

**Bárbara Santos Ventura**

**APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE DEJETOS SUÍNOS ALTERAM  
A DINÂMICA DE CARBONO, NITROGÊNIO E FRAÇÕES DA  
MATÉRIA ORGÂNICA DOS AGREGADOS DO SOLO.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Mestre em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Arcângelo Loss

Co-orientador: Prof. Dr. Jucinei José Comin

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ventura, Bárbara Santos

APLICAÇÕES SUCESSIVAS DE DEJETOS SUÍNOS ALTERAM A  
DINÂMICA DE CARBONO, NITROGÊNIO E FRAÇÕES DA MATÉRIA  
ORGÂNICA DOS AGREGADOS DO SOLO. / Bárbara Santos Ventura ;  
orientador, Arcângelo Loss ; coorientador, Jucinei José  
Comin. - Florianópolis, SC, 2017.

68 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós  
Graduação em Agroecossistemas.

Inclui referências

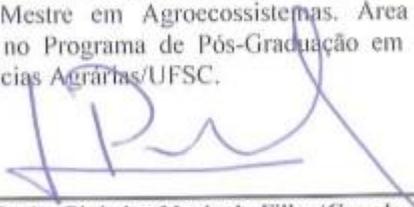
1. Agroecossistemas. 2. agregados biogênicos. 3.  
agregados fisiogênicos. 4. substâncias húmicas. 5. matéria  
orgânica particulada. I. Loss, Arcângelo. II. Comin, Jucinei  
José. III. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

# **“Aplicações Sucessivas de Dejetos Suínos Alteram a Dinâmica de Carbono, Nitrogênio e Frações da Matéria Orgânica dos Agregados do Solo.”**

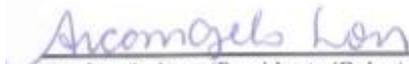
*Por*

**Bárbara Santos Ventura**

Dissertação julgada adequada, em 21/02/2017, e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas. Área de Concentração Agroecologia, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias/UFSC.

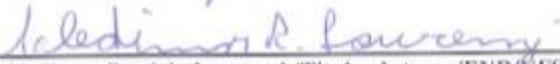
  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luiz Carlos Pinheiro Machado Filho (Coordenador do Programa)

Banca Examinadora:

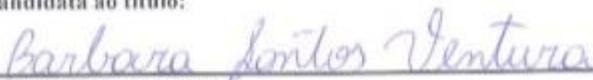
  
\_\_\_\_\_  
Arcangelo Loss (Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Denilson Dortzbach (Titular Externo/Epagri/Ciram)

  
\_\_\_\_\_  
Paulo Emilio Lovato (Titular Interno/ENR/UFSC)

  
\_\_\_\_\_  
Cledimar Rogério Lourenzi (Titular Interno/ENR/UFSC)

Candidata ao título:

  
\_\_\_\_\_  
Bárbara Santos Ventura

Florianópolis, 21/02/2017

*Ao meu filho amado, Carlos Eduardo Ventura da Silva e  
mãezinha Maria Bernadete dos Santos Ventura.*

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

A minha mãe Bete, primeiramente por ter me dado à vida e as condições para que eu concluísse mais uma etapa na minha formação profissional. Por abraçar meu filho durante os sete anos que não pude estar ao lado dele.

Ao meu filho Carlos Eduardo, que me dá força para seguir.

A minha irmã Lara, por dar o exemplo de perseverança nas escolhas.

Ao meu irmão Beto, que ao lado de nossa mãe tem sido um segundo pai para meu filho.

Ao meu companheiro e amigo Daltro, pela presença, por valorizar a importância do meu trabalho, e por se importar com as pessoas, é isso que me inspira.

Ao meu orientador, Arcângelo Loss, pela valiosa dedicação e paciência durante a dissertação.

Ao meu co-orientador, Jucinei José Comin pelo apoio e confiança.

Aos colegas do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia - NEPEA, pelos ensinamentos e por demonstrar a importância de um grupo interdisciplinar na universidade.

A todos os funcionários (as) e professores (as) que de alguma forma contribuíram para minha formação.

A todos (as) que por algum motivo não mencionei, mais que contribuíram de alguma forma durante esses dois anos de mestrado.

## RESUMO

Aplicações continuadas de dejetos suínos no solo podem promover alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos, os quais podem ser utilizados como indicadores de qualidade do solo. A matéria orgânica do solo (MOS), assim como as suas frações, e também a agregação do solo, com destaque para os agregados biogênicos, são considerados excelentes indicadores de qualidade do solo, sendo utilizados para evidenciar diferenças em sistemas de uso do solo sob condições diversificadas. Tais condições podem acarretar em modificações nos atributos edáficos, assim como nas vias de formação dos agregados, que podem ser classificados como biogênicos e fisiogênicos, sendo estes padrões estabelecidos conforme a sua morfologia. Para aumentar a agregação do solo em agroecossistemas, o manejo deve ter como um dos objetivos o aumento das entradas de carbono no solo, a diminuição de perturbações e das taxas de perdas desse elemento por processos como a decomposição e a erosão. Este trabalho visa avaliar os efeitos de diferentes fontes e quantidades de dejetos suínos sobre os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) e das frações da MO dos agregados biogênicos e fisiogênicos em um Argissolo com histórico de aplicações continuadas de dejetos suínos por 10 anos. Foram coletadas amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, nos tratamentos sem aplicação de dejetos (TESTEMUNHA), com aplicação de dejetos líquido de suíno (DLS) e cama sobreposta de suíno (CSS) em dose equivalente a uma e duas vezes a recomendação de nitrogênio para o milho e aveia (DLS1X, DLS2X, CSS1X e CSS2X, respectivamente). Os agregados foram separados conforme a via de formação em biogênicos e fisiogênicos. Posteriormente, em cada via de formação foram quantificados o COT, NT, assim como o C e N das frações químicas da MO, humina (C-HUM/N-HUM), ácidos fúlvicos (C-FAF/N-FAF) e ácidos húmicos (C-FAH/N-FAH), e das frações granulométricas, MO particulada (C-MOP/N-MOP) e associada aos minerais (C-MOM/N-MOM). A aplicação de CSS, independentemente da dose, aumentou os teores totais de C e N dos agregados e das frações húmicas da MO, bem como C e N da MOP e MOM. A aplicação de diferentes formas e quantidades de dejetos suínos aumentaram o C e N em agregados biogênicos, em comparação com agregados fisiogênicos.

**Palavras-chave:** agregados biogênicos, agregados fisiogênicos, substâncias húmicas, matéria orgânica particulada.

## ABSTRACT

Continuous applications of pig manure in soil lead to changes in chemical, physical, and biological attributes, which can be used as indicators of soil quality. Soil organic matter (SOM) and its fractions, as well as soil aggregation, especially biogenic aggregates, are indicators of soil quality. They may be used to show differences in soil under diverse management systems, which lead to changes in soil attributes, as well as in aggregate formation pathways. Aggregates are classified as biogenic or physicogenic, according to their morphology. In order to increase soil aggregation in agroecosystems, management should aim to increase soil carbon inputs, reduce disturbances and reduce soil loss by processes such as decomposition and erosion. This work aimed to evaluate total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), and organic matter (OM) fractions in biogenic and physicogenic aggregates in soil from an area with a history of continuous applications of swine manure for 10 years. Undisturbed soil samples were collected (0-5 cm and 5-10 cm depths) in plots without waste application (CONTROL), with application of pig slurry (PS) and deep litter (DL) at doses equivalent to one and two times the recommended nitrogen dose for corn and oats (PL1X, PL2X, DL1X and DL2X, respectively). Aggregates were separated according to the biogenic and physiogenic formation pathways. Soil TOC, TN, were measured, as well as carbon (C), and nitrogen (N) in the OM fractions humin (C-HUM/N-HUM), fulvic acids (C-FAF/N-FAF), and humic acids (C-HAF/N-HAF). C and N were also determined in particulate OM (C-POM/N-POM) or mineral-associated OM (C-MOM/N-MOM). Deep litter application, regardless of dose, increased soil TOC and TN, and C and N in all OM fractions, as well as C and N in POM and MOM. Pig manure application, in all forms and doses, increased C and N in biogenic aggregates, as compared to physicogenic aggregates.

**Key words:** biogenic aggregates, physicogenic aggregates, humic substances, particulate organic matter.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desagregação do solo devido ao revolvimento do mesmo pelo sistema de preparo convencional (SPC) do solo (a), seguido de sua re-agregação após conversão do SPC para o SPD (b) e a redistribuição do carbono entre as classes de tamanho de agregados no SPD (c). (Fonte: Adaptado de Tivet et al., 2013).....	26
Figura 2. Padrão morfológico apresentado por um agregado biogênico (A) e fisiogênico (B). (Fonte: Adaptado de Pulleman et al., 2005). ....	27
Figura 3. Agregados fisiogênicos (a) e biogênicos (b) de um Argissolo após aplicações de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos em Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil. ....	32
Figura 4. Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) em agregados biogênicos e fisiogênicos de um Argissolo após aplicações de dejetos líquidos de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS), Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil. ....	37
Figura 5. Teores de carbono das frações humina (a), ácidos húmicos (b) e ácidos fúlvicos (c) em agregados biogênicos e fisiogênicos de um Argissolo após aplicações de dejetos suínos, Braço do Norte, SC.....	41
Figura 6. Teores de nitrogênio das frações humina (a), ácidos húmicos (b) e ácidos fúlvicos (c) em agregados biogênicos e fisiogênicos de um Argissolo após aplicações de dejetos suínos, Braço do Norte, SC	
Figura 7. Teores de carbono da matéria orgânica particulada (a) e carbono da matéria orgânica associada aos minerais (b) em agregados biogênicos e fisiogênicos, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm de um Argissolo após aplicações de dejetos líquidos de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS), Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil. ..	51
Figura 8. Teores de nitrogênio da matéria orgânica particulada (a) e nitrogênio da matéria orgânica associada aos minerais (b) em agregados biogênicos e fisiogênicos, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm de um Argissolo após aplicações de dejetos líquidos de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS), Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil. ..	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Volume de dejetos líquidos e quantidade de cama sobreposta de suínos aplicados no solo, e caracterização química dos dejetos durante o período experimental. ....	30
Tabela 2. Produção média por safra de matéria seca de aveia e grãos de milho, em $Mg\ ha^{-1}$ , ao longo de 10 anos de aplicação de dejetos de suínos. ....	31
Tabela 3. Massa (g) e porcentagem (%) de agregados biogênicos e fisiogênicos nos diferentes sistemas de uso do solo em Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil. ....	33
Tabela 4. Composição granulométrica dos agregados biogênicos e fisiogênicos em diferentes sistemas de uso do solo em Braço do Norte, SC. ....	34
Tabela 5. Relação do C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM nos agregados biogênicos e fisiogênicos de um Argissolo após aplicações de dejetos líquidos de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS), Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil. ....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AV- Aveia  
C- Carbono  
CENA- Centro de Energia Nuclear na Agricultura  
COT- Carbono Orgânico Total  
CSS- Cama Sobreposta de Suíno  
CSS1X- Cama Sobreposta de Suíno, uma vez a recomendação de N para o milho e aveia.  
CSS2X- Cama Sobreposta de Suíno, duas vezes a recomendação de N para o milho e aveia.  
CTC- Capacidade de Troca de Cátion  
DAS- Dias Após a Semeadura  
DLS- Dejeito Líquido de Suíno  
DLS1X- Dejeito Líquido de Suíno, uma vez a recomendação de N para o milho e aveia.  
DLS2X- Dejeito Líquido de Suíno, duas vezes a recomendação de N para o milho e aveia.  
EA- Extrato Alcalino  
FAF- Fração Ácido Fúlvico  
FAH- Fração Ácido Húmico  
HUM- Humina  
ML- Milho  
MO- Matéria Orgânica  
MOM- Matéria Orgânica Associada aos Minerais  
MOS- Matéria Orgânica do Solo  
MOP- Matéria Orgânica Particulada  
MS- Matéria Seca  
N- Nitrogênio  
NB- Nabo  
Nmin- Nitrogênio na forma mineral  
Norg- Nitrogênio na forma orgânica  
NPK- Nitrogênio, Fósforo e Potássio  
NT- Nitrogênio Total  
Pa- Pastagem  
PC- Preparo Convencional  
PCn- Pastagem Contínua  
PPO- Preparo Convencional Orgânico  
PP- Pastagem Permanente

QS- Qualidade do Solo  
SC- Santa Catarina  
SJ- Soja  
SPC- Sistema de Preparo Convencional  
SPD- Sistema Plantio Direto  
TFSA- Terra Fina Seca ao Ar  
UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina

## LISTA DE SÍMBOLOS

(%) - Por cento

° Grau

' - minutos

'' - segundos

µm - micrômetro

°C - Graus Celsius

cm - centímetro

Cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> - Centimol carga por decímetro cúbico

g- (Força g) Gravidade

g- grama

g kg<sup>-1</sup> - grama por quilograma

ha - hectare

kg ha<sup>-1</sup> - quilograma por hectare

m - metros

m<sup>2</sup> - metros quadrados

m<sup>3</sup> - metros cúbicos

mg dm<sup>-3</sup> - miligrama por decímetro cúbico

Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> – Megagrama (toneladas) por hectare por ano

ml - mililitro

mm - milímetro

Mol L<sup>-1</sup> - mol por litro

N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> - nitrogênio por hectare por ano

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - amônio

NH<sub>3</sub> - amônia

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - nitrato

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - nitrito

S - Sul

W - Oeste

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. JUSTIFICATIVA.....	15
3. HIPÓTESE.....	15
4. OBJETIVOS .....	16
4.1. Geral .....	16
4.2. Específicos.....	16
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
5.1 Criação de suínos em SC .....	16
5.2 Qualidade e manejo do solo em agroecossistemas .....	17
5.2.1 Dinâmica do carbono e nitrogênio.....	18
5.2.2 Frações da matéria orgânica do solo (MOS).....	20
5.2.2.1 Frações granulométricas da MOS.....	20
5.2.2.2 Frações químicas da MOS. ....	21
5.3 Agregação do solo .....	24
5.4 Gênese dos agregados.....	26
6 MATERIAL E MÉTODOS .....	29
6.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	29
6.2 Avaliação da gênese dos agregados.....	31
6.3 Análises realizadas.....	34
6.3.1 Determinação dos teores totais de carbono e nitrogênio nos agregados .....	34
6.3.2 Fracionamento químico da matéria orgânica nos agregados ...	34
6.3.3 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica nos agregados .....	35
6.4 Análises Estatísticas.....	35
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
7.1 Teores de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT) .....	36
7.2 Frações Húmicas da MOS .....	40
7.2.1 Teores de carbono das frações húmicas.....	40
7.2.2 Teores de nitrogênio das frações húmicas .....	45
7.3 Frações granulométricas da MOS.....	49
7.3.1 Teores de carbono e nitrogênio das frações granulométricas ..	49
8. CONCLUSÕES.....	55
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	55
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

## 1. INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina se destaca nacionalmente por ser um dos principais produtores agrícolas, em especial no setor de produção animal, com ênfase nas atividades da suinocultura. O sistema de produção vigente no estado é predominantemente o intensivo e em pequenas propriedades, gerando além de altas produtividades, grandes volumes de dejetos. Estes, quando aplicados sucessivamente no solo podem modificar os atributos químicos, físicos e biológicos (Correia et al., 2011; Lourenzi et al., 2013; Comin et al., 2013; Giacomini et al., 2013; Mafra et al., 2014).

Diversos atributos edáficos são utilizados para avaliar a qualidade do solo (QS), sendo estes atributos definidos como indicadores de mudanças na QS devido ao manejo adotado na área avaliada. A MOS é considerada um dos melhores indicadores de QS. Além disso, a determinação dos teores de C e N dos diferentes compartimentos da MOS são utilizados para evidenciar diferenças em sistemas de uso do solo sob condições diversificadas (Vezzani & Mielniczuk, 2009).

As frações orgânicas do solo são divididas em diferentes estágios de decomposição: os resíduos orgânicos, a fração leve, a biomassa viva do solo, as substâncias não-húmicas e as substâncias húmicas. Dentro das substâncias húmicas admite-se a presença de três principais frações: humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos e, dependendo da metodologia utilizada para a extração dessas frações, aquelas relacionadas aos resíduos orgânicos e biomassa viva também podem ser identificadas (Meurer, 2004; Santos, 2008).

Em função do sistema de manejo do solo, por exemplo, sistema de plantio direto (SPD) ou sistema de preparo convencional (SPC), com ou sem o uso de adubações orgânica ou mineral, podem ocorrer modificações nos atributos edáficos, com destaque para alterações na agregação do solo, por ser um atributo fortemente influenciado pelo manejo do solo. Essas modificações podem culminar também em mudanças nas vias de formação dos agregados, os quais são classificados como biogênicos e fisiogênicos, sendo estes padrões estabelecidos conforme a sua morfologia (Pulleman et al., 2005; Velasquez et al., 2007; Jouquet et al., 2009).

Para aumentar a agregação do solo em agroecossistemas, o manejo deve ter como objetivo o aumento das entradas de C no solo,

assim como a diminuição de perturbações e das taxas de perdas desse elemento por processos como a decomposição e erosão. A melhoria das práticas de gestão da estrutura do solo incluem métodos de preparo, ciclagem de nutrientes e manejo dos resíduos. Dessa forma, dentro deste contexto, destaca-se o SPD com o uso de adubação orgânica via dejetos de suínos. Esta combinação (SPD adubado com dejetos suínos) por longo tempo pode influenciar nas vias de formação dos agregados do solo, assim como pode aumentar os teores de carbono e nitrogênio nesses agregados.

## **2. JUSTIFICATIVA**

As práticas de manejo do solo podem modificar os atributos edáficos, com alterações, por exemplo, na agregação do solo, culminando em mudanças no padrão de formação dos agregados, especialmente naqueles de origem biogênica. Dessa forma, compreender a relação da MO oriunda da adubação com dejetos de suínos com os agregados biogênicos e fisiogênicos em agroecossistemas, permite elencar que tipo de agregado do solo favorece maior proteção e estabilidade da MOS.

Estudos que visam a melhor compreensão das mudanças advindas do manejo do solo e, ou, da aplicação de dejetos de animais na gênese dos agregados, em relação a aspectos qualitativos e quantitativos, são ainda incipientes diante da complexidade de estabelecimento de padrões para identificação das diferentes vias de formação dos agregados. Portanto, a caracterização de padrões morfológicos para agregados de origem biogênica e fisiogênica, assim como a avaliação das frações da MO que compõem esses agregados são de extrema importância e relevância ecológica, em especial, em áreas de cultivo com aplicação de dejetos de suínos quando comparadas a áreas sem aplicação. Isso permitirá identificar a melhor estratégia de manejo do solo para reduzir o impacto da agricultura sobre o ambiente e, também, favorecer a agregação do solo.

## **3. HIPÓTESE**

O uso de diferentes fontes e quantidades de dejetos suínos em SPD favorece o aumento dos teores de C e N nas frações mais estáveis da MOS nos agregados biogênicos.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Geral**

Avaliar os efeitos de diferentes fontes e quantidades de dejetos suínos sobre os teores de carbono e nitrogênio totais e das frações da matéria orgânica dos agregados biogênicos e fisiogênicos em um Argissolo com histórico de aplicações continuadas de dejetos suínos por 10 anos.

### **4.2. Específicos**

- 1- Avaliar os efeitos da aplicação continuada dos dejetos suínos nos teores totais de C e N dos agregados.
- 2- Avaliar os teores de C e N das frações húmicas da MOS nos agregados.
- 3- Avaliar os teores de C e N das frações granulométricas da MOS nos agregados.

## **5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **5.1 Criação de suínos em SC**

O Brasil é o quarto maior produtor de carne suína do mundo, com uma estimativa de 3.451 mil toneladas em 2015, representando 3,1% da produção mundial, ficando atrás apenas da China, União Europeia e Estados Unidos. Nas regiões produtoras do Sul do Brasil, o rebanho suíno soma 18,7 milhões de cabeças, quase 50% do total nacional, destacando-se Santa Catarina (SC) com 6,1 milhões de suínos (Epagri, 2015).

Santa Catarina se caracteriza nacionalmente por ser um dos principais produtores agrícolas, destacando-se no setor de produção animal nas atividades de suinocultura, avicultura e bovinocultura leiteira e, no setor vegetal, na produção de arroz, alho, banana, cebola, maçã e trigo (Epagri, 2015). As limitações topográficas e fundiárias da agricultura catarinense são fatores que exigem dos agricultores familiares, elevada criatividade para manter suas explorações competitivas e assegurar níveis de renda atrativos (Altmann & Ultramari, 2004). Entretanto, os sistemas de produção vigentes no estado são predominantemente intensivos e em pequenas propriedades, gerando altas produtividades que normalmente estão associadas a altos níveis de degradação ambiental, nos quais não estão embutidos nos

custos da produção agrícola (Khatounian, 2001). Enquadrando-se neste cenário os resíduos orgânicos oriundos da produção animal.

No estado catarinense, a concentração do rebanho suíno é na região Oeste e Sul, apesar de apresentar uma boa distribuição na maior parte das regiões (Epagri, 2015). Até a década de 70, os dejetos suínos não constituíam um fator ambiental preocupante, porém, com a criação em sistema intensivo confinado são gerados grandes volumes de dejetos (ABCS, 2014), e com aplicações sucessivas em uma mesma área, os atributos químicos, físicos e biológicos são modificados (Assmann et al., 2007; Santos, 2008; Correia et al., 2011; Lourenzi et al., 2011, 2013; Gonzatto et al., 2013; Mafra et al., 2014).

A aplicação dos resíduos de animais na agricultura é uma prática milenar devido ao seu potencial fertilizante. Porém, o uso inadequado faz com eles tenham um grande potencial poluidor do ar, água e solo, que atrelado ao manejo do solo sem planejamento intensifica a degradação ambiental.

## **5.2 Qualidade e manejo do solo em agroecossistemas**

O solo é um importante componente da biosfera terrestre, além de um meio para o desenvolvimento de plantas. É nele que ocorrem parte dos ciclos do carbono, nitrogênio, fósforo, água e outros elementos, sendo na MOS que a maioria desses elementos são acumulados (Moreira & Siqueira, 2002).

O crescimento populacional e o aumento da demanda por alimentos têm acelerado o processo de degradação dos recursos naturais quando ecossistemas são transformados em agroecossistemas, fatos que têm mobilizado pesquisadores, organizações governamentais e não governamentais, desde a década de 90, na busca por alternativas para preservar os recursos naturais que ainda existem (Doran et al., 1994; Karlen et al., 1997). Os estudos sobre a qualidade do sistema solo têm sido propostos por se tratar de um dos recursos vitais e finito, por ser um recurso não renovável na escala de tempo humana.

Assim, a qualidade de solo (QS) pode ser definida, como a capacidade que ele tem de exercer as suas funções dentro dos limites entre o ecossistema e o agroecossistema, através da integração de três componentes principais: a qualidade ambiental, a produtividade biológica e a saúde das plantas, dos animais e do ser humano (Doran et al., 1994).

Diferentes atributos químicos, físicos e biológicos são utilizados para se avaliar a QS, sendo estes atributos definidos como indicadores de mudanças devido ao manejo adotado. A MOS é considerada um dos melhores indicadores de QS devido às várias funções e processos que ocorrem no solo, sejam eles de origem biológica, física ou química, e por estarem direta e indiretamente relacionados com a presença de MOS (Doran et al., 1994; Conceição et al., 2005; Doran & Zeiss, 2000; Franzluebbers, 2002; Vezzani et al., 2008; Vezzani & Mielniczuk, 2009).

A MOS é muito complexa e heterogênea, podendo ser subdividida em vários compartimentos. Assim, Vezzani & Mielniczuk (2009), em uma revisão sobre QS, fizeram um levantamento dos trabalhos que utilizam a MOS como indicador de qualidade e buscaram identificar qual o componente da MOS que melhor representa os critérios exigidos para construir um indicador. Em geral, a determinação dos teores de C e N dos diferentes compartimentos da MO, tais como da MOP, da biomassa microbiana, da fração leve e das frações húmicas, entre outros, são utilizados para se evidenciar diferenças entre sistemas de uso do solo sob condições diversificadas (Bolinder et al., 1999; Gregorich et al., 1994; Franzluebber, 2002; Loss et al., 2009; 2010, 2012; Groshkopf et al., 2015; Mafra et al., 2015).

### **5.2.1 Dinâmica do carbono e nitrogênio**

A dinâmica da MOS é governada pelo aporte natural de resíduos vegetais no solo, assim como pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas (vegetal, animal e biossólidos) e pela transformação contínua desses sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos. A formação e a estabilização da matéria orgânica podem ser descritas como ciclos de ganhos e perdas de C e a estabilização do húmus (Guerra et al., 2008).

O ataque inicial aos resíduos orgânicos recentemente adicionados ao solo é realizado pela macro e mesofauna do solo, com destaque para as minhocas, as formigas, os térmitas, entre outros organismos (Lima et al., 2010). Em paralelo, ocorrem transformações conduzidas por enzimas de microrganismos, que utilizam os compostos orgânicos prontamente decomponíveis, tais como carboidratos, proteínas, aminoácidos, celulose, resinas, para obtenção de energia, carbono e outros nutrientes para a síntese de novas células (Stevenson, 1994). O principal produto final da oxidação dos compostos orgânicos

para obtenção de energia é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que é liberado para a atmosfera, permanecendo no solo uma pequena fração dos compostos fenólicos solúveis e compostos lignificados parcialmente transformados. Na fase subsequente, os compostos fenólicos solúveis e os compostos lignificados pouco transformados que permaneceram no solo são estabilizados por processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem nas condições pedoclimáticas, formando as substâncias húmicas (Guerra et al., 2008).

Entre os efeitos positivos da aplicação de dejetos suínos no solo está a possibilidade de aumentar os teores de MO, uma vez que o uso de dejetos por longo tempo tem sido uma forma eficiente em aumentar os teores de carbono orgânico total (COT) do solo em comparação aos fertilizantes minerais (Comin et al., 2013; Mafra et al., 2014).

A adição de dejetos suínos interfere também na dinâmica do nitrogênio (N) no solo, envolvendo diversos processos, tais como a absorção, adsorção, lixiviação, volatilização, nitrificação, desnitrificação, imobilização e a mineralização. Dentre as formas de N no solo, 95% encontram-se na forma orgânica (N-org), sendo que sua transformação para a forma mineral (N-min) acontece quando seus compostos são utilizados como fonte de matéria e energia pelos organismos, e por isso o N-min no solo é estacional, pois depende de fatores pedoclimáticos que interferem na atividade dos microrganismos e na relação C/N dos compostos utilizados (Aita et al., 2006).

O balanço entre a liberação de N dos resíduos e a absorção de N pelas plantas é importante, tanto do ponto de vista de produção quanto para reduzir as perdas e a contaminação ambiental (Giacomini e Aita, 2008; Aita et al., 2006). O teor de N no solo, quando se tem a utilização dos dejetos suínos, é dependente dos teores de N presente nos mesmos. Por exemplo, os dejetos líquidos de suínos (DLS) que ficam armazenados em esterqueiras anaeróbias possuem em torno de 70% do N na forma de amônio + amônia ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NH}_3$ ) (Scherer et al., 1996). E quando esses dejetos são adicionados no solo, eles rapidamente são transformados em nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) por microrganismos especializados, sendo essa a forma de N-min que se acumula no solo e com potencial de ser absorvida pelas plantas, reutilizada por microrganismos ou até mesmo perdida no solo (Aita et al., 2007).

Em experimento com o uso de DLS no outono/inverno para avaliarem os teores de N-min ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$ ) no solo, nas plantas de cobertura e na vegetação espontânea, e também a produção de

matéria seca e a sua concentração em nitrogênio, fósforo e potássio (N, P e K), foi verificado que a quantidade de N-min do solo aumentou com a aplicação de DLS, sendo que na dose de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos ocorreram perdas de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por lixiviação (Aita et al., 2006). Além disso, houve um aumento na produção de matéria seca, bem como no acúmulo de NPK nas plantas de cobertura. Esses resultados evidenciam a eficiência das plantas de cobertura no outono/inverno na ciclagem de nutrientes fornecidos pelos DLS e a importância da utilização de espécies com elevado potencial de produção de matéria seca e que sejam exigentes em N.

Ao quantificar as diferentes formas de N no solo e a sua relação com a absorção pelas plantas em resposta a 10 anos de aplicação anual de DLS e fertilizante mineral em um Latossolo cultivado sob SPD com a sucessão aveia/milho, Grohskopf et al. (2015) observaram que a aplicação anual de DLS aumentou o nitrogênio total (NT) na camada de 0-10 cm de profundidade, com destaque para as frações do N consideradas lábeis (N- $\alpha$ -amino, N-amônio e N-amida). Quando realizada a fertilização mineral, a forma de N encontrada foi de N-não identificado no solo. Os autores concluíram que o aumento das formas lábeis de N no solo, decorrente da aplicação de DLS, possibilitou maior absorção de N pelas culturas de milho e aveia em SPD.

### **5.2.2 Frações da matéria orgânica do solo (MOS)**

As frações da MOS apresentam características químicas e físicas diferentes entre si, e a distribuição dos teores de C e N nessas frações pode ser mais eficiente para se evidenciar diferenças entre os sistemas de manejos agrícolas, além de prever a qualidade da MO, quando comparado apenas à determinação dos teores totais de C e N no solo (Salton et al., 2005; Conceição et al., 2005; Loss et al., 2010, 2012). Dessa forma, utilizam-se as técnicas de fracionamento químico e granulométrico da MOS visando a separação de frações mais homogêneas da MOS, quanto à natureza, dinâmica e função, mas ao mesmo tempo suficientemente diferentes umas das outras (Christensen, 2000).

#### **5.2.2.1 Frações granulométricas da MOS**

O fracionamento granulométrico da MOS é um método de extração física que utiliza o princípio de diferença de tamanho das partículas através de técnicas de dispersão e peneiramento. Esse método

separa as frações orgânicas em carbono da matéria orgânica particulada (C-MOP) e carbono da matéria orgânica associada aos minerais (C-MOM) (Cambardella & Elliott, 1992).

O C-MOP é a fração associada à areia, compreendendo frações de tamanho entre 2,00 mm e 0,053 mm, prioritariamente derivadas de resíduos de plantas e hifas, e a sua permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada pelos agregados (Golchin et al., 1995). Já o C-MOM é a fração associada ao silte e argila, pois apresenta tamanho inferior a 0,053 mm, que interage com a superfície dos minerais, formando os complexos organominerais, estando protegida pelo mecanismo de proteção coloidal (Christensen, 1996).

Na avaliação dos teores de COT, C-MOP e C-MOM, na camada 0,0 a 20,0 cm de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo (pastagem, lavoura e integração lavoura-pastagem) em comparação com uma área referência (campo nativo), em experimento com nove anos de duração em Mato Grosso do Sul, Salton et al. (2005) verificaram que o estoque de COT na camada 0,0 a 20,0 cm não apresentou diferenças significativas entre os sistemas avaliados, e na fração de C-MOP, o sistema com pastagem permanente apresentou 6,7 Mg ha<sup>-1</sup> de C-MOP, sendo significativamente superior ao sistema com lavoura, que apresentou 4,1 Mg ha<sup>-1</sup>, e não diferiu do sistema com integração lavoura-pastagem, com 5,2 Mg ha<sup>-1</sup>. Os autores concluíram que o C-MOP foi mais sensível às modificações impostas pelos sistemas avaliados em comparação ao COT.

Em experimento com dez anos de duração em Argissolo no sul do Brasil sob SPD (pousio/milho, azevém+vica/milho e mucuna/milho), Conceição et al. (2005) avaliaram a MOS e os atributos relacionados (COT, NT, C-MOP e C-MOM) como indicadores para discriminar a QS e o impacto de sistemas de manejo sobre a QS. Dentre as frações avaliadas, o C-MOP foi mais sensível em detectar os impactos dos sistemas de manejo sobre a QS. Assim, evidencia-se que a técnica de fracionamento granulométrico da MOS é eficaz para inferir mudanças na QS através da quantificação do C-MOP, pois quando esses autores avaliaram os teores de COT, não foi possível verificar diferenças entre os tratamentos avaliados.

#### **5.2.2.2 Frações químicas da MOS.**

O fracionamento químico da MOS consiste na separação desta com base em características de solubilidade em meio ácido e alcalino,

em três frações que compreendem as substâncias húmicas do solo: a humina, o ácido húmico e o ácido fúlvico. A humina é uma fração insolúvel em qualquer meio, por estar fortemente associada à matriz mineral do solo, já a fração ácido húmico é insolúvel em meio ácido e solúvel em meio alcalino, sendo a fração ácido fúlvico solúvel nesses dois meios de solução (Stevenson, 1994; Benites et al., 2003).

A solução alcalina normalmente utilizada para separação das frações húmicas é hidróxido de sódio ( $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ), que extrai os ácidos húmicos e fúlvicos do solo, deixando a humina ligada à fase mineral. A acidificação do extrato alcalino, de coloração preta, resulta na precipitação da fração dos ácidos húmicos, enquanto a fração dos ácidos fúlvicos permanece solúvel. Nenhuma destas frações isoladas representa compostos individuais de composição específica, mas sim uma mistura de compostos heterogêneos com comportamento químico similar (Benites et al., 2003).

Os ácidos húmicos são frações que apresentam pouca solubilidade nas condições de acidez normalmente encontradas em solos. Estes compostos são responsáveis pela maior parte da capacidade de troca catiônica (CTC) de origem orgânica e em camadas superficiais de solos mais arenosos, diferente dos ácidos fúlvicos, que são responsáveis pela maior geração de cargas de origem orgânica em solos argilosos (Mendonça & Rowell, 1996). A humina é a fração ligada aos minerais do solo, e apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável por mecanismos de agregação de partículas do solo e na maioria dos solos tropicais representa a maior parte do carbono humificado do solo (Benites et al., 2003).

A metodologia de extração e fracionamento químico da MOS proposta por Benites et al. (2003) visa a quantificação das frações húmicas por meio de procedimentos simplificados e de fácil execução, nos quais as informações geradas pela adoção desta metodologia podem ser úteis em trabalhos que procuram avaliar indicadores do efeito do manejo do solo e para estudos de dinâmica do carbono e nitrogênio, assim, fornecendo informações complementares aos teores de COT e NT do solo.

Loss et al. (2010) quantificaram o C das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação e correlacionaram essas frações com algumas propriedades químicas e físicas do solo. Os sistemas avaliados foram preparo convencional (SPC), plantio direto (SPD), consórcio maracujá/*Desmodium* sp, cultivo

com figo e um sistema agroflorestal. Os autores determinaram os teores de COT e carbono das frações humina (C-HUM), fração ácido húmico (C-FAH) e fração ácido fúlvico (C-FAF). O C-HUM constituiu a maior parte do COT (em média, 70%), havendo correlação significativa com o COT em todos os sistemas avaliados e estações do ano. Analisando o C-FAH foi possível identificar alterações no solo relacionadas aos sistemas de uso, na profundidade de 0-5 cm e no verão, destacando-se o SPD com os maiores teores. Com o C-FAF ocorreu este mesmo comportamento na profundidade de 5-10 cm e no inverno, destacando-se o SPC com maiores valores dessa fração. Com o estudo os autores concluíram que o fracionamento químico da MOS se mostrou uma ferramenta útil para identificar mudanças provenientes dos sistemas de uso do solo e estações do ano sob manejo orgânico de produção.

As substâncias húmicas têm capacidade de interagir com a fração argila e exercem papel importante na fertilidade e estrutura do solo, bem como na imobilização de metais pesados e pesticidas (Stevenson, 1994; Dick et al., 2009). As frações húmicas da MOS refletem as mudanças ocorridas por alterações antrópicas e ao mesmo tempo são estáveis diante das variações espaciais e temporais de curto prazo, em comparação com alguns indicadores biológicos e bioquímicos normalmente avaliados, sugerindo que a caracterização dessas frações apresenta grande potencial na avaliação de alterações na QS (Benites et al., 2010).

Ao avaliaram os atributos de fertilidade do solo e as frações húmicas da MOS (ácido fúlvico, ácido húmico e humina), em um Latossolo Vermelho Distroférrico, após dez anos de cultivo nos tratamentos em SPD com: soja (SJ)/ aveia (AV); pastagem contínua (PCn); SJ/AV/SJ/ pastagem (Pa); Pa/SJ/AV/SJ/Pa; SJ/nabo(NB)/milho(ML)/AV/P; Pa/SJ/AV/SJ/Pa; SJ/NB/ML/AV/SJ/PCn, Fontana et al. (2006) verificaram que os teores de COT variaram de 16,6 g kg<sup>-1</sup> na lavoura (SJ/NB/ML/AV/SJ) a 28,0 g kg<sup>-1</sup> sob lavoura/pastagem (SJ/AV/SJ/Pa). Com a distribuição das frações húmicas, observaram que todos os tratamentos apresentaram a maior parte do COT na forma humificada (humina), com mais de 60%. No tratamento SJ/AV, observaram uma distribuição diferenciada em relação às demais, destacando-se com mais de 50% do COT representado pela fração humina, e 11% do COT na forma não humificada.

### 5.3 Agregação do solo

A estrutura do solo pode ser compreendida como o arranjo espacial das partículas individuais (areia, silte e argila), o tamanho e formato dos vazios e poros do solo. As partículas do solo se organizam conforme as forças de adesão e coesão, formando estruturas com ou sem agregação. As estruturas do solo sem agregação são aquelas que apresentam o mínimo e máximo de forças de coesão, sendo denominadas de estrutura simples e maciça, respectivamente. Já as estruturas com agregação podem formar diferentes tipos e, ou, formas de agregados: granular, em blocos angulares ou subangulares, prismáticas e colunares. A forma, tamanho e o arranjo dos agregados são bastante variáveis e estão associados a um complexo de interações entre fatores mineralógicos, químicos e biológicos do solo (Lepsch, 2011; Santos et al., 2013).

Para a formação dos agregados do solo são necessárias duas etapas principais: a aproximação das partículas unitárias do solo, seguida da estabilização das mesmas através de agentes cimentantes. Neste sentido, a fração argila, óxidos, carbonatos, polissacarídeos, fungos micorrízicos arbusculares e, principalmente, a presença de MOS desempenham papel importante na formação e gestão da estrutura do solo com agregação. Esta gestão pode ser compreendida de acordo com três aspectos, onde o primeiro é o aspecto geométrico que envolve a disposição e o tamanho do espaço poroso; o segundo é a estabilidade estrutural, a qual envolve a capacidade do solo em manter seus agregados estáveis após a exposição a várias tensões e o terceiro, é a resiliência estrutural do solo, que descreve a sua capacidade em recuperar o seu arranjo espacial de poros após a remoção de uma tensão específica (Carter, 2004).

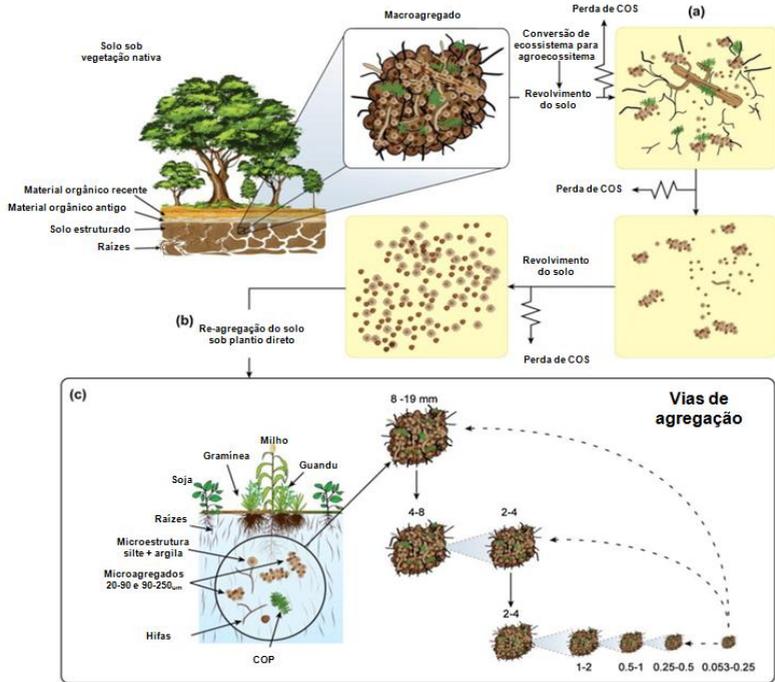
A presença de agregação no solo é fundamental para o bom funcionamento do mesmo, pois ela influencia na atividade microbiana do solo, no sequestro de C, na emissão de gases de efeito estufa, no fluxo de ar, água e na infiltração, assim reduzindo a ocorrência de erosão no solo, além de compreender habitat para os organismos do solo. Todos estes parâmetros supracitados têm efeitos diretos e indiretos sobre a dinâmica da MOS e sobre a ciclagem de nutrientes (Bronick & Lal, 2005; Vezzani & Mielniczuk, 2011; Rillig & Mummey, 2006).

Segundo Six et al. (2004), ao revisarem os elementos históricos e o desenvolvimento das teorias de agregação do solo, suas influências e interações entre os principais fatores que controlam a agregação,

concluíram que os principais fatores responsáveis pela formação e estabilização dos agregados são a fauna do solo, os microrganismos, as raízes, os compostos inorgânicos e as variáveis ambientais.

Em função do sistema de manejo e uso do solo, modificações nos atributos edáficos podem acarretar em alterações principalmente na agregação do solo. Estudos realizados por Tivet et al. (2013) sobre a dinâmica do C nos agregados, em solo manejado com uso de revolvimento (SPC) e em SPD demonstraram que a conversão de áreas com vegetação nativa para áreas agrícolas à base de SPC do solo, com aração e gradagem, interrompe os processos de formação dos agregados e promove a dispersão das partículas minerais (argila, silte e areia), ocasionando assim a diminuição da formação de novos agregados. Por outro lado, o SPD com intenso acúmulo de biomassa aérea e radicular contribui para o estímulo à formação de novos agregados após a sua implantação em áreas anteriormente submetidas ao SPC do solo (Figura 1).

Figura 1. Desagregação do solo devido ao revolvimento do mesmo pelo sistema de preparo convencional (SPC) do solo (a), seguido de sua re-agregação após conversão do SPC para o SPD (b) e a redistribuição do carbono entre as classes de tamanho de agregados no SPD (c). (Fonte: Adaptado de Tivet et al., 2013).



Por meio das alterações edáficas observadas na Figura 1, destaca-se a influência direta que o SPD tem no acúmulo de C-MOP e na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de C atmosférico. O acúmulo de C-MOP está relacionado à sua proteção física no interior de agregados (Figura 1c), o que diminui o acesso pelos microorganismos e suas enzimas a esta forma de carbono.

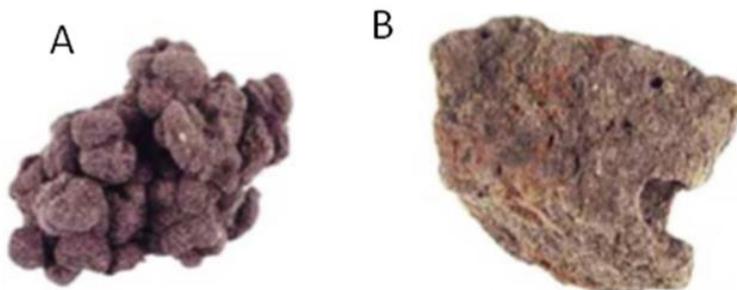
### 5.4 Gênese dos agregados

As modificações que ocorrem na agregação do solo oriundas do manejo adotado, conforme consta na Figura 1, podem culminar também

em mudanças nas vias de formação dos agregados, com ênfase na via de origem biogênica (Loss et al., 2014).

Os agregados do solo podem ser classificados como biogênicos e fisiogênicos, sendo estes padrões estabelecidos conforme a sua morfologia (Velasquez et al., 2007; Jouquet et al., 2009; Cecillon et al., 2010; Batista et al., 2013; Loss et al., 2014). Os biogênicos apresentam formas arredondadas decorrentes da ação da fauna do solo, principalmente Oligochaeta e, ou, aqueles em que estão associados à atividade de raízes. Os fisiogênicos são aqueles que apresentam formas angulares ou prismáticas, oriundos dos ciclos de umedecimento e secagem do solo (Figura 2).

Figura 2. Padrão morfológico apresentado por um agregado biogênico (A) e fisiogênico (B). (Fonte: Adaptado de Pulleman et al., 2005).



Batista et al. (2013), com objetivo de analisar a influência física e biológica na gênese dos agregados, bem como determinar quais os principais fatores do ambiente que influenciam nas características dos agregados em áreas de produção sob sistema de integração lavoura-pecuária com pasto/milho, milho/algodão e algodão/soja, comparados com uma área de Cerradão, no MS, avaliaram, em duas épocas do ano (seca e chuvosa), o complexo sortivo, os teores de COT, C-MOP e a estabilidade dos agregados (biogênicos e fisiogênicos) e a macrofauna edáfica. Em todas as áreas estudadas, na época seca, foram encontradas as maiores proporções de agregados fisiogênicos em comparação aos biogênicos, enquanto na época chuvosa, não foram observadas diferenças entre as vias de formação dos agregados. Os agregados biogênicos apresentaram correlação positiva com teores de COT, C-MOP e com a macrofauna edáfica, principalmente minhocas. Os autores

concluíram que os diferentes tipos de agregados formados, além de apresentarem características morfológicas diferentes, também apresentam diferenças quanto às características químicas, com ênfase maior para os biogênicos.

Jouquet et al. (2009) estudaram a distinção entre agregados biogênicos e fisiogênicos em diferentes classes de tamanho, usando características visuais, físicas e químicas associadas com a espectroscopia de infravermelho, em um solo em pousio com rebrota de *Eucalyptus*. Os autores constataram que a observação visual não foi a técnica mais útil e precisa, porém a espectroscopia foi mais eficaz para diferenciar os agregados, além de permitir a categorização de diferentes unidades funcionais dentro dos agregados. Todavia, mais estudos deverão determinar se estas unidades bem definidas têm funções ecológicas específicas.

Os agregados biogênicos têm maiores teores de macro e micronutrientes quando comparados aos agregados fisiogênicos (Silva Neto et al., 2010; Fiuza et al., 2011; Loss et al., 2014). Estas diferenças podem ser decorrentes da presença das minhocas no solo, pois estima-se que essas ingiram uma quantidade de solo entre 200 e 400 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e, dependendo do material de origem e da qualidade da MOS, os agregados biogênicos produzidos apresentam as características supracitadas (Lavelle et al., 1983).

Ao estudarem o impacto da atividade de minhocas na agregação e incorporação de MOS em diferentes sistemas de cultivos a longo prazo, sendo pastagens permanentes (PP), SPC) e um SPC, porém orgânico (SPCo), Pulleman et al. (2005) observaram que os agregados biogênicos encontrados em PP e SPCo continham maiores teores de COT do que os agregados fisiogênicos, sendo que a tendência inversa foi observada para os agregados em SPC. A comparação dos diferentes tipos de agregados revelou que os macroagregados do solo em PP foram consideravelmente enriquecidos em C-MOP e microagregados. Em geral, os resultados demonstraram que as minhocas podem iniciar diretamente a formação dos microagregados, que por sua vez, contribuem para a proteção física da MOS contra a decomposição microbiana.

Entretanto, ainda são necessários mais estudos que abordem a separação e caracterização dos agregados do solo em função das mudanças advindas do manejo dado ao solo na formação dos agregados, em relação a aspectos qualitativos e quantitativos, pois estes são

incipientes diante da complexidade e dificuldade para o estabelecimento de padrões para as diferentes vias de formação dos agregados (Velasquez et al., 2007; Jouquet et al., 2009; Cecillon et al., 2010; Batista et al., 2013; Loss et al., 2014). Segundo Loss et al. (2014) e Silva Neto et al. (2016), informações sobre o padrão da agregação do solo resultam em um indicador simples de QS, pois os agregados são sensíveis aos impactos causados por processos naturais e antropogênicos, os quais afetam as vias de formação dos agregados.

## **6 MATERIAL E MÉTODOS**

### **6.1 Localização e caracterização da área de estudo**

O experimento foi instalado no ano de 2002, em um Argissolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 2013), cultivado sob SPD com a sucessão aveia preta/milho, sem o uso de agrotóxicos, em propriedade rural localizada na microbacia Rio Cachorrinhos, município de Braço do Norte, SC, nas coordenadas de 28° 14'20.7" S, 49° 13'55.5" W e altitude de 300 m. O clima do município é do tipo Cfa (clima subtropical úmido) segundo classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais de 18,7°C, sendo a máxima de 35°C e a mínima de 0°C. Não há uma estação seca definida, sendo que a tendência de concentração das chuvas ocorre nos meses de verão, com a precipitação média anual de 1.471 mm (EPAGRI, 2000). Previamente à instalação do experimento, na camada de 0-10 cm, o solo apresentava os seguintes parâmetros:  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  5,1; argila 330 g  $\text{kg}^{-1}$ ; Ca, Mg e Al trocáveis 3,0, 0,8 e 0,8  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente (extraídos por KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$ ); P e K disponíveis 19 e 130 mg  $\text{dm}^{-3}$ , respectivamente (extraídos por Mehlich-1), matéria orgânica 33,0 g  $\text{kg}^{-1}$ .

Anteriormente a instalação do experimento, a área estava coberta por uma pastagem naturalizada predominantemente de *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Eryngium ciliatum* e *Stylosanthes montevidensis*, sendo esporadicamente feita aplicação de dejetos suínos. Em dezembro de 2002 foram aplicados na superfície do solo 6 Mg  $\text{ha}^{-1}$  de calcário (PRNT = 87,5 %), para elevar o pH em água até 6,0 (CFS-RS/SC, 1995). Em seguida, foram instalados cinco tratamentos: TESTEMUNHA (sem adubação); dejetos líquido de suínos - DLS1X (adubação com DLS, equivalente a recomendação de N  $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para a cultura do milho e da aveia); DLS2X (adubação com DLS, equivalente ao dobro da recomendação de N  $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  para a cultura do milho e da aveia); cama sobreposta de suínos - CSS1X (adubação com

CSS, equivalente a recomendação de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a cultura do milho) e CSS2X (adubação com CSS, equivalente ao dobro da recomendação de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para a cultura do milho).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições. Cada um dos blocos possuía dimensões de 4,5 x 30 m, separados entre si por um corredor de um metro de largura. Cada tratamento era formado por unidades experimentais (parcelas) com 4,5 x 6,0 m (27 m<sup>2</sup>). O DLS foi coletado em esterqueira de sistema de criação ciclo completo situada na mesma propriedade na qual o experimento foi instalado. A CSS foi obtida na Escola Agrotécnica Federal de Concórdia, onde o sistema de criação de suínos é feito com substrato de maravalha.

A quantidade necessária de dejetos para suprir a demanda de N na sucessão milho/aveia em cada tratamento, usada ao longo do período de 2002 até 2012 foi estabelecida de acordo com a recomendação proposta pela Comissão de Fertilidade do Solo (CFS RS/SC, 1995) e CQFS-RS/SC (2004), ambas dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Assim, a quantidade de DLS1X e DLS2X a ser aplicada foi definida pela estimativa da matéria seca (MS) e da concentração de nutrientes no dejetos. Já a quantidade de CSS1X e CSS2X aplicada foi calculada com base na mineralização de 50 % do N amoniacal contido no resíduo.

O volume de DLS e a quantidade de CSS aplicados durante o período experimental, assim como os macronutrientes contidos nos dejetos constam na Tabela 1.

Tabela 1. Volume de dejetos líquidos e quantidade de cama sobreposta de suínos aplicados no solo, e caracterização química dos dejetos durante o período experimental.

Ano agrícola	MS %	C/N	pH	CE ds.m <sup>-1</sup>	VA	Ca	Mg	N	P	K
<b>Dejetos líquidos de suínos (DLS)</b>										
2002/12	2,3	4,4	8,1	9,3	539	68,8	26,4	126,2	37,88	62,75
<b>Cama sobreposta de suínos (CSS)</b>										
2002/12	51	13,2	8,8	5,9	153,1	322,4	97,9	171	103,13	169,50

MS=massa seca; CE=condutividade elétrica; VA=volume aplicado, sendo para DLS em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e para CSS em Mg ha<sup>-1</sup>. Para os dejetos, tem-se o somatório das quantidades totais aplicadas ao longo do período de 2002-2012. Para os demais parâmetros tem-se a média dos valores obtidos ao longo de 2002-2012.

Os DLS e a CSS foram as únicas fontes de nutrientes adicionadas na superfície do solo em SPD para a sucessão aveia/milho ao longo do período experimental, que foi de 2002 até 2012 (Tabela 1). As doses de DLS, em cada ano agrícola, foram aplicadas na superfície do solo e parceladas em quatro vezes, totalizando 40 aplicações de DLS (dez anos de experimentação e quatro parcelamentos), a saber: a 1ª aplicação foi realizada na semana da semeadura do milho; a 2ª, aos 51 dias após a semeadura (DAS) do milho; a 3ª, aos 95 DAS do milho e a 4ª, aos 15 DAS da aveia. Para a CSS, foram realizadas dez aplicações durante o período experimental, sendo cada aplicação realizada na superfície do solo, em média, 15 a 30 dias antes da implantação de cada cultivo do milho (época do verão). Nos ciclos da aveia preta não foi realizada aplicação de CSS. Em relação ao rendimento das culturas utilizadas no experimento, tem-se a produção de MS da aveia e da produção de grãos de milho durante o período de dez anos de aplicação dos dejetos (Tabela 2).

Tabela 2. Produção média por safra de matéria seca de aveia e grãos de milho, em Mg ha<sup>-1</sup>, ao longo de 10 anos de aplicação de dejetos de suínos.

<b>Tratamentos</b>	<b>MS da aveia</b>	<b>MS de grãos de Milho</b>
TESTEMUNHA	6,5	2,9
DLS1X	8,1 (25%)	5,0 (72%)
DLS2X	8,7 (34%)	5,5 (90%)
CSS1X	8,2 (26%)	5,6 (93%)
CSS2X	8,9 (37%)	6,0 (107%)

TESTEMUNHA= sem adubação com dejetos; DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X= cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N. O número entre parênteses representa o aumento % em relação à testemunha.

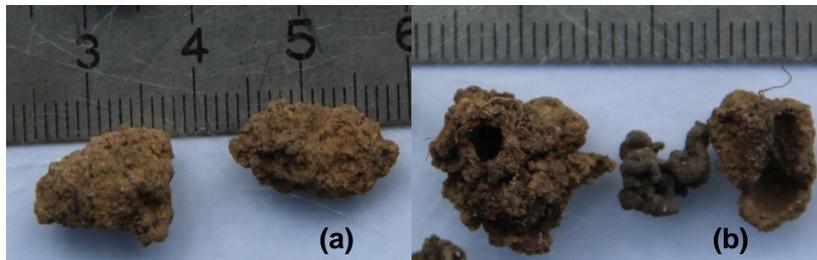
## **6.2 Avaliação da gênese dos agregados**

Em cada tratamento foram coletadas, nas entrelinhas do milho, amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade com auxílio de uma pá de corte, um enxadão e uma espátula. Após a coleta, as amostras foram ensacadas, etiquetadas e transportadas para o laboratório de Solos, Águas e Tecidos Vegetais da UFSC, onde foram secas à sombra e peneiradas em um conjunto de

peneiras de malha de 9,5; 8,0 e 4,0 mm, para obtenção dos agregados, conforme EMBRAPA (1997). Após a separação dos agregados, obtiveram-se três amostras compostas por tratamento avaliado, sendo cada amostra composta formada por duas amostras indeformadas simples coletadas em cada unidade experimental.

Para a separação dos agregados conforme a via de formação utilizaram-se os agregados contidos no intervalo de 9,5 a 4,0 mm. Estes foram observados sob microscópio binocular e separados, manualmente, conforme Velasquez et al. (2007) e Loss et al. (2014). A separação dos agregados foi feita através de padrões morfológicos, sendo os fisiogênicos, definidos por apresentarem formas angulares e subangulares (Figura 3a), e os biogênicos, aqueles onde é possível a visualização de formas arredondadas, providas do trato intestinal dos indivíduos da macrofauna do solo e, ou, aqueles associados a atividade de raízes (Figura 3b).

Figura 3. Agregados fisiogênicos (a) e biogênicos (b) de um Argissolo após aplicações de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos em Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil.



Posteriormente, Mergem Junior (2017) determinou a contribuição relativa dos agregados em termos de massa, pesando-se todos os agregados biogênicos e fisiogênicos que foram identificados com lupa e, assim, quantificaram a fração de agregados fisiogênicos e biogênicos em relação à massa inicial, conforme consta na Tabela 3.

Tabela 3. Massa (g) e porcentagem (%) de agregados biogênicos e fisiogênicos nos diferentes sistemas de uso do solo em Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil.

Trat.	Prof. (cm)	<sup>1</sup> MAT	MAB	MAF	<sup>2</sup> %AB	%AF
TEST	0-5	906,32	297,87	608,45	33	67
	5-10	981,04	184,15	797,25	19	81
DLS1X	0-5	708,15	670,25	37,9	95	5
	5-10	723,86	429,55	294,30	59	41
DLS2X	0-5	1178,8	1099,90	78,90	93	7
	5-10	1395,15	1242,05	153,10	89	11
CSS1X	0-5	669,80	624,90	44,93	93	7
	5-10	919,18	509,73	399,45	55	43
CSS2X	0-5	736,1	669,0	67,3	91	9
	5-10	776,2	511,0	265,2	66	34

<sup>1</sup>Compreende a massa de agregados total do solo antes da quantificação, conforme a sua origem, em agregados biogênicos e fisiogênicos. <sup>2</sup>Compreende a porcentagem de agregados biogênicos e fisiogênicos relacionadas à massa total de agregados do solo após a sua separação em biogênicos e fisiogênicos. TEST = testemunha (sem adubação com dejetos); DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X = cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N. MAT= massa de agregados total do solo; MAB= massa de agregados biogênicos; MAF= massa de agregados fisiogênicos; AB=agregados biogênicos; AF=agregados fisiogênicos.

Após a separação e quantificação dos agregados (Tabela 3), para a avaliação química e física, os agregados foram destorroados e passados por peneira de 2,00 mm de malha para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). A composição granulométrica dos agregados biogênicos e fisiogênicos também foi realizada por Mergem Junior (2017), conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Composição granulométrica dos agregados biogênicos e fisiogênicos em diferentes sistemas de uso do solo em Braço do Norte, SC.

Tratamentos	Argila		Silte		Areia	
	Bio	Fis	Bio	Fis	Bio	Fis
0-5 cm						
Testemunha	144	225	300	236	556	540
DLS1X	116	169	329	278	555	552
DLS2X	142	163	295	288	562	550
CSS1X	80	163	306	270	613	567
CSS2X	72	120	353	311	575	570
5-10 cm						
Testemunha	137	213	295	245	568	541
DLS1X	129	221	282	239	589	540
DLS2X	138	148	323	309	539	543
CSS1X	172	200	251	240	578	561
CSS2X	164	191	294	249	542	560

Testemunha (sem adubação com dejetos); DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CS1X = cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N. Bio=biogênico, Fis=fisiogênico.

No restante da TFSA dos agregados biogênicos e fisiogênicos foram determinadas as análises descritas abaixo.

### 6.3 Análises realizadas

#### 6.3.1 Determinação dos teores totais de carbono e nitrogênio nos agregados

Os teores de COT e NT dos agregados do solo foram determinados pelo método de combustão a seco, em autoanalisador de C e N, a 900°C (CHN-1000 da Leco) no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura) – Piracicaba.

#### 6.3.2 Fracionamento químico da matéria orgânica nos agregados

As substâncias húmicas foram separadas em três frações: fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e húmica (HUM), sendo utilizada a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003). Para

tal, pesou-se 1,0g de TFSA e colocada em contato com 20 ml de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = FAF + FAH) e o resíduo (HUM) foi feita por centrifugação a 5000 g (Força g) por 30 minutos. Em seguida, mais uma lavagem com a mesma solução anterior, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 ml. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placas de petri e seco a 65 °C (secagem completa). O pH do EA foi ajustado a 1,0 (±0,1) com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20%, seguido de decantação por 18 horas em geladeira. O precipitado (FAH) foi separado da fração solúvel (FAF) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 ml, com água destilada. A quantificação do C nas frações (C-HUM, C-FAF e C-FAH) foi feita segundo metodologia preconizada por Yeomans & Bremner (1988). E a quantificação do N (N-HUM, N-FAF e N-FAH) feita segundo Tedesco et al. (1995).

### **6.3.3 Fracionamento granulométrico da matéria orgânica nos agregados**

Cerca de 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L<sup>-1</sup>) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal (Cambardella & Elliot, 1992). Em seguida, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira corresponde à MOP ou carbono orgânico particulado (COP) associado à fração areia. Esse material foi seco em estufa à 65°C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado quanto ao teor de C segundo Yeomans & Bremner (1988) e o N segundo Tedesco et al. (1995). O material que passar pela peneira de 53 µm corresponde a MOM ou carbono orgânico associado ao minerais (COam) de silte e argila. Os teores de C-MOM e N-MOM foram obtidos por diferença entre os teores totais e da MOP (COT-CMOP/NT-NMOP).

### **6.4 Análises Estatísticas**

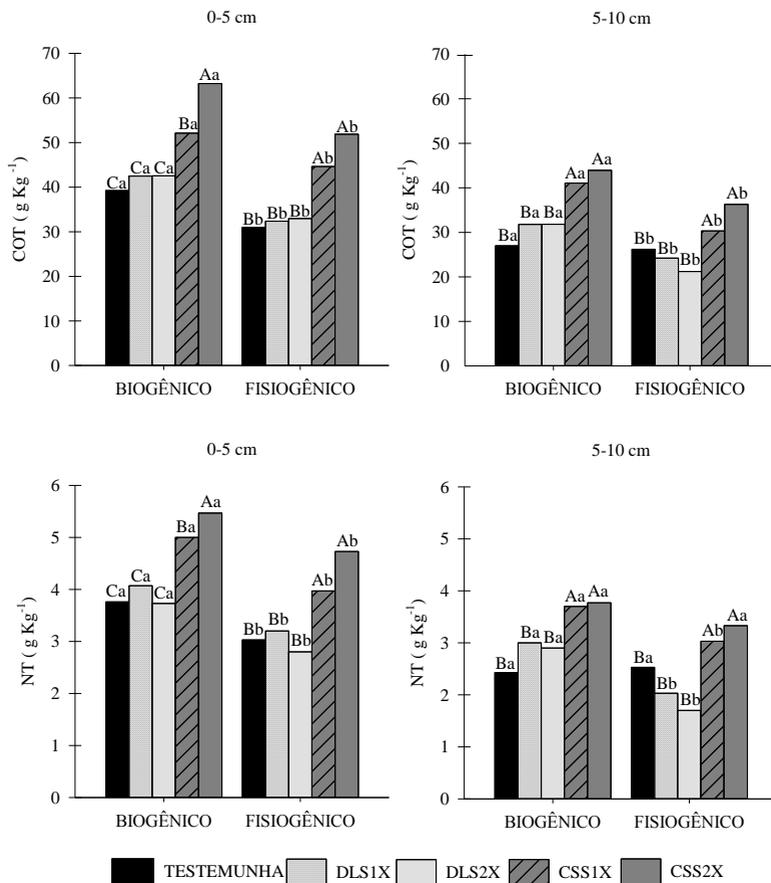
Os dados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade por meio dos testes de Lilliefors e Bartlett, respectivamente. Em seguida foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, comparados entre si pelo teste Skott-knott a 5%.

## **7. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **7.1 Teores de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT)**

Os teores de COT variaram de 27 a 63,2 g kg<sup>-1</sup> nos agregados biogênicos e de 21,2 a 51,9 g kg<sup>-1</sup> nos fisiogênicos. Quanto aos teores de NT, as variações foram de 2,4 a 5,5 g kg<sup>-1</sup> e de 1,7 a 4,7 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para agregados biogênicos e fisiogênicos. Nos agregados biogênicos e fisiogênicos, tanto o COT como o NT foram maiores nos tratamentos com uso de CSS, nas duas profundidades. Os tratamentos com DLS e testemunha apresentaram os menores teores de COT e NT nas duas profundidades e não diferiram entre si. Quando comparados os teores de COT e NT entre os tipos de agregados, os biogênicos apresentaram maiores teores que os fisiogênicos, em todos os tratamentos e profundidades, com exceção da testemunha e CSS2X, para os teores de NT, que não diferiram ( $p < 0,05$ ) na camada de 5-10 cm (Figura 4).

Figura 4. Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) em agregados biogênicos e fisiogênicos de um Argissolo após aplicações de dejetos líquidos de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS), Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os tratamentos para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula não difere entre os tipos de agregados para cada tratamento (teste Scott-Knott,  $p < 0,05$ ). Testemunha= sem adubação com dejetos; DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X= cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N.

A dinâmica dos teores de COT e NT é governada pelo aporte natural de resíduos vegetais no solo, assim como pela adição de resíduos orgânicos de diversas naturezas, e pela transformação contínua desses sob ação de fatores biológicos, químicos e físicos. Dessa forma, os maiores teores de COT e NT nas áreas com CSS resultam dos maiores valores de massa seca desse resíduo (51% para CSS e 2,3% para DLS) e da relação C/N (13,2 para CSS e 4,4 para DLS) em comparação com os valores observados nos DLS (Tabela 2). Essa maior relação C/N acarreta em uma menor taxa de decomposição da MOS pelos microrganismos (Prescott, 2005; Giacomini e Aita, 2008) e, conseqüentemente, um aumento dos teores de COT e NT do solo nas áreas com uso de CSS em comparação as áreas com DLS e testemunha.

Esses resultados corroboram com os encontrados por Brunetto et al. (2012) e Comin et al. (2013), que ao avaliarem os teores de COT em uma área de cultivo em SPD, com a sucessão aveia/milho após oito anos de aplicação de diferentes quantidades e fontes de dejetos (DLS e CSS), observaram que a aplicação de DLS, em geral, não alterou os teores de COT quando comparados à testemunha, enquanto que a aplicação de CSS aumentou os teores de COT até os 20 cm de profundidade.

Em outro estudo, tem-se a indicação que o uso de DLS por longo tempo é mais eficiente em aumentar os teores de COT do solo do que o fertilizante mineral (Mafra et al., 2014). Esses autores conduziram um experimento de longa duração (11 anos) em Campos Novos-SC, em um Latossolo cultivado com a sucessão aveia preta/milho em SPD, utilizando a aplicação de DLS em doses a partir de 50, 100 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em comparação com adubação mineral (NPK) e concluíram que as doses utilizadas aumentaram os estoques de COT no solo na ordem de 3,8; 6,2 e 9,1 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para as doses 50, 100 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, comparativamente à adubação mineral que teve um estoque total de 7,1 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 0-20 cm. Além disso, verificaram que o uso dos DLS também aumentou a adição de C pela fitomassa dos cultivos (milho e aveia-preta), assim como os coeficientes de humificação e de mineralização de COT do solo, em comparação com a adubação mineral.

O uso de DLS como fertilizante, nem sempre aumenta os teores de C e N (Comin et al., 2013, Dortzbach et al., 2013) porém, proporciona o aumento da produção de matéria seca de aveia em até 34% e de grãos de milho em até 90%, em comparação à testemunha

(Tabela 2). Sugere-se que uma área maior de exploração do sistema radicular e maior produção de exsudatos radiculares que estimulam a biomassa microbiana, podem ter influenciado nos maiores teores de COT e NT nos agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos. A maior proporção de agregados biogênicos em comparação ao fisiogênicos (Tabela 3) também corroboram esses resultados.

Os maiores teores de COT e NT nos agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos ocorrem porque esses são formados principalmente pelos fatores fauna do solo e atividade do sistema radicular. De acordo com Batista et al. (2013), em um estudo com objetivo de analisar a influência biológica na gênese dos agregados, os autores avaliaram, em diferentes sistemas produtivos e em duas épocas do ano, os teores de COT, estabilidade dos agregados e a macrofauna edáfica. Os agregados biogênicos apresentaram correlação positiva com teores de COT e com a macrofauna edáfica, principalmente minhocas.

Em outro estudo realizado no sudoeste do Paraná, Loss et al. (2014) avaliaram a gênese dos agregados em SPD com 15 anos, SPC com 56 anos, floresta secundária (30 anos) e uma pastagem (30 anos). Os autores separaram e quantificaram a proporção dos agregados do solo em biogênicos e fisiogênicos e caracterizaram os mesmos quanto a fertilidade do solo, teores de COT, NT, fracionamento granulométrico e químico da MOS. O SPC por 56 anos desfavoreceu a formação de agregados biogênicos, pois foram encontrados somente agregados fisiogênicos nesta área. Nestes agregados, o SPC reduziu os teores de COT, NT, C-HUM, COp, COam em comparação às demais áreas avaliadas. No SPD, a sucessão soja/azevém favoreceu a formação de agregados, pois apresentou distribuição de agregados biogênicos e fisiogênicos semelhante à observada na área de floresta. E, em relação aos teores de carbono das frações da MOS, verificaram-se valores iguais aos das áreas de floresta e pastagem na profundidade de 0-5 cm. Entre os agregados, os autores verificaram que os biogênicos foram mais eficientes no aumento da fertilidade do solo, NT, COT e teores de C das frações da MOS que os agregados fisiogênicos.

O uso de dejetos suínos também pode contribuir para os fatores que influenciam na formação de agregados biogênicos, com ênfase para o fator biológico. Em estudo realizado por Morales et al. (2016), na mesma área deste estudo, para avaliar a resposta da microbiota do solo, após nove anos de aplicações sucessivas de dejetos suínos, foram mensurados os teores de COT, carbono da biomassa microbiana (CBM)

e respiração basal (RB). Os teores de COT, CBM e RB foram superiores no tratamento com CSS, o que demonstra que as aplicações de dejetos suínos em longo prazo incrementaram a atividade microbiana do solo e o teor de matéria orgânica, principalmente quando aplicados na forma de CSS.

Avaliando os teores de NT no solo após 10 anos de aplicação anual de DLS e fertilizante mineral (NPK) em Latossolo cultivado sob SPD com a sucessão aveia/milho, Grohskopf et al. (2015) observaram que a aplicação de DLS nas doses 0, 25, 50, 100 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> por ano aumentou o NT nas profundidades de 0-2,5, 2,5-5 e 5-10 cm em relação a testemunha (dose zero) e em comparação a adubação mineral com as doses de 100 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Os teores de NT, para as profundidades de 0-2,5 e 5-10 cm, variam de 3,2 a 2,2 g kg<sup>-1</sup> (0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), 4,1 a 2,4 (50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), 4,6 a 2,6 (100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) e 3,9 a 2,5 g kg<sup>-1</sup> (NPK).

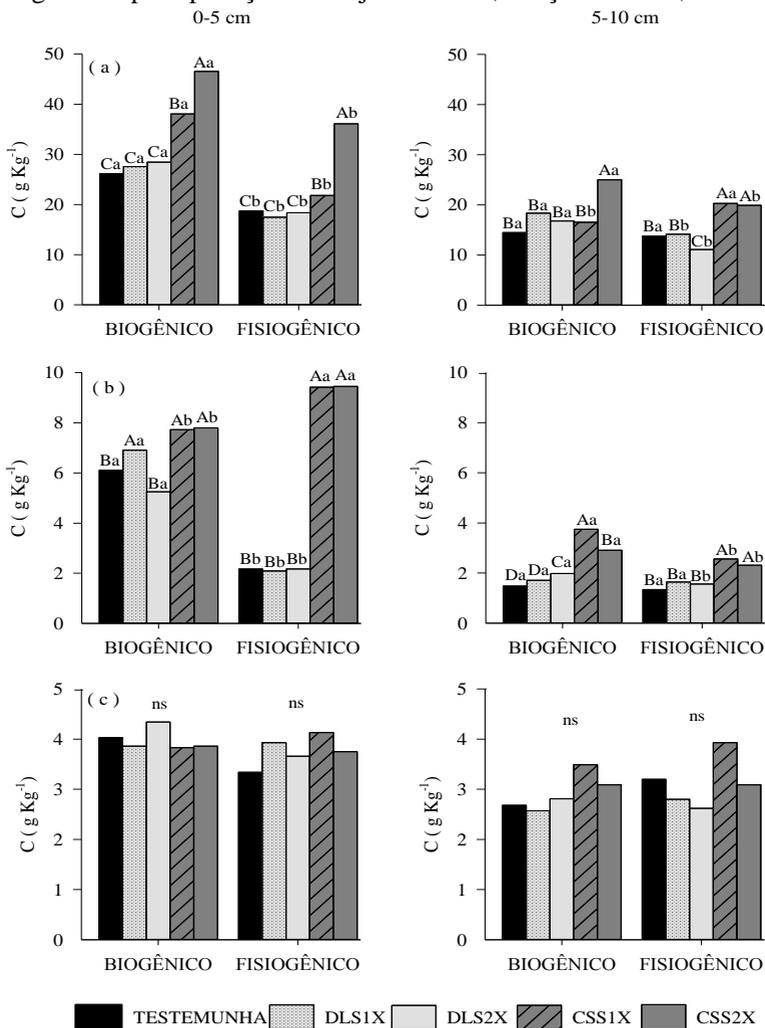
Os maiores teores de NT nos tratamentos com CSS e nos agregados biogênicos corroboram os maiores teores de COT, pois incrementos de NT no solo, sendo neste caso via aplicação dos dejetos, favorecem o acúmulo de COT, pois não ocorre aumento de COT no solo se a quantidade de N for limitante à produtividade biológica (Urquiaga et al., 2005).

## **7.2 Frações Húmicas da MOS**

### **7.2.1 Teores de carbono das frações húmicas**

Os teores de C-HUM variaram de 14,5 a 46,6 g kg<sup>-1</sup> nos agregados biogênicos e de 11,1 a 36,1 g kg<sup>-1</sup> nos fisiogênicos. Nos dois tipos de agregados, os maiores teores foram encontrados nos tratamentos CSS e menores nos demais tratamentos para ambas as profundidades, exceto para o tratamento CSS1X dos agregados biogênicos que na profundidade 5-10 cm não diferiu da testemunha e dos tratamentos com DLS. Quando comparado entre os agregados, nos biogênicos verificaram-se os maiores teores de C-HUM em todos os tratamentos na profundidade de 0-5 cm. Já na profundidade 5-10 cm, o C-HUM dos biogênicos foi maior que os fisiogênicos nos tratamentos com DLS e CSS2X, não diferindo estatisticamente na área testemunha e foi menor no tratamento CSS1X (Figura 5).

Figura 5. Teores de carbono das frações humina (a), ácidos húmicos (b) e ácidos fúlvicos (c) em agregados biogênicos e fisiogênicos de um Argissolo após aplicações de dejetos suínos, Braço do Norte, SC.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os tratamentos e mesma letra minúscula não difere entre os agregados (Scott-Knott,  $p < 0,05$ ). Testemunha= sem adubação com dejetos; DLS1X/DLS2X= dejetos líquidos de suínos, 1 e 2 vezes a recomendação de N; CSS1X/CSS2X= cama sobreposta de suínos, 1 e 2 vezes a recomendação de N.

Os teores de C-FAH variaram de 1,9 a 7,8 g kg<sup>-1</sup> nos agregados biogênicos e de 1,4 a 9,4 g kg<sup>-1</sup> nos fisiogênicos. Os resultados apresentaram um comportamento semelhante àquele do C-HUM, em que nos dois tipos de agregados foram encontrados os maiores teores de C-FAH nos tratamentos com CSS nas duas profundidades, e menores na testemunha e DLS, com exceção do tratamento DLS1X, na profundidade de 0-5 cm, que não diferiu da CSS. Entre os agregados, na profundidade de 0-5 cm os teores de C-FAH foram maiores nos biogênicos para os tratamentos testemunha e DLS, já nos tratamentos com CSS os teores foram maiores nos agregados fisiogênicos. Na profundidade de 5-10 cm, nos tratamentos DLS2X e CSS, os teores foram maiores nos biogênicos e não diferiram entre os demais tratamentos. Os teores de C-FAF variaram de 2,6 a 4,3 g kg<sup>-1</sup> nos agregados biogênicos e de 2,6 a 4,1 g kg<sup>-1</sup> nos fisiogênicos, e não apresentaram diferenças ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos e nem entre os tipos de agregados, nas duas profundidades avaliadas (Figura 5).

Dentre as frações estudadas e corroborando com outros estudos (Passos et al., 2007; Fontana et al., 2006 e 2010; Loss et al., 2010; Borges et al., 2015), a fração HUM que apresenta maior interação mineral (Stevenson, 1994; Fontana et al., 2006; Dick et al., 2009), é a que contém a maior parte dos teores de C (40 a 73%), seguida da FAH (5 a 21%) e FAF (6 a 13%). Esses maiores teores de carbono na forma de HUM sugerem maior retenção de umidade, cátions e maior agregação do solo (Souza & Melo, 2003).

Os maiores teores de C-HUM e C-FAH que ocorreram, em geral, nos tratamentos com uso de CSS, estão associados aos maiores teores de COT encontrados nos tratamentos com CSS, ou seja, são devidos à alta relação C/N da CSS quando comparado aos DLS, o que favorece uma mineralização mais lenta e acarreta na formação de substâncias húmicas mais estáveis.

Entre os tipos de agregados, os resultados apresentados indicam que nos agregados biogênicos tem-se um ambiente mais favorável para a formação das substâncias húmicas. E convém destacar que o uso de DLS e CSS, de maneira geral, favorece a formação de C-HUM e C-FAH nos agregados biogênicos, pois para a testemunha, na profundidade de 5-10 cm, não foram verificadas diferenças entre os tipos de agregados (Figura 5).

Esses maiores teores de C-HUM e C-FAH nos agregados biogênicos estão diretamente relacionado à atuação dos fatores fauna do

solo (macro e microfauna) e sistema radicular, que estão, sobretudo relacionados à formação dos agregados biogênicos. Além de ocorrer com mais intensidade na superfície do solo, devido ao aporte de material vegetal e a ausência de revolvimento do solo. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Loss et al. (2014), que também quantificaram os teores de carbono das frações húmicas em agregados biogênicos e fisiogênicos em SPD, pastagem, floresta, e encontraram maiores teores nos agregados biogênicos.

Apenas na profundidade de 0-5 cm os teores de C-FAH foram maiores nos agregados fisiogênicos para os tratamentos CSS (Figura 5). Isto pode estar relacionado com os teores de argila, que foram maiores nos agregados fisiogênicos apenas para CSS1X e CSS2X em comparação aos biogênicos (Tabela 4). Estudos realizados por Santana et al. (2011) e Mujuru et al. (2013), sugerem que em solos com maior teor de argila há um predomínio de carbono nas frações mais estáveis, através de uma forte interação entre a porção orgânica e inorgânica do solo, formando complexos com ligações fortes entre as argilas e os ácidos húmicos. Em muitos solos, entre 50 a 100% do carbono encontra-se complexado com a fração argila (Manahan, 2012).

A relação C-FAH/C-FAF é muito utilizada quando se realiza o fracionamento químico da MOS, pois indica o grau de humificação, ou mobilidade do carbono no solo (Benites et al., 2003). Se o resultado dessa relação for maior que 1,0 tem-se o predomínio do C-FAH, ou seja, maior grau de humificação da MOS, com material orgânico mais estável. Neste caso, a formação dos agregados biogênicos está favorecendo a humificação da MOS, pois foram encontrados valores dessa relação maiores que 1,0 em todos os tratamentos na profundidade de 0-5 cm e apenas para CSS1X na profundidade 5-10 cm (Tabela 5).

Tabela 5. Relação do C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM nos agregados biogênicos e fisiogênicos de um Argissolo após aplicações de dejetos líquido de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS), Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil.

Tratamentos	C-FAH/C-FAF		C-EA/C-HUM	
	Biogênico	Fisiogênico	Biogênico	Fisiogênico
0-5 cm				
TEST	1,53 B	0,65 C	0,39 A	0,29 B
DLS1X	1,79 B	0,53 C	0,39 A	0,35 B
DLS2X	1,22 B	0,59 C	0,34 A	0,32 B
CSS1X	2,02 A	2,28 B	0,30 B	0,62 A
CSS2X	2,06 A	2,53 A	0,25 B	0,37 B
CV%	14,64	7,93	8,62	11,73
5-10 cm				
TEST	0,58 B	0,42 C	0,30 B	0,33 A
DLS1X	0,68 B	0,58 B	0,23 B	0,32 A
DLS2X	0,73 B	0,60 B	0,29 B	0,38 A
CSS1X	1,10 A	0,73 A	0,44 A	0,30 A
CSS2X	0,95 A	0,75 A	0,24 B	0,27 A
CV%	21,31	12,99	17,48	8,42

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV= coeficiente de variação. C-FAH: carbono da fração ácido húmico, C-FAF: carbono da fração ácido fúlvico, C-EA: extrato alcalino (C-FAH+ C-FAF) e C-HUM: carbono da fração humina. TEST= sem adubação com dejetos; DLS1X = dejetos líquido de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquido de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X= cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N

Nos agregados fisiogênicos somente os tratamentos com uso de CSS, na profundidade 0-5 cm, apresentaram valores maiores que 1,0, o que indica que o tratamento com o uso de CSS favorece mais a humificação da MOS independentemente da gênese do agregado. Estes resultados são corroborados pelos maiores valores da relação C-FAH/C-FAF nos tratamentos com CSS, tanto para os agregados biogênicos quanto fisiogênicos em ambas as profundidades (Tabela 5).

Os maiores valores da relação C-FAH/C-FAF nos tratamentos com CSS em comparação aos DLS indicam que a CSS apresenta melhor qualidade e favorece a formação da FAH. Esta melhor qualidade pode estar relacionada aos maiores valores de massa seca, relação C/N e teores de nutrientes N, P, K, Ca e Mg em comparação aos DLS (Tabela 1). Com maior índice da relação C-FAH/C-FAF tem-se melhores condições para o estabelecimento de propriedades físicas e químicas benéficas ao desenvolvimento das plantas, conforme relatado por Guareschi et al. (2013) e corroborado por outros autores (Fontana et al., 2006; Loss et al., 2010; Borges et al., 2015).

Outra relação estudada é C-EA/C-HUM, que indica a estabilidade estrutural da MOS, onde os menores valores indicam predomínio do C-HUM e melhor estabilidade química da MOS (Benites et al., 2003). No presente estudo, os valores encontrados foram todos menores que 1,0, indicando o predomínio de C-HUM e boa estabilidade química em todos os tratamentos, nas duas profundidades e nos dois tipos de agregados avaliados. Esses resultados podem ser devidos ao SPD com a sucessão aveia/milho, o qual favorece o acúmulo de biomassa aérea e radicular da aveia e milho utilizados em todos os tratamentos, com destaque para os tratamentos com uso de CSS nos agregados biogênicos na profundidade de 0-5 cm, que apresentaram os menores valores dessa relação (Tabela 5), indicando uma estabilidade química melhor que o uso dos DLS e testemunha.

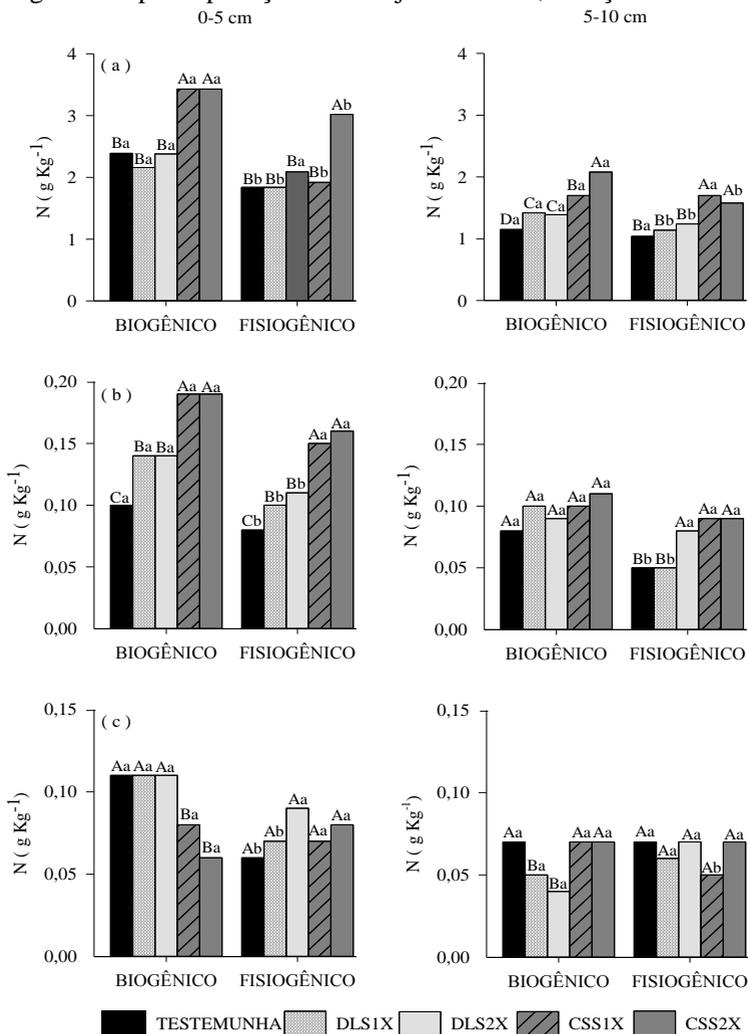
Resultados semelhantes ao deste estudo também foram encontrados por Fernandes et al. (2017), que avaliaram os teores de C-HUM, C-FAH, C-FAF, C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM em áreas de floresta e pastagem em Pinheiral, RJ. Os autores encontraram maiores teores de C-HUM, C-FAH e C-FAH/C-FAF nos agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos, assim como ausência de diferenças para o C-FAF e menores valores de C-EA/C-HUM nos agregados biogênicos.

### **7.2.2 Teores de nitrogênio das frações húmicas**

Os teores de N-HUM variaram de 1,2 a 3,4 g kg<sup>-1</sup> nos agregados biogênicos e de 1,0 a 3,0 g kg<sup>-1</sup> nos fisiogênicos. Nos dois tipos de agregados, os maiores teores foram encontrados nas áreas com os tratamentos CSS e os menores nos demais tratamentos para ambas as profundidades, com exceção da CSS1X nos fisiogênicos, na profundidade de 0-5 cm, que não diferiu da área testemunha e DLS.

Quando comparado entre os agregados, verificaram-se nos biogênicos os maiores teores de N-HUM em todos os tratamentos, na profundidade de 0-5 cm, com exceção do DLS2X que não diferiu entre os tipos de agregados. Na profundidade de 5-10 cm também foram verificados maiores teores de N-HUM para os agregados biogênicos, porém apenas para os tratamentos DLS1X e CSS2X. Para os demais não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tipos de agregados (Figura 6).

Figura 6. Teores de nitrogênio das frações humina (a), ácidos húmicos (b) e ácidos fúlvicos (c) em agregados biogênicos e fisiogênicos de um Argissolo após aplicações de dejetos suínos, Braço do Norte, SC.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os tratamentos e mesma letra minúscula não difere entre os agregados (Scott-Knott,  $p < 0,05$ ). Testemunha= sem adubação com dejetos; DLS1X/DLS2X= dejetos líquidos de suínos, 1 e 2 vezes a recomendação de N; CSS1X/CSS2X= cama sobreposta de suínos, 1 e 2 vezes a recomendação de N.

Os teores de N-FAH variaram de 0,08 a 0,19 g kg<sup>-1</sup> nos agregados biogênicos e de 0,05 a 0,16 g kg<sup>-1</sup> nos fisiogênicos. Nos agregados biogênicos, para o N-FAH, na profundidade de 0-5 cm, os maiores teores foram encontrados nos tratamentos com CSS, intermediários em DLS e menores na testemunha. Na profundidade de 5-10 cm não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos. Nos agregados fisiogênicos, na profundidade de 0-5 cm, também foram encontrados maiores teores de N-FAH nos tratamentos com CSS, intermediários em DLS e menores na testemunha. Na profundidade de 5-10 cm, os maiores teores foram encontrados nos tratamentos com CSS e DLS2X. Entre os agregados, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, os teores de N-FAH foram superiores nos biogênicos em comparação aos fisiogênicos na testemunha e DLS (0-5 cm) e apenas para testemunha e DLS1X (5-10 cm) (Figura 6).

Os teores de N-FAF variaram de 0,04 a 0,11 g kg<sup>-1</sup> nos agregados biogênicos e de 0,05 a 0,09 g kg<sup>-1</sup> nos fisiogênicos. Nos agregados biogênicos, os maiores teores foram encontrados nos tratamentos DLS e testemunha e menores no tratamento CSS na profundidade de 0-5 cm. Na profundidade de 5-10 cm os maiores teores foram no tratamento CSS e testemunha e menores com nos tratamentos DLS. Para os agregados fisiogênicos não foram observadas diferenças entre os tratamentos nas duas profundidades avaliadas. Quando comparam-se os agregados, nos biogênicos verificaram-se os maiores teores de N-FAF nos tratamentos testemunha e DLS1X na profundidade de 0-5 cm. Já na profundidade de 5-10 cm, apenas no tratamento CSS1X foram verificados maiores valores de N-FAF para os agregados biogênicos (Figura 6).

Os maiores teores de N-HUM e N-FAH para os tratamentos com CSS em comparação aos DLS nos agregados biogênicos e fisiogênicos nas duas profundidades avaliadas e apenas para os agregados biogênicos para o C-FAF podem estar relacionados com a qualidade do material orgânico, ou seja, nos dejetos de CSS têm-se maiores valores de N em comparação aos DLS (Tabela 1). Conforme descrito por Assis et al. (2006), a presença de N nas frações húmicas é indicativo que parte do N do solo se encontra estabilizado nessas frações. Ou seja, nas áreas adubadas CSS tem-se maior estabilidade química em comparação aos DLS.

Convém destacar que os teores de N-HUM nos agregados biogênicos na profundidade de 5-10 cm e os teores de N-FAH, em

ambos os tipos de agregados na profundidade de 0-5 cm, foram maiores nos tratamentos com CSS e DLS em comparação à testemunha (Figura 6). Estes resultados indicam que o uso de dejetos suínos favorece a formação dessas frações húmicas no solo, o que não foi verificado para o nitrogênio total (NT) do solo, pois as áreas testemunha e com DLS não apresentaram diferenças entre si (Figura 4).

Entre os tipos de agregados, quando observadas diferenças, os maiores valores ocorreram nos agregados biogênicos, assim como observado para os teores de COT, NT e carbono das frações húmicas, indicando que nos agregados biogênicos as condições edáficas são melhores para manutenção e formação do N das frações húmicas, com destaque para o N-HUM que apresentou maiores valores nos biogênicos para todos os tratamentos em comparação ao N-FAH e N-FAF.

Da mesma forma que os teores de carbono, e demonstrando uma relação linear, os teores de nitrogênio foram maiores na fração N-HUM (41,11% a 74,64%) em comparação à fração N-FAH (1,98% a 4,71%) e N-FAF (1,10% a 4,12%). Esses resultados seguem o mesmo padrão do carbono, no qual as taxas de entradas e saídas de C e N têm favorecido a humificação da MOS, assim apresentando maiores teores nas frações mais estáveis dos agregados, com ênfase para os biogênicos, principalmente devido à maior atividade biológica.

## **7.3 Frações granulométricas da MOS**

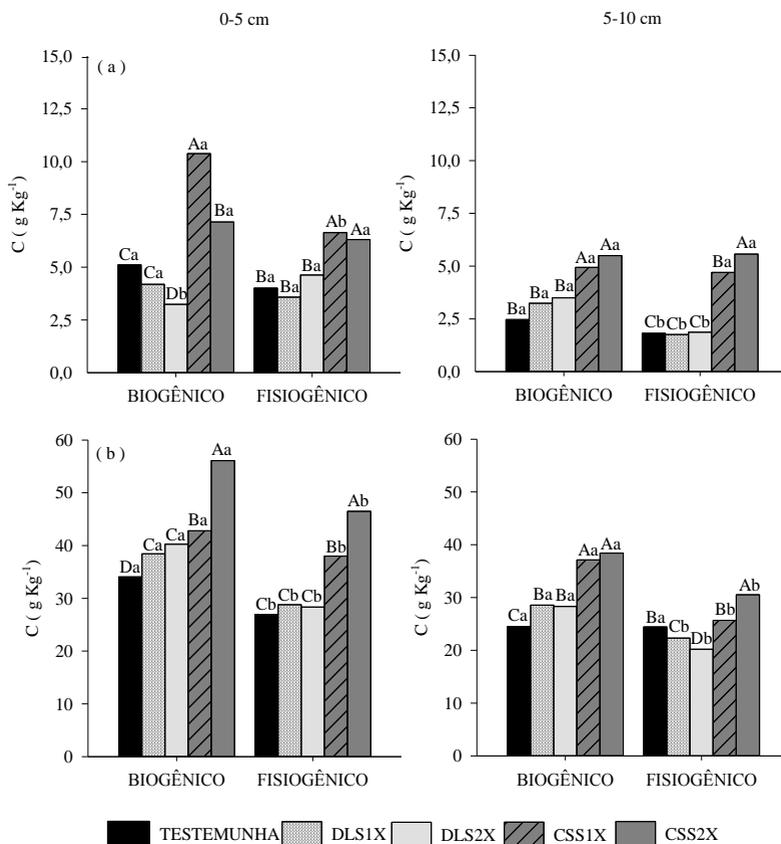
### **7.3.1 Teores de carbono e nitrogênio das frações granulométricas**

Os teores de C-MOP variaram de 2,5 a 10,4 g kg<sup>-1</sup> nos agregados biogênicos e de 1,8 a 6,6 g kg<sup>-1</sup> nos fisiogênicos. Para o C-MOM, as variações foram de 24,5 a 56,1 g kg<sup>-1</sup> e de 20,2 a 46,5 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para agregados biogênicos e fisiogênicos. Quanto aos teores de N-MOP, eles variaram de 0,4 a 1,4 g kg<sup>-1</sup> nos agregados biogênicos e de 0,1 a 0,8 g kg<sup>-1</sup> nos fisiogênicos. Para o N-MOM, as variações foram de 2,1 a 4,2 g kg<sup>-1</sup> e de 1,6 a 4,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para agregados biogênicos e fisiogênicos.

Nos dois tipos de agregados, tanto para o C-MOP quanto para C-MOM, os maiores teores foram encontrados nas áreas com os tratamentos CSS e os menores nos demais tratamentos para ambas as profundidades. Destaca-se para o C-MOM, que nos agregados biogênicos, para as duas profundidades, verificaram-se menores teores na testemunha em relação a DLS e CSS. Quando se comparam os tipos de agregados, para os teores de C-MOP verificaram-se diferenças

apenas para dois tratamentos na profundidade de 0-5 cm, com maiores teores no tratamento CSS1X para os biogênicos e maiores no DLS2X para os fisiogênicos. Na profundidade de 5-10 cm não foram verificadas diferenças entre os tipos de agregados para os tratamentos com CSS, já para DLS e testemunha, os teores foram maiores nos biogênicos. Para o C-MOM, quando comparam-se os agregados, os teores dos biogênicos foram maiores que dos fisiogênicos nas duas profundidades, com exceção da testemunha, na profundidade de 5-10 cm, que não apresentou diferenças entre os agregados (Figura 7).

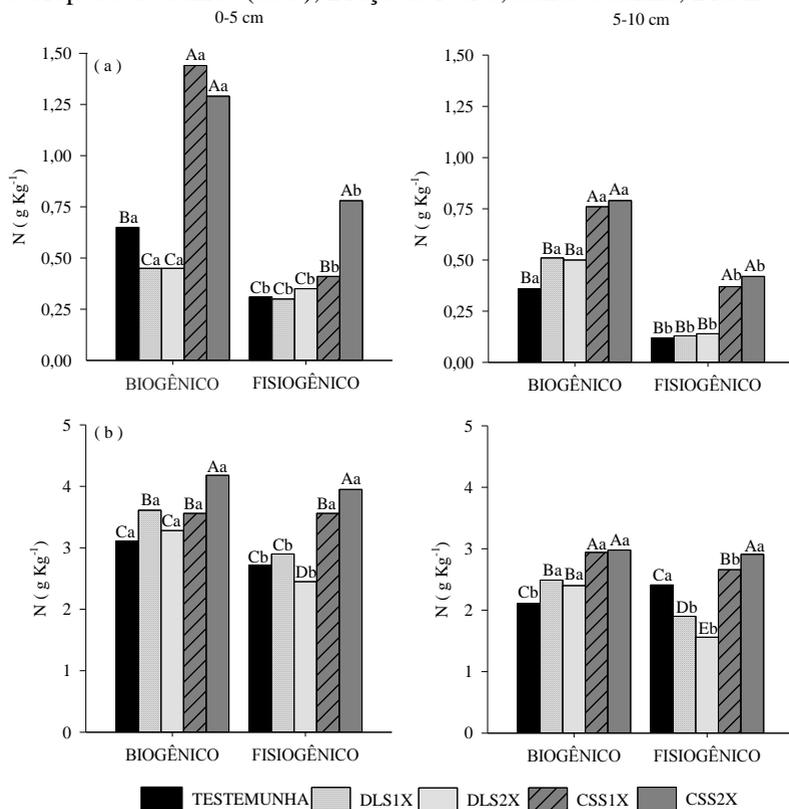
Figura 7. Teores de carbono da matéria orgânica particulada (a) e carbono da matéria orgânica associada ao minerais (b) em agregados biogênicos e fisiogênicos, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm de um Argissolo após aplicações de dejetos suínos, Braço do Norte, SC.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os tratamentos para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula não difere entre os tipos de agregados para cada tratamento (teste Scott-Knott,  $p < 0,05$ ). Testemunha= sem adubação com dejetos; DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X= cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N.

Com relação aos teores de N, nos agregados biogênicos e fisiogênicos, para o N-MOP e N-MOM, os maiores teores foram encontrados nas áreas com os tratamentos CSS e os menores nos demais tratamentos, para ambas as profundidades, com exceção do N-MOM para os agregados biogênicos que no tratamento DLS1X (0-5 cm) não diferiu de CSS1X. Destaca-se para o N-MOM, que nos agregados fisiogênicos, os menores teores foram encontrados no tratamento DLS2X nas duas profundidades. E nos biogênicos, assim como observado para o C-MOM, nas duas profundidades verificaram-se menores teores de N-MOM na testemunha em relação à DLS e CSS, com exceção ao tratamento DLS2X que não diferiu da testemunha (0-5 cm). Quando comparam-se os agregados, os teores de N-MOP, nas duas profundidades, foram maiores nos biogênicos em comparação aos fisiogênicos. Com relação aos teores de N-MOM, na profundidade de 0-5 cm, verificaram-se diferenças apenas para a testemunha e DLS, com maiores teores nos agregados biogênicos. Já na profundidade de 5-10 cm, os teores de N-MOM foram maiores nos biogênicos dos tratamentos com DLS e CSS1X, e não diferiram no tratamento CSS2X e foram maiores nos fisiogênicos para a testemunha (Figura 8).

Figura 8. Teores de nitrogênio da matéria orgânica particulada (a) e nitrogênio da matéria orgânica associada aos minerais (b) em agregados biogênicos e fisiogênicos, nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm de um Argissolo após aplicações de dejetos líquidos de suínos (DLS) e cama sobreposta de suínos (CSS), Braço do Norte, Santa Catarina, Brasil.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre os tratamentos para cada tipo de agregado e mesma letra minúscula não difere entre os tipos de agregados para cada tratamento (teste Scott-Knott,  $p < 0,05$ ). Testemunha= sem adubação com dejetos; DLS1X = dejetos líquidos de suínos, 1 vez a recomendação de N; DLS2X = dejetos líquidos de suínos, 2 vezes a recomendação de N; CSS1X= cama sobreposta de suínos, 1 vez a recomendação de N; CSS2X = cama sobreposta de suínos, 2 vezes a recomendação de N.

Os maiores teores de C e N da MOP no tratamento com CSS, assim como C e N da MOM nos tratamentos com CSS e DLS, indicam que a adubação orgânica na forma de dejetos suínos é eficiente para aumentar os teores de C e N nestas frações, sendo este aumento devido à maior entrada de resíduos vegetais da aveia preta e do milho, pois conforme observa-se na Tabela 2, tem-se maiores proporções de massa seca da aveia e grãos de milho nos tratamentos com DLS e CSS em comparação com a testemunha.

Os aumentos do C-MOP e N-MOP são decorrentes do aporte dos resíduos vegetais, os quais podem estar sendo favorecidos pela maior atividade microbiana nos tratamentos com CSS (Morales et al., 2016). Avaliando a aplicação de dejetos suínos e adubação mineral (NPK) por 17 anos em diferentes solos (Chernossolos e Cambissolos) cultivados com a sucessão milho/trigo na China, He et al. (2015) verificaram que o uso de dejetos suínos aumentou o conteúdo de C e N da MOP e MOM na camada de 0-20 cm em comparação à adubação mineral e área controle (sem adubação). Os autores relataram que o aumento do C e N na MOP e MOM foram devidos ao maior aporte de resíduos vegetais nas áreas adubadas com dejetos suínos, assim como também devido à maior atividade microbiana, que pode ter proporcionado maior decomposição dos resíduos vegetais para posterior formação da MOP e MOM.

De maneira geral, o fracionamento granulométrico permitiu evidenciar diferenças entre os tratamentos, porém diferente do comumente encontrado na literatura, onde o C-MOP é sempre mais eficiente que o C-MOM (Salton et al., 2005; Conceição et al., 2005; Blair et al., 2006; Loss et al., 2009, 2012; Mafra et al., 2015), neste estudo o C-MOM e N-MOM foram eficientes para identificar diferenças entre os tratamentos, com ênfase entre a testemunha e DLS, o que não foi possível observar somente com o C-MOP (Figura 7), N-MOP (Figura 8), COT e NT (Figura 4). Segundo He et al. (2015), o C-MOM e N-MOM são frações associadas aos minerais (tamanho silte e argila) e, principalmente, são encontradas no solo sequestradas na forma de húmus. No estudo desses autores, maiores teores de C-MOM e N-MOM foram encontrados no tratamento com DLS por 17 anos em comparação com áreas adubadas com NPK e área controle (sem adubação).

A fração do C-MOM e N-MOM são as que contêm a maior proporção do C e N em comparação ao C-MOP e N-MOP, pois há uma forte interação da MOS com fração de argila, o que aumenta a proteção

e estabilização dessa MOS, principalmente quando está no interior dos agregados do solo (Cambardella & Elliott, 1992). Após 44 anos de aplicação de dejetos de animais, Courtier-Murias et al. (2013) verificaram que a fração associada aos minerais (MOM) foi a que mais acumulou carbono no solo, com cerca de 70%. No presente estudo também foram encontradas maiores proporções do C e N na MOM em comparação a MOP (Figuras 7 e 8), indicando que a maior parte do C e N está na forma mais estável e protegida no interior dos agregados biogênicos e fisiogênicos. Entre os agregados, de maneira geral, tem-se maiores conteúdos de C-MOM e N-MOM, assim como C-MOP e N-MOP nos agregados biogênicos, o que sugere que esta classe de agregados favorece a estabilização e proteção do C e N.

## **8. CONCLUSÕES**

A aplicação contínua de CSS por 10 anos aumentou os teores de COT e NT em relação à testemunha e os tratamentos com DLS, que não se diferenciaram entre si. O uso de DLS e CCS aumentou os teores de COT e NT nos agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos.

A aplicação contínua de CSS por 10 anos aumentou a formação do C-HUM / N-HUM, C-FAH / N-FAH, C-MOP / N-MOP, C-MOM e N-MOM em comparação à testemunha e os tratamentos com DLS.

O uso de dejetos suínos aumentaram a formação do C e N das frações húmicas e granulométricas nos agregados biogênicos em comparação aos fisiogênicos.

## **9. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diferentes tipos e quantidades de dejetos suínos, utilizados com critério de aplicação, afetam a quantidade de MOS. Porém não se pode afirmar quanto à qualidade da MOS nos agregados ao longo dos anos. Por isso se faz necessário novas pesquisas sobre a composição dos resíduos adicionados e do solo sob diferentes tipos de manejo, bem como estudos sobre os mecanismos de proteção das células microbianas e metabólitos secundários, que são importantes para a formação da MOS.

Apesar dos resultados positivos em relação ao incremento da MOS, é importante salientar sobre os riscos de contaminação e poluição com o uso de dejetos suínos, em áreas de produção agrícola. Principalmente relacionado aos teores de fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn). Estudos realizados na mesma área experimental demonstraram que

a adição de CCS no solo ao longo de oito anos, acarretou em menores valores de capacidade máxima de adsorção de P no solo das camadas mais profundas e aumentou a quantidade de P na solução na camada superficial do solo, o que significa risco de contaminação ambiental de águas superficiais e subsuperficiais (Guardini et al., 2012).

O Cu e Zn, apesar de serem essenciais ao crescimento das plantas, podem ser tóxicos quando em concentrações elevadas. Em outro estudo realizado na mesma área de avaliação, porém após dez anos de uso dos dejetos suínos, Benedet (2014) constatou um aumento nos teores de Cu e Zn no solo, porém somente o Zn acumulou nos tecidos das plantas de milho. Apesar de ter promovido poucos efeitos sobre as plantas, a manutenção de sucessivas aplicações, principalmente CSS e DLS em excesso, ao longo do tempo poderá incrementar os teores destes elementos no solo e no tecido das plantas.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCS. **Manual da produção de suínos teoria e prática.** Brasília: ABCS, 2014.

AITA, C; PORT, O; GIACOMINI, S. J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p.901-910, 2006.

AITA, C; GIACOMINI, S. J; HUBNER, A. P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.42, p. 94-102, 2007.

ALTMANN, R & OLTRAMARI, A. C. **A agricultura orgânica na região da Grande Florianópolis; indicadores de desenvolvimento.** Florianópolis: Instituto Cepa/SC, 2004, 181p.

ASSIS, C.P; JUCKSCH, I; SÁ MENDONÇA, E; NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1541-1550, 2006.

ASSMANN, T. S; ASSMANN, J. M; CASSOL, L. C; DIEHL, R. C; MANTELI, C; MAGIERO, E. C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31, n.6, p. 1515-1523, 2007.

BATISTA, I; CORREIA, M. E. F; PEREIRA, M. G; BIELUCZYK, W; SCHIAVO, J. A; MELLO, N. A. Caracterização dos agregados em solos sob cultivo no cerrado, MS. **Semina. Ciências agrárias**. v.33, p.1-10, 2013.

BENEDET, L. **Biodisponibilidade de cobre e zinco e alterações bioquímicas e fisiológicas em plantas de milho (*Zea mays* L.) em solo adubado com dejetos suínos.** Dissertação. Florianópolis, SC, 2014. 128 p.

BENITES, V. M; MADARI, B; MACHADO, P. L. O de A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p.

BENITES, V. M; MOUTTA, R. O; COUTINHO, H. L. C; BALIEIRO, F. C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore.** v.34, n.4, p. 685-690, 2010.

BLAIR, N; FAULKNER, R; TILL, A; POULTON, P. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility: part I: Broadbalk experiment. **Soil & Tillage Research.** v.91, p.30-38, 2006.

BOLINDER, M.A; ANGERS, D.A; GREGORICH, E.G; CARTER, M.R. The response of soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal of Soil Science.** p.37-45, 1999.

BORGES, C. S.; RIBEIRO, B. T.; WENDLING, B.; CABRAL, D. A. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO<sub>2</sub> em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente & Água.** v.10, p.660-675, 2015.

BRONICK, C. J & LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma,** v. 124, p. 3–22, 2005.

BRUNETTO, G., COMIN, J.J., SCHMITT, D.E., GUARDINI, R., MEZZARI, C.P., OLIVEIRA, B.S., MORAES, M.P., GATIBONI, L.C., LOVATO, P.E., CERETTA, C.A. Changes in soil acidity and organic carbon in an sandy typic hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.36, p.10-20, 2012.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v.56, p.777-783, 1992.

CARTER, M. R. Researching structural complexity in agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, p. 1-6, 2004.

CECILLON, L.; MELLO, N. A.; DANIELI, S.; BRUN, J. J. Soil macroaggregate dynamics in a mountain spatial climate gradient. **Biogeochemistry**, v.97, p. 31-43, 2010.

CHRISTENSEN, B.T. **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Ed.). Structure and organic matter storage in agricultural soils. Boca Raton: CRC, 1996, p.97-165.

CHRISTENSEN, B.T. **Organic matter in soil: structure, function and turnover**. University of Copenhagen, DIAS report plant Production n.30, 2000.

COMIN, J. J.; LOSS, A.; VEIGA, M. DA; GUARDINI, R.; SCHMITT, E.; OLIVEIRA, P. A. V. DE; BELLI FILHO, P.; COUTO, R. DA R.; BENEDET, L.; MULLER JÚNIOR, V.; BRUNETTO, G. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilised with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. **Soil Research**, v.51, p.459-470, 2013.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – CFS-RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3ª.ed. Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa; 1995, 224p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10ª.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2004, 400p.

CONCEIÇÃO, P. Cesar; AMADO, T. J. C; MIELNICZUK, J; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, n.5, p. 777-788. 2005.

CORRÊA, J. C.; BARILLI, J.; REBELLATTO, A.; VEIGA, M. **Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo**. Concórdia, Embrapa Suínos e Aves, 2011, 18p.

COURTIER-MURIAS, D.; SIMPSON, A.J.; MARZADORI, C.; BALDONI, G.; CIAVATTA, C.; FERNANDEZ, J.M.; LOPEZ-DE-SA, E.G.; PLAZA, C. Unraveling the long-term stabilization mechanisms of organic materials in soils by physical fractionation and NMR spectroscopy. **Agriculture Ecosystems Environment**. v.171, p.9-18, 2013.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. **Química da matéria orgânica do solo**. Viçosa: SBCS, 2009, p. 1-69.

DORAN, J. W & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W., **Defining soil quality for a sustainable environment**. Proc. symposium, Minneapolis, MN, 1992: SSSA/ASA; Special Publication, 35, 1994, p. 3-21.

DORAN, J. W; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, n. 1, p. 3-11, 2000.

DORTZBACH, D.; ARAUJO, I.S.; PANDOLFO, C.; VEIGA, M. Carbono e nitrogênio no solo e na biomassa microbiana em glebas com diferentes usos e períodos de aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Agropecuária Catarinense* 26, 2013, p.69-73.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de Métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ªed. (Brasília) Embrapa Produção de informação, Embrapa Solos, 2013, 353p.

EPAGRI. **Inventário das Terras da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Coruja-Bonito, Município de Braço do Norte, SC**. 2000. CD-ROM

EPAGRI/CEPA – Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola.  
**Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2013-2014.** Online.  
Disponível em: <  
[http://docweb.epagri.sc.gov.br/website\\_cepa/publicacoes/Sintese\\_2015.pdf](http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2015.pdf)> Acessado em: 25 jan 2017.

FERNANDES, J. C. F; PEREIRA, M. G; SILVA NETO, E. C; CORRÊA NETO, T. A. Characterization of biogenic, intermediate and physiocogenic soil aggregates of areas in the brazilian atlantic forest. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.30(1), p.59-67, 2017.

FIUZA, S. S; KUSDRA, J. F; FURTADO, D. T. Caracterização química e atividade microbiana de coprólitos de Chibui bari (Oligochaeta) e do solo adjacente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, n.3, p.723-728, 2011.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, p. 847-853, 2006.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; BRITO, R. J.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Agrária**, v. 5, p. 291-297, 2010.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil & Tillage Research**. p.95–106, 2002.

GIACOMINI, S. J & AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.32, n.1, p.195-205,2008.

GIACOMINI S. J; AITA C; PUJOL S. B; MIOLA E. C. C. Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.48, n.2, p.211-219, 2013.

GOLCHIN, A; OADES, J. M; SKJEMSTAD, J. O; CLARKE, P. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected  $^{13}\text{C}$  natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture. **Australian Journal of Soil Research**. v.33, p.59–76, 1995.

GONZATTO, R; MIOLA, E. C. C; DONEDA, A; PUJOL, S. B; AITA, C; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia e emissão de óxido nítrico após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho. **Ciência Rural**, v. 43, n. 9, p.1590-1596, 2013.

GREGORICH, E. G; CARTER, M. R; ANGERS, D. A; MONREAL, C. M; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**. v.74, p.367-385, 1994.

GROHSCOPF, M. A; CASSOL, P. C; CORREA, J. C; MAFRA, M. S. H; PANISSON, J. Organic nitrogen in a typic hapludox fertilized with pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.39, n.1, p.127-139, 2015.

GUARDINI, R; COMIN, J.J.; RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; TIECHER, T.; SCHMITT D. E.; BENDER, M.A.; BELLI FILHO, P.; OLIVEIRA, P.A.V.; BRUNETTO, G. Phosphorus accumulation and pollution potential in a Hapludult fertilized with pig manure. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.1333-1342, 2012.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina. Ciências Agrárias** (Impresso), v.34, p.2615-2628, 2013.

GUERRA, J. G. M; SANTOS, G. A; SILVA, L. S; CAMARGO, F. A. O. **Macromoléculas e Substâncias Húmicas**. In.: Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais / Gabriel de Araújo Santos. 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre. Metrópole, 2008. 654p.

HE, Y. T; ZHANG, W. J; XU, M. G; TONG, X. G; SUN, F. X; WANG, J. Z; HUANG, S. M; ZHU, P; HE, X. H. Long-term combined chemical and manure fertilizations increase soil organic carbon and total nitrogen in aggregate fractions at three typical cropland soils in China. **Science of the Total Environment** 532 p.635-644.2015.

JOUQUET, P; ZANGERLE, A; RUMPEL, C; BRUNET, D; BOTTINELLI, N; TRAN DUC, T. Relevance and limitations of biogenic and physicogenic classification: a comparison of approaches for differentiating the origin of soil aggregates. **European Journal of Soil Science**. v.60, p.1117– 1125, 2009.

KARLEN, D. L; MAUSBACH, M. J; DORAN, J. W; CLINE, R. G; HARRIS, R. F; SCHUMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, v.6, p.4-10, 1997.

KHATOUNIAN, C. A. A reconstrução ecológica da agricultura. Botucatu: **Agroecológica**. 2001. 345p.

LAVELLE, P; RANGEL, P; KANYONYO, J. Mucus production by two species of tropical earthworms: *Millsonia lamtoiana* (Megascolecidae) and *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae). In: LEBRUM, P. et al. (Eds.). **New trends in soil biology**. p.405-410, 1983.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo. Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LIMA, S. S; AQUINO, A. M; LEITE, L. F. C; VELÁSQUES, E; LAVELLE, P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**.v.45, n.3, p. 322-331, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção. **Ciência Rural**, v.39, p.1-6, 2009.

LOSS, A; PEREIRA, M. G; SCHULTZ, N; ANJOS, L. H. C; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**. v.69, n.4, p.913-922, 2010.

LOSS, A; PEREIRA, M. G; PERIN, A; COUTINHO, F. S; ANJOS, L. H. C. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Soil research**. v. 50, p. 685-693, 2012.

LOSS, A.; PERERIA, M. G.; COSTA, E. L.; BEUTLER, S. J. Soil fertility, physical and chemical organic matter fractions, natural  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  abundance in biogenic and physicogenic aggregates in areas under different land use systems. **Soil Research**. v.52, p.685-697, 2014.

LOURENZI, C. R; CERETTA, C. A; SILVA, L. S; TRENTIN, G; GIROTTO, E; LORENSINI, F; TIECHER, T.L; BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, n.5, p.1827-1836, 2011.

LOURENZI, C. R; CERETTA, C. A; SILVA, L. S; GIROTTO, E; LORENSINI, F; TIECHER, T. L; CONTI, L; TRENTIN, G; BRUNETTO, G. Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.37, p.157-67, 2013.

MAFRA, M. S. H; CASSOL, P. C; ALBUQUERQUE, J. A; CORREA, J. C; GROHSKOPF, M. A; PANISSON, J. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.49, n.8, p.630-638, 2014.

MAFRA, M. S. H; CASSOL, P. C; ALBUQUERQUE, J. A; GROHSKOPF, M. A; ANDRADE, A. P; RAUBER, L. P; FRIEDERICHS, A. Organic carbon contents and stocks in particle size fractions of a typical hapludox fertilized with pig slurry and soluble fertilizer. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 39, p.1161-1171, 2015.

MANAHAN, S. **Química ambiental**. 9.ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 944p.

MENDONÇA, E.S. & ROWELL, P.L. Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation - exchange capacity. **Soil Science Society of America Journal**. v.60, p.1888-1892, 1996.

MERGEN JUNIOR, C. A. **Caracterização de Agregados do Solo Submetido a 10 anos de aplicação de dejetos suínos**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2ª ed. Porto Alegre. Genesis, 2004. 290 p.

MORALES, D.M., MACHADO VARGAS, M., OLIVEIRA, M.P., TAFFE, B.L., COMIN, J.J., SOARES, C.R.F. S., LOVATO, P.E. Response of soil microbiota to nine-year application of swine manure and urea. **Ciência Rural**. v.46, p.260-266, 2016.

MOREIRA, F. M. S & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626 p.

MUJURU, L; MUREVA, A; VELTHORST, E.J; HOOSBEEK, M.R. **Land use and management effects on soil organic matter fractions in Rhodic Ferralsols and Haplic Arenosols in Bindura and Shamva districts of Zimbabwe**. *Geoderma*, v.209. p.262-272, 2013.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v. 31(1), p. 1119-1129, 2007.

PRESCOTT, C.E.. Decomposition and mineralization of nutrients from litter and humus. **Ecological Studies**, In: BassiriRad, H. (Ed.), Nutrient Acquisition by Plants An Ecological Perspective. v.181. p. 15–41, 2005

PULLEMAN, M. M; SIX, J; UJIL, A; MARINISSEN, J.C.Y; JONGMANS, A.G. Earthworms and management affect organic matter incorporation and microaggregate formation in agricultural soils. **Applied Soil Ecology**. v.29, p.1–15, 2005.

RILLIG, M.C & MUMMEY, D.L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytol**. p.41–53, 2006.

SALTON, J. C; MIELNICZUK, J; BAYER, C; FABRICIO, A. C; MACEDO, M. C. M; BROCH, D. L; BOENI, M; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005 58p.

SANTANA, G. S; DICK, D. P; JACQUES, A. V. A & CHITARRA, G. S. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em Latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35. p.461-472, 2011.

SANTOS, G. A. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre: Metropole, 2008, 636 p.

SANTOS, R. D; LEMOS, R. S; SANTOS, H. G; KER, J. C; ANJOS, L. H. C; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7ª ed. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2013, 101p.

SCHERER, E. E; AITA, C; BALDISSERA, I. T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis. EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de SC. 1996, 46p.

SILVA NETO, L. F; SILVA, I. F; INDA, A. V; NASCIMENTO, P. C; BORTOLO, L. Atributos físicos e químicos de agregados pedogênicos e de coprólitos de minhocas em diferentes classes de solos da Paraíba. **Ciência agrotécnica**. v.34, n.6, p.1365-1371, 2010.

SILVA NETO, L. F; PEREIRA, M.G; FERNANDES, J. C. F; CORRÊA NETO, T. A. Formação de agregados e matéria orgânica do solo sob diferentes tipos de vegetação na Floresta Atlântica do Sudeste do Brasil. **Semina: Ciência agrárias**. Londrina, v. 37, n. 6, p. 3927-3940, 2016

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

SOUZA, W. J. O & MELO, W. J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido à diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, p.1113-1122, 2003.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York. John Wiley & Sons, 1994. 496p.

SWIFT, R. S. **Organic matter characterization**. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. Methods of soil analysis. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy. p.1011-1020, 1996.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ª ed. Porto Alegre:UFRGSC/ Departamento de solos, 1995. 174p.

TIVET, F; SÁ, J. C. M; LAL, R; BRIEDIS, C; BORSZOWSKI, P. R; SANTOS, J. B; FARIAS, A; HARTMAN, D. C; NADOLNY JUNIOR, M; BOUZINAC, S; SEGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil & Tillage Research**. v.126, p.203-218, 2013.

URQUIAGA, S., JANTALIA, C.P., ZOTARELLI, L., ALVES, B.J.R., BODDEY, R.M. Manejo de sistemas agrícolas para o sequestro de carbono no solo. In: Aquino, A.M., Assis, R.L. (Eds.), Conhecimentos e técnicas avançadas para o estudo dos processos da biota no sistema solo-planta. Embrapa, Brasília, DF, p.257-273, 2005.

VELASQUEZ, E; PELOSI, C; BRUNET, D; GRIMALDI, M; MARTINS, M; RENDEIRO, A. C; BARRIOS, E; LAVELLE, P. This ped is my ped: visual separation and near infrared spectra allow determination of the origins of soil macroaggregates. **Pedobiologia**. v.51, n.1, p.75-87, 2007.

VEZZANI, F. M; CONCEIÇÃO, P. C; MELLO, N.A; DIECKOW, J. **Matéria Orgânica e Qualidade do Solo**. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo. Cap. 25, 2ª ed, 2008, p.483-494.

VEZZANI, F. M & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, n.4, p.743-755, 2009.

VEZZANI, F. M & MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, n.1, p.213-223. 2011.

YEOMANS, J. C & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.19, p.1467-1476, 1988.