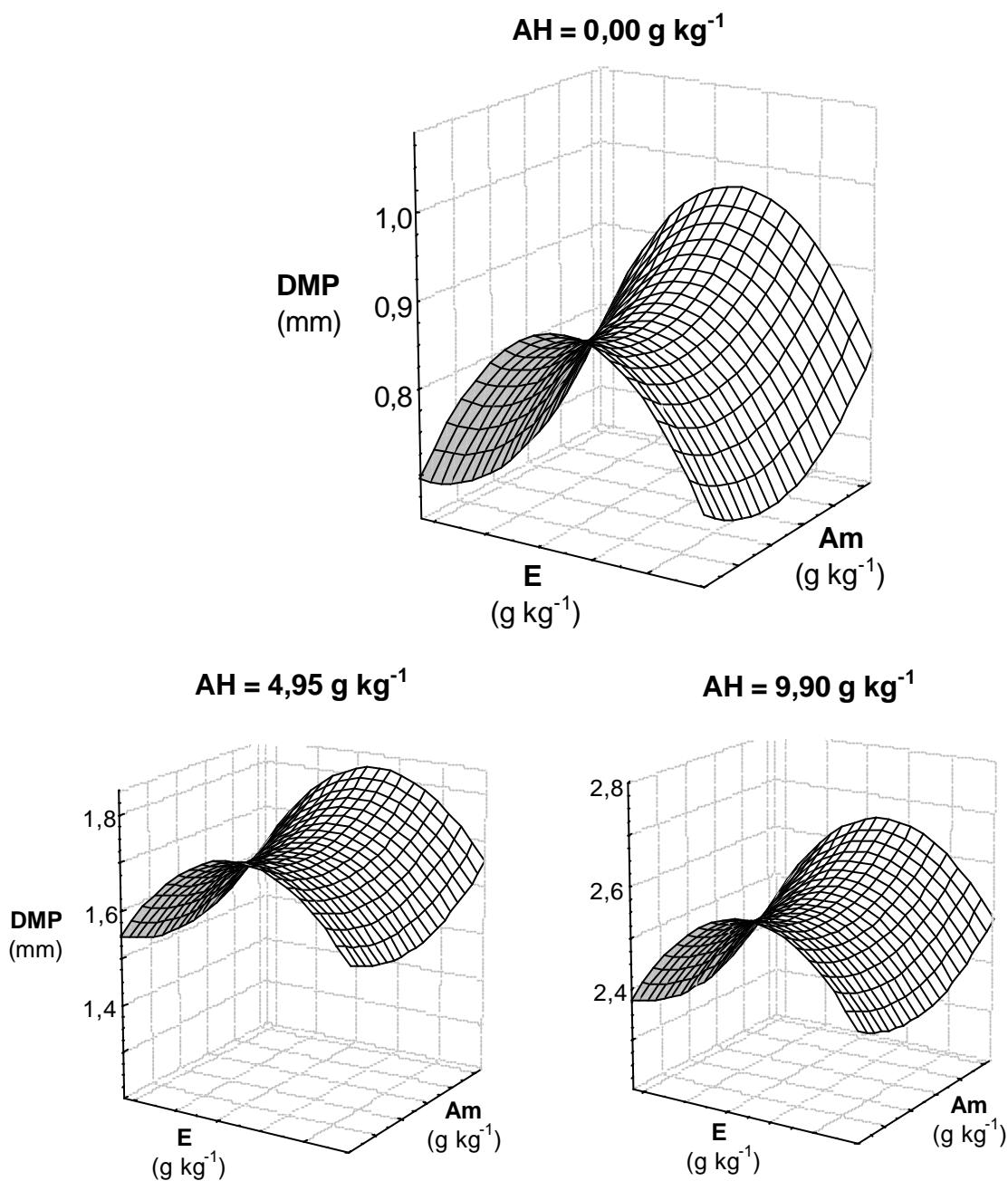
Segundo PICCOLO e MBAGWU (1999), o ácido esteárico tende a aumentar a estabilidade dos agregados por meio da formação de uma cobertura repelente à água. Essa cobertura se forma graças às ligações hidrofóbicas entre o ácido esteárico e o material orgânico do solo. No mesmo trabalho, os autores, usando um solo arenoso, destacam que a melhor dose de resposta para o ácido esteárico foi também de $5,0 \text{ g kg}^{-1}$, tanto para o solo com sua matéria orgânica original preservada como para quando esta foi removida.

Percebe-se, ainda, que o efeito da adição de amido nas variáveis DMP e DMG não é significativo, tendo valores de agregação muito parecidos quando a dose é de $0,0$ ou $9,9 \text{ g kg}^{-1}$. Os menores valores de agregação são encontrados nas proximidades da dose de $5,0 \text{ g kg}^{-1}$. Esses resultados indicam que o composto hidrofílico não apresenta papel significativo na formação de agregados do solo avaliado. Sendo assim, espera-se que na curva de resposta do índice de estabilidade de agregados (IEA) o amido não seja significativo também.

CHANEY e SWIFT (1986a) verificaram que o aumento na dose de glucose (composto hidrofílico) da ordem de 150 % proporcionou apenas um aumento de 7% no DMP dos agregados. Tais autores, consideraram a glucose como ineficiente na agregação já que obtiveram uma redução no DMP no solo incubado com a adição de $5,0 \text{ g kg}^{-1}$, durante 84 dias.

No horizonte B, das três variáveis analisadas via úmida (DMP, DMG e IEA), somente para o DMP (Figura 8) foram observados resultados

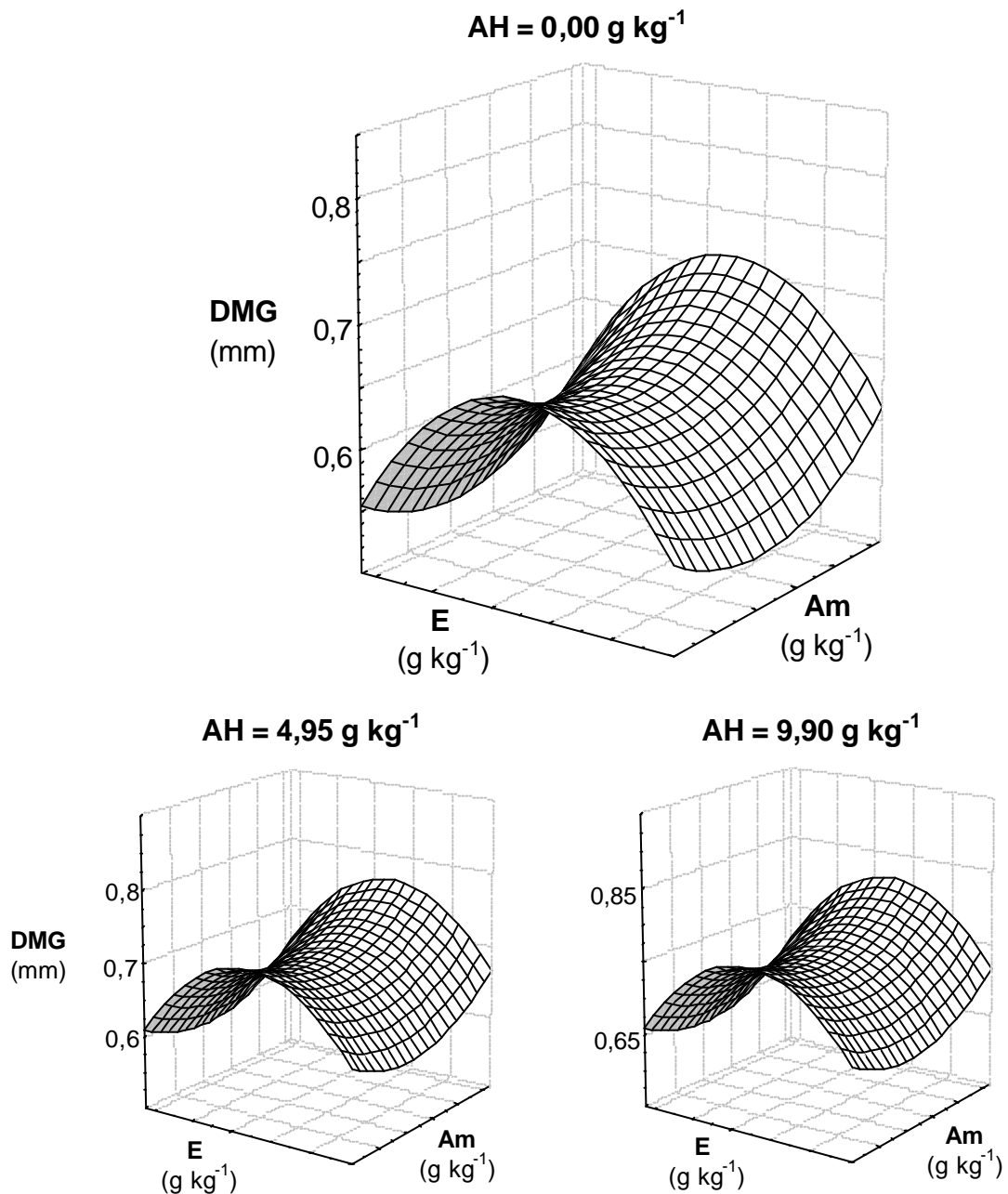
significativos, para que se estabelecesse um modelo de predição da agregação. Ao observar o gráfico, percebe-se que o amido, composto hidrofílico, apresentou sua melhor resposta no valor de dose zero (semelhante ao observado para o horizonte A), tendendo, a partir daí, a diminuir o estado de agregação do solo. O ácido esteárico, composto hidrofóbico, teve um comportamento parecido, porém mais intenso, do que o observado no horizonte A. Novamente, a dose de maior resposta à agregação para o ácido esteárico dá-se em aproximadamente $5,0 \text{ g kg}^{-1}$, sendo que doses maiores dificultam a agregação. Supõe-se que essa queda na agregação ocorra por ocorrer um aumento da competição pelos sítios de ligações, condição que deixa as ligações hidrofóbicas enfraquecidas, mesmo com uma elevada concentração de ácido esteárico no meio.



$$\text{DMP} = 0,7294 - 0,0189 \cdot \text{Am} + 0,0662^{***} \cdot \text{E} + 0,1700^{***} \cdot \text{AH} + 0,0025^{**} \cdot \text{Am}^2 - 0,0066^{***} \cdot \text{E}^2 \quad R^2 = 0,815$$

Valores dos eixos de E e Am variam de 0,00 a 10,45. *, ** e *** - significativos a 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

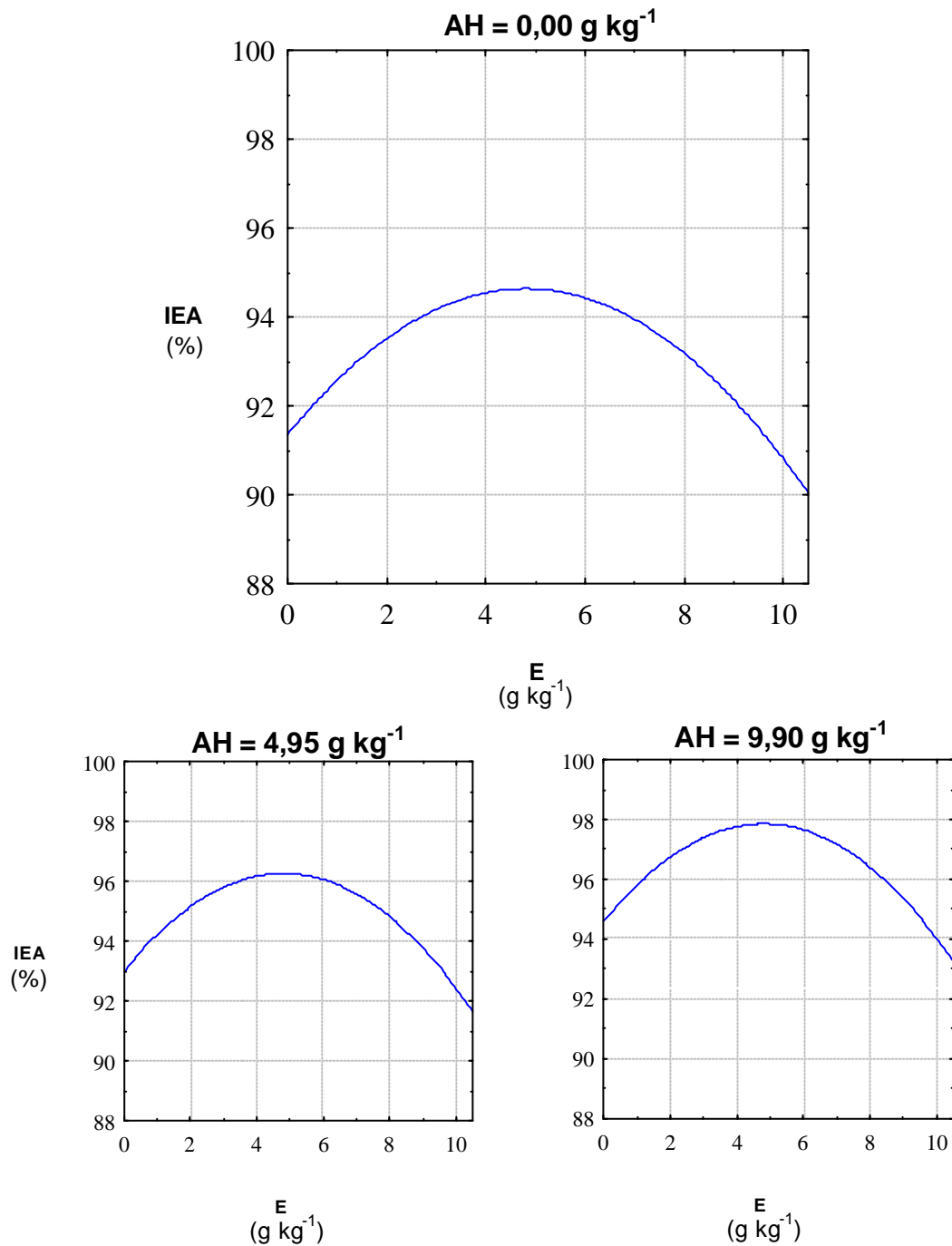
Figura 5 –Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados do horizonte A analisado por via úmida em função da adição de amido (Am) e ácido esteárico (E), para diferentes valores de doses de ácido húmico (AH).



$$DMG = 0,5710 - 0,0139^{\circ}Am + 0,0395^{***}E + 0,0109^{***}AH + 0,0017^{*}AH^2 - 0,0039^{***}E^2 \quad R^2 = 0,778$$

Valores dos eixos de E e Am variam de 0,00 a 10,45. °, * e *** - significativos a 10, 5 e 0,1% de probabilidade.

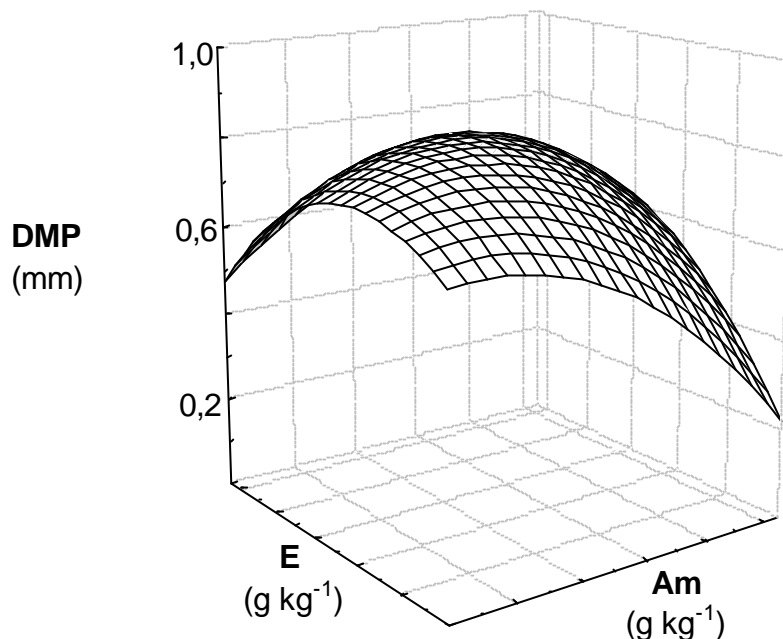
Figura 6 –Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do horizonte A analisado por via úmida em função da adição de amido (Am) e ácido esteárico (E), para diferentes valores de doses de ácido húmico (AH).



$$IEA = 91,3552 + 1,3646^{**}E + 0,3252 \cdot AH - 0,1420^{**}E^2 \quad R^2 = 0,522$$

Valores do eixo de E varia de 0,00 a 10,45. * e ** - significativos a 5 e 1 % de probabilidade.

Figura 7 – Índice de estabilidade de agregados (IEA) dos agregados do horizonte A analisado por via úmida em função da adição de amido (Am) e ácido esteárico (E), para diferentes valores de doses de ácido húmico (AH).



$$\text{DMP} = 0,6693 + 0,0098^{\text{ns}} \text{Am} + 0,0468^{**} \text{E} - 0,0050^{*} \text{Am}^2 - 0,0062^{*} \text{E}^2 + 0,0054^{\circ} \text{AmxE} \quad R^2 = 0,620$$

Valores dos eixos de E e Am variam de 0,00 a 10,45. °, * e ** - significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade; ns - não significativo.

Figura 8 – Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados horizonte B analisado por via úmida em função da adição de amido (Am) e ácido esteárico (E).

Pode-se verificar que o aumento da dose do ácido húmico (Figuras 1 a 7 – gráficos menores) não provoca alterações na forma das curvas, todavia, proporciona uma elevação dos valores de respostas das variáveis. Isto evidencia que o ácido húmico é capaz de aumentar o tamanho e a estabilidade dos agregados mesmo sendo combinado com um composto hidrofílico ou hidrofóbico. Pode-se, portanto, concluir que uma molécula com características hidrofílicas e hidrofóbicas, como o ácido húmico, seja capaz de aumentar a agregação do solo sem sofrer a influência de outros compostos de maior ou menor grau de hidrofobicidade. Vale lembrar que esse efeito provavelmente será de uma dose máxima de resposta maior do que $9,9 \text{ g kg}^{-1}$, porém tal dose, não foi avaliada neste trabalho.

Para avaliar como o ácido húmico, composto que possui caráter tanto hidrofílico quanto hidrofóbico em uma mesma molécula, atua na estabilização dos agregados do solo, assumiu-se o valor zero para o amido

e para o ácido esteárico em todas as equações de resposta das variáveis analisadas.

Para o horizonte A, o efeito do ácido húmico foi linear e positivo, para todas as variáveis analisadas, seja por via seca ou via úmida (Figuras 9, 10, 11, 12 e 13). Dessa forma, aumentos na dose do composto, dentro do espaço experimental, apresentaram respostas diretas no aumento da agregação do solo.

Para o horizonte B, o efeito do ácido húmico só pode ser observado nas variáveis analisadas por via seca, pois o índice de estabilidade de agregados (única variável, via úmida, que gerou dados estatisticamente significativos para que se construísse um modelo) não possuía o ácido húmico como uma de suas variáveis independentes. Isso pode ter ocorrido graças à menor densidade de cargas presente nesse horizonte e também pelo seu maior grau de flocculação. A CTC efetiva no horizonte B é 12 vezes menor que a do A, o que induz a uma menor interação da fase mineral com o ácido húmico e, conseqüentemente, a formação de agregados menos estáveis em água.

Para o horizonte B o efeito do ácido húmico descreveu uma curva, com uma mínima variação de inclinação, comportando-se quase que como uma reta. O fenômeno tem sempre efeito positivo, como ocorre no horizonte A. Porém, os valores de DMP e DMG do horizonte B são muito maiores do que os de A.

4.2. Efeito de incubação

Nas análises via seca, o ácido húmico apresentou maior agregação no tempo de 80 dias para o horizonte A e no de 160 para o horizonte B (Quadro 4). Isso, provavelmente, ocorre porque a sua eficiência na estabilização do solo não é muito afetada pelo tempo ou pela microbiota, já que esse é considerado um agente de agregação permanente (TISDALL e OADES, 1982).

Nas análises por via úmida, o efeito do ácido húmico foi parecido com o obtido nas análises por via seca (Quadro 6). Por outro lado, deve-se

ressaltar que enquanto os dados da via seca apresentam valores sempre maiores em B, nas análises via úmida esta tendência se inverte (Quadros 4 e 5). Isto pode indicar que a formação de agregados estáveis em água é influenciada pelo conteúdo inicial de matéria orgânica no solo. Esse comportamento deve estar relacionado com a natureza da matéria orgânica, que apresenta alta densidade de cargas, e ao mesmo tempo, caráter hidrofóbico em sua estrutura.

Os grupos de contrastes T vs Am+AH+(Am+AH) (C1) e T vs E+AH+(E+AH) (C4) que comparam os tratamentos *versus* a testemunha foram sempre positivos, indicando, com isso, que todos os tratamentos e a testemunha aumentaram a agregação do solo (Quadro 6). Ressalta-se que, geralmente, as variáveis analisadas se apresentaram significativas aos 80 e 160 dias de incubação, no horizonte A e, em todos os tempos de incubação para o horizonte B. Isso mostra um efeito mais rápido dos compostos orgânicos na agregação do horizonte B. Provavelmente, observa-se tal fato, pois a agregação no horizonte A é inicialmente maior e muito influenciada pelos materiais orgânicos nativos, que não estão presentes no horizonte B. PICCOLO e MBAGWU (1999) mostraram que, num solo onde a matéria orgânica inicial foi removida, a ação agregante dos compostos orgânicos é mais pronunciada.

No contraste 2 (Quadro 6) que compara o efeito do amido e do ácido húmico *versus* a combinação dos dois, em todos os tempos de incubação, observa-se que há uma maior ação da combinação do que propriamente dos compostos isolados, quando analisados por via úmida. Essa ação agregante se reduz com o passar do tempo de incubação.

No contraste 5 (Quadro 6) que compara o efeito do ácido esteárico e do ácido húmico *versus* a combinação dos dois, observa-se que no horizonte B, ao contrário do que ocorre no horizonte A, nas variáveis analisadas por via úmida, que maiores valores de agregação se dão nos maiores tempos de incubação.

Os resultados obtidos indicam que períodos de incubação longos de solo com materiais orgânicos hidrofílicos levam a uma diminuição na estabilidade dos agregados do solo. Isso pode estar relacionado com a

maior facilidade de consumo dos compostos que retêm água pela microbiota do solo, já que, os compostos hidrofílicos são metabolizados primeiramente. Parte da recalcitrância do composto hidrofóbico está relacionada a sua repelência à água, dificultando a ação dos microrganismos. Esse comportamento indica que, para que a matéria orgânica tenha um papel significativo na formação e manutenção de agregados, ela deve ser adicionada freqüentemente e em períodos curtos no solo.

O ácido húmico, quando contrastado com os outros compostos orgânicos (amido ou ácido esteárico) usados no solo, apresentou sempre efeito predominante e, na maioria das vezes, significativo, como observado nos contrastes amido *versus* ácido húmico (C3) e ácido esteárico *versus* ácido húmico (C6) (Quadro 6). O ácido húmico é uma molécula que possui tanto caráter hidrofílico quanto hidrofóbico. Assim, esse pode interagir com a fase mineral do solo por meio de ligações hidrofílicas e ainda exibir alguma repelência à água na superfície dos agregados, por conta da porção hidrofóbica da molécula, tornando-os menos propensos a desestruturação.

Quadro 4 – Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) das amostras dos horizontes incubadas a temperatura controlada de 25 °C, separados por via seca.

Horizonte	Dias	Composto Orgânico						\bar{Y}
		T	Am	E	AH	Am+AH	E+AH	
DMP (mm)								
A	40	4,35	4,05	4,04	6,75	6,05	5,96	5,20
	80	3,62	2,86	4,19	7,31	6,81	6,87	5,28
	160	3,79	2,76	3,94	7,09	6,52	5,65	4,96
B	40	3,15	5,02	2,19	8,61	7,58	6,90	5,15
	80	4,71	3,56	2,24	11,25	8,59	7,89	5,58
	160	4,33	1,64	1,58	11,99	7,96	8,14	6,37
DMG (mm)								
A	40	2,05	1,63	1,63	2,59	2,33	2,24	5,94
	80	1,56	1,38	1,68	2,81	2,61	2,61	5,96
	160	1,62	1,35	1,62	2,69	2,50	2,16	2,08
B	40	1,43	1,90	1,23	3,36	2,83	2,59	2,06
	80	1,82	1,52	1,24	5,12	3,34	2,99	2,22
	160	1,78	1,15	1,12	5,40	3,01	3,13	2,67
								2,50

T – testemunha; Am – amido; E – ácido esteárico; AH – ácido húmico.

Quadro 5 – Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade dos agregados (IEA) das amostras dos horizontes incubadas a temperatura controlada de 25 °C, separados por via úmida.

Horizonte	Dias	Composto Orgânico						
		T	Am	E	AH	Am+AH	E+AH	Y
DMP (mm)								
A	40	0,89	0,85	0,90	0,87	1,00	0,91	0,90
	80	0,81	0,89	0,96	0,99	1,06	1,06	0,96
	160	0,84	0,91	0,97	0,94	1,02	1,06	0,96
B	40	0,55	0,65	0,57	0,74	0,73	0,69	0,66
	80	0,55	0,69	0,68	0,73	0,85	0,75	0,71
	160	0,59	0,66	0,74	0,78	0,75	0,81	0,72
DMG (mm)								
A	40	0,66	0,65	0,68	0,65	0,73	0,68	0,68
	80	0,61	0,67	0,71	0,72	0,77	0,77	0,71
	160	0,64	0,69	0,72	0,68	0,75	0,77	0,71
B	40	0,43	0,50	0,47	0,58	0,49	0,54	0,50
	80	0,45	0,53	0,54	0,55	0,63	0,56	0,54
	160	0,49	0,51	0,58	0,59	0,56	0,60	0,56
IEA (%)								
A	40	93,98	95,44	95,15	93,21	96,56	94,55	94,82
	80	92,00	96,42	95,18	96,89	97,84	97,17	95,92
	160	94,74	95,63	96,04	94,51	97,81	98,49	96,20
B	40	81,00	86,55	86,05	93,68	67,88	92,24	84,57
	80	85,53	88,48	90,56	91,58	95,21	90,23	90,27
	160	88,93	88,88	93,39	92,48	90,31	93,42	91,24
								88,69

T – testemunha; Am – amido; E – ácido esteárico; AH – ácido húmico.

Quadro 6 – Valores dos contrastes médios para as variáveis analisadas no experimento de incubação

Contraste	DMPS	DMGS	DMPU	DMGU	IEAU
	-----mm-----				%
C1 d/T ₄₀ d/A	1,27	0,13	0,02	0,02	1,09
C2 d/T ₄₀ d/A	0,65	0,22	0,14**	0,08*	2,24
C3 d/T ₄₀ d/A	2,70**	0,96*	0,02	0,00	-2,23
C4 d/T ₄₀ d/A	1,23	0,10	0,00	0,01	0,32
C5 d/T ₄₀ d/A	0,57	0,13	0,03	0,02	0,37
C6 d/T ₄₀ d/A	2,71**	0,96*	-0,03	-0,03	-1,94
C1 d/T ₈₀ d/A	2,04*	0,71*	0,17**	0,11**	5,05°
C2 d/T ₈₀ d/A	1,73*	0,51	0,12**	0,08*	1,19
C3 d/T ₈₀ d/A	4,45**	1,43**	0,10*	0,05	0,47
C4 d/T ₈₀ d/A	2,20**	0,81*	0,19**	0,12**	4,41
C5 d/T ₈₀ d/A	1,12	0,37	0,09°	0,06*	1,14
C6 d/T ₈₀ d/A	3,12**	1,13**	0,03	0,01	1,71
C1 d/T ₁₆₀ d/A	1,67*	0,56°	0,12**	0,06*	1,24
C2 d/T ₁₆₀ d/A	1,60°	0,48	0,10*	0,07*	2,74
C3 d/T ₁₆₀ d/A	4,33**	1,34**	0,03	-0,01	-1,12
C4 d/T ₁₆₀ d/A	1,77*	0,54°	0,15**	0,08**	1,61
C5 d/T ₁₆₀ d/A	0,14	0,00	0,11*	0,07*	3,22
C6 d/T ₁₆₀ d/A	3,15**	1,07**	-0,03	-0,04	-1,53
C1 d/T ₄₀ d/B	3,92**	1,27**	0,16**	0,09**	1,70
C2 d/T ₄₀ d/B	0,77	0,20	0,04	0,05*	22,24**
C3 d/T ₄₀ d/B	3,59**	1,46**	0,09°	0,08*	7,13*
C4 d/T ₄₀ d/B	2,75**	0,96**	0,12**	0,10**	9,66**
C5 d/T ₄₀ d/B	1,50°	0,30	0,03	0,02	2,38
C6 d/T ₄₀ d/B	6,42**	2,13**	0,17**	0,11**	7,63*
C1 d/T ₈₀ d/B	3,09**	1,51**	0,21**	0,12**	6,23*
C2 d/T ₈₀ d/B	1,19	0,02	0,14**	0,09**	5,18°
C3 d/T ₈₀ d/B	7,69**	3,60**	0,04	0,02	3,10
C4 d/T ₈₀ d/B	2,41**	1,30**	0,17**	0,10**	5,26°
C5 d/T ₈₀ d/B	1,15	-0,19	0,05	0,02	-0,84
C6 d/T ₈₀ d/B	9,01**	3,88**	0,05	0,01	1,02
C1 d/T ₁₆₀ d/B	2,87**	1,41**	0,14**	0,06*	1,63
C2 d/T ₁₆₀ d/B	1,15	0,27	0,03	0,01	-0,37
C3 d/T ₁₆₀ d/B	10,35**	4,25**	0,12*	0,08*	3,60
C4 d/T ₁₆₀ d/B	2,91**	1,44**	0,19**	0,10**	4,16
C5 d/T ₁₆₀ d/B	1,35	-0,13	0,05°	0,02	0,49
C6 d/T ₁₆₀ d/B	10,41**	4,28**	0,04	0,01	-0,91

DMPS – diâmetro médio ponderado via seca; DMGS – diâmetro médio geométrico via seca; DMPU – diâmetro médio ponderado via úmida; DMGU – diâmetro médio geométrico via úmida; IEAU – índice de estabilidade de agregados via úmida; C1 –T vs Am+AH+(Am+AH); C2 – Am+AH vs (Am+AH); C3 – Am vs AH; C4 –T vs E+AH+(E+AH); C5 - E+AH vs (E+AH); C6 – E vs AH; d/ - dentro de; T₄₀, T₈₀ e T₁₆₀ – período de incubação de 40, 80 e 160 dias, respectivamente; A – horizonte A; B – horizonte B; °, * e ** - contraste significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As elevadas doses de amido e ácido esteárico não mostraram efeito positivo na formação de agregados, como foi visto no experimento de doses. Valores elevados de amido e, principalmente, de ácido esteárico dificultam a formação de agregados estáveis em água. Contudo, observa-se nos contrastes nos quais se compara amido, ácido húmico e combinação destes contra a testemunha no horizonte B, geralmente ocorre uma diminuição na formação e estabilização dos agregados nos maiores tempos de incubação (Quadro 6). Como observado por TISDALL e OADES (1982), CHANEY e SWIFT (1986a) e PICCOLO e MBAGWU (1999), os polissacarídeos, compostos hidrofílicos, apresentam efeito passageiro na agregação, que diminui com o passar do tempo. Já o ácido esteárico, composto hidrofóbico, apresentou, geralmente, efeitos negativos na agregação quando foi analisado por via seca e efeitos positivos quando analisado por via úmida (Quadro 6). Isso é relevante, pois mostra que o ácido esteárico não é muito eficiente na formação de agregados grandes como é o caso do ácido húmico, porém, este comportamento aumenta a resistência à entrada de água no agregado e, conseqüentemente, sua estabilidade.

O grau de repelência à água (Quadro 7) foi determinado pelo tempo de penetração da gota de água e classificado conforme proposto por KING (1981). Nesta análise, somente amostras do horizonte A tiveram resultados distintos para cada tratamento. O amido induziu uma pequena repelência aos 160 dias de incubação, o que não foi eficiente no efeito da agregação, já que se viu que os maiores valores dos índices de estabilidade aos 40 dias de incubação na análise via seca e aos 80 dias na análise via úmida. Possivelmente, nas amostras do horizonte B, a higroscopicidade das argilas presentes não tenha permitido a avaliação do efeito de repelência à água dos compostos orgânicos dos tratamentos.

O ácido esteárico sozinho ou em combinação com o ácido húmico foram os tratamentos que mostraram maior repelência à água aos 160 dias de incubação. Tal hidrofobicidade foi bem relacionada com o efeito do ácido esteárico na estabilidade dos agregados. Vê-se pelo Quadro 6 que, aos 160 dias, o efeito do ácido esteárico é positivo e significativo quando analisado por via úmida. Provavelmente, em doses não tão elevadas aos 160 dias, o

ácido esteárico traria benefícios maiores para a agregação, como indicado pelo experimento de doses.

Vale ressaltar que a análise do tempo de penetração de gota foi feita nas amostras quando estas tinham sua umidade em equilíbrio com o ambiente. Assim o teor de umidade não variou muito entre amostras.

Quadro 7 – Tempos de penetração de gota e classes de repelência à água de agregados de 2 - 4 mm dos horizontes A e B do solo estudado pelo experimento de incubação.

Horizonte	Composto orgânico	40 dias	80 dias	160 dias
----- S -----				
A	T	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	Am	>1* (NR)	>1* (NR)	9 (RFa)
	E	1 (NR)	6 (RFa)	940 (RS)
	AH	>1* (NR)	1 (NR)	9 (RFa)
	Am+AH	11 (RFa)	32 (RFa)	340 (RFo)
	E+AH	18 (RFa)	70 (RFo)	900 (RS)
B	T	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	Am	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	E	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	AH	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	Am+AH	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	E+AH	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)

T – testemunha; Am – amido; E – ácido esteárico; AH – ácido húmico; NR – não repelente (<5 s); RFa – repelência fraca (5 – 60 s); RFo – repelência forte (60 – 600 s); RS – repelência severa (600 – 3.600 s). Os valores >1 segundo são aproximados.

4.3. Efeito dos ciclos de umedecimento e secagem

Quando são comparados os valores médios de agregação obtidos no experimento de incubação com os de ciclos de umedecimento e secagem (Quadros 4 e 5 com 8 e 9), é notório a superioridade dos valores médios obtidos no solo incubado. Isso evidencia que os ciclos de umedecimento e secagem reduziram a atuação dos compostos orgânicos no aumento da agregação do solo. Porém, após os ciclos de umedecimento e secagem há um aumento da agregação do solo em relação à agregação inicial (TFSA). CHANEY e SWIFT (1986b) chegaram a resultados que mostravam que os

ciclos de umedecimento e secagem não aumentaram a estabilidade de agregados analisados por via úmida.

Na avaliação do efeito dos ciclos de umedecimento e secagem nos tratamentos com compostos orgânicos, praticamente, só se observou respostas significativas e relevantes no horizonte B (Quadro 10). Acredita-se que isso se deve à ação intensa dos ciclos de umedecimento e secagem sobre os compostos orgânicos. Estes compostos diminuíram assim seu efeito agregante, o que foi mais evidenciado no horizonte A, já que neste havia uma agregação inicial superior ao do horizonte B.

No horizonte B, tanto o contraste do amido, ácido húmico e a combinação destes *versus* a testemunha, quanto o contraste do ácido esteárico, ácido húmico e combinação dos dois *versus* a testemunha apresentaram comportamentos similares (Quadro 10). A estabilidade dos agregados cresceu com o passar do tempo, quando o solo foi analisado por via úmida, e caiu, com o passar do tempo, quando analisado por via seca. Isto reforça a idéia de que os compostos hidrofílicos (amido) e hidrofóbico (ácido esteárico) não tiveram efeito expressivo na agregação quando expostos a ciclos de umedecimento e secagem semanais. Provavelmente, por causa da desestruturação sofrida pelas substâncias.

Os contrastes que comparam amido ou ácido esteárico com ácido húmico (Quadro 10), demonstram que o principal responsável pela estabilização dos agregados foi o ácido húmico. Este teve seu efeito diminuído quando exposto a um maior número de ciclos de umedecimento e secagem.

O grau de repelência à água (Quadro 11) não mostrou nenhuma relação com as respostas dos efeitos estudados tanto na análise via seca quanto via úmida (Quadro 8). Com exceção do tratamento com o ácido esteárico e o ácido húmico combinados aos 40 e aos 80 dias, nenhum tratamento mostrou repelência à água. Assim, pode-se inferir que os ciclos de umedecimento e secagem podem inibir a repelência à água existente no solo tratado com compostos orgânicos hidrofóbicos.

Quadro 8 – Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) das amostras dos horizontes submetidos a ciclos de umedecimento semanais, separados por via seca.

Horizonte	Dias	Composto Orgânico						
		T	Am	E	AH	Am+AH	E+AH	\bar{Y}
DMP (mm)								
A	40	1,03	1,82	1,07	2,31	5,07	2,21	2,25
	80	1,06	1,72	1,03	2,46	2,64	1,88	1,80
	160	1,01	1,23	1,05	1,90	2,16	1,37	1,45
B	40	1,22	1,84	1,18	11,29	4,78	6,84	1,83
	80	1,26	1,20	1,27	11,24	6,97	5,86	4,53
	160	1,07	1,13	1,04	6,63	7,39	8,19	4,63
DMG (mm)								
A	40	1,01	1,17	1,02	1,29	2,09	1,30	4,24
	80	1,02	1,27	1,01	1,34	1,39	1,24	1,21
	160	1,00	1,05	1,01	1,22	1,26	1,09	1,11
B	40	1,05	1,16	1,05	4,98	1,86	2,58	1,21
	80	1,05	1,04	1,06	4,81	2,66	2,25	2,15
	160	1,02	1,03	1,01	2,50	2,78	3,24	1,93
								2,06

Am – amido; E – ácido esteárico; AH – ácido húmico.

Quadro 9 – Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) das amostras dos horizontes submetidos a ciclos de umedecimento semanais, separados por via úmida.

Horizonte	Dias	Composto Orgânico						Ȳ
		T	Am	E	AH	Am+AH	E+AH	
DMP (mm)								
A	40	0,59	0,71	0,74	0,74	0,81	0,89	0,75
	80	0,72	0,79	0,75	0,80	0,83	0,90	0,80
	160	0,69	0,72	0,81	0,78	0,83	0,71	0,77
B	40	0,48	0,52	0,50	0,64	0,67	0,67	0,58
	80	0,52	0,63	0,56	0,63	0,71	0,67	0,62
	160	0,48	0,57	0,58	0,64	0,78	0,67	0,62
DMG (mm)								
A	40	0,46	0,53	0,58	0,56	0,59	0,66	0,56
	80	0,56	0,59	0,59	0,60	0,63	0,67	0,61
	160	0,55	0,55	0,62	0,59	0,63	0,55	0,58
B	40	0,38	0,41	0,40	0,47	0,51	0,49	0,44
	80	0,41	0,50	0,45	0,48	0,53	0,49	0,48
	160	0,40	0,45	0,47	0,48	0,59	0,50	0,48
IEA (%)								
A	40	80,43	84,18	90,04	86,00	90,59	92,47	87,29
	80	92,23	88,32	90,02	88,99	93,87	93,51	91,16
	160	93,06	89,92	91,81	91,04	93,31	89,13	91,38
B	40	72,15	76,26	72,07	80,47	84,91	79,70	81,34
	80	73,68	87,44	83,81	89,09	83,21	80,46	82,95
	160	76,23	80,79	86,38	82,47	90,62	84,31	83,47

T – testemunha; Am – amido; E – ácido esteárico; AH – ácido húmico.

Quadro 10 – Valores dos contrastes médios para as variáveis analisadas no experimento de ciclos de umedecimento e secagem

Contraste	DMPS	DMGS	DMPU	DMGU	IEAU
	-----mm-----				%
C1 d/T ₄₀ d/A	2,04**	0,51	0,17	0,10*	6,49°
C2 d/T ₄₀ d/A	3,00**	0,86**	0,09**	0,05	5,50
C3 d/T ₄₀ d/A	0,49	0,12	0,03	0,03	1,82
C4 d/T ₄₀ d/A	0,83	0,19	0,02	0,14**	9,07*
C5 d/T ₄₀ d/A	0,52	0,15	0,15*	0,09*	4,45
C6 d/T ₄₀ d/A	1,24	0,27	0,00	-0,02	-4,04
C1 d/T ₈₀ d/A	1,21°	0,31	0,09	0,05	-1,83
C2 d/T ₈₀ d/A	0,55	0,09	0,04	0,04	5,22
C3 d/T ₈₀ d/A	0,74	0,07	0,01	0,01	0,67
C4 d/T ₈₀ d/A	0,73	0,18	0,10	0,06°	-1,39
C5 d/T ₈₀ d/A	0,14	0,07	0,13°	0,08°	4,00
C6 d/T ₈₀ d/A	1,43°	0,33	0,05	0,01	-1,03
C1 d/T ₁₆₀ d/A	0,75	0,18	0,09	0,04	1,64
C2 d/T ₁₆₀ d/A	0,60	0,13	0,08*	0,06°	2,83
C3 d/T ₁₆₀ d/A	0,67	0,17	0,06	0,04	1,12
C4 d/T ₁₆₀ d/A	0,43	0,11	0,08	0,04	-2,40
C5 d/T ₁₆₀ d/A	-0,11	-0,03	0,09	-0,06°	-2,48
C6 d/T ₁₆₀ d/A	0,85	0,21	-0,03	-0,03	-0,77
C1 d/T ₄₀ d/B	4,75**	1,61**	0,13*	0,08*	8,40*
C2 d/T ₄₀ d/B	-1,79*	-1,21**	0,09	0,07°	6,55°
C3 d/T ₄₀ d/B	9,45**	3,82**	0,12	0,06°	4,21
C4 d/T ₄₀ d/B	5,22**	1,82**	0,12°	0,07°	5,26
C5 d/T ₄₀ d/B	0,61	-0,44	0,10	0,05°	3,43
C6 d/T ₄₀ d/B	10,11**	3,93**	0,14°	0,07°	8,40°
C1 d/T ₈₀ d/B	5,21**	1,79**	0,14*	0,09*	12,90**
C2 d/T ₈₀ d/B	0,75	-0,27	0,08	0,04	-5,06
C3 d/T ₈₀ d/B	10,04**	3,77**	0,00	-0,02	1,65
C4 d/T ₈₀ d/B	4,86**	1,66**	0,10	0,06°	10,77**
C5 d/T ₈₀ d/B	-0,40	-0,69*	0,08	0,03	-5,99
C6 d/T ₈₀ d/B	9,97**	3,75**	0,07	0,03	5,28
C1 d/T ₁₆₀ d/B	3,98**	1,08**	0,18**	0,11**	8,40*
C2 d/T ₁₆₀ d/B	3,51**	1,02**	0,18*	0,13**	8,99*
C3 d/T ₁₆₀ d/B	5,50**	1,47**	0,07	0,03	1,68
C4 d/T ₁₆₀ d/B	4,22**	1,23**	0,15*	0,08*	8,16*
C5 d/T ₁₆₀ d/B	4,36**	1,49**	0,06	0,03	-0,12
C6 d/T ₁₆₀ d/B	5,59**	1,49**	0,06	0,01	-3,91

DMPS – diâmetro médio ponderado via seca; DMGS – diâmetro médio geométrico via seca; DMPU – diâmetro médio ponderado via úmida; DMGU – diâmetro médio geométrico via úmida; IEAU – índice de estabilidade de agregados via úmida; C1 –T vs Am+AH+(Am+AH); C2 – Am+AH vs (Am+AH); C3 – Am vs AH; C4 –T vs E+AH+(E+AH); C5 – E+AH vs (E+AH); C6 – E vs AH; d/ - dentro de; T₄₀, T₈₀ e T₁₆₀ – período de incubação de 40, 80 e 160 dias, respectivamente; A – horizonte A; B – horizonte B; °, * e ** - contraste significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Quadro 11 – Tempos de penetração de gota e classes de repelência à água de agregados de 2 - 4 mm dos horizontes A e B do solo estudado pelo experimento de ciclos de umedecimento e secagem.

Horizonte	Composto orgânico	40 dias	80 dias	160 dias
----- S -----				
A	T	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	Am	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	E	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	AH	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	Am+AH	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	E+AH	6 (RFa)	8 (RFa)	>1* (NR)
B	T	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	Am	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	E	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	AH	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	Am+AH	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)
	E+AH	>1* (NR)	>1* (NR)	>1* (NR)

T – testemunha; Am – amido; E – ácido esteárico; AH – ácido húmico; NR – não repelente (<5 s); RFa – repelência fraca (5 – 60 s); RFo – repelência forte (60 – 600 s); RS – repelência severa (600 – 3.600 s). * Os valores >1 segundo são aproximados.

5. CONCLUSÕES

Considerando o solo estudado, o espaço experimental testado e as condições de análise os dados obtidos neste estudo nos permitem concluir que:

- Compostos orgânicos de diferentes graus de hidrofobicidade formam e aumentam a estabilidade dos agregados do solo.
- O composto com caráter hidrofílico mais acentuado não apresenta influência na agregação do solo em longo prazo, quando se usa uma dose de até $9,9 \text{ g kg}^{-1}$.
- Em longo prazo, compostos com caráter hidrofóbico aumentam a estabilidade dos agregados em água. Obteve-se maior aumento com o uso destes compostos em doses variando de $4,8$ a $5,1 \text{ g kg}^{-1}$ conforme a variável analisada.
- Para o aumento da agregação, a aplicação de compostos orgânicos hidrofílicos no solo deve ser freqüente (intervalos menores que 40 dias). Já o material orgânico hidrofóbico pode ser adicionado em intervalos maiores.
- Os ciclos de umedecimento e secagem tiveram menor efeito no aumento da agregação dos solos tratados com os materiais orgânicos estudados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREAUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A., ed. Humic substances in terrestrial ecosystems. Amsterdam, Elsevier, 1996. p.45-100.
- ANGERS, D.A. e MEHUYS, G.R. Effects of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. *Can. J. Soil Sci.*, 69:373-380, 1989.
- BAVER, L.D. The effect of organic matter on soil structure. In: *Semaine d'étude sur le theme matiere organique et fertilite du sol.*, North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 22-27 Avril 1968. Pontificia Academia Scientiarvm, Vaticano, 1968. p. 383-404.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. e GARDNER, W.R. Física de suelos. México, U.T.E.H.A., 1973. 529p.
- BOND, R.D. The occurrence of water repellent soils in Australia. In: *Proc. Symp. Water Rep. Soils*, Riverside, 1968. Univ. of Calif., Riverside, 1969. p.1-6.
- CARVALHO FILHO, A. Caracterização mineralógica, química e física de solos de duas unidades de paisagem do planalto de Viçosa. Viçosa, MG: UFV, 1989. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.
- CARVALHO, A.F. Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da região sudeste. Viçosa, MG: UFV, 1991. 73p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. e PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:527-538, 1998.
- CHANEY, K. e SWIFT, R.S. The influence of organic matter on the stability of some British soils. *J. Soil Sci.*, 35:223-230, 1984.
- CHANEY, K. e SWIFT, R.S. Studies on aggregate stability. I. Re-formation of soil aggregates. *J. Soil Sci.*, 37:329-335, 1986a.

- CHANEY, K. e SWIFT, R.S. Studies on aggregate stability. II. The effect of humic substances on the stability of re-formed soil aggregates. *J. Soil Sci.*, 37:337-343, 1986b.
- CHENU, C.; GUÉRIF, J. e JAUNET, A.M. Polymer bridging: A mechanism of clay and soil structure stabilization by polysaccharides. In: World Congress of Soil Science, 15^a, ISSS, Acapulco, Mexico, 1994. p.403-410.
- CHENU, C.; BISSONNAIS, Y. e ARROUAYS, D. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1479-1486, 2000.
- CONTE, P. e PICCOLO, A. Conformational arrangement of dissolved humic substances. Influence of solution composition on association of humic molecules. *Environ. Sci. Technol.*, 33:1682-1690, 1999.
- COUGHLAN, K.J.; FOX, W.E. e HUGHES, J.D. A study of the mechanisms of aggregation in a Krasnozem soil. *Aust. J. Soil Res.*, 11:65-73, 1973.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. *Soil & Tillage Research*, 11:199-238, 1988.
- DINEL, H.; LEVESQUE, M. e MEHUYS, G.R. Effects of long chain aliphatic compounds on the aggregate stability of a lacustrine silty clay. *Soil Sci.*, 151:228-239, 1991a.
- DINEL, H.; LEVESQUE, M.; JAMBU, P. e RIGHI, D. Microbial activity and long-chain aliphatics in the formation of stable soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1455-1463, 1992.
- DINEL, H.; MEHUYS, G.R. e LEVESQUE, M. Influence of humic and fibric material on the aggregation and aggregate stability of a lacustrine silty clay. *Soil Sci.*, 151:146-158, 1991b.
- DUARTE, P.; BARTOLI, F.; ANDREAUX, F.; PORTAL, J.M. e ANGE, A. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. *Geoderma*, 56:459-478, 1993.
- EDWARDS, A.P. e BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 18: 64-73, 1967.
- EMERSON, W.W. The structure of soil crumbs. *J. Soil Sci.*, 10:235-244, 1959.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- FORTUN, A.; BENEYAS, J. e FORTUN, C. The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: A micromorphological study. *J. Soil Sci.*, 41:563-572, 1990.

- HAMBLIN, A.P. e GREENLAND, D.J. Effect of organic constituents and complexed metal ions on aggregate stability of some East Anglian soils. *J. Soil Sci.*, 28:410-416, 1977.
- HAYNES, R.J. e SWIFT, R.S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. *J. Soil Sci.*, 41:73-83, 1990.
- HILLEL, D. *Fundamentals of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. 413p.
- JONGE, L.W.; JACOBSEN, O.H. e MOLDRUP, P. Soil water repellency: effects of water content, temperature and particle size. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:437-442, 1999.
- KAISER, K. e ZECH, W. Sorption of dissolved organic nitrogen by acid subsoil horizons and individual mineral phases. *Eur. J. Soil Sci.*, 51:403-411, 2000.
- KEMPER, W.D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 511-519.
- KEMPER, W.D., CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.449-510.
- KING, P.M. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Aust. J. Soil Res.*, 19:275-285, 1981.
- LETEY, J. Measurement of contact angle, water drop penetration time and critical surface tension. In: *Proc. Symp. Water Rep. Soils*, Riverside, 1968. Univ. of Calif., 1969. p. 43-48.
- LYNCH, J.M. e BRAGG, E. Microorganisms and soil aggregate stability. *Adv. Soil Sci.*, 2:133-171, 1985.
- MALTONI, K.L. *Estudo da compactação e, ou, adensamento em subsuperfície de latossolos sob diferentes usos*. Viçosa, MG: UFV, 1994. 73p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- MACGHIE, M. e POSNER, A.M. Water repellence of a heavy textured western Australian surface soil. *Aust. J. Soil Res.* 18:309-323, 1980.
- MBAGWU, J.S.C. e PICCOLO, A. Changes in aggregate stability induced by amendment with humic substances. *Soil Technol.*, 2:49-57, 1989.
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76:319-337, 1984.
- OADES, J.M. e WATERS, S.G. Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.*, 29:815-828, 1991.

- PICCOLO, A. e MBAGWU, J.S.C. Effects of humic substances and surfactants on the stability of soil aggregates. *Soil Sci.*, 147:47-54, 1989.
- PICCOLO, A. e MBAGWU, J.S.C. Effects of different organic wastes amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. *Plant and Soil*, 123:27-37, 1990.
- PICCOLO, A. e MBAGWU, J.S.C. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:950-955, 1994.
- PICCOLO, A. e MBAGWU, J.S.C. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1081-1810, 1999.
- PICCOLO, A.; NARDI, S. e CONCHERI, G. Macromolecular changes of humic substances induced by interaction with organic acids. *Eur. J. Soil Sci.*, 47: 319-329, 1996.
- PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo. 2. ed. São Paulo, Nobel, 1990. p. 109-138.
- RUSSEL, E.W. The interaction of clay with water and organic liquid as measured by specific volume changes and its relation to the phenomenon of crumb formation in soil. *Phil. Trans. Roy. Soc., London, (Ser. A)* 233:361-390, 1934.
- SÁNCHEZ, P.A. Suelos del trópico: características y manejo. San José, Costa Rica, IICA, 1981. 660p.
- SILVA, I.F. e MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, Campinas, 22:113-117, 1998.
- SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. e COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:681-689, 2000.
- SULLIVAN, L.A. Soil organic matter, air encapsulation and water stable aggregation. *J. Soil Sci.*, 41:529-534, 1990.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS et al., eds. *Methods of soil analysis Part 3: Chemical methods*. Madison, SSSA, 1996. p.1011-1020.
- TISDALL, J.M. e OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- WALLIS, M.G. e HORNE, D.J. Soil water repellency. *Adv. Soil Sci.*, 20:91-146, 1992.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature erosion losses. *J. Am. Soc. Agr.*, 28:337-351, 1936.

YOEMANS, J.C., BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, New York, 19:1467-1476, 1988.

7. APÊNDICE

Quadro 12 – Quadrados médios para as variáveis analisadas no experimento de incubação

Contraste	GL	DMPS	DMGS	DMPU	DMGU	IEAU
C1 d/T ₄₀ d/A	1	3,61	0,04	0,00	0,00	2,67
C2 d/T ₄₀ d/A	1	0,85	0,10	0,04**	0,01*	9,99
C3 d/T ₄₀ d/A	1	10,94**	1,38*	0,00	0,00	7,46
C4 d/T ₄₀ d/A	1	3,42	0,02	0,00	0,00	0,24
C5 d/T ₄₀ d/A	1	0,64	0,03	0,00	0,00	0,27
C6 d/T ₄₀ d/A	1	11,02**	1,38*	0,00	0,00	5,65
C1 d/T ₈₀ d/A	1	9,36*	1,12*	0,07**	0,03**	57,38°
C2 d/T ₈₀ d/A	1	5,95*	0,53	0,03**	0,01*	2,81
C3 d/T ₈₀ d/A	1	29,70**	3,07**	0,02*	0,00	0,33
C4 d/T ₈₀ d/A	1	14,10**	1,46*	0,08**	0,03**	43,82
C5 d/T ₈₀ d/A	1	2,51	0,27	0,01°	0,01*	2,58
C6 d/T ₈₀ d/A	1	14,60**	1,92**	0,00	0,00	4,39
C1 d/T ₁₆₀ d/A	1	6,25*	0,71°	0,03**	0,01*	3,48
C2 d/T ₁₆₀ d/A	1	5,09°	0,46	0,02*	0,01*	15,02
C3 d/T ₁₆₀ d/A	1	28,12**	2,69**	0,00	0,00	1,88
C4 d/T ₁₆₀ d/A	1	7,05*	0,65°	0,05**	0,02**	5,81
C5 d/T ₁₆₀ d/A	1	0,04	0,00	0,02*	0,01*	20,67
C6 d/T ₁₆₀ d/A	1	14,88**	1,72**	0,00	0,00	3,51
C1 d/T ₄₀ d/B	1	34,57**	3,61**	0,06**	0,02**	6,53
C2 d/T ₄₀ d/B	1	1,17	0,08	0,00	0,01*	988,79**
C3 d/T ₄₀ d/B	1	19,33**	3,20**	0,01°	0,01*	76,26*
C4 d/T ₄₀ d/B	1	17,02**	2,09**	0,03**	0,02**	209,82**
C5 d/T ₄₀ d/B	1	4,50°	0,17	0,00	0,00	11,28
C6 d/T ₄₀ d/B	1	61,82**	6,81**	0,04**	0,02**	87,33*
C1 d/T ₈₀ d/B	1	21,48**	5,11**	0,10**	0,03**	87,24*
C2 d/T ₈₀ d/B	1	2,81	0,00	0,04**	0,02**	53,66°
C3 d/T ₈₀ d/B	1	88,70**	19,44**	0,00	0,00	14,42
C4 d/T ₈₀ d/B	1	13,14**	3,78**	0,07**	0,02**	62,25°
C5 d/T ₈₀ d/B	1	2,62	0,07	0,00	0,00	1,41
C6 d/T ₈₀ d/B	1	121,77**	22,58**	0,00	0,00	1,56
C1 d/T ₁₆₀ d/B	1	18,49**	4,45**	0,04**	0,01*	5,95
C2 d/T ₁₆₀ d/B	1	2,62	0,14	0,00	0,00	0,27
C3 d/T ₁₆₀ d/B	1	160,68**	27,09**	0,02*	0,01*	19,44
C4 d/T ₁₆₀ d/B	1	19,01**	4,64**	0,08**	0,02**	39,06
C5 d/T ₁₆₀ d/B	1	3,67	0,03	0,01°	0,00	0,47
C6 d/T ₁₆₀ d/B	1	162,55**	27,48**	0,00	0,00	1,24
RESÍDUO	72	1,40	0,23	0,003	0,002	16,03
CV (%)		21,32	20,97	7,11	7,25	4,34

DMPS – diâmetro médio ponderado via seca; DMGS – diâmetro médio geométrico via seca; DMPU – diâmetro médio ponderado via úmida; DMGU – diâmetro médio geométrico via úmida; IEAU – índice de estabilidade de agregados via úmida; T₄₀, T₈₀ e T₁₆₀ – período de incubação de 40, 80 e 160 dias, respectivamente; C1 –T vs Am+AH+(Am+AH); C2 – Am+AH vs (Am+AH); C3 – Am vs AH; C4 –T vs E+AH+(E+AH); C5 - E+AH vs (E+AH); C6 – E vs AH; d/ - dentro de; A – horizonte A; B – horizonte B; °, * e ** - contraste significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; CV – coeficiente de variação.

Quadro 13 – Quadrados médios para as variáveis analisadas no experimento de ciclos de umedecimento e secagem

Contraste	GL	DMPS	DMGS	DMPU	DMGU	IEAU
C1 d/T ₄₀ d/A	1	9,33**	0,58	0,06*	0,02*	94,87°
C2 d/T ₄₀ d/A	1	18,06**	1,48**	0,01	0,00	60,50
C3 d/T ₄₀ d/A	1	0,36	0,02	0,00	0,00	4,97
C4 d/T ₄₀ d/A	1	1,56	0,08	0,00	0,04**	185,23*
C5 d/T ₄₀ d/A	1	0,54	0,04	0,05*	0,02*	39,61
C6 d/T ₄₀ d/A	1	2,31	0,11	0,00	0,00	24,48
C1 d/T ₈₀ d/A	1	3,31°	0,22	0,02	0,00	7,59
C2 d/T ₈₀ d/A	1	0,61	0,01	0,00	0,00	54,39
C3 d/T ₈₀ d/A	1	0,82	0,01	0,00	0,00	0,67
C4 d/T ₈₀ d/A	1	1,20	0,07	0,02	0,01°	4,35
C5 d/T ₈₀ d/A	1	0,04	0,01	0,03°	0,01°	32,08
C6 d/T ₈₀ d/A	1	3,07°	0,16	0,00	0,00	1,59
C1 d/T ₁₆₀ d/A	1	1,28	0,07	0,02	0,00	6,03
C2 d/T ₁₆₀ d/A	1	0,71	0,03	0,01	0,01°	16,02
C3 d/T ₁₆₀ d/A	1	0,67	0,04	0,01	0,00	1,88
C4 d/T ₁₆₀ d/A	1	0,42	0,03	0,01	0,00	12,96
C5 d/T ₁₆₀ d/A	1	0,02	0,00	0,01	0,01°	10,53
C6 d/T ₁₆₀ d/A	1	1,08	0,07	0,00	0,00	0,89
C1 d/T ₄₀ d/B	1	50,77**	5,88**	0,04*	0,02*	158,63*
C2 d/T ₄₀ d/B	1	6,37*	2,93**	0,02	0,01°	85,67°
C3 d/T ₄₀ d/B	1	133,95**	21,89**	0,02	0,01°	26,59
C4 d/T ₄₀ d/B	1	61,23**	7,45**	0,03°	0,01°	62,33
C5 d/T ₄₀ d/B	1	0,73	0,38	0,02	0,01°	23,53
C6 d/T ₄₀ d/B	1	153,32**	23,17**	0,03°	0,01°	105,84°
C1 d/T ₈₀ d/B	1	61,07**	7,18**	0,04*	0,02*	374,42**
C2 d/T ₈₀ d/B	1	1,13	0,14	0,01	0,00	51,11
C3 d/T ₈₀ d/B	1	151,20**	21,32**	0,00	0,00	4,08
C4 d/T ₈₀ d/B	1	53,22**	6,18**	0,02	0,01°	261,15**
C5 d/T ₈₀ d/B	1	0,31	0,94*	0,01	0,00	71,76
C6 d/T ₈₀ d/B	1	149,10**	21,09**	0,01	0,00	41,82
C1 d/T ₁₆₀ d/B	1	35,64**	2,64**	0,08**	0,03**	158,63*
C2 d/T ₁₆₀ d/B	1	24,64**	2,06**	0,06*	0,03**	161,64*
C3 d/T ₁₆₀ d/B	1	45,38**	3,24**	0,01	0,00	4,23
C4 d/T ₁₆₀ d/B	1	40,01**	3,40**	0,05*	0,02*	149,70*
C5 d/T ₁₆₀ d/B	1	37,93**	4,41**	0,01	0,00	0,03
C6 d/T ₁₆₀ d/B	1	46,87**	3,33**	0,01	0,00	22,93
RESÍDUO	72	1,00	0,19	0,01	0,003	28,16
CV (%)		31,71	26,74	10,86	10,71	6,20

DMPS – diâmetro médio ponderado via seca; DMGS – diâmetro médio geométrico via seca; DMPU – diâmetro médio ponderado via úmida; DMGU – diâmetro médio geométrico via úmida; IEAU – índice de estabilidade de agregados via úmida; T₄₀, T₈₀ e T₁₆₀ – período de incubação de 40, 80 e 160 dias, respectivamente; C1 –T vs Am+AH+(Am+AH); C2 – Am+AH vs (Am+AH); C3 – Am vs AH; C4 –T vs E+AH+(E+AH); C5 - E+AH vs (E+AH); C6 – E vs AH; d/ - dentro de; A – horizonte A; B – horizonte B; °, * e ** - contraste significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; CV – coeficiente de variação.