



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

NAIRA CUARELI DE MOURA

**ORGANIZAÇÃO E COMPORTAMENTO DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

---

Londrina  
2016

NAIRA CUARELI DE MOURA

**ORGANIZAÇÃO E COMPORTAMENTO DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima  
Guimarães

Coorientador: Prof. Dr. João Tavares Filho

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Moura, Naira Cuareli de.

Organização morfológica de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de manejos / Naira Cuareli de Moura. - Londrina, 2016.  
112 f. : il.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.  
Inclui bibliografia.

1. Estrutura do solo - Tese. 2. Solos - Manejo - Tese. 3. Solos - Porosidade - Tese. 4. Solos - Qualidade - Tese. I. Guimarães, Maria de Fátima. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

NAIRA CUARELI DE MOURA

**ORGANIZAÇÃO E COMPORTAMENTO DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima  
Guimarães

Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Ricardo Ralisch

Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Maria Teresa de Nóbrega

Universidade Estadual de Maringá – UEM

---

Dr. Henrique Debiasi

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
– EMBRAPA

---

Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
– EMBRAPA

Londrina, 18 de março de 2016.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço toda minha família pelo constante apoio e pela base que me proporcionaram para que pudesse chegar até aqui, em especial minha mãe Adriana Aparecida Degan Cuareli, meu pai Nilmar Carlos de Moura, meu irmão Lucas Cuareli de Moura e minha avó Clarice Degan Cuareli

A minha orientadora Maria de Fátima Guimarães não só pela maravilhosa orientação e os constantes ensinamentos adquiridos na condução deste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade em todos esses anos.

Aos amigos de graduação e de longa data: Cesar Sbrussi, Giovani Arieira pelo companheirismo e amizade. Também agradeço a todos colegas adquiridos nessa jornada.

A universidade Estadual de Londrina e a todos professores do departamento de Agronomia que colaboraram para esse estudo, em especial o professor Prof Dr. Ricardo Ralisch da Universidade Estadual de Londrina (UEL), pelos ensinamentos, auxílio e sugestões da técnica do perfil cultural e ao Prof. Dr João Tavares Filho pela co-orientação. Também fica meu agradecimento a todos funcionários que participaram direta ou indiretamente da condução do trabalho.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), por conceder a locação do experimento e suporte de campo. Agradeço aos pesquisadores Henrique Debiasi e Julio Cesar Franchini dos Santos, pelo apoio, ajuda e acompanhamento do projeto.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa cedida no país e no exterior (Doutorado Sanduíche).

A Universidade de Wageningen (WUR) e a Dra. Mirjam Pulleman pelo acolhimento e orientação durante o estudo no Exterior. A todos amigos que lá fiz, obrigada pela companhia nesse período.

Ao Departamento de Solos da ESALQ., e também aos funcionários por permitir o uso do Laboratório de Microscopia do Departamento e pelo auxílio na confecção dos blocos e Lâminas. Ao professor Dr. Miguel Cooper da Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz” (ESALQ), pela colaboração no trabalho.

A Prof. Dr. Maria Teresa de Nóbrega, pelo auxílio nas interpretações das Lâminas. Enfim, todos aqueles que direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

MOURA, Naira Cuareli de. **Organização e comportamento de um latossolo vermelho em diferentes sistemas de manejo**. 2016. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## RESUMO

A estrutura é um dos atributos mais importantes do solo sob o ponto de vista agronômico. O estudo da qualidade estrutural do solo em diferentes organizações morfoestruturais por meio do perfil cultural, pode ser empregado para comparar diferentes sistemas de manejo. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência do uso e manejo agrícola sobre a estrutura de um Latossolo Vermelho Eutroférico, com base em unidades morfologicamente homogêneas (UMH's), identificadas e classificadas pelo perfil cultural, complementando o estudo com o uso de técnicas de análise micromorfológica e micromorfométrica. O estudo foi realizado no ano de 2013, em um experimento de longa duração (27 anos), em um Latossolo Vermelho Eutroférico, localizado no Norte do Estado do Paraná, Brasil. Para representar as diferentes intensidades de manejo do solo, foram abertas 16 trincheiras e avaliados os sistemas de Plantio Direto, Plantio Direto escarificado a cada três anos, convencional com arado de disco, Convencional com Grade Pesada, e, todos com rotação e sucessão de culturas. Nessas trincheiras foram classificadas as estruturas do solo pelo método do perfil cultural, e identificadas as unidades morfologicamente homogêneas (UMH's). Os resultados evidenciaram que o método do perfil cultural foi sensível em detectar as alterações morfológicas do solo causadas pelos manejos permitindo, a identificação de impactos causados pelos diferentes sistemas de manejo. A atividade biológica observada nas estruturas do perfil cultural sob plantio convencional foi inferior ao plantio direto. O surgimento da camada fissurada se deve ao efeito do preparo do solo antes da semeadura das culturas de inverno e verão no plantio convencional. O sistema de rotação de culturas não é suficiente para amenizar os impactos do preparo, em algumas situações. Os resultados micromorfológicos quantitativo e qualitativo indicam que tanto no preparo convencional do solo como no plantio direto o solo sofreu alterações microestruturais indicativas de estresse físico, com matriz predominantemente do tipo porfírica nas estruturas C (contínuas), coalescência de agregados, redução da porosidade, e incremento de poros fissurais. Nas estruturas Bw, classificadas como não alteradas pelo manejo, a matriz do solo foi predominantemente do tipo enáulica, conferindo a essas maior porosidade se comparada as estruturas C.

**Palavras-chave:** Perfil cultural. Sistema de culturas. Características morfológicas do solo. Estrutura do solo. Micromorfologia.

MOURA, Naira Cuareli de. **Organization and behavior of a rhodic eutrudox in different management systems.** 2016. 112 p. Thesis (Doctoral Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

### ABSTRACT

The structure is one of the most important attributes of the soil under the agricultural point of view. The study of structural soil quality morphostructural different organizations through cultural profile can be used to compare different management systems. In this context, this study aimed to evaluate the influence of use and agricultural management on the structure of a hapludox based on homogeneous morphological units (HMU's), identified and classified by the cultural profile, complementing the study with the use of techniques of micromorphological and micromorphometric analysis. The study was conducted in 2013, in a long-term experiment (27 years) in an oxisol, located in the north of Paraná state, Brazil. To represent different intensities of soil management, it was open 16 trenches and evaluated tillage systems no-tillage, no-tillage and chiseling every 3 years, conventional tillage with a disk plow, and conventional tillage with a heavy disk, and all crop rotation and crop succession. These trenches were classified soil structures by the cultural profile method, and identified homogeneous morphological units (HMU's). The results showed that the cultural profile method was sensitive enough to detect the morphological changes caused by soil management systems enabling the identification of impacts of different management systems. The biological activity observed in the structures of the cultural profile under conventional tillage was lower than no-tillage. The emergence of the fissured layer is due to the effect of soil preparation before sowing of winter and summer crops in planting is agreed the crop rotation system is not enough to mitigate the impacts of preparation in some situations. The quantitative and qualitative micromorphologic results indicate that both conventional tillage and no-tillage soil suffered indicative microstructural changes of physical stress, headquartered predominantly porphyritic type in C (continuous) structures coalescing aggregate, reduced porosity, and increment fissure pores. In Bw structures classified as not altered by management, soil matrix was predominantly enaulica type, giving these higher porosity compared the C structures.

**Key-words:** Cultural profile. Crop system. Morphological soil characteristics. Soil structure. Micromorphology.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1:** Representação esquemática dos perfis culturais sob preparo convencional do solo com as Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's) identificadas, realizado com arado de disco (AD) e com grade pesada (GP), em rotação (R) e sucessão (S) .....36
- Figura 3.2:** Representação esquemática dos perfis culturais sob Plantio Direto com as Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's) identificadas, (PD) Plantio Direto, (PDE) Plantio Direto Escarificado, em rotação (R) e sucessão (S)..... 38
- Figura 3.3:** Componentes principais (PC1 e PC2) considerando os 16 perfis culturais relacionando preparo do solo (convencional com arado de disco (AD) e com grade pesada (GP) e plantio direto (PD) e plantio direto escarificado a cada três anos (PDE), em rotação (R) e sucessão (S) com as Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's).....41
- Figura 3.4:** Componentes principais (PC1 e PC2) considerando os 16 perfis culturais relacionando preparo do solo (convencional com arado de disco (AD) e com grade pesada (GP) e plantio direto (PD) e plantio direto escarificado a cada três anos (PDE), em rotação (R) e sucessão (S) com as Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's) sem considerar o estado interno dos torrões ..... 42
- Figura 4.1:** Representação esquemática dos perfis culturais sob preparo convencional do solo com as Unidades Morfológicas Homogêneas (UMH's) identificadas, realizado com Grade Pesada (GP) em rotação (R) e sucessão (S).....50
- Figura 4.2:** Representação esquemática dos perfis culturais sob preparo convencional do solo com as Unidades Morfológicas Homogêneas (UMH's) identificadas, realizado com Arado de Disco (AD), em rotação (R) e sucessão (S) .....52

<b>Figura 4.3:</b>	Representação esquemática dos perfis culturais sob plantio direto do solo com as Unidades Morfológicas Homogêneas (UMH's) identificadas, plantio direto (PD) e, em rotação (R) e sucessão (S).....	55
<b>Figura 4.4:</b>	Densidade de agregados (Das) de unidades morfológicamente homogêneas identificadas em Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (GP) com rotação (R) e sucessão (S) de culturas. As barras de erro representam o intervalo de confiança de 95%. C: volume de solo contínuo em que não se distinguem agregados, F: volume de solo formado de agregado separados por uma rede de fissuras, L: volume de solo solto, poroso constituído de torrões de tamanhos variados, $\mu$ : torrões com forte porosidade interna principalmente arredondadas, $\Delta$ : torrões com baixa ou nenhuma porosidade visível, $\Delta\mu$ e $\mu\Delta$ : porosidade interna dos torrões intermediária, mt: médios torrões, pt: pequenos torrões, Bw: camada não alterada pelo manejo.....	59
<b>Figura 4.5:</b>	Resistência tênsil de agregados (RT) de unidades morfológicamente homogêneas identificadas em Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (GP) com rotação (R) e sucessão (S) de culturas. As barras de erro representam o intervalo de confiança de 95%. C: volume de solo contínuo em que não se distinguem agregados, F: volume de solo formado de agregado separados por uma rede de fissuras, L: volume de solo solto, poroso constituído de torrões de tamanhos variados, $\mu$ : torrões com forte porosidade interna principalmente arredondadas, $\Delta$ : torrões com baixa ou nenhuma porosidade visível, $\Delta\mu$ e $\mu\Delta$ : porosidade interna dos torrões intermediária, mt: médios torrões, pt: pequenos torrões, Bw: camada não alterada pelo manejo.....	60

<b>Figura 5.1:</b>	Representação esquemática do perfil cultural do solo com a localização das Unidades Morfogicamente Homogeneas (UMH's) identificadas sob Plantio direto realizado com escarificação a cada três anos sucessão (PDE) e Plantio Direto (PD), em rotação (R) e sucessão (S).....	73
<b>Figura 5.2:</b>	Representação esquemática do perfil cultural do solo com a localização das Unidades morfologicamente homogeneas (UMH's ) identificadas sob preparo convencional do solo, realizado com grade pesada (GP) e Arado de Discos (AD) em rotação (R) e sucessão (S) .....	74
<b>Figura 5.3:</b>	Lâmina e fotomicrografias correspondentes a unidade Fpt $\mu$ V no perfil cultural sob plantio direto escarificado a cada três anos em sucessão: (a1) visão geral da lâmina delgada (N1) Ilustrando a UMH Fpt $\mu$ $\Delta$ ; (a2) Detalhe da porosidade de fissuração e formação de blocos subangulares; (a3) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade Fpt $\mu$ $\Delta$ . .....	75
<b>Figura 5.4:</b>	Lâmina e fotomicrografias correspondentes unidade C $\Delta$ $\mu$ , sob plantio direto escarificado a cada três anos em sucessão; (b1) Lâmina delgada do solo (N2) representando a UMH C $\Delta$ $\mu$ ; (b2) Fotomicrografia distribuição relativa e porosidade da unidade C $\Delta$ $\mu$ ; (c2) Fotomicrografia raiz em decomposição .....	76
<b>Figura 5.5:</b>	Lâmina e fotomicrografias correspondentes a unidade C $\Delta$ $\mu$ sob plantioescarificado a cada três anos em rotação. (c1) Lâmina delgada do solo (N4) representando a UMH C $\Delta$ $\mu$ ; (c2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade C $\Delta$ $\mu$ ; (c3) Estrutura microgranular .....	77
<b>Figura 5 6:</b>	Lâmina e fotomicrografias correspondentes as unidades C $\mu$ $\Delta$ e Bw, sob plantio direto escarificado a cada três anos em rotação; (d1) Lâmina delgada do solo (N5) representando a UMH C $\Delta$ ; (d2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade C $\Delta$ $\mu$ ; (d3) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade Bw .....	78

- Figura 5.7:** Lâmina e fotomicrografia correspondente unidade  $C\Delta\mu$ , sob plantio direto em sucessão; (e1) Lâmina delgada do solo (N9) representando a UMH  $C\Delta\mu$ ; (e2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade  $C\Delta\mu$  .....79
- Figura 5.8:** Lâmina e fotomicrografias correspondente a unidades Bw, sob plantio direto em sucessão; (f1) Lâmina delgada do solo (N10) representando a UMH Bw; (f2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade Bw; (f3) Detalhe de atividade biológica .....80
- Figura 5.9:** Lâmina e fotomicrografias correspondente a unidade  $C\Delta\mu$  sob plantio direto em rotação; (g1) Lâmina delgada do solo (N14) representando a UMH  $C\Delta\mu$ ; (g2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade  $C\Delta\mu$ ; (g3) Detalhe blocos subangulares; (g4) Detalhe excrementos81/ .....82
- Figura 5.10:** Lâmina e fotomicrografias correspondentes as unidades  $C\mu\Delta$  e Bw, ob plantio direto em rotação; (h1) Lâmina delgada do solo (N15) representando as UMH's  $C\mu\Delta$  e Bw; (h2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade Bw; (h3) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade  $C\mu\Delta$  .....83
- Figura 5.11:** Lâmina e fotomicrografia correspondente unidade  $C\mu\Delta$ , sob plantio direto escarificado a cada três anos em sucessão; (i1) Lâmina delgada do solo (N17) representando a UMH  $C\mu\Delta$ ; (i2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade  $C\mu\Delta$  .....84
- Figura 5.12:** Lâminas e fotomicrografias correspondentes a unidade  $C\Delta$ , sob arado de discos e grade pesada em sucessão; (k1) e (l1) Lâminas delgadas do solo (N3) e (N16) representando a unidade  $C\Delta$ ; (k2) e (l2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade C .....88
- Figura 5.13:** Lâmina e fotomicrografia correspondente unidade  $C\mu\Delta$ , sob Grade pesa; (5.13m1) Lâmina delgada do solo (N6) representando a unidade  $C\mu\Delta$ ; (m2) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade  $C\mu\Delta$  .....90

<b>Figura 5.14:</b> Lâmina e fotomicrografia correspondente unidade $C_{\mu\Delta}$ , sob plantio convencional com arado de discos em rotação; (n1) Lâmina delgada do solo (N8) representando a unidade $C_{\mu\Delta}$ ; (n2) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade $C_{\mu\Delta}$ .....	90
<b>Figura 5.15:</b> Lâmina e fotomicrografia correspondente a unidade $F_{mt\Delta\mu}$ , sob plantio convencional com arado de discos em sucessão; (o1) Lâmina delgada do solo (N11) representando a unidade $F_{mt\Delta\mu}$ ; (o2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade $F_{mt\Delta\mu}$ .....	91
<b>Figura 5.16:</b> Lâmina e fotomicrografias correspondentes às unidades $C_{\Delta\mu}$ e $C_{\mu\Delta}$ , sob plantio convencional com arado de discos em sucessão; (r1) Lâmina delgada do solo (N19) representando a unidade $C_{\Delta\mu}$ e $C_{\mu\Delta}$ ; (r2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade $C_{\Delta\mu}$ ; (r3) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade $C_{\mu\Delta}$ .....	92
<b>Figura 5.17:</b> Lâminas e fotomicrografias correspondentes às unidades $C_{\Delta\mu}$ e $C_{\mu\Delta}$ , sob plantio convencional com grade pesada em rotação; (p1) Lâmina delgada do solo (N12) representando a unidade $C_{\Delta\mu}$ ; (p2) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade $C_{\Delta\mu}$ .; (p4) Lâmina delgada do solo (N13) representando a unidade $C_{\mu\Delta}$ ; (p2) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade $C_{\mu\Delta}$ ; (p5) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade $C_{\Delta\mu}$ .....	93

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1:</b> Síntese da descrição das Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's) presentes nos perfis culturais.....	34
<b>Tabela 4.1:</b> Área (%) de ocorrência das principais UMH's, classificadas no perfil cultural sob plantio convencional com grade pesada em rotação e sucessão .....	51
<b>Tabela 4.2:</b> Área (%) de ocorrência das UMH's, classificadas no perfil cultural sob plantio convencional com Arado de discos rotação e sucessão .....	54
<b>Tabela 4.3:</b> Área em (%) de ocorrência das principais UMH's, classificadas no perfil cultural sob plantio direto em rotação e sucessão.....	57
<b>Tabela 5.1:</b> Descrição UMH's identificadas.....	68
<b>Tabela 5.2:</b> Identificação dos blocos e lâminas com suas UMH's e manejos correspondentes. ....	69
<b>Tabela 5.3:</b> Distribuição da porosidade (%), segundo a forma e o tamanho dos poros das UMH's do perfil cultural sob Plantio Direto.....	86
<b>Tabela 5.4:</b> Distribuição da porosidade (%), segundo a forma e o tamanho dos poros das UMH's do perfil cultural sob Plantio Convencional. ....	95

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Qualidade do solo</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2</b>	<b>Práticas de Manejo Agrícola</b> .....	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistema de Plantio Direto</b> .....	<b>15</b>
<b>2.4</b>	<b>Sistema de plantio Convencional</b> .....	<b>17</b>
<b>2.5</b>	<b>Rotação e Sucessão de Culturas X Propriedades Físicas do Solo</b> .....	<b>18</b>
<b>2.6</b>	<b>Perfil Cultural do solo</b> .....	<b>20</b>
<b>2.7</b>	<b>Micromorfologia do solo e Análise de Imagens nas Propriedades Físicas do Solo</b> .....	<b>22</b>
<b>2.8</b>	<b>Micromorfologia em Estudos de Manejo do Solo</b> .....	<b>25</b>
<b>2.9</b>	<b>Conceitos Básicos da Micromorfologia</b> .....	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>ARTIGO A: PERFIL CULTURAL PARA A AVALIAÇÃO DE MANEJO DO SOLO</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>RESUMO E ABSTRACT</b> .....	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
<b>3.3.1</b>	<i>Descrição da área</i> .....	<b>32</b>
<b>3.3.2</b>	<i>O experimento</i> .....	<b>32</b>
<b>3.3.3</b>	<i>Análise dos dados</i> .....	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Análise de Componentes Principais</i> .....	<b>39</b>
<b>3.5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>42</b>

<b>4</b>	<b>ARTIGO B: PERFIL CULTURAL PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS RELACIONADAS A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO E DE CULTURAS</b> .....	43
<b>4.1</b>	<b>RESUMO E ABSTRACT</b> .....	43
<b>4.2</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	43
<b>4.3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	46
4.3.1	<i>Descrição da área</i> .....	46
4.3.2	<i>O experimento</i> .....	46
4.3.3	<i>Análise visual dos perfis</i> .....	47
4.3.4	<i>Análises Físicas</i> .....	48
4.3.5	<i>Análise estatística</i> .....	49
<b>4.4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	49
4.4.1	<i>Perfil Cultural</i> .....	49
4.4.1.2	<u><i>Grade Pesada</i></u> .....	50
4.4.1.3	<u><i>Arado de discos</i></u> .....	52
4.4.1.4	<u><i>Plantio direto PD</i></u> .....	54
4.4.2	<i>RT e Ds</i> .....	58
<b>4.5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	62
<b>5</b>	<b>ARTIGO C: CARACTERIZAÇÃO DE UNIDADES ESTRUTURAIS MORFOLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS EM PERFIS CULTURAIS DE UM LATOSSOLO VERMELHO COM AUXÍLIO DA MICROMORFOLOGIA</b> .....	64
<b>5.1</b>	<b>RESUMO E ABSTRACT</b> .....	64
<b>5.2</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	65
<b>5.3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	67
5.3.1	<i>Descrição da área</i> .....	67
5.3.2	<i>Perfil Cultural do Solo</i> .....	68
5.3.3	<i>Análises micromorfológicas e micromorfométricas</i> .....	69
5.3.4	<i>Confecção de blocos e lâminas Delgadas</i> .....	69
5.3.5	<i>Análise de imagens</i> .....	70
<b>5.4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	71
5.4.1	<i>Observações gerais</i> .....	71
<b>5.4.2</b>	<b>PLANTIO DIRETO</b> .....	73

5.4.3	PLANTIO CONVENCIONAL.....	74
5.4.4	LÂMINAS E FOTOMICROGRAFIAS - PLANTIO DIRETO.....	75
5.4.5	LÂMINAS E FOTOMICROGRAFIAS - PLANTIO CONVENCIONAL .....	88
5.5	CONCLUSÕES .....	97
6	CONCLUSÕES GERAIS.....	98
	REFERÊNCIAS.....	99

## 1 INTRODUÇÃO

O uso sustentável dos recursos naturais, especialmente do solo e da água, tem-se constituído em tema de crescente relevância, em razão do aumento das atividades antrópicas. A degradação, os altos índices de salinidade ou manejo equivocado, por meio do excesso de água, adubações, tráfego de máquinas e falta de um planejamento incluindo sistemas de culturas e sistemas de preparo do solo adequados, estão ameaçando as oportunidades e flexibilidades de aumentar os serviços prestados pela natureza, levando ao aumento de demanda em investimentos para a conservação de solos e recuperação de áreas degradadas

Os solos quando submetidos a determinados sistemas de manejo, tendem a um novo estado de equilíbrio, refletido em diferentes manifestações de seus atributos, as quais podem ser desfavoráveis à conservação da capacidade produtiva destes solos. Os efeitos diferenciados sobre os atributos do solo, devido ao tipo de preparo, característico de cada sistema, são dependentes da intensidade de revolvimento, do trânsito de máquinas, do tipo de equipamento utilizado, do manejo dos resíduos vegetais e das condições de umidade do solo no momento do preparo. Assim a relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo comportamento de indicadores físicos, químicos e biológicos. .

Métodos conservacionistas de manejo do solo, como o preparo reduzido e o sistema de plantio direto, vêm sendo comumente adotados em substituição aos convencionais, visando um melhor aproveitamento dos sistemas. Da Ros *et al.*, (1997), relataram que com o passar do tempo no sistema de plantio direto, os atributos físicos dos solos têm sido modificados, necessitando, portanto, de pesquisas com períodos de duração mais longos para estudar os por exemplo fenômenos por exemplo ligados à sua estrutura. Efeitos sobre alguns atributos do solo são reportados na literatura, tais como: a densidade do solo que aumenta nos primeiros anos de cultivo e, com o passar dos anos, apresenta tendência de redução; e com o passar do tempo, aumento da porosidade e no tamanho de agregados.

O diagnóstico criterioso de aspectos morfológicos da estrutura que podem ser associados ao manejo agrícola do solo é importante para a identificação de impactos, positivos ou negativos, associados aos sistemas de manejo, orientação

de amostragens, identificação de locais para monitoramento de atributos responsáveis pela produtividade dos sistemas agrícolas, assim como, para indicação de práticas de recuperação da qualidade estrutural do solo e de práticas conservacionistas. Além disso, o estudo comparativo entre sistemas de manejo pela qualidade estrutural do solo a partir do estudo do perfil cultural, pode ser empregado em diferentes organizações morfoestruturais (TAVARES et al., 1999).

Em decorrência disso, diversas pesquisas têm sido direcionadas para avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo nos diferentes aspectos da qualidade dos solos. No contexto do uso agrícola sustentável desse recurso natural, destaca-se a busca por indicadores que permitam qualificar e quantificar a condição atual do solo, de maneira a permitir o monitoramento das mudanças que nele vão ocorrendo ao longo do tempo em virtude de sua utilização. Um requisito básico acerca de um indicador de qualidade é que possua valor prognóstico, de modo a orientar medidas de intervenção nos sistemas agrícolas que previnam a degradação irreversível dos recursos (LAL, 1999). A qualidade estrutural do solo refere-se ao arranjo de suas partículas, constituindo um ambiente dinâmico, cuja alteração determinará um novo comportamento dos processos que ocorrem no solo (Ferreira, 2010).

Em outra escala, a micromorfologia do solo, traz relevante conhecimento e compreensão acerca das relações entre qualidade estrutural-manejo agrícola-produção, uma vez que os estudos micromorfológicos, tanto qualitativos, como quantitativos, trazem como principal vantagem em relação a outras escalas de observação, o levantamento de informações acerca de continuidade e conectividade dos poros, presença de bioporos, etc., que auxiliam na interpretação do comportamento e da dinâmica do solo e, por conseguinte, na compreensão de como os manejos afetam sua qualidade física (CASTRO et al., 2003).

## **1.2 HIPÓTESES**

1) No estudo da avaliação da qualidade do solo para fins de produção agrícola, a avaliação morfológica do solo pelo método do perfil cultural, pela identificação das unidades morfológicamente homogêneas (UMH's), permite

identificar as estruturas associadas aos diferentes sistemas de manejo e as que diretamente influenciam o desenvolvimento do sistema radicular;

2) Em outra escala, a avaliação micromorfológica e micromorfométrica de estruturas do solo podem ser empregadas como indicadoras de evidências de mudanças estruturais em consequência do uso agrícola tomando por base atributos clássicos da física do solo, tais como: densidade do solo, porosidade total, entre outros e atributos micromorfológicos e micromorfométricos

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência do uso e manejo agrícola sobre a estrutura de um Latossolo Vermelho Eutroférico, com base em unidades morfologicamente homogêneas (UMH's), identificadas e classificadas pelo perfil cultural, complementando o estudo com o uso de técnicas de análise micromorfológica e micromorfométrica.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- 1) Avaliar a influência do impacto de diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas, na estrutura do solo por meio das unidades morfologicamente homogêneas (UMH's) identificadas pelo Perfil Cultural.
- 2) Quantificar os volumes das UMH's para além da abordagem qualitativa, realizar também uma análise quantitativa das estruturas, associando-as aos diferentes manejos.
- 3) Utilizar análises de imagens e técnicas micromorfológicas do estudo do solo, a fim de complementar a análise morfológica realizado através do perfil cultural.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Qualidade do solo

A avaliação quantitativa da qualidade do solo (QS), é fundamental na determinação da sustentabilidade dos sistemas de manejo utilizados. A determinação de indicadores de qualidade de solo se faz necessária para possibilitar a identificação de áreas problemáticas utilizadas na produção, fazer estimativas realistas de produtividade, monitorar mudanças na qualidade ambiental e auxiliar agências governamentais a formular e avaliar políticas agrícolas de uso da terra. Relacionando a avaliação da QS com a sustentabilidade, existe a preocupação de determiná-la ao longo do tempo. Nesse sentido, Larson e Pierce (1994) sugerem que há duas maneiras para avaliar a sustentabilidade de um sistema de manejo agrícola: avaliação comparativa e avaliação dinâmica. Na primeira, o desempenho de um sistema é avaliado em relação a alternativas em um dado tempo somente. Na avaliação dinâmica, o desempenho de um sistema é avaliado em relação a alternativas no decorrer do tempo. monitorar mudanças nos IQS-chave no tempo pode determinar se a qualidade de um solo sob um dado tipo de uso e sistema de manejo está melhorando, estável ou declinando (SHUKLA et al., 2006).

Indicadores da qualidade do solo podem ser classificados, de um modo geral, em quatro grupos; visuais, físicos, químicos e biológicos. Embora esta divisão em grupos seja usual, é importante salientar que estes atributos e processos, em sua maioria, são inter-relacionados. Os melhores indicadores da qualidade do solo são aqueles que integram os efeitos combinados de diversos atributos ou processo do solo, os quais devem ser precisos, simples para o uso, e terem sentido, ou seja, devem estar associados à função para a qual se pretende usar o solo. Necessitam, para que possam ser usados com eficiência, de padrões ou valores críticos. Portanto, um bom indicador deve ser de fácil medida, respondendo às mudanças propostas, estar relacionado com os requerimentos de qualidade do solo, e ter um limite claro entre o que é sustentável e não sustentável (DORAN ;PARKIN, 1994).

A identificação eficiente de indicadores apropriados para avaliar a qualidade do solo depende da habilidade em considerar os componentes múltiplos

que determinam a sua capacidade em desempenhar suas funções, como a produtividade e o bem-estar ambiental. Na busca pelos melhores IQS, Doran e Parkin (1994) e Larson e Pierce (1994) foram os pioneiros, e propuseram um conjunto básico de indicadores de ordem biológica, física e química: textura, profundidade de solo e de raízes, densidade do solo, infiltração de água no solo, capacidade de armazenamento e retenção de água, conteúdo de água no solo, temperatura do solo, teores de C e N orgânico total, pH, condutividade elétrica, teores de N mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ), P, K, C e N da biomassa microbiana, N potencialmente mineralizável, respiração do solo, C na biomassa em relação ao C orgânico total e respiração microbiana em relação à biomassa. A proposta é de que esses indicadores sejam relacionados com cinco funções do solo: habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de água; habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes; manter um habitat biológico adequado; e responder ao manejo, resistindo à degradação.

Esta identificação é dificultada pela multiplicidade dos atributos físicos, químicos e biológicos, que controlam a intensidade dos processos biogeoquímicos e suas variações temporais e espaciais. Visto o solo ser considerado um sistema onde ocorre interação constante e dinâmica dos processos físicos, químicos e biológicos, que são variáveis dependendo do tipo de solo, do clima, do manejo e das culturas implantadas, pode-se pressupor que a mensuração da sua qualidade seja complexa.

Assim, as discussões sobre qualidade do solo (QS) estão centradas na identificação de um índice capaz de servir como indicador, como os indicadores para qualidade do ar e da água. Cientistas do solo, agricultores e instituições governamentais têm interesse em obter um indicador de qualidade do solo (IQS) para avaliar terras, em relação à degradação, estimar necessidades de pesquisa e de financiamentos e julgar práticas de manejo, a fim de monitorar mudanças nas propriedades e nos processos do solo, na sustentabilidade e na qualidade ambiental, que ocorram no tempo, em resposta ao uso da terra e às práticas de manejo (DORAN e PARKIN, 1994; DORAN, 1997, HUFFMAN et al., 1998; KARLEN et al., 2001).

Em virtude disso, estudos sobre Qualidade do Solo (QS) tomaram maiores proporções na década de 1990, quando a comunidade científica, consciente

da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, nas publicações, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse cenário. Os precursores foram Lal e Pierce (1994), que alertaram sobre a relação do manejo do solo e a sustentabilidade da agricultura. Os números alarmantes de áreas degradadas física e quimicamente, contaminadas por agroquímicos, e as perspectivas catastróficas fizeram os mesmos autores, instigar a comunidade científica a buscar sistemas de manejo inovadores, capazes de balancear o requerimento do solo e das culturas. eles alertam que a ênfase não está em maximizar a produção, mas em otimizar o uso do recurso e sustentar produtividade por um longo período

A relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo seu efeito nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (DORAN e PARKIN, 1994). Dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo, cuja qualidade pode ser analisada segundo variáveis relacionadas com sua forma (ALBUQUERQUE et al., 1995) e, ou, com sua estabilidade (CAMPOS et al., 1995).

Os indicadores físicos estão relacionados ao arranjo das partículas e do espaço poroso do solo, incluindo densidade, porosidade, estabilidade de agregados, textura, encrostamento superficial, compactação, condutividade hidráulica e capacidade de armazenagem de água disponível. Refletem, primariamente, limitações ao crescimento radicular, à emergência das plântulas, à infiltração, e ou, ao movimento da água no interior do perfil do solo e à disponibilidade de água às plantas. Assim, são comumente utilizados como indicadores para avaliar a qualidade física do solo sob um determinado manejo.

A qualidade estrutural do solo refere-se ao arranjo das partículas do solo constituindo um ambiente dinâmico, cuja alteração determinará um novo comportamento dos processos que ocorrem no solo (FERREIRA, 2010). A estrutura é boa indicadora da QS devido a sua sensibilidade às práticas de manejo adotadas.

## **2.2 Práticas de Manejo do Solo Agrícola.**

O manejo adequado do solo, além da preservação desse recurso natural, é de fundamental importância na produção agrícola. Essa adequação depende dos objetivos da exploração, do sistema agrícola adotado, do tipo e das

condições do solo trabalhado. Considerando que o manejo varia no tempo e no espaço e de região para região, a avaliação dos diferentes sistemas de manejo é extremamente complexa. Em virtude de tal complexidade, uma gama muito grande de análises é utilizada em termos quantitativos e, mesmo assim, raramente é representativa da realidade, dada a variabilidade espacial das características e propriedades físicas dos solos.

De modo geral, os sistemas de preparo do solo promovem modificações nas propriedades físicas do solo, como na agregação de partículas, densidade e porosidade do solo. Pode-se afirmar, também, que a macroporosidade é drasticamente reduzida com a compactação do solo (TORMENA et al, 2002). Segundo Kiehl.,(1979), a importância da porosidade pode ser ressaltada em mecânica de solos, pois, do volume de poros dependem a densidade aparente e a resistência oferecida pelo terreno. Em um mesmo solo, quanto mais compacto ou menos poroso ele for, maior será sua resistência mecânica.

Métodos conservacionistas de manejo do solo, como o preparo reduzido e o sistema de plantio direto, vêm sendo comumente adotados em substituição aos convencionais, visando um melhor aproveitamento dos sistemas. Esses métodos afetam diferentemente a estrutura do solo pelo fato do não revolvimento ou revolvimento parcial do solo, podendo assim, favorecer características como o melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas, produtividade, infiltração e ou movimento da água no interior do perfil do solo e à disponibilidade de água às plantas, atributos comumente utilizados como indicadores para avaliar a qualidade física do solo sob um determinado manejo. Para Collares et al., (2008) este processo em solos cultivados está relacionado negativamente com o tráfego de máquinas e implementos.

Dessa forma, o sistema plantio direto representa alternativa de manejo altamente conservacionista, com vantagens como, o controle da erosão hídrica e a melhoria na qualidade do solo e da água. Como não revolve o solo, deixa os resíduos vegetais na superfície, interfere menos na taxa de decomposição da matéria orgânica, favorecendo a manutenção e o acúmulo da mesma (ROSCOE et al., 2006). De acordo com Penteado (2007), a utilização de cobertura vegetal proporciona efeitos positivos à estrutura do solo, os quais estão relacionados à decomposição da cobertura, portanto, a incorporação de matéria orgânica e a ação direta e indireta do sistema radicular têm efeitos na aeração do solo.

Pode-se inferir como sistema de manejo, a associação de práticas agrícolas como calagem, preparo do solo, rotação de culturas e adubação verde, entre outras, que podem ser utilizadas em uma área de modo a aumentar e manter sua capacidade produtiva (CASTRO, 1995). Porém, solos cultivados têm menor porcentagem de porosidade quando comparados com os mesmos solos não cultivados. Deve-se, portanto, procurar manejá-los de modo que suas propriedades não sejam modificadas no sentido de aumentar a erosão e a degradação ou diminuir sua capacidade produtiva (CASTRO, 1995; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Volk et al. (2009) compararam tipos de manejo no solo com mata natural em Latossolo Vermelho arenoso e relataram que, ao confrontarem os sistemas de manejo, as propriedades físicas do solo não foram afetadas significativamente, porém, ao compararem com a vegetação natural, as práticas agrícolas apresentaram degradação do solo arenoso.

Em estudos realizados para avaliar a influência da compactação do solo e da adubação na produtividade da soja, Beutler e Centurion (2004) observaram que com o incremento da compactação do solo, com seis passadas de trator na área, o baixo desenvolvimento e a produtividade da soja foram pronunciados no solo sem adubação (74,09%). Isso indica que a adubação aumenta a tolerância da soja à compactação, cuja perda de produção foi de 49,18%.

A matéria orgânica, os minerais de argila e os óxidos de ferro são considerados os agentes cimentantes que mais contribuem para a agregação do solo. A matéria orgânica é mais eficiente na formação de agregados estáveis, e isso se deve à contribuição da atividade microbiana, à fauna terrestre e à vegetação, fatores que se associam à presença da matéria orgânica no solo (KIEHL, 1979). Quando um solo apresenta matéria orgânica na sua composição, a porosidade total facilmente é aumentada. Isso porque a matéria orgânica, além de dificultar o arranjo piramidal das partículas, é também um material poroso.

Estudos tem mostrado melhorias nas condições físicas do solo quando os métodos de manejo do solo são comparados, como o sistema de plantio convencional (PC) e o sistema plantio direto (PD). Em contrapartida, Falleiro et al., (2003) não encontraram diferença na densidade do solo e nem na taxa de macro e microporos, entre os dois sistemas de manejo, apesar de o PD ter apresentado melhorias nas características químicas do solo.

Ralisch et al., (2008) compararam sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho Amarelo localizado em Rio Verde, GO, onde os sistemas consistiam em: plantio direto com 14 anos, plantio direto com oito anos, plantio direto com dois anos; preparo convencional; pastagem e floresta. Foi avaliada a resistência à penetração do solo a partir da superfície do solo até a profundidade de 0,40 m. Os resultados obtidos mostraram que o plantio convencional apresentou a menor resistência à penetração, na profundidade 0-0,10 m, enquanto o plantio direto de dois anos maior resistência à penetração até 0,40 m de profundidade. Porém, abaixo da profundidade de 0,15 m não houve diferença significativa entre os tratamentos de plantio convencional e plantio direto com 8 e 14 anos, o que mostra que os dois primeiros anos de adoção do sistema de plantio direto são críticos quanto a resistência à penetração nas camadas superficiais do solo.

O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente da sua textura e mineralogia, as quais influenciam a resistência e a resiliência do solo a determinada prática agrícola (SEYBOLD et al., 1999). Geralmente, as práticas de manejo têm maior impacto sobre as propriedades físicas de solos arenosos do que argilosos (SILVA; MIELNICZUK, 1997). Manejo do solo inadequado também é responsável por grande parte da degradação do solo e perdas de elementos, sendo um dos principais o Carbono (C), que é perdido por oxidação, devido à exposição do solo a radiação solar, que chegando à atmosfera formam gases como: CO<sub>2</sub>, gás metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), entre outros, sendo os principais causadores do chamado efeito-estufa. Dentre os compartimentos, o solo apresenta maior capacidade de estoque de carbono do ecossistema terrestre. Em ecossistemas naturais a fonte de C tem uma só origem, a vegetação nativa, sendo um sistema renovável. Em ecossistemas alterados, muda-se a fonte e os teores de resíduos vegetais. Várias são as formas de quantificar o efeito de sistemas de manejo sobre os fluxos de C no sistema solo-planta-atmosfera citadas na literatura (PAUSTIAN et al., 1997; JANZEN et al., 1998).

O balanço de C no solo é dependente da relação entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e as perdas de C para a atmosfera resultantes da oxidação microbiana do C orgânico aCO<sub>2</sub>. A magnitude desses processos pode ser avaliada em experimentos de longa duração, pela quantificação dos estoques de C orgânico no solo, em comparação ao estoque inicial de C no solo (COSTA et al., 2006).

O preparo de solo e o manejo de culturas afetam as taxas metabólicas dos microrganismos nos processos de decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica no solo, as quais também são influenciadas pela temperatura e umidade do solo (LA SCALLA JR et al.,2006). A conversão de ecossistemas naturais em ecossistemas agrícolas, com substituição a vegetação nativa por cultivos agrícolas, leva a diversas alterações. Tal conversão envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (ZINN *et al.*, 2005) com redução dos estoques de carbono orgânico (RANGEL; SILVA, 2007), alterações na densidade e diversidade dos organismos (LIMA et al., 2006; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007), nas características físico-hídricas do solo e no crescimento de raízes (STONE; SILVEIRA, 1999)

Assim sendo, a ciclagem de carbono em determinado ecossistema é alterada em função dessa transição. Em ecossistemas naturais a ciclagem do carbono é determinada pelos fatores de formação do solo, influenciando o aporte de resíduos e as saídas de carbono (STEVENSON, 1994). Já em agroecossistemas, em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos métodos adotados de preparo do solo e do manejo dos restos culturais essa dinâmica é alterada (LAL; BRUCE, 1999; RANGEL; SILVA, 2007).

O Brasil tem potencial para ser importante dreno de CO<sub>2</sub> em nível mundial, por apresentar grande área de adoção do plantio direto e sistemas de produção com elevada adição de resíduos, graças à rotação de culturas e ao cultivo de plantas de cobertura na entressafra das culturas comerciais. No entanto, ainda são escassos os resultados de pesquisa que procuram quantificar este potencial, o qual deve ser determinado regionalmente, uma vez que depende do tipo de solo, principalmente textura e mineralogia, do relevo e das condições climáticas, temperatura e umidade (PARFITT et al., 1997; ALVAREZ;1998).

### **2.3 Sistema de Plantio direto**

A exploração agrícola necessita se tornar cada vez mais sustentável. Nesse contexto, o sistema plantio direto se apresenta como um sistema conservacionista com inúmeras vantagens. No entanto, o solo sob plantio direto (PD) apresenta maior densidade ocasionada pela sua reduzida movimentação, restrita à

linha de semeadura e frequência de tráfego, sendo esse um dos principais problemas do sistema, tendo como consequência a queda no rendimento das culturas devido principalmente ao impedimento mecânico ao crescimento das raízes (TORMENA; ROLOFF, 1996; GOEDERT et al., 2002).

Entretanto, muitas dúvidas sobre o sistema persistem, sendo necessário obter informações sobre outros atributos físicos. A utilização intensiva de equipamentos agrícolas em todas as operações agrícolas (semeadura, tratos culturais e colheita) tem promovido aumento da compactação, principalmente na zona de exploração do sistema radicular da planta. A principal razão desse fenômeno é a repetitividade das operações realizadas ao longo dos anos (OLIVEIRA, 2002). Inúmeros autores sugerem que a compactação do solo seja identificada, tanto por meio de atributos físicos, tais como: densidade do solo, distribuição de poros por tamanho e estabilidade de agregados em água, ou por meio da resistência do solo à penetração.

Com o aumento do tempo de uso do PD, os atributos físicos dos solos têm sido modificados, necessitando, portanto, de pesquisas com períodos de duração mais longos para estudar os fenômenos ligados à sua estrutura. Efeitos sobre alguns atributos do solo já são reportados na literatura, tais como: a densidade do solo, que mostra tendência de aumento nos primeiros anos de cultivo e, com o passar dos anos, apresenta tendência de diminuição, o aumento da porosidade total e o aumento no tamanho de agregados (DA ROS *et al.*, 1997).

A porosidade de aeração e a resistência mecânica à penetração são as propriedades que mais variam com as alterações na densidade do solo (KLEIN; LIBARDI, 2000). Camargo e Alleoni (1997) destacam que, com a diminuição da porosidade de aeração, ocorre uma redução na difusão de oxigênio. Um parâmetro que pode ser utilizado como um indicador de compactação é a densidade relativa (DR), obtida através da relação entre a densidade do solo e a densidade máxima do solo obtida em laboratório (KLEIN, LIBARDI., 2002).

Para um Latossolo Roxo (atual Latossolo Vermelho), de textura argilosa, o valor de DR em que as condições ao desenvolvimento das plantas são ótimas é de 0,715. Em solos da Escandinávia e no oeste do Canadá, a DR ótima é de 0,77 e 0,84, respectivamente, KAY., (2000), afirma que, quando a DR supera 0,86 a 0,90 (dependendo da textura do solo), ocorre uma grande redução nos macroporos, afetando o movimento dos fluídos, e que estes estariam relacionados

com um menor crescimento e rendimento das culturas. Ferreras et al., (2001) observaram, em PD, em um argisolo, uma DR de 0,87 e, no plantio direto escarificado, de 0,85, refletindo drasticamente no rendimento da cultura de soja pois segundo o autor este fato possivelmente influenciou no crescimento das raízes .

Os preparos de solo conservacionistas, tal como a semeadura direta, com menor revolvimento, mantêm, parcial ou totalmente, os resíduos vegetais na superfície e aportam continuamente matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela manutenção e melhoria das propriedades físicas do solo (LAL; GREENLAND, 1979; CASTRO FILHO et al., 1998).

O sistema plantio direto é uma técnica eficiente no controle da erosão do solo quando comparado com o sistema convencional (BERTOL et al., 1997), porém, alguns estudos indicam uma compactação maior no SPD, provocada pelo efeito cumulativo do tráfego de máquinas e acomodação natural das partículas sólidas (KLEIN; BOLLER, 1995), sobretudo na camada superficial

A compactação do solo é considerada por Freitas (1992), a maior limitação à alta produtividade das culturas em todo o mundo, pois afeta diretamente o crescimento das raízes, diminui a capacidade de infiltração de água no solo, reduz a translocação de nutrientes, resultando em uma pequena camada para ser explorada pelas raízes. Destaca ainda que, por depender de vários fatores, principalmente a umidade do solo no período de crescimento das raízes, o efeito da compactação na produção das culturas é difícil de ser quantificado.

Segundo Costa et al., (2009), o sistema plantio direto é uma técnica eficiente no controle de erosão do solo e pode causar leve compactação nas camadas mais superficiais. Em estudo realizado em Cascavel (PR), ao compararem os sistemas de rotação com o de sucessão de culturas, de adubações orgânicas, os autores notaram que o sistema de rotação de culturas apresentou menor densidade e maior macroporosidade e porosidade total, e resultou em mais raízes do que em outros sistemas de preparo, com exceção dos envolvendo tratamentos fertilizantes. Porém , embora os tratamentos com fertilizantes afetarem a absorção de P e o crescimento do milho, a utilização da eficiência na absorção do P não foi afetada.

## **2.4 Sistema de Plantio Convencional**

O cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado, tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, as quais se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas.

Os preparos convencionais rompem os agregados na camada preparada e aceleram a decomposição da matéria orgânica, refletindo negativamente na resistência dos agregados do solo (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990). Estes sistemas de preparo aumentam o volume de poros dentro da camada preparada (BERTOL et al., 2000), a permeabilidade e o armazenamento de ar e facilitam o crescimento das raízes das plantas nessa camada (BRAUNACK; e DEXTER, 1989), em relação à semeadura direta e ao campo nativo. No entanto, abaixo da camada preparada, contrariamente ao que ocorre na semeadura direta e no campo nativo, essas propriedades apresentam comportamento inverso da superfície (DALLA ROSA, 1981; BERTOL et al., 2000; COSTA et al., 2003).

Além disso, os aspectos positivos dos preparos convencionais são perdidos, quando o solo, descoberto pelo efeito do preparo, é submetido às chuvas erosivas, as quais o desagregam na superfície pelo impacto das gotas, diminuindo a taxa de infiltração de água (DULEY, 1939; BERTOL et al., 2001) e aumentando o escoamento superficial e a erosão hídrica (BERTOL et al., 1997), em relação aos outros sistemas de manejo do solo.

No sistema convencional, onde o preparo do solo é feito por aração e gradagem, favorece o surgimento de uma camada superficial diferenciada, oriundas dos efeitos dos implementos agrícolas, que misturam adubos, corretivos e restos culturais até uma profundidade de 20cm, onde as raízes das plantas se concentram. A uniformização dessa camada pelos implementos permite admitir que a variação da fertilidade do solo submetidos à esse sistema ocorra de forma aleatória sem grandes diferenças de gradiente até 20cm de profundidade (NUERNBERG, 1998).

## **2.5 Rotação e Sucessão de Culturas X Propriedades Físicas do Solo**

A rotação de culturas é definida como sendo a alternância ordenada de diferentes culturas, em determinado espaço de tempo (ciclo), na mesma área e

na mesma estação do ano. A sucessão de culturas é definida como o ordenamento de duas culturas na mesma área agrícola por tempo indeterminado, cada uma cultivada em uma estação do ano. Um exemplo de sistema de rotação de culturas seria aveia preta + nabo/milho – aveia branca/soja – milho safrinha/soja – trigo/soja, ( EMBRAPA, 2007).

O sistema de cultivo com rotação altera as propriedades físicas do solo. Em Latossolos Vermelho Escuros, Campos et al., (1995) observaram maior atividade microbiana e estabilidade dos agregados, enquanto Albuquerque et al., (1995) observaram maior volume de macroporos e menor densidade do solo, nos sistemas de rotações de culturas comparados às sucessões.

A rotação de culturas contribui para a manutenção do equilíbrio dos nutrientes no solo e para o aumento da sua fertilidade, além de permitir melhor utilização dos insumos agrícolas (CARVALHO et al., 2004). Por outro lado, a sucessão de culturas determina, com o tempo, queda na produtividade por alterações nas características do solo e surgimento de condições do ambiente propícias à multiplicação de pragas e patógenos (SILVEIRA et al., 2001).

Para preservar a qualidade do solo e eliminar a necessidade de mobilizações no SPD, é aconselhável o uso da rotação de culturas, a qual diminui a densidade e aumenta a porosidade, a condutividade hidráulica saturada e a estabilidade de agregados do solo (GENRO JÚNIOR et al., 2009).

Albuquerque et al., (1995), observaram menor densidade do solo e maior porosidade total nos sistemas de rotação de culturas, comparados com os das sucessões. Muzilli (2006), relata que é possível prevenir o problema da compactação no sistema de plabtio direto, com base na rotação de culturas com plantas de cobertura que possuam características de rusticidade e sistema radicular vigoroso. A melhoria nas propriedades do solo pela rotação de culturas também pode promover o aumento da produtividade das culturas. Genro Júnior et al., (2009) avaliaram rotações de culturas com guandu-anão, crotalária e aveia em comparação com a sucessão soja/trigo, durante três anos e, encontraram maiores produtividades quando a crotalária foi utilizada.

Além da rotação de culturas outra forma de melhorar as propriedades físicas do solo é o uso de resíduos orgânicos como adubação, elevando o teor de matéria orgânica e melhorando a fertilidade e as características físicas do solo. A adubação com compostos orgânicos elevou os níveis de carbono

orgânico do solo, enquanto a adubação mineral reduziu o tamanho médio dos agregados, em um Argissolo VermelhoAmarelo, em experimento conduzido por Gomes et al, (2005).

Nuernberg (1998), ressaltou que as taxas de decomposição do material orgânico e a de liberação de nutrientes do solo, no sistema de plantio direto são alteradas, e como consequência, ocorrem incrementos consideráveis de carbono e nitrogênio orgânico total, inicialmente na camadas de 0 a 2,5cm, e, posteriormente, progressivamente em profundidade. Essa variabilidade vertical ocorre também com parâmetros como CTC efetiva, pH e com nutrientes como: nitrogênio total, fosforo, cálcio, magnésio e potássio. Esses nutrientes, quando adicionados ao solo, tendem a se acumular na superfície. O fósforo forma o gradiente mais acentuado devido a sua baixa mobilidade, atribuído a sua concentração no solo, fixação e complexação com o alumínio, cálcio e ferro.

Segundo o mesmo autor, em um sistema de manejo como o plantio direto, em que ocorre acúmulo contínuo de resíduos das culturas, de adubos e corretivos na superfície, devido ao não revolvimento do solo e a manutenção das linhas de adubação, verifica-se estratificação dos nutrientes na camada superficial, provocando o aumento da variabilidade dos índices de fertilidade, tanto no sentido horizontal como no vertical.

## **2.6 Perfil cultural do solo**

O Perfil Cultural é um método de análise visual utilizado na avaliação do efeito dos sistemas de manejo na estrutura do solo e do potencial agronômico do solo, pois identifica as estruturas com características distintas e a sua distribuição espacial no solo, permitindo inferir sobre a qualidade do solo e, conseqüentemente do manejo adotado. Também busca entender como a ação antrópica altera as propriedades físicas do solo, detalhando as características morfológicas do estado interno dos torrões de solo e seu modo de organização no perfil, o que possibilita a diferenciação dos volumes antropizados quanto ao seu grau e forma de compactação, (TAVARES FILHO; TESSIER, 2009; 2010).

O método foi aprimorado por Manichon (1982) para condições de solos de clima temperado, onde o estudo morfológico se dá em dois níveis de descrição: Elementar, que corresponde à descrição do arranjo das partículas

de solo no interior das unidades estruturais ou agregados, e do estado intra-agregados; e o Superior, que corresponde à descrição do modo com que o conjunto (a assembléia) das próprias estruturas está disposta no espaço do perfil, para o autor a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de manejo agrícola e o estudo morfológico do solo para diferenciação de unidades estruturais deve ser incluído no conjunto de indicadores.

No Brasil é utilizado desde a década de 1990, Tavares Filho et al., (199), adaptaram a metodologia para condições de solos de clima tropical, visto que a anterior foi considerada rigorosa no estudo para avaliar os efeitos da mecanização sobre o solo nos trópicos. Após a observação, os autores sugeriram a utilização de critérios que constem do modo de organização e do estado interno dos torrões, assim fundamentaram o método no estudo da morfologia do solo, através da delimitação de distintos volumes antropizados, tanto em profundidade como lateralmente no perfil, com base na forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais, presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes, forma e dureza de agregados e torrões, dentre outros fatores.

Tavares Filho e Tessier (2009), por meio da descrição dos perfis de solo empregando o método do perfil cultural, estudaram as alterações morfoestruturais e da porosidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob preparo convencional e sistema plantio direto. Os resultados permitiram concluir que o uso contínuo por 31 anos induziu diferenças estruturais nos perfis de solo sob manejo, em relação ao solo sob mata nativa.

Segundo Manichon (1996), um procedimento ainda bastante utilizado é o estudo das correlações entre as técnicas culturais e os rendimentos das culturas. Espera-se da repetição no tempo e no espaço, a comparação dos rendimentos obtidos, segundo diferentes modalidades de manejo de solos, o estabelecimento de relações estáveis, suficientemente gerais para serem extrapoláveis e utilizáveis como referência. Contudo, a complexidade do estudo desses fenômenos e a obtenção de respostas consistentes a esses problemas são ainda mais difíceis em solos tropicais (RALISCH, 1995).

Para Letey (1985), estabelecer uma relação entre a produtividade das culturas e as características físicas do solo em função de suas variabilidades, tanto no tempo quanto na posição dentro do perfil do solo é uma atividade complexa. Assim, segundo Guimarães et al., (1993), no diagnóstico das condições físicas do

solo, devem ser utilizados métodos que permitam avaliar o maior número possível de interações existentes e determinar quais são as ações e as formas de exploração mais adequadas para cada solo.

Para fins de avaliar os efeitos do plantio direto e do preparo convencional com grade pesada, sobre as condições físicas do solo e no enraizamento de culturas, Ralisch et al. (1994), utilizaram o método do perfil cultural e demonstraram que método, tem sua eficiência aumentada quando além da caracterização morfológica, as analíticas são realizadas a partir de amostras das estruturas ou UMHs, permitindo interpretações mais seguras acerca dos efeitos do manejo. Esses estudos afirmam que, o perfil cultural é uma ferramenta importante no estudo da variação estrutural do solo, pois pode auxiliar na escolha da técnica de amostragem, orientação no estudo das interações físico, química e biológica, que são afetadas pela porosidade e movimentação de água, em função de manejos, dentre outros (TAVARES FILHO et al., 1999; FREGONEZI et al., 2001; RALISH et al., 2010).

Além do enfoque qualitativo, alguns trabalhos tem buscado demonstrar dados quantitativos, conferindo maiores possibilidades de aproveitamento dos resultados obtidos (PERERIA NETO et al., 2007; PERERIRA NETO; GUIMARÃES, 2005; ROGER ESTRADÉ et al., 2004; RALISCH, 2008; 2010).

## **2.7 Micromorfologia do Solo e Análise de Imagens nas Propriedades Físicas do Solo.**

Diversos trabalhos e pesquisas vem sendo realizados visando avaliar os efeitos de práticas de manejo sob as propriedades físicas dos solos, diversos trabalhos e pesquisas vem sendo realizados. O solo cultivado, tende a ter sua estrutura original alterada pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, e com redução do volume de macroporos e aumento no volume de microporos e na densidade do solo (Bertol et al., 2007). A descrição e a quantificação detalhada das feições do solo utilizando técnicas micromorfológicas e de análise de imagens permitem obter evidências acerca dessas mudanças nos atributos físicos do solo permitindo observar os componentes estruturais do solo, identificar fragmentos de minerais primários, arranjo do material fino e porosidade (CASTRO et al., 2003).

Um dos primeiros trabalhos relatados é o de Curmi et al., (1994), que estudaram a degradação da estrutura de um Latossolo Roxo submetido a cultivo, em Guaíra, SP, e observaram que os poros intra-agregados não foram afetados pelo processo de compactação. Já os inter-agregados tiveram seu tamanho e formato reduzidos com perda de 33% do volume total e os poros provenientes da atividade biológica, tipo canais, desapareceram quando submetidos a processos de compactação.

Kribaa et al., (2001) encontraram diferenças quantitativas e qualitativas na macroporosidade entre os sistemas de escarificação e aração analisando lâminas delgadas. Os discos do implemento usado na aração produziram agregados compactos, enquanto que a escarificação gerou agregados grumosos, levando a um conjunto de solos soltos, com poros de diâmetros equivalentes maiores que 1 mm. Observaram, ainda, estreita relação entre a estrutura do solo, criada pelas diferentes operações de cultivo, e a condutividade hidráulica

Pagliai et al., 1983, utilizando micromorfologia do solo mostraram, mudanças ocorridas solos podem variar de acordo com os diversos sistemas de manejo aplicados, evidenciando importante papel nas suas características estruturais, segundo Drees et al. 1994, alterações nas propriedades do solo, são advindas principalmente das alterações na estrutura do solo em microescala. Pagliai et al., (1998) estudaram o efeito de diferentes práticas de manejo na estrutura do solo, principalmente a porosidade do solo, utilizando lâminas delgadas. Os autores demonstraram que diferentes processos de preparo de solo condicionam modificações distintas nas propriedades físicas do solo, sendo que o manejo convencional foi o que apresentou os maiores impactos negativos na qualidade do solo pela formação de selamento na camada superficial, com consequente diminuição da porosidade.

A porosidade é umas das principais características afetadas pelos manejos, os inúmeros processos que ocorrem no espaço poroso do solo, promovem o surgimento de poros formas e tamanhos distintos. Alguns sistemas são propostos para descrever a morfologia dos poros, Bullock et al.,(1985), adotaram o sistema proposto por Brewer (1964), em que a classificação consiste em poros do tipo: Empacotamento ou empilhamento, Cavidades, canais, vesículas e fissuras. Para Ringrose-Voase, 1987, os poros tipo empacotamento e as fissuras são considerados poros estruturais, por apresentarem definição da unidade estrutural do solo; os poros

tipo canais, cavidades, câmaras e vesículas não têm relação com as unidades estruturais. Para Richard et al., 2001, os poros estruturais são resultantes do cultivo, tráfego, tempo e da atividade biológica do solo, sendo considerados bons indicadores dos processos de compactação. Os bioporos apesar de representarem pequeno volume em relação ao volume total de poros, são altamente funcionais e reduzem a resistência do solo à penetração das raízes (Genro Júnior et al., 2004).

Pagliari et al., (2003), constataram que após tráfego intenso ocorreu compactação no subsolo, causando redução da porosidade nos poros alongados e de transmissão resultando em valores inadequados para o movimento de água e crescimento de raízes. Castro et al., (2003), relatam que com o auxílio das técnicas de processamento e de análise digital de imagem, a micromorfologia pode fornecer resultados de porosidade do solo e permeabilidade com precisão, além de possibilitar a visualização das alterações estruturais causadas pela compactação e adensamento. Segundo Mermut (1992), a observação direta do espaço poroso é importante para se compreender como as práticas de manejo afetam a qualidade física do solo.

Schaefer et al.,(2001) verificaram que nos solos do Brasil, onde o preparo foi feito com grade pesada e arado de disco, os tratamentos com grade pesada perceberam um indício de adensamento do solo em subsuperfície e a formação de poros planares próximos à superfície do solo, concentrados nos primeiros centímetros. De acordo com os autores, a existência de poros fissurais indica adensamento do solo, fenômeno este que está associado ao encrostamento ou selamento superficial. Esta compactação se caracterizou por um empacotamento do solo em torrões, formando zonas compactadas, separadas umas das outras, com poucos poros interligados. Consideraram que devido à compactação e ao selamento superficial do solo, as taxas de infiltração e a retenção de água poderiam se tornar baixas.

Pires et al., (2009), utilizaram a análise de imagens na avaliação de possíveis modificações na distribuição do tamanho, número e formato dos poros de amostras de solos depois de submetidas a sequências de ciclos de umedecimento e secamento. Segundo os autores, os ciclos produziram mudanças significativas nos poros irregulares grandes no Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho ambos distróficos, e nos poros arredondados do Nitossolo Vermelho eutrófico.

Estudos qualitativos e quantitativos da estrutura do solo tem se tornado mais comum através de técnicas de análise de imagens, para isso muitos utilizam como base do estudo micromorfológico a obra conhecida mundialmente de Bullock et al., (1985). Viana et al., (2004), a associação dessas técnicas permite o estudo quantitativo de modificações estruturais em amostras indeformadas de solos em lâminas delgadas.

Assim, o uso de técnicas de análise de imagens nos estudos quantitativos e qualitativos de estrutura do solo, tem-se tornado mais comum, como uma ferramenta de auxílio aos conhecimentos já adquiridos. Com o auxílio das técnicas de processamento e análise digital de imagem, a micromorfologia é capaz de fornecer resultados de porosidade com precisão além de possibilitar a visualização das alterações estruturais ocasionadas pela compactação e adensamento do solo, (STOOPS, 2003).

## **2.8 Micromorfologia em Estudos de Manejo do Solo**

A principal vantagem dos estudos micromorfológicos, tanto qualitativos como quantitativos, em relação a outras técnicas, é a avaliação visual dos processos de transformação e gênese dentro da massa do solo, permitindo a comparação entre estruturas de solos e horizontes diferentes, e também comparação dos efeitos de diferentes sistemas de manejo sobre o solo (CASTRO et al., 2003).

A observação dos efeitos do uso, cultivo e manejo do solo sobre a estrutura tem sido uma das principais aplicações da micromorfologia e da análise de imagens de solos (MIEDEMA, 1997). Encontram-se estudos sobre compactação do solo (MURPHY et al., 1977b; GUPTA et al., 1998); sistemas de cultivo e manejo (PAGLIAI, 1994; MORAES, 2006; ENCIDE, 2005; GOMES, 2008:); matéria orgânica (BENITES et al., 2001); ciclos de umedecimento e secagem (VIANA et al., 2004; PIRES et al., 2009) e aplicação de fertilizantes, esterco e outros materiais orgânicos (PAGLIAI et al., 1983; MORAES et al., 2007, ALMEIDA, 2009).

Em trabalhos de erosão e conservação de solos, os estudos micromorfológicos têm sido usados nos estudos de encrostamento superficial (USÓN; POCH, 2000; CASTILHO, 2010). Informações quantitativas do espaço poroso, obtidas por análise de imagens, têm sido utilizadas para explicar o

funcionamento hídrico de solos (BULLOCK; THOMASSON, 1979; BOUMA; KOOISTRA, 1987; LIPIEC et al., 2006; SOUZA et al., 2006; JUHÁSZ et al., 2007; KODESOVA et al., 2011). A micromorfologia, aliada a análise de imagens, permite estabelecer relações entre a estrutura do solo e o tamanho e distribuição dos poros com a taxa de infiltração de água e sua capacidade de retenção nos distintos horizontes do solo (MIEDEMA, 1997).

As técnicas micromorfológicas e de análise de imagens associadas a análises químicas, mineralógicas e físicas fornecem informações importantes para estudos agrônômicos e ecológicos, nos quais a avaliação da dinâmica da estrutura do solo, em diferentes escalas, é muito importante (CASTRO et al., 2003). Outras técnicas modernas de análise de imagens, como a tomografia computadorizada e a ressonância magnética, já são empregadas na ciência do solo para a análise 3-D da porosidade e estrutura do solo (ELLIOT; HECK, 2007; KRAVCHENKO et al., 2011; PIRES, 2011). Essas técnicas vêm ganhando mais resolução, o que favorece as pesquisas futuras sobre a formação e dinâmica da estrutura do solo, segundo Cooper, (1999) a tendência é cada vez mais utilizar informações obtidas de seções delgadas para o desenvolvimento de modelos de predição da estrutura e da porosidade do solo dos estudos sobre o funcionamento hídrico dos solos.

## **2.9 Conceitos Básicos da Micromorfologia.**

Bullock et al. (1985). propuseram apresentaram seis conceitos básicos que são considerados de grande importância para a análise microscópica e descrição dos solos. Estes são: a) Fábrica ou contextura, b) Estrutura e poros, c) Material grosseiro e fino (Conceito G/F), d) Componentes básicos, e) Fundo matricial e micromassa, e f) Feições pedológicas.

**Componentes básicos:** minerais (quartzo, feldspatos, micas, calcita, argilas silicatadas, etc.) e outras unidades básicas (tecidos de plantas, matéria orgânica etc.). Constituem a base de formação da micromassa, fundo matricial, feições pedológicas, estrutura e fábrica. São partículas herdadas do material de origem ou formadas pela alteração de minerais primários herdados ou pelo acúmulo de material orgânico na superfície ou dentro do solo. São divididos em fração grosseira e fração fina.

**Relação C/F (conceito G/F):** razão entre a parte ocupada pelo material grosseiro (G) e pelo material fino (F), que define a relação G/F. A separação entre o material grosseiro e o fino, neste caso, não é fixa e depende da granulometria do solo estudado, da natureza das partículas nas diferentes classes granulométricas, da espessura da lâmina e do poder de resolução do microscópio no maior aumento utilizado. Para a descrição sistemática da relação G/F é adotada a classificação denominada distribuição relativa G/F, que contém cinco padrões baseados nas relações G/F das partículas. Padrões de distribuição relativa G/F: mônica: unidades de fábrica com partículas de um só grupo de tamanho ou ainda material amorfo (por exemplo, areia, silte, cascalho); gefúrica: as unidades grosseiras são ligadas por pontes de material fino; quitônica: as unidades grosseiras estão rodeadas de material fino (por exemplo, areia recoberta por argila ou agregados recobertos por argila); enáulica: material grosseiro e agregados de material fino (microagregados) nos espaços intersticiais, sem preenchê-los completamente e porfírica: as partículas grosseiras distribuem-se numa massa densa de material fino (por exemplo, argila) e não existem os poros intersticiais.

**Fundo matricial e micromassa:** fundo matricial é o termo geral usado para descrever o arranjo do material grosseiro e fino que forma a base do solo, sem incluir as feições pedológicas. Micromassa é o termo geral utilizado para descrever o material fino do fundo matricial. A descrição da micromassa é baseada na caracterização da fábrica do material fino que a compõe, observada sob luz polarizada. Esta fábrica é denominada fábrica birrefringente ou b-fabric, e é descrita pelos padrões de orientação e distribuição das cores de interferência e pela sua natureza. A fábrica birrefringente do material fino pode ser subdividida em três grupos principais: fábrica indiferenciada que é caracterizada pela ausência de cores de interferência; fábrica cristalítica: caracterizada pela presença de pequenos cristalitos birrefringentes (por exemplo, calcita), ou fragmentos de minerais (por exemplo, mica) que causam as cores de interferência do material fino e fábrica estriada, salpicada e estrial: caracterizada pela presença de zonas de argilas birrefringentes. Aquelas compostas por zonas mais alongadas são descritas como estriadas. Se as zonas consistirem de domínios isolados, a fábrica é denominada

salpicada. Se todo o material fino exibir orientação paralela preferencial, a fábrica é denominada estrial.

**Estrutura e poros:** arranjo das partículas primárias do solo em unidades chamadas agregados, sendo o tamanho, forma e arranjo das partículas primárias e dos poros associados em materiais agregados e não agregados e o tamanho, forma e arranjo de quaisquer agregados presentes, também chamada microestrutura. Em materiais agregados, a microestrutura é caracterizada pela descrição dos agregados junto aos poros associados entre e dentro dos agregados; em materiais não-agregados, a microestrutura é descrita pelo arranjo da porosidade presente. Quatro tipos de agregados são descritos para caracterizar a microestrutura: esferoidais, em blocos, laminares e em prismas. O grau de desenvolvimento da estrutura é determinado pelo grau de pedalidade. Stoops (2003) descreve três tipos de pedalidade: bem desenvolvida, moderadamente desenvolvida e fracamente desenvolvida.

Os poros são espaços desprovidos de matéria sólida; podem ocorrer em quatro posições dentro do fundo matricial: entre os agregados (interagregados), dentro dos agregados (intra-agregados), atravessando os agregados (transagregados) e dentro de materiais não-agregados. Os poros são classificados em seis tipos:

- Poros de empacotamento ou empilhamento: poros resultantes do empacotamento de grãos de material grosseiro ou agregados. Estes poros são irregulares, orientados ao acaso e fortemente interconectados. Este tipo de poro pode ser subdividido em: poros de empacotamento simples, que resultam do empacotamento de grãos de material grosseiro; poros de empacotamento composto, que resultam do empacotamento de agregados cujas faces não apresentam acomodação; e poros de empacotamento complexo, que resultam do empacotamento de grãos de material grosseiro e agregados.
- Cavidades: poros relativamente grandes que apresentam formas esféricas a alongadas, às vezes irregulares. Estes poros não estão interconectados com outros.
- Canais: poros alongados com formas mais ou menos cilíndricas e que apresentam paredes relativamente lisas. O diâmetro é praticamente constante na maior parte do seu comprimento.
- Câmaras: são poros cavitários interconectados por canais.
- Vesículas: poros semelhantes às cavidades, diferenciando-se destas pelo alisamento das paredes e sua forma bem arredondada e regular.

- Fissuras: poros nos quais um dos seus eixos geométricos é muito menor que os outros dois. São formados pela contração do solo, resultando em rachaduras.

**Feições pedológicas:** unidades discretas de fábrica que se diferenciam do material adjacente por diferenças na concentração de um ou mais componentes, por exemplo, uma fração granulométrica, matéria orgânica, cristais, componentes químicos ou fábrica interna diferente. Fábricas birrefringentes estão excluídas das feições pedológicas. As feições pedológicas são classificadas em sete grupos principais: feições pedológicas texturais, que consistem no acúmulo de partículas de qualquer tamanho e em proporções variáveis relacionados ao transporte mecânico; feições pedológicas de depleção, que são formadas pela perda de componentes, não-texturais, da matriz do solo adjacente à superfície natural (poro ou agregado); feições pedológicas cristalinas, que são constituídas por cristais, formados in situ, de tamanhos variáveis sob o microscópio petrográfico; feições pedológicas amorfas ou criptocristalinas, que são isotrópicas em luz polarizada, com exceção de inclusões de materiais orgânicos ou minerais birrefringentes; nódulos, que são as feições pedológicas amorfas mais comuns encontradas nas lâminas delgadas, são formadas pela concentração de Fe, Mn, oxi-hidróxidos de Al etc.; feições pedológicas de fábrica ou contextura, que diferenciam-se do material adjacente por uma diferença na fábrica interna (por exemplo, slickensides); e feições pedológicas de excremento, que refletem a atividade biológica (passada ou presente) e freqüentemente são componentes essenciais para a estrutura do solo. A fauna do solo é responsável pela sua existência e pode consistir de materiais puramente orgânicos (feitos por animais que comem plantas), terrosos (inorgânicos, formados por animais que comem solo) e mistos.

### 3 ARTIGO A: PERFIL CULTURAL PARA A AVALIAÇÃO DE MANEJO DO SOLO

#### 3.1 RESUMO

A implantação de sistemas agrícolas altera a estrutura dos solos e, conseqüentemente, sua qualidade física, química e biológica, em intensidade e magnitude que dependem do uso e do manejo adotado. Nesse contexto, metodologias que permitem a avaliação contínua da qualidade da estrutura do solo devem ser desenvolvidas e constantemente testadas. O trabalho teve por objetivo demonstrar que o Perfil Cultural é um método descritivo sensível para avaliação dos efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo. O estudo foi realizado no ano de 2013, em um experimento de longa duração, em um Latossolo Vermelho eutrófico, localizado no Norte do Estado do Paraná, Brasil. Para representar as diferentes intensidades de manejo do solo, foram abertas 16 trincheiras e avaliados os sistemas de Plantio Direto, Plantio Direto escarificado a cada três anos Convencional com arado de disco, Convencional com Grade Pesada e, todos com rotação e sucessão de culturas, sendo, o sistema convencional com arado de discos e sucessão de culturas o sistema de maior intensidade de manejo e o plantio direto com rotação o mais conservacionista. Nessas 16 trincheiras foram classificadas as estruturas do solo pelo método do perfil cultural, e identificadas as unidades morfológicamente homogêneas (UMH's). O método do perfil cultural foi sensível às alterações morfológicas do solo causadas pelos manejos e permitiu: - a identificação de impactos causados pelos diferentes sistemas de manejo assim como a indicação de práticas de recuperação da qualidade estrutural do solo;- forma de exploração do solo pelas raízes. Considerando que as estruturas do solo sob Sistema Plantio Direto apresentaram recuperação da qualidade estrutural do solo, conclui-se que esse sistema favorece a qualidade estrutural do solo. Além disso, ressalta-se que a análise da estrutura pelo método do perfil de cultural sugere a estrutura como um importante atributo para a análise da fertilidade global do solo e da qualidade e sustentabilidade dos sistemas de manejos.

Palavras chave: Estrutura do solo, Qualidade do solo, Fertilidade do solo.

#### CULTURAL PROFILE FOR SOIL MANAGEMENT EVALUATION

#### ABSTRAT

The Agricultural systems changes the soil structure and consequently its physical, chemical and biological properties. The intensity and magnitude of this change depend on the land use and management practices implemented. In this context, methods for continuously evaluating the quality of the soil structure should be developed and constantly tested. The aim of this study was to show that the Cultural Profile method is a sensitive descriptive tool for evaluating the effects of different soil management systems. It was conducted in 2013 and involved a long-term trial in a Rhodic Eutradox in the North of the state of Paraná, Brazil. To shed light on the

varying intensities of soil management, 16 trenches were dug and the following systems evaluated: Conventional tillage with a disk plow, Conventional tillage with a heavy disk, No-tillage, No-tillage and chiseling every 3 years all with two crop systems, rotation and succession. The conventional system with disk plow and crop succession is the most intense and no-tillage with crop rotation the most conservationist. In the 16 trenches, soil structures were classified according to the cultural profile method and identified the homogeneous morphological units (HMU). The cultural profile method was sensitive to morphological changes in the soil caused by cropping and enabled us to identify the impacts caused by the various cropping systems and recommend ways of recovering the structural quality of the soil, and reveal how the roots exploited the soil. Since the soil structures under the no-tillage system showed improved soil structural quality, it was concluded that this system is beneficial to the soil. Furthermore, the analysis of soil structure using the cultural profile method suggests that soil structure is an important attribute for analyzing overall soil fertility and the quality and sustainability of cropping systems.

Key words: Soil structure, soil quality, soil fertility.

### **3.2 INTRODUÇÃO**

O uso sustentável dos recursos naturais se fundamenta no uso adequado do solo e da água e tem-se constituído em tema de crescente relevância, em razão da intensificação dessa exploração, dado o aumento da demanda por alimentos e matéria prima (TILMAN et al., 2011).

O manejo adequado do solo e da água requer um confiável reconhecimento das características naturais do ambiente explorado. Considerando que o manejo varia no tempo e no espaço e de região para região, a avaliação dos diferentes sistemas de manejo é extremamente complexa. Além disso, métodos conservacionistas de manejo do solo, como o Sistema Plantio Direto, vêm sendo comumente adotados em substituição aos convencionais visando a melhoria da qualidade do solo proporcionada por esse manejo. Contudo, é comum observarmos no campo, variações no sistema de plantio direto, como a escarificação periódica e a adoção ou não da rotação de culturas, o que torna necessário o desenvolvimento de metodologias que sejam sensíveis a avaliação dessas variações adotadas.

A qualidade estrutural refere-se à organização e às características dos agregados do solo, constituindo um ambiente dinâmico, cuja alteração determinará um novo comportamento dos processos (exemplo, a difusão de ar, movimentação da água, ciclagem de nutrientes e atividade biológica) que nele ocorrem (FERREIRA, 2010). O método do perfil cultural permite a classificação da

estrutura do solo em unidades morfológicas visualmente alteradas, quando comparada a cobertura pedológica preservada, considerando a organização das estruturas no perfil e o estado dos agregados (Tavares Filho et al., 1999). Nesse contexto, a hipótese do presente estudo é de que o método do perfil cultural é sensível para avaliar a estrutura do solo nos diferentes sistemas de manejo, e as diferentes intensidades de uso dentro de um mesmo sistema de manejo.

O objetivo do trabalho foi demonstrar que o método do Perfil Cultural é um método descritivo sensível para avaliação dos efeitos de diferentes sistemas de manejo do solo.

### **3.3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### *3.3.1 Descrição da área*

Os perfis do solo estudados situaram-se em um experimento de manejo de longa duração, instalado na safra 1988/89 em área pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja), localizado em Londrina - PR, Brasil, a 620 metros de altitude, 23°11' latitude S e 51°11' longitude O. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, com 710 g kg<sup>-1</sup> de argila, 82 g kg<sup>-1</sup> de silte e 208 g kg<sup>-1</sup> de areia. A declividade média da área experimental é de 0.03 m m<sup>-1</sup>. O clima da região foi caracterizado como Cfa (mesotérmico úmido), segundo Köppen-Geinger, com temperatura média anual de 21° C, média das máximas de 28.5° C em fevereiro e média das mínimas de 13.3° C em julho. A média anual de precipitação é de 1.651 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (217 mm) e agosto o mês mais seco (60 mm). A vegetação nativa está inserida no domínio de Mata Atlântica, sendo classificada como Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 1992).

#### *3.3.2 O experimento*

O experimento foi instalado em delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições. Os tratamentos foram compostos de quatro sistemas de preparo do solo: (1) plantio direto, em rotação e sucessão (PDR/PDS); (2) preparo convencional com arado de discos a 0.20 – 0.25 m de profundidade

média, realizado antes da cultura de verão, em rotação e sucessão (ADR/ADS); (3) grade pesada a profundidade de atuação média de 0,15, seguido de uma gradagem leve a profundidade média de 0,08 m, em rotação e sucessão (GPR/GPS); e, (4) sistema plantio direto com escarificação a cada três anos, antes das culturas de inverno, com escarificador equipado com cinco hastes trabalhando a uma profundidade média de 0,25 m, sem gradagem subsequente, em rotação e sucessão (PDER/PDES). A sucessão de culturas é realizada com soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e trigo (*Triticum aestivum* L.) e a rotação de culturas com culturas de grãos [soja, milho (*Zea mays* L.) e trigo] e de cobertura e adubação verde [tremoço (*Lupinus albus* L.), e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.)].

Nos tratamentos (2) e (3), o preparo do solo antes das culturas de inverno foi realizado todos os anos com grade pesada a profundidade média de 0,15 m, seguida de uma gradagem leve para destorroamento /nivelamento do solo, a profundidade média de 0,08 m.

A implantação e o manejo das espécies vegetais envolvidas no experimento, incluindo cultivares, época de semeadura, espaçamento, população de plantas, adubação e tratamentos fitossanitários, foram realizados de maneira uniforme para todos os tratamentos e em consonância com as indicações técnicas para o Estado do Paraná. No entanto, as espécies vegetais utilizadas para cobertura de solo (tremoço e aveia preta) não foram adubadas, conforme Franchini et al. (2012).

Foram abertas duas trincheiras em cada sistema de preparo e de cultura, perpendiculares ao sentido da operação dos implementos, com vistas a detectar as modificações morfológicas provocadas pelos diferentes manejos. As trincheiras tinham as dimensões de 1x1x1 m de largura, altura e comprimento, respectivamente, e estavam inseridas em parcelas de 7,5 x 30,0 m (225 m<sup>2</sup>). Em uma das faces de cada trincheira foram descritos os perfis culturais de acordo com a metodologia descrita em Manichon & Gautronneau, (1996), adaptada por Tavares Filho et al. (1999), resultando em 16 mapas na escala 1:10, nos quais figuravam as unidades morfológicas homogêneas (UMH's).

As UMH's dos perfis foram identificadas por letras, considerando o modo de organização e o estado poroso interno dos torrões. O primeiro nível - modo de organização dos torrões - foi baseado na observação da continuidade e ocorrência de fissuras, sendo os arranjos das estruturas no perfil denominados:

Livre (L), Contínuo (C) ou Fissurado (F). A camada de solo visualmente não alteradas pelo manejo, foi denominada “Bw”, por corresponder ao horizonte B latossólico dos Latossolos.

Já, o estado interno dos torrões foi baseado principalmente na porosidade visível, representada por:  $\mu$  (poroso) torrões com forte porosidade interna.  $\Delta$  (compacto) torrões com baixa ou nenhuma porosidade visível, e, os estados intermediários ( $\Delta\mu$  e  $\mu\Delta$ ). Quando as estruturas foram descritas como L ou F, os torrões foram classificados como: pt, pequenos torrões; mt, médios torrões; gt, grandes torrões. E, ainda foram consideradas na descrição do perfil cultural a presença de terra fina, TF, os traços de atividade biológica e os aspectos do sistema radicular.

**Tabela 3.1:-** Síntese da descrição das Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's) presentes nos perfis culturais.

HMU's	Descrição
L	Volume de solo livre.
Lpt	Volume de solo livre, pequenos torrões.
Lpt $\mu\Delta$	Volume de solo livre, pequenos torrões com média porosidade interna visível.
Fpt+TF	Volume de solo fissurado, pequenos torrões, ocorrência de terra fina.
Fpt $\mu\Delta$ +TF	Volume de solo fissurado, pequenos torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina.
Fpt $\Delta\mu$	Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível.
Fmt $\mu\Delta$ +TF	Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina.
Fmt $\mu\Delta$	Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível.
Fmt $\Delta\mu$	Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível.
C $\mu\Delta$	Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível.
C $\Delta\mu$	Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível.
C $\Delta$	Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado.
Bw	Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo manejo.

### 3.3.3 Análise dos dados

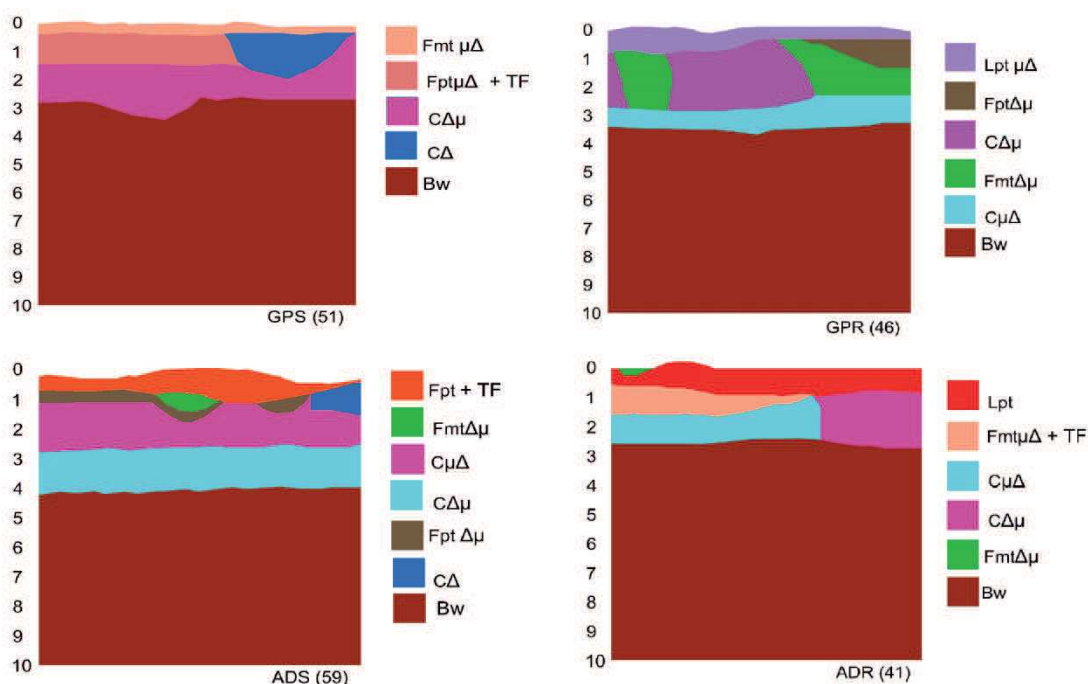
As variáveis foram submetidas à ordenação pela análise de componentes principais (ACP) através da plataforma R (RStudio), utilizando o pacote Vegan.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3.1 e 3.2, apresentam a organização das estruturas identificadas pelo método do perfil cultural nos oito perfis avaliados (PDS, PDR, PDES, PDER, GPS, GPR, ADS e ADR).

Entre os sistemas de manejo, observa-se que o uso da mecanização no preparo do solo, inclusive no plantio direto com escarificação e rotação de culturas, a camada até 0.10 m é composta principalmente pela estrutura L, enquanto que no plantio direto com rotação essa estrutura ficou restrita aos primeiros 0.05 m de profundidade (Figura 3.1 e 3.2).

A intensa fragmentação causada pelo uso da mecanização no preparo do solo pode explicar a formação da estrutura livre, L, nos primeiros 0,10 m de profundidade do solo. Observa-se nas Figuras 3.1 e 3.2 que a descrição e classificação das estruturas pelo método do perfil cultural permitiram observar que a mecanização causou uma descontinuidade estrutural no perfil, passando de uma estrutura L ou com presença de TF para uma estrutura fissurada ou coesa, indicando a possibilidade de redução da velocidade de infiltração e aumento do potencial de escoamento superficial dessa área. Didoné et al. (2015) observaram, em escala de microbacia, que o aumento do potencial de escoamento superficial e redução da infiltração estão diretamente associados à produção de sedimentos e erosão, aumentando significativamente os problemas ambientais com o manejo incorreto do solo.



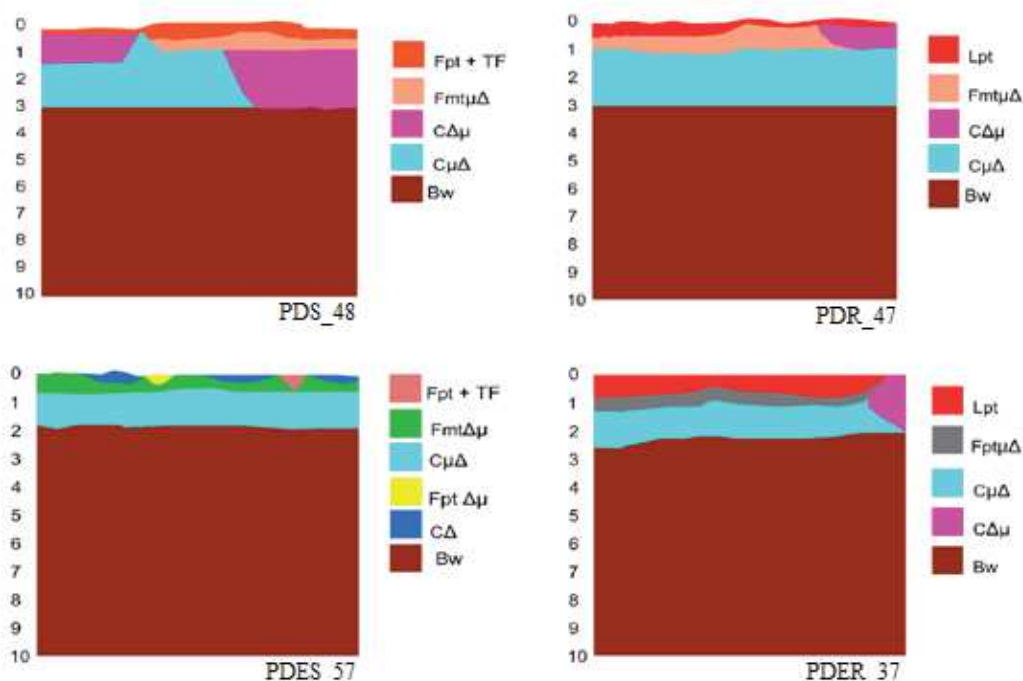
Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões. Lpt $\mu\Delta$ : Volume de solo livre, pequenos torrões com média porosidade interna visível. Fpt+TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, ocorrência de terra fina. Fpt $\mu\Delta$ +TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina. Fpt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível. Fmt $\mu\Delta$ +TF: Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina. Fmt $\mu\Delta$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível. Fmt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível. C $\mu\Delta$ : Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível. C $\Delta\mu$ : Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível. C $\Delta$ : Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado. Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo manejo.

**Figura 3.1:** Representação esquemática dos perfis culturais sob preparo convencional do solo com as Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's) identificadas, realizado com arado de disco (AD) e com grade pesada (GP), em rotação (R) e sucessão (S).

A estrutura C $\Delta$ , sem descontinuidade macroscópica (fissuras), formada por torrões principalmente cúbicos, e até laminares, com estado interno compacto ( $\Delta$ ), sem porosidade visível, foi observada na camada entre 0,05 e 0,15 m do sistema convencional, nos perfis GPS (51) e ADS (59) e, no perfil DCRS foi observada ainda mais superficialmente (0,00-0,05 m). A presença dessa estrutura é considerada como resultante negativa do uso intensivo, e muitas vezes em condições inadequadas, de umidade do solo e de máquinas e implementos agrícolas. Também se observa maior incidência de estruturas compactas, formadas por torrões compactos ( $\Delta$ ) e ou em processo de compactação ( $\Delta\mu$ ), com tendência a formas prismáticas, com fissuras bem visíveis (F) e baixa atividade biológica nos perfis com sucessão de culturas.

A mecanização associada ao uso de sucessão de culturas reduz os teores e as características de cimentação do carbono presente no solo (Groenigen et al. 2010). Com isso, o cisalhamento e a desestruturação causados pela mecanização no preparo do solo, inclusive no PDE, associados à compressão causada pelo rodado, dependendo das características da máquina e da umidade do preparo do solo, podem promover a coesão entre os agregados e formação de estruturas  $\Delta$  (Roger-Estrade et al., 2004). No entanto, é importante ressaltar que esse efeito é dependente do tipo de solo. Tavares Filho (1995), ao comparar os efeitos do plantio direto e convencional, com arado de aivecas, sobre a estrutura de um Latossolo Eutrófico e um Distrófico, concluiu que para o Latossolo Distrófico, o plantio direto forneceu as melhores condições de porosidade, 60%, com predomínio da estrutura  $C\mu\Delta$ . Enquanto que, para o Latossolo Eutrófico, o uso do arado de aivecas no preparo primário proporcionou as melhores condições de porosidade, 54%, contra 48% no Plantio Direto.

No sistema convencional, a profundidade de antropização nos perfis sob rotação de culturas, GPR (46) e ADR(41), foram menores em relação aos mesmos sistemas em sucessão de culturas, GPS(51) e ADS(59), isso pode ser atribuído aos benefícios da rotação de culturas, por promover e facilitar o processo de resiliência do solo, Confirmando essa prática como essencial na manutenção da sustentabilidade dos sistemas de produção.



Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões. Lpt $\mu\Delta$ : Volume de solo livre, pequenos torrões com média porosidade interna visível. Fpt+TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, ocorrência de terra fina. Fpt $\mu\Delta$ +TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina. Fpt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível. Fmt $\mu\Delta$ +TF: Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina. Fmt $\mu\Delta$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível. Fmt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível. C $\mu\Delta$ : Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível. C $\Delta\mu$ : Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível. C $\Delta$ : Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado. Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo manejo.

**Figura 3.2:** Representação esquemática dos perfis culturais sob Plantio Direto com as Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's) identificadas, (PD) Plantio Direto, (PDE) Plantio Direto Escarificado, em rotação (R) e sucessão (S).

Pereira Neto et al. (2007), analisaram o tempo de consolidação do Sistema Plantio Direto em área de Latossolo Vermelho Amarelo, textura argilosa, no estado de Goiás pelo método do perfil cultural e constataram que as estruturas onde o plantio direto foi implantado há menos de oito anos assemelharam-se as estruturas do sistema de plantio convencional, e que no solo sob plantio direto implantado há mais de nove anos, as estruturas se assemelharam aquelas do perfil sob floresta. Com isso, é possível enfatizar que o método do perfil cultural permite acompanhar a evolução das estruturas influenciadas pelo manejo ao longo do tempo e indicar se esse manejo está adequado ou deve ser modificado, visando a sustentabilidade do sistema de produção.

Nesse mesmo contexto pode ser observado os resultados do presente estudo, uma vez que foi possível observar a transformação das estruturas compactas ( $\Delta$ ) ou com fortes indícios de compactação ( $\Delta\mu$ ) nos sistemas que utilizam a mecanização no preparo do solo, foram transformadas em estruturas mais porosas ( $\mu$  ou  $\mu\Delta$ ) nos sistemas mais conservacionistas (plantio direto), sobretudo com a utilização da rotação de culturas.

Ademais, essa reestruturação do solo causada pela utilização dos sistemas mais conservacionistas pode ser observada na distribuição das raízes durante a descrição do perfil cultural. Verificou-se nos sistemas conservacionistas que as raízes que se desenvolveram abaixo dos primeiros 0.05 m de solo apresentaram-se finas com aspecto retilíneo, sem tortuosidades impostas por impedimento físico do solo e com muitas ramificações laterais e pelos radiculares.

É importante ainda ressaltar, no presente estudo, a ocorrência de descontinuidade espacial das estruturas do solo UMH's, a qual possibilita compreender o funcionamento do solo, percebendo por exemplo, que mesmo com UMH's mais compactas, a descontinuidade permite o bom funcionamento do solo, tanto pela possibilidade de implantação do sistema radicular das plantas, como pela porosidade que permite aeração e água no perfil, permitindo que os processos físicos, químicos e biológicos aconteçam.

Segundo Guimarães et al., (1993), pela análise morfoestrutural se caracteriza a condição organizacional do solo, o espaço poroso de origem estrutural, a atividade exercida tanto pela fauna do solo como pelo sistema radicular, a presença e forma da matéria orgânica, bem como o desenvolvimento, orientação e morfologia das raízes .

#### 3.4.1 *Análise de Componentes Principais*

Utilizou-se a análise dos componentes principais (ACP) para ordenar/ classificar a relação dos manejos com as UMH's, na primeira (ACP), foram utilizados os 16 perfis estudados, que proporcionaram a visualização da relação existente entre os manejos e as estruturas de cada perfil.

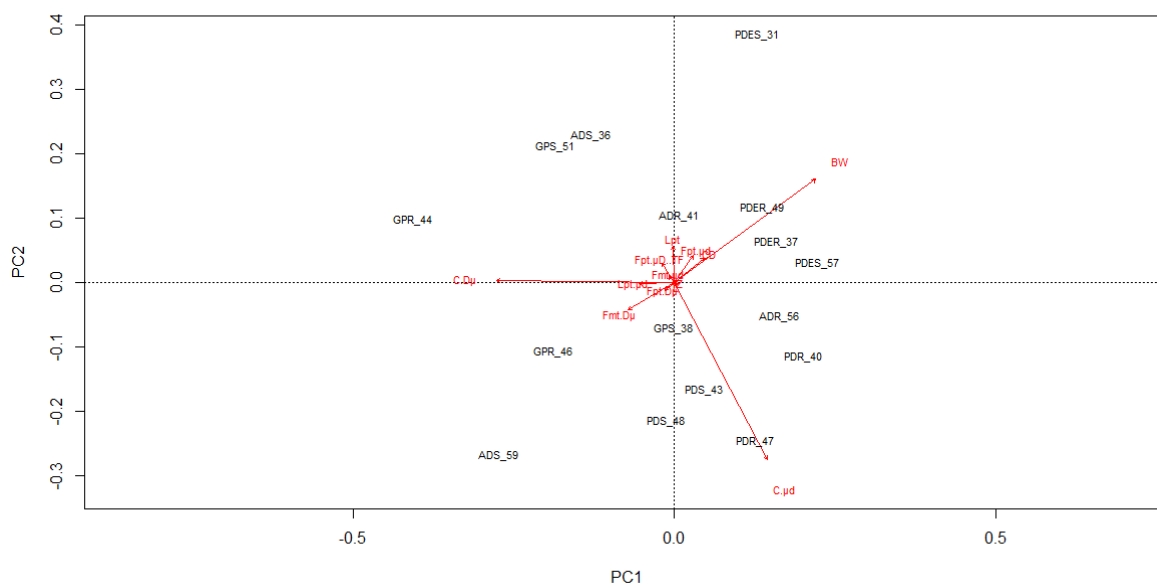
Para os perfis avaliados considerando-se todas as estruturas presentes, assim como seus estados internos, a combinação linear dos valores das áreas das UMH's (primeira componente principal) explicou 41,84% da variabilidade dos dados; a

segunda componente explicou 29,16%; portanto, os dois primeiros eixos representaram 71% da variância total dos dados. (Figura 3.3).

Por meio da ACP, verifica-se que o sistema em plantio direto escarificado a cada 3 anos, PDER\_49, PDER\_37, DCRS\_57, PDES\_31 favoreceu a estrutura Bw e desfavoreceu a estrutura Fmt $\Delta$ , enquanto os tratamentos com plantio direto não escarificado, DIS\_43, DIS\_48, DIR\_40 e DIR\_48, favoreceram a estrutura C $\mu$  $\Delta$ . Por outro lado, a estrutura C $\Delta$  $\mu$  foi favorecida nos sistemas ADS\_59, DS\_36, GPR\_44, GPR\_46, GPR\_51 com preparo convencional e desfavorecida nos sistemas com plantio direto.

Os resultados da ACP ratificam o que foi discutido anteriormente acerca da desestruturação e suscetibilidade à formação de estruturas  $\Delta$  causada pela mecanização no preparo do solo, inclusive a escarificação no PD.

As duas estruturas favorecidas pelo princípio do plantio direto, C $\mu$  $\Delta$  e Bw (que na nomenclatura do perfil do cultural poderia ser denominada C $\mu$ ), são as menos afetadas pelo manejo, o que corrobora com o plantio direto como um dos melhores sistemas agrícolas conservacionistas. Silva et al. (2014), em trabalho desenvolvido nessa mesma área experimental, verificou que nos manejos sob plantio direto houve predominância de estruturas menos compactas e com maior porosidade em relação as observadas nos sistemas convencionais.



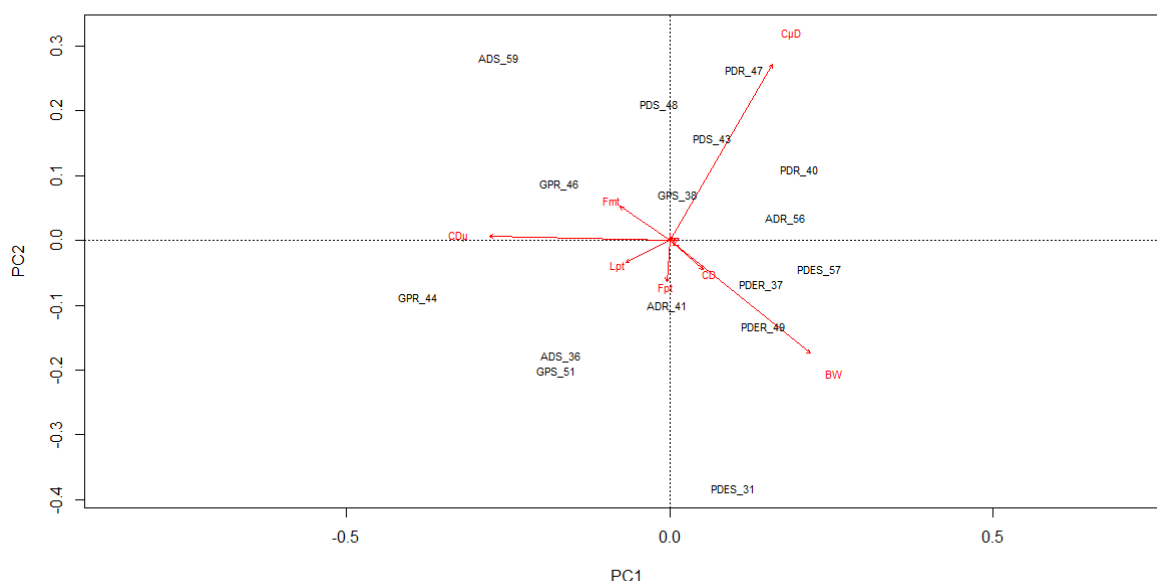
CD: Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado (C $\Delta$ ) ; CD $\mu$ : Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível (C $\Delta$  $\mu$ ) ; C $\mu$  $\Delta$ : Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível(C $\mu$  $\Delta$ ): Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões; Fpt: Volume de solo fissurado, pequenos torrões Fmt: Volume de solo

fissurado, médios torrões Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo. Fpt+TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, ocorrência de terra fina. FptD $\mu$ : Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível (Fpt $\Delta\mu$ ). Fmt $\mu$ D: Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível(Fmt $\mu\Delta$ ). FmtD $\mu$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível (Fmt $\Delta\mu$ ). PDR/PDS: plantio direto, em rotação e sucessão; ADR/ADS: preparo convencional com arado de discos em rotação/ sucessão; GPR/GPS: grade pesada em rotação/sucessão (GPR/GPS); e PDER/PDES: sistema plantio direto com escarificação a cada três anos, em rotação/sucessão.

**Figura 3.3:** Componentes principais (PC1 e PC2) considerando os 16 perfis culturais relacionando preparo do solo (convencional com arado de disco (AD) e com grade pesada (GP) e plantio direto (PD) e plantio direto escarificado a cada três anos (PDE), em rotação (R) e sucessão (S) com as Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's).

A segunda análise de componentes principais (Figura 3.4), foi realizada com o intuito de verificar a relação dos manejos com as UMH's, sem levar em consideração o estado interno do torrões. O primeiro componente principal das UMH's explicou 44,90% da variabilidade dos dados e o segundo explicou 31,25 %; portanto, esses dois eixos representaram 76,15 % da variância total dos dados.

Quando o estado interno dos torrões não foi considerado na análise, a única alteração observada foi na estrutura Fpt, que foi favorecida pelos manejos convencionais (Figura 3.4). Dessa forma, observa-se que a análise do estado interno dos torrões permite uma avaliação mais acurada do grau de resiliência e sustentabilidade dos sistemas e, portanto, tem papel importante na análise dos efeitos dos diferentes sistemas de manejo do solo.



CD: Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado ( $C\Delta$ ) ;  $CD\mu$ : Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível ( $C\Delta\mu$ ) ;  $C\mu D$ : Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível ( $C\mu\Delta$ ); Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões; Fpt: Volume de solo fissurado, pequenos torrões Fmt: Volume de solo fissurado, médios torrões Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo manejo. PDR/PDS: plantio direto, em rotação/sucessão; ADR/ADS: preparo convencional com arado de discos em rotação/sucessão; GPR/GPS: grade pesada em rotação e sucessão (GPR/GPS); e PDER/PDES: sistema plantio direto com escarificação a cada três anos, em rotação/sucessão.

**Figura 3.4:** Componentes principais (PC1 e PC2) considerando os 16 perfis culturais relacionando preparo do solo (convencional com arado de disco (AD) e com grade pesada (GP) e plantio direto (PD) e plantio direto escarificado a cada três anos (PDE), em rotação (R) e sucessão (S) com as Unidades Morfológicas Homogêneas (HMU's) sem considerar o estado interno dos torrões.

### 3.5 CONCLUSÕES

O método do perfil cultural foi sensível às alterações morfológicas do solo causadas pelos manejos e permitiu: - a identificação de impactos relacionados aos sistemas de manejo assim como indicação de práticas de recuperação da qualidade estrutural do solo; orientação de amostragens; forma de exploração do solo pelas raízes. Considerando que as estruturas do solo sob plantio direto apresentaram recuperação da qualidade estrutural do solo, conclui-se que esse sistema favorece a qualidade estrutural do solo. Além disso, ressalta que a análise da estrutura pelo método do perfil de cultural sugere a mesma como um importante atributo para a análise da fertilidade global do solo e da qualidade e sustentabilidade dos manejos de solos.

## 4 ARTIGO B: PERFIL CULTURAL PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS RELACIONADAS A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO E DE CULTURAS

### 4.1 RESUMO

Em um experimento implantado em 1988 na Embrapa Soja, Norte do Estado do Paraná, em um Latossolo Vermelho eutrófico, foi realizado um estudo sobre a estrutura do solo utilizando-se o método do Perfil Cultural. Foram abertas 16 trincheiras onde foram identificadas as unidades morfológicamente homogêneas (UMH's), em três diferentes sistemas de manejos: convencional com arado de disco, convencional com grade pesada e plantio direto; e em dois sistemas de culturas: sucessão soja-trigo e rotação de culturas. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos, a longo prazo, de diferentes sistemas de manejo e de culturas, na estrutura do solo utilizando-se o método do Perfil Cultural. Os sistemas de rotação de culturas apresentaram estruturas contínuas e compactas (CΔ), contudo essas estruturas restritivas ao crescimento encontravam-se em áreas pontuais do perfil, por exemplo abaixo da linha de semeadura. Do ponto de vista físico, estruturas mais resistentes que não limitam o enraizamento são benéficas pelo fato de serem mais resistentes à quebra em situações como impacto de gotas de chuvas ou tráfego de máquinas.

### ABSTRAT

In an experiment established in 1988 at Embrapa Soja, State of Parana North in an Rhodic Eutradox, there was study of soil structure by the Cultural Profile method. were opened 16 trenches where homogeneous morphological units were identified (HMU's) in three different management systems: Conventional tillage with a disk plow, Conventional tillage with a heavy disk and No-tillage, all with two crop systems, rotation and succession; and two cropping systems: succession soybean-wheat and crop rotation. The aim of this study was to evaluate the effects in the long term of different management systems and cultures, soil structure using the method of the Cultural Profile. The crop rotation systems showed continuous and compact structures (CΔ), however these restrictive structures to growth were in specific areas of the profile, for example below the seeding line. From a physical point of view, stronger structures that do not limit the roots are beneficial because they are more resistant to breakage in situations such as the impact of raindrops or machinery traffic.

### 4.2 INTRODUÇÃO

A estrutura do solo tem papel importante na difusão de gases, infiltração e drenagem da água gravitacional, desenvolvimento radicular e na

produtividade das culturas. É uma propriedade sensível ao manejo, cuja qualidade pode ser analisada segundo variáveis

s relacionadas com sua forma (ALBUQUERQUE et al., 1995), estabilidade relação com atributos físicos e químicos (CAMPOS et al., 1995; BAQUERO et al. 2012; RALISCH et al 2010; TAVARES et al, 2012; PORTELLA et al 2012 ) e com atributos biológicos e microbiológicos macrofauna e microbiológico ( BROSSARD et al., 2012;Silva et al. 2011; SILVA et al, 2014).

O manejo intensivo, muitas vezes em condições inadequadas dos solos tropicais, tem sido apontado como uma das principais causas da degradação da estrutura do solo e do decréscimo da produtividade das culturas (CAMPOS et al., 1995). Os efeitos do preparo do solo sobre sua estrutura dependem da intensidade de revolvimento ou trânsito, equipamento utilizado, manejo dos resíduos vegetais e condições de umidade do solo no momento do preparo (Vieira, 1985), e propiciam muitas vezes a redução do volume de terra explorado pelas raízes (Manichon, 1982), ocasionando menor taxa de infiltração e maior escoamento superficial das águas pluviais (Hellin, 2006). Uma maneira de melhorar a qualidade estrutural do solo refere-se ao uso de rotação de culturas com espécies que tenham sistema radicular vigoroso, com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros por onde as raízes da cultura subsequente possam crescer (Silva & Rosolem, 2001).

O perfil cultural é um método de análise visual utilizado na avaliação do efeito dos sistemas de manejo na estrutura do solo e do seu potencial agrônômico, pois identifica as estruturas com características distintas e a sua distribuição espacial no perfil do solo, permitindo inferir sobre sua qualidade e, conseqüentemente sobre o manejo adotado. Outro indicador sensível em detectar os efeitos do manejo na estrutura é a resistência tênsil de agregados (RT) (Tormena et al., 2008; Watts & Dexter1998; Blanco-Canqui et al., 2005). A RT é uma medida da força mínima necessária para que ocorra a ruptura do agregado (Watts & Dexter, 1998) e pode ser utilizada como uma ferramenta para quantificar o impacto dos sistemas de manejo na estrutura do solo.

Na década de 70, o estado do Paraná apresentava grandes perdas de solo por erosão e prejuízos na agricultura, o que impulsionou a pesquisa em técnicas de manejo conservacionistas. De acordo com Freitas e Landers (2014), os primeiros resultados positivos obtidos no controle da erosão com a implantação do

plantio direto estabeleceu a base moderna de consciência para a conservação do solo no Brasil e forneceu as bases para uma agricultura sustentável e revitalizada. A necessidade de informação sobre sistemas de manejo menos intensivos e adaptados para as condições de solo e clima do Paraná foi uma das razões da implantação deste experimento com diferentes sistemas de manejo e de rotação de culturas pela Embrapa.

A hipótese do trabalho é que os sistemas de preparo menos intensivos associados a rotação de culturas com maior diversidade de espécies degradam menos a estrutura do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos, a longo prazo, de diferentes sistemas de manejo e de culturas, na estrutura do solo utilizando-se o método do Perfil Cultural.

## 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.3.1 Descrição da área

Os perfis do solo estudados situaram-se em um experimento de manejo de longa duração, instalado na safra 1988/89 em área pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja), Londrina - PR, Brasil, a 620 metros de altitude, 23°11' latitude S e 51°11' longitude O. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico com 710 g kg<sup>-1</sup> de argila, 82 g kg<sup>-1</sup> de silte e 208 g kg<sup>-1</sup> de areia. A declividade média da área experimental é de 0.03 m m<sup>-1</sup>. O clima da região foi caracterizado como Cfa (mesotérmico úmido), segundo Köppen-Geinger, com temperatura média anual de 21° C, média das máximas de 28.5° C em fevereiro e média das mínimas de 13.3° C em julho. A média anual de precipitação é de 1.651 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (217 mm) e agosto o mês mais seco (60 mm). A vegetação nativa está inserida no domínio de Mata Atlântica, sendo classificada como Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 1992).

### 4.3.2 O experimento

O experimento foi instalado em delineamento de blocos ao acaso com duas repetições. Os tratamentos foram compostos de três sistemas de preparo do solo e dois sistemas de culturas: (1) plantio direto, em rotação e sucessão (PDR/PDS); (2) preparo convencional com arado de discos a 0,25 m de profundidade média, realizado antes da cultura de verão, em rotação e sucessão (ADR/ADS); (3) preparo convencional com grade pesada a profundidade média de 0,15 m, seguido de uma gradagem leve a profundidade média de 0,08 m, em rotação e sucessão (GPR/GPS); Os dois sistemas de culturas constaram de: sucessão de culturas soja (*Glycine max* (L.) Merr.) / trigo (*Triticum aestivum* L.), e rotação de culturas incluindo culturas de grãos [soja, milho (*Zea mays* L.) e trigo], cobertura e adubação verde [tremoço (*Lupinus albus* L.) e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb)].

Nos tratamentos ADR/ADS e GPR/GPS, o preparo do solo antes das culturas de inverno foi realizado todos os anos com grade pesada a

profundidade média de 0,15 m, seguida de uma gradagem leve para destorroamento /nivelamento do solo, a profundidade média de 0,08 m.

A implantação e o manejo das espécies vegetais envolvidas no experimento, incluindo cultivares, época de semeadura, espaçamento, população de plantas, adubação e tratamentos fitossanitários, foram realizados de maneira uniforme para todos os tratamentos e em consonância com as indicações técnicas para o Estado do Paraná. No entanto, as espécies vegetais utilizadas para cobertura de solo (tremoço e aveia preta) não foram adubadas, (FRANCHINI et al., 2012).

#### *4.3.3 Análise visual dos perfis*

Para detectar as modificações morfológicas provocadas pelos diferentes manejos, em cada sistema de preparo e de cultura foram abertas duas trincheiras (1x1x1 m de largura, altura e comprimento), por tratamento. As trincheiras foram estabelecidas perpendicularmente ao sentido da operação dos implementos e fixadas sempre nas mesmas posições em relação às parcelas e às operações agrícolas, sendo assim possível identificá-las no mapa de campo. As dimensões das parcelas foram de 7,5 x 30,0 m, 225 m<sup>2</sup>. Para cada trincheira foi avaliado apenas uma parede ou perfil.

Nestas paredes foram descritos os perfis culturais de acordo com a metodologia descrita em Manichon & Gautronneau, (1996), adaptada para solos tropicais por Tavares Filho et al., (1999), resultando em 16 mapas na escala 1:10, nos quais figuram as unidades morfológicamente homogêneas (UMH's).

As UMH's dos perfis foram identificadas por letras e símbolos, segundo o modo de organização e o estado poroso interno dos torrões. O primeiro nível - modo de organização dos torrões - foram baseados na observação da continuidade e ocorrência de fissuras, sendo o arranjo das estruturas no perfil denominados: Livre (L), Contínuo (C) ou Fissurado (F). A camada de solo não alterada visualmente pelo manejo, foi denominada "Bw", por corresponder ao horizonte B latossólico dos Latossolos. Conseqüentemente, esta camada foi considerada como não alterada pelo manejo, portanto, seu horizonte superior representa a profundidade de antropização.

Já, o estado interno dos torrões foi baseado principalmente na coesão interna dos torrões, na sua porosidade visível e na relação desta estrutura interna com o sistema radicular, representados por:  $\mu$  (poroso) torrões com forte porosidade interna,  $\Delta$  (compacto) torrões com baixa ou nenhuma porosidade visível, e, os estados intermediários ( $\Delta\mu$  e  $\mu\Delta$ ), prevalecendo a estrutura representada pelo primeiro símbolo. Nas estruturas com modo de organização F e L, também foram identificados os tamanhos dos torrões, com a seguinte nomenclatura e diâmetro aproximado: pt, pequenos torrões (0,005 a 0,01m); mt, médios torrões (0,01 a 0,05m); gt, grandes torrões (0,05 a 0,10m); e, ainda, a presença de terra fina, (TF), e a presença de atividade biológica, como galerias, coprólitos e outros.

Visando quantificar a ocorrência das diferentes estruturas em cada tratamento, avaliou-se a proporção de cada uma destas por perfil, representando estes valores em tabelas de porcentagem de área por tratamento. Entre as repetições de cada tratamento, fez-se a média de ocorrência de cada estrutura visando visualizar as diferenças.

#### *4.3.4. Análises Físicas*

Com o objetivo de se avaliar os tratamentos contrastantes, as análises físicas descritas abaixo foram determinadas em dois perfis de cada um dos tratamentos PDR, PDS, GPR e GPS, totalizando 8 perfis. Nestes, foram extraídas amostras apenas nas UMH's com maior representatividade.

Para tais amostras, foram coletados blocos de solo de 0,10 x 0,08 x 0,17 m de largura, altura e comprimento, para fins de obtenção de agregados do solo para análise. No laboratório, os blocos foram fragmentados manualmente e, em seguida, os torrões foram submetidos a uma queda para nova fragmentação em agregados menores, sendo secos ao ar por 120 horas. Posteriormente, os agregados foram separados em peneiras metálicas com diâmetro superior a 19 mm e diâmetro inferior a 12,5 mm de abertura de malha, selecionando-se os agregados com diâmetro médio de 15,75 mm. Nestes agregados foi feita a determinação da Densidade dos Agregados (Dag) e da Resistência Tênsil (RT).

A densidade de agregados (Dag) foi determinada em 10 agregados para cada bloco de solo utilizando o método do torrão parafinado (Embrapa, 1997). Para as medidas de RT foram utilizados 40 agregados provenientes de cada bloco

de solo. Cada agregado foi pesado e em seguida submetido, individualmente, a um teste de tensão indireta utilizando o equipamento descrito em Figueiredo et al. (2011). Para o teste de tensão indireta, os agregados de solo foram colocados na mesa apoiando pela sua maior superfície e comprimidos a uma velocidade constante de  $1,55 \text{ mm s}^{-1}$ . A força mínima necessária para o rompimento do agregado foi determinada através de um dinamômetro. No final do teste, uma sub-amostra de material de solo dos agregados foi submetida à secagem em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 h, para determinação do teor residual de água dos agregados, e outra sub-amostra foi separada para a determinação dos teores de carbono orgânico do solo (COS). O COS dos agregados foi determinado por combustão via seca em analisador elementar ThermoScientific FLASH 2000 conforme Nelson e Sommers (1996).

A RT foi calculada seguindo-se os procedimentos descritos em Dexter e Kroesbergen (1985), em que  $RT = 0,576 P / (D^2 10^3)$ , onde RT, é a resistência tênsil de agregados (kPa); 0,576 a constante de proporcionalidade; P, a força aplicada (N); e D, o diâmetro médio do agregado (mm). O diâmetro médio dos agregados foi calculado de acordo com Watts and Dexter (1998):  $D = D_m (M/M_0)^{1/3}$ , onde D é o diâmetro médio do agregado calculado (m);  $D_m$  é o diâmetro médio do agregado (m); M é a massa do agregado individual (g); e  $M_0$  é a massa média dos agregados na população (g).

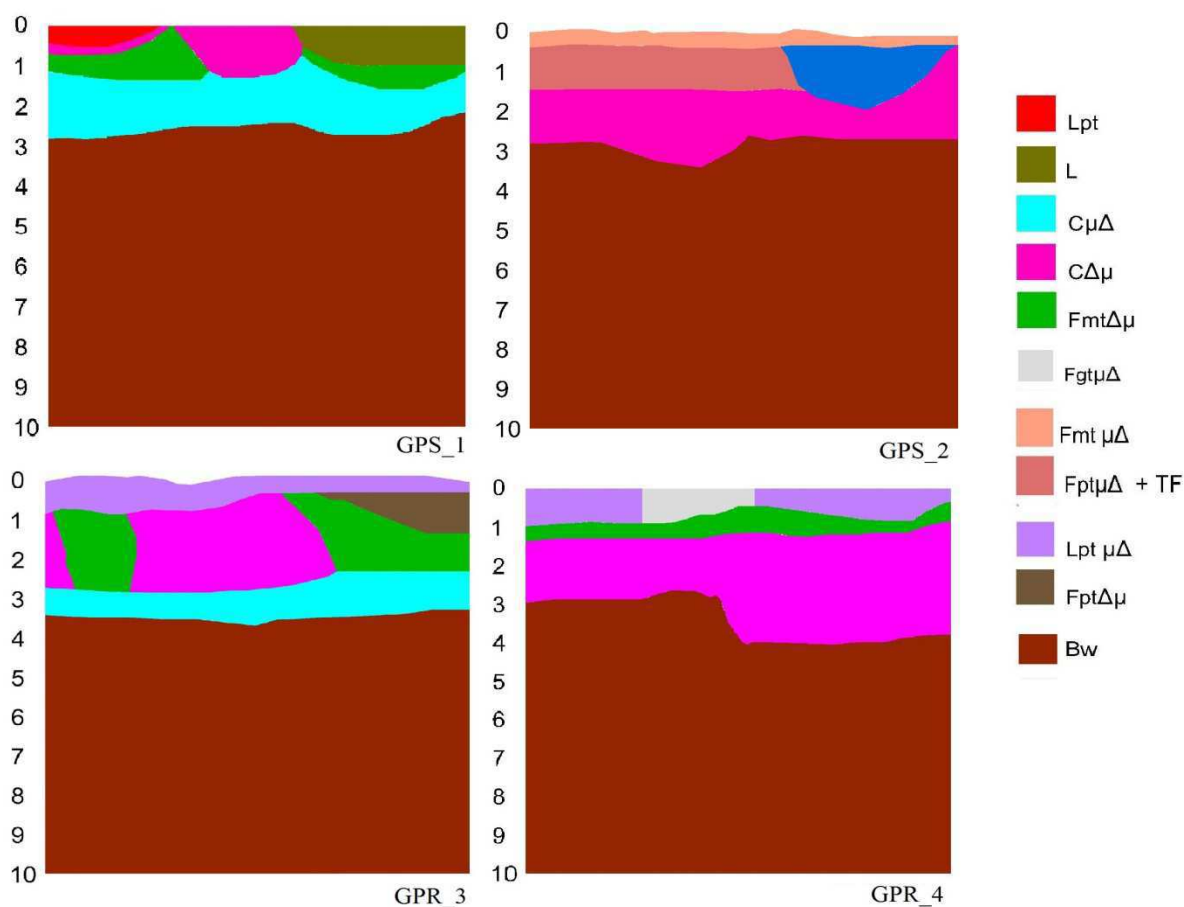
#### 4.3.5 Análise estatística

A normalidade dos dados de RT e Dag foi testada pelo teste de Shapiro-Wilks. Os dados de RT não apresentaram normalidade e foram transformados por meio da função logaritmo na base 10. Para comparação de médias utilizou-se o intervalo de confiança da média ( $p < 0,05$ ), conforme Payton et al. (2000). Quando não houve sobreposição dos intervalos, as médias foram consideradas significativamente diferentes entre si.

## 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.4.1 Perfil Cultural

#### 4.4.1.2 Grade Pesada



Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões. Lpt $\mu\Delta$ : Volume de solo livre, pequenos torrões com média porosidade interna visível. Fpt+TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, ocorrência de terra fina. Fpt $\mu\Delta$ +TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina. Fpt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível. Fmt $\mu\Delta$ +TF: Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina. Fmt $\mu\Delta$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível. Fmt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível. C $\mu\Delta$ : Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível. C $\Delta\mu$ : Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível. C $\Delta$ : Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado. Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo manejo.

**Figura 4.1:** Representação esquemática dos perfis culturais sob preparo convencional do solo com as Unidades Morfológicas Homogêneas (UMH's) identificadas, realizado com Grade Pesada (GP) em rotação (R) e sucessão (S).

A figura 4.1 representa os perfis com preparo convencional de grade pesada (GPR e GPS). Nos perfis do tratamento GPS, observou-se na camada de 0-10 cm maior ocorrência de estruturas com maiores restrições ao desenvolvimento radicular das plantas, tais como C $\Delta$  e C $\Delta\mu$ , com destaque para C $\Delta$ , estrutura sem fissuras visíveis, formada por torrões principalmente cúbicos e até laminares, faces lisas de ruptura e maior coesão interna, sem porosidade visível, portanto, estrutura

compacta. Há uma clara limitação ao desenvolvimento e ramificação radiculares, com estas prevalecendo nas áreas de menor coesão dos torrões. A porosidade destas estruturas e, conseqüentemente, seu comportamento hídrico e gasoso, estão comprometidos, fato já constatado anteriormente, pois teoricamente formas piramidais apresentam menor porcentagem de poros em relação às cúbicas (Hillel, 1998).

Já, no tratamento GPR, a estrutura superficial predominante é a UMH Lpt $\mu\Delta$ , volume de solo livre, composto de pequenos torrões com média porosidade interna visível, que apresenta características mais favoráveis ao desenvolvimento radicular e maior porosidade. Nos sistemas de preparo de solo tidos como convencionais, esta estrutura superficial é comum e devida principalmente ao preparo secundário, que promove acentuada desagregação do solo. Porém, constata-se que isto ocorreu apenas no perfil cujo tratamento envolve a rotação de culturas (GPR\_3 e GPR\_4) e não está presente no tratamento com sucessão (GPS\_1 e GPS\_2). Portanto, apesar da fragilidade desta estrutura livre na superfície, constata-se que a realização da sucessão de culturas e o conseqüente aumento de volume de raízes e de atividade biológica preserva esta camada, diferentemente do que ocorreu com o tratamento com rotação, em que a camada livre deve ter sido adensada pelos impactos do clima e das operações agrícolas sucessivas, conforme Ralisch et al.,(2010). Esta ocorrência se confirma ao verificarmos a Tabela 4.1.

**Tabela 4.1:** Área (%) de ocorrência das principais UMH's, classificadas no perfil cultural sob plantio convencional com grade pesada em rotação e sucessão.

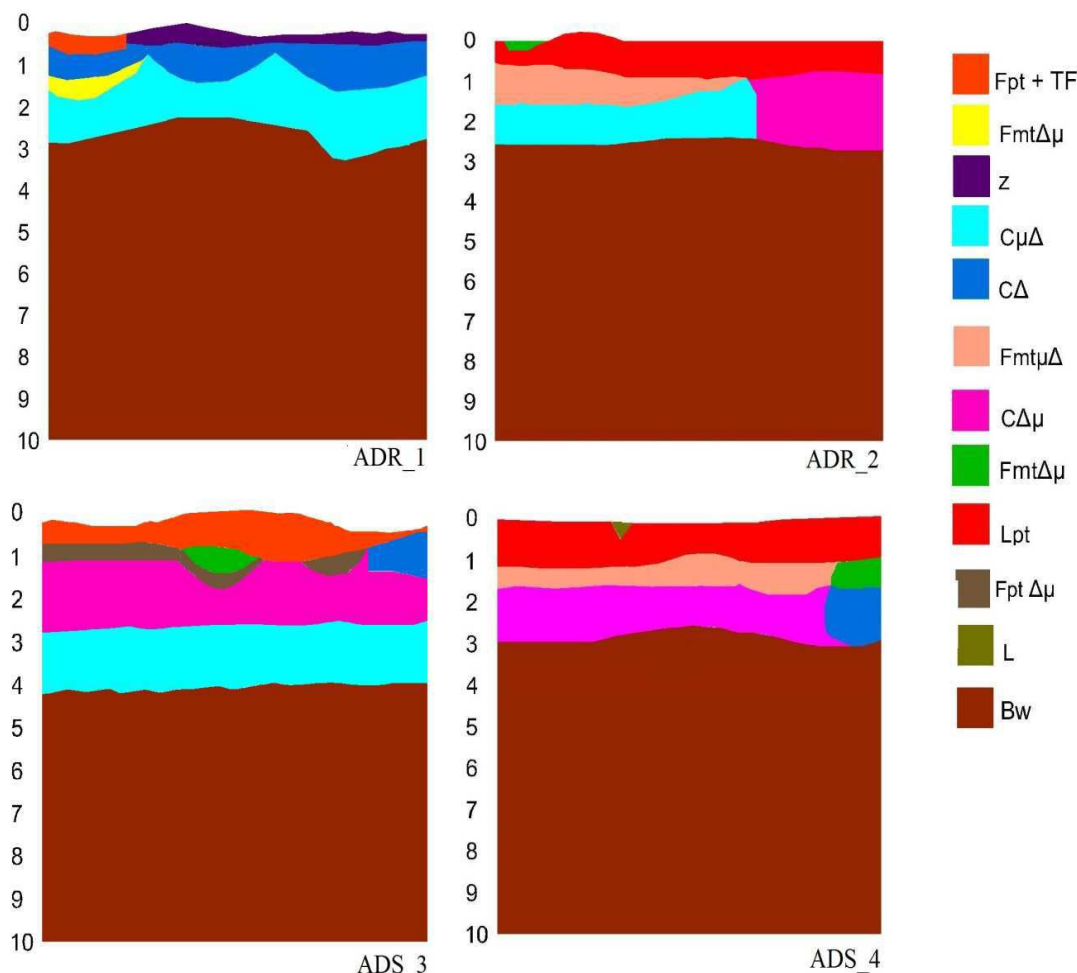
(% ) UMH'S GRADE PESADA												
MANEJO	L	Lpt	Lpt $\mu\Delta$	Fpt $\mu\Delta$ +TF	Fpt $\Delta\mu$	Fmt $\mu\Delta$	Fmt $\Delta\mu$	Fgt $\mu\Delta$	C $\mu\Delta$	C $\Delta\mu$	C $\Delta$	Bw
GPS_1	3.73	1.11	0	0	0	0	4.56	0	12.82	9.190	0	74.06
GPS_2	0	0	0	6.64	0	3.38	0	0	0	14.030	4.36	71.38
<b>MÉDIA GPS</b>	<b>1.86</b>	<b>0.55</b>	<b>0</b>	<b>3.32</b>	<b>0</b>	<b>1.69</b>	<b>2.28</b>	<b>0</b>	<b>6.41</b>	<b>11.61</b>	<b>2.18</b>	<b>72.72</b>
GPR_3	0	0	5.47	0	0	0	4.69	2.89	0	22.08	0	65.85
GPR_4	0	0	5.95	0	2.38	0	8.23	0	8.56	10.41	0	65.41
<b>MÉDIA GPR</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5.71</b>	<b>0</b>	<b>1.19</b>	<b>0</b>	<b>6.46</b>	<b>1.44</b>	<b>4.28</b>	<b>16.24</b>	<b>0</b>	<b>65.63</b>

\*Grade Pesada (GP) em rotação (R) e sucessão (S).

Comparando-se os dados da Tabela 4.1 com os dados da Tabela 4.3 (PDS e PDR) , nota-se maior incidência em termos de área (%) ocupada no perfil, as estruturas fissuradas, na primeira. Isto confirma que o surgimento da

camada fissurada se deve ao efeito do preparo do solo antes da semeadura das culturas de inverno e verão no plantio convencional, conforme também verificado por Tavares Filho e Tessier (2009).

#### 4.4.1.3 Arado de discos



Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões. Lpt $\mu\Delta$ : Volume de solo livre, pequenos torrões com média porosidade interna visível. Fpt+TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, ocorrência de terra fina. Fpt $\mu\Delta$ +TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina. Fpt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível. Fmt $\mu\Delta$ +TF: Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível, ocorrência de terra fina. Fmt $\mu\Delta$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível. Fmt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível. C $\mu\Delta$ : Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível. C $\Delta\mu$ : Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível. C $\Delta$ : Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado. Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo manejo.

**Figura 4.2:** Representação esquemática dos perfis culturais sob preparo convencional do solo com as Unidades Morfológicas Homogêneas (UMH's) identificadas, realizado com Arado de Disco (AD), em rotação (R) e sucessão (S).

A Figura 4.2, apresenta os perfis sob preparo convencional com arado de discos (ADR e ADS). Observa-se a mesma tendência na camada

superficial ao observado nos tratamentos com grade pesada, onde a estrutura desagregada pelo preparo de solo se torna mais estável no tratamento com sucessão de culturas (Fpt). Porém, nestes tratamentos (ADS e ADR) nota-se a maior ocorrência de estruturas com restrições ao desenvolvimento radicular das plantas, tais como  $C\Delta$  e  $C\Delta\mu$ , com destaque para  $C\Delta$  do perfil ADR\_1, estrutura sem fissuras, formada por torrões principalmente cúbicos, e até laminares, com estado interno compacto ( $\Delta$ ), sem porosidade visível. Além do estado de compactação dos torrões limitar o desenvolvimento das raízes, estas apresentam poucas ramificações e crescem nas linhas de menor coesão dos torrões. Os poros não são visíveis a olho nu.

O perfil ADR\_1 (Figura 4.2), ilustra a ocorrência da camada Z superficial ao perfil, associada a ocorrência da camada  $C\Delta$ , imediatamente abaixo. Atribui-se esta segunda camada ao fundo de trabalho dos discos, acentuado pela pressão exercida pelo preparo secundário que originou a camada laminar Z, denotando que a condição de realização das operações de preparo do solo foram distintas no mesmo tratamento. O que pode ser devido a um diferente comportamento de retenção de água do solo e qua a realização de sucessão de culturas não foi suficiente para amenizar este impacto negativo. Por outro lado, constatou-se na avaliação do perfil cultural, uma tendência a recuperação de estrutura do solo pelo desenvolvimento do sistema radicular associado à rotação de culturas, mas aquém da possibilidade de caracterizar definitivamente nas estruturas. A isto pode-se atribuir como uma tendência, mas recomenda-se monitorar a evolução estrutural destes tratamentos.

O mesmo efeito do perfil ADR\_1 reflete na Tabela 4.2, onde a ocorrência das estruturas compactadas tem maior ocorrência no tratamento com rotação de culturas, confirmando que os efeitos no solo dos sistemas de manejo e de culturas são mais susceptíveis às condições de realização das operações agrícolas do que a capacidade de mitigação do sistema de cultura.

**Tabela 4.2:** Área (%) de ocorrência das UMH's, classificadas no perfil cultural sob plantio convencional com Arado de discos rotação e sucessão.

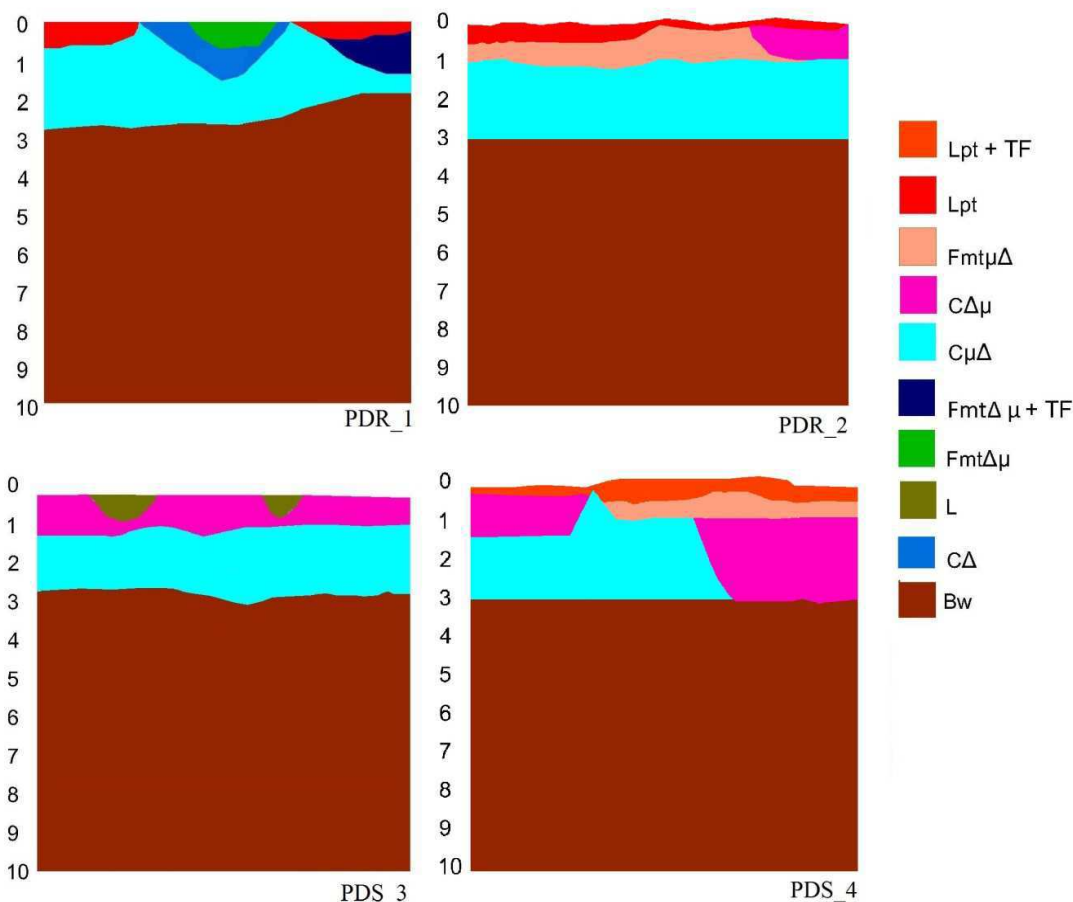
(% ) UMH'S ARADO DE DISCOS												
MANEJO	Lpt	L	Fp t + TF	Fpt $\Delta\mu$	Fmt $\mu\Delta$ + TF	Fmt $\mu\Delta$	Fmt $\Delta\mu$	C $\mu\Delta$	C $\Delta\mu$	z	C $\Delta$	Bw
ADR_1	0	0.85	0	0.96	0	0	0	12.9	0	2.43	7.36	73.45
ADR_2	8.14	0	0	0	4.46	0	1.79	7.2	6.4	0	0	74.41
<b>MÉDIA</b>												
<b>ADR</b>	<b>4.07</b>	<b>0.42</b>	<b>0</b>	<b>0.48</b>	<b>2.23</b>	<b>0</b>	<b>0.90</b>	<b>10.03</b>	<b>3.19</b>	<b>1.21</b>	<b>3.68</b>	<b>73.93</b>
ADS_3	10.00	0.11	0	0	0	5.21	0.83	0.0	10.0	0	1.88	71.35
ADS_4	0	0	6.33	1.73	0	0	8.22	14.3	15.7	0	0	59.35
<b>MÉDIA</b>												
<b>ADS</b>	<b>5.00</b>	<b>0.06</b>	<b>3.16</b>	<b>0.86</b>	<b>0</b>	<b>2.61</b>	<b>4.53</b>	<b>7.13</b>	<b>12.82</b>	<b>0</b>	<b>0.94</b>	<b>65.35</b>

\* Arado de Discos (AD) em rotação (R) e sucessão (S).

Analisando-se a média da ocorrência da estrutura Bw entre os tratamentos com sucessão e rotação de culturas, constata-se que é ligeiramente maior sua porcentagem no tratamento com rotação (Tabela 4.2), reforçando que a sucessão não é suficiente para reduzir sensivelmente o nível ou profundidade de antropização provocado pelo preparo de solo. O mínimo efeito positivo observado no tratamento com rotação de culturas se deve a maior diversidade de espécies vegetais com sistemas radiculares capazes de explorar maiores profundidades.

#### 4.4.1.4 Plantio direto PD

Na avaliação do modo de organização dos volumes de solo encontrados na descrição do perfil cultural sob manejo convencional e plantio direto foram detectadas diferenças a olho nú.



Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões. Fpt+TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, ocorrência de terra fina. . Fpt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível. Fmt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível. Fmt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível. C $\mu\Delta$ : Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível. C $\Delta\mu$ : Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível. C $\Delta$ : Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado. Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo manejo.

**Figura 4.3:** Representação esquemática dos perfis culturais sob plantio direto do solo com as Unidades Morfológicas Homogêneas (UMH's) identificadas, plantio direto (PD) e, em rotação (R) e sucessão (S).

Os perfis sob plantio direto (PDS e PDR) (Figura 4.3), mostram uma clara tendência de ocorrência de camadas superficiais mais contínuas e compactas e coesas no tratamento com sucessão, o que pode ser confirmado na Tabela 3. Isto se deve ao efeito induzido pelo mais e mais abundante enraizamento promovido pela rotação de culturas, associado à provável maior atividade biológica e à proteção da superfície do solo aos efeitos climáticos, como impacto das gotas de chuva e insolação, visto que a cobertura do solo é maior neste tratamento.

Nos perfis sob plantio direto verificou-se pouca incidência da UMH C $\Delta$ , estrutura sem descontinuidade macroscópica (fissuras), formada por torrões

principalmente cúbicos, e até laminares, com estado interno compacto ( $\Delta$ ), sem porosidade visível. Quando identificadas, essas situaram-se em lugares pontuais geralmente coincidindo com as linhas de semeadura, provavelmente provenientes do trânsito de máquinas (Figura 4.3). Essa característica confere vantagens a esse sistema se comparado ao convencional, visto que essas estruturas compactas conferem limitações ao crescimento das raízes, assim como o comprometimento da percolação de água no sistema como um todo.

Inerente à metodologia do Perfil Cultural, constatou-se que as poucas unidades  $C\Delta$  identificadas sob plantio direto apresentaram menor quantidade de raízes e de atividade biológica em relação às UMH's do tipo F (fragmentadas), C (contínuas) com suas variações de porosidade interna visível  $\mu\Delta/\Delta\mu$ , como já era esperado e também constatado por Silva et al, (2011). Já as estruturas fissuradas (F), (volume de solo fissurados com suas variações de torrões pequenos/médios/grandes),(Tabela 4.3), ocorreram em menores proporções no sistema, quando comparados aos sistemas convencionais, visto que uma das causas da fissuração é justamente a ação das ferramentas dos implementos sobre estruturas previamente compactadas.

Nos sistemas com plantio direto nota-se maior área (%) ocupada pela unidade Bw (Tabela 4.3), a maior ocorrência dessa unidade é diretamente proporcional ao menor impacto proporcionado pelo sistema. Nas mesmas tabelas observa-se maior perturbação e profundidade de antropização dos sistemas convencionais em relação ao plantio direto. Depois dessa unidade, as UMH's  $C\mu\Delta$  e  $C\Delta\mu$  representam a maior área nos perfis, que apesar de serem uma estrutura C, não se observou restrições ao enraizamento, em função da porosidade ainda presente. Essas UMH's sob sistema plantio direto em Latossolo também foram encontrados por Ralisch (1995) e Cardoso et al. (2006) até 50 cm de profundidade, sendo que, apesar de serem encontradas a profundidades maiores profundamente, apresentavam as mesmas tendências descritas neste trabalho.

**Tabela 4.3:** Área em (%) de ocorrência das principais UMH's, classificadas no perfil cultural sob plantio direto em rotação e sucessão.

UMH'S PLANTIO DIRETO								
MANEJO	Lpt	Fmt $\mu\Delta$ + TF	Fmt + PF $\Delta\mu$	Fmt $\Delta\mu$	C $\mu\Delta$	C $\Delta\mu$	C $\Delta$	Bw
PDR_1	2.57	0	1.72	1.21	16.73	0	2.42	75.31
PDR_2	3.29	5.39	0	0	0	1.85	0	69.64
<b>Média PDR</b>	<b>2.93</b>	<b>2.69</b>	<b>0.86</b>	<b>0.60</b>	<b>8.36</b>	<b>0.92</b>	<b>1.21</b>	<b>72.48</b>
PDS_3	3.95	3.15	0	0	0	11.29	0	70.65
PDS_4	0	0	0	0	0	16.62	0	72.05
<b>Média PDS</b>	<b>1.97</b>	<b>1.57</b>	<b>0.</b>	<b>0</b>	<b>0.</b>	<b>13.96</b>	<b>0</b>	<b>71.35</b>

\*Plantio Direto (PD) e, em rotação (R) e sucessão (S).

Em geral, todos os perfis sob plantio direto apresentaram boa cobertura do solo, conferida justamente pela prática do plantio direto. A utilização de plantas com a finalidade de promover a cobertura do solo e/ou adubação verde tem reconhecido efeito sobre as condições físicas, químicas e biológicas do solo (Miyasawa et al., 1993; Calegari, 2000). Oliveira et al., 2003 estudando a influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional, por exemplo, indicam que a ausência de movimentação do solo (PD) e a rotação de culturas potencializaram o acúmulo de C e N do solo e reforçam que a adoção da rotação de culturas, principalmente envolvendo espécies para adubação verde é uma condição necessária para o plantio direto apresentar os benefícios desejados ao sistema solo, em relação ao preparo convencional.

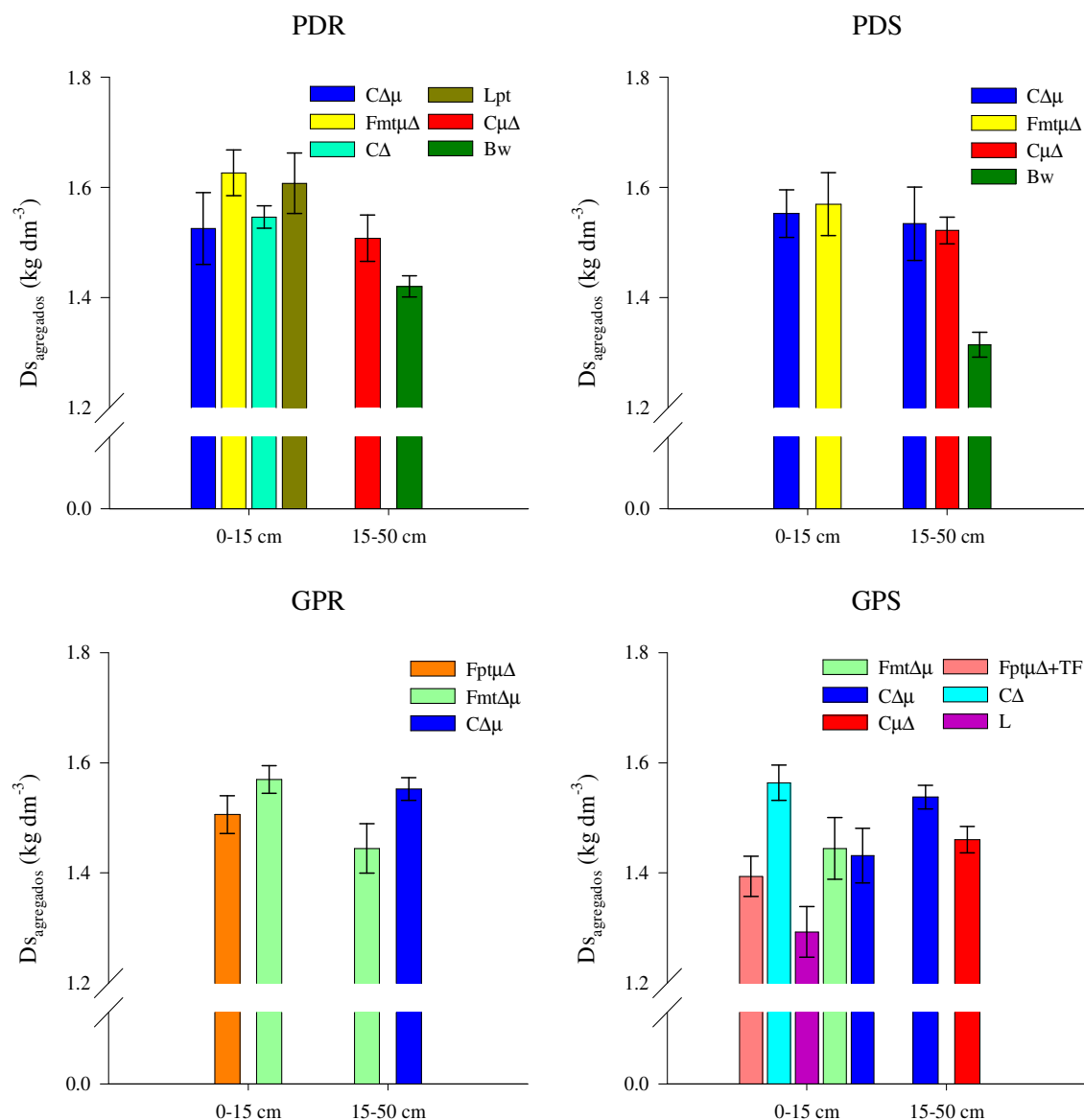
Ademais, no plantio direto, a intensidade da mineralização dos restos culturais fica restrita a camada mais superficial do solo, já, nas camadas inferiores, o solo permanece intacto e toda a parte radicular será mineralizada por processos menos intensos, favorecendo assim os benefícios da rotação de plantas com diferentes qualidades de resíduos e tipos de sistema radicular. A importância da cobertura do solo na melhoria da sua qualidade física foi evidenciada por Fidalski et al. (2009) em diferentes sistemas de preparo e cobertura morta.

Outra característica marcantes observada em comparação aos sistemas de plantio direto foi a profundidade de antropização em cada perfil, sendo maiores nos sistemas convencionais, visto que o preparo convencional do solo confere maior revolvimento, portanto, maior perturbação do mesmo. Em relação aos efeitos da rotação e sucessão dentro do mesmo sistema, notou-se que a profundidade de antropização foi menor nos perfis sob plantio direto com rotação,

em comparação aos sistemas convencionais. Esse fato, além de estar associado a maior diversidade de espécies vegetais com sistemas radiculares capazes de explorar maiores profundidades no sistema de rotação de culturas, também pode denotar um possível efeito benéfico da escarificação sobre o sistema. Domingos et al (2009), também observam efeitos antrópicos em camadas mais profundas no sistema convencional quando comparado ao plantio direto.

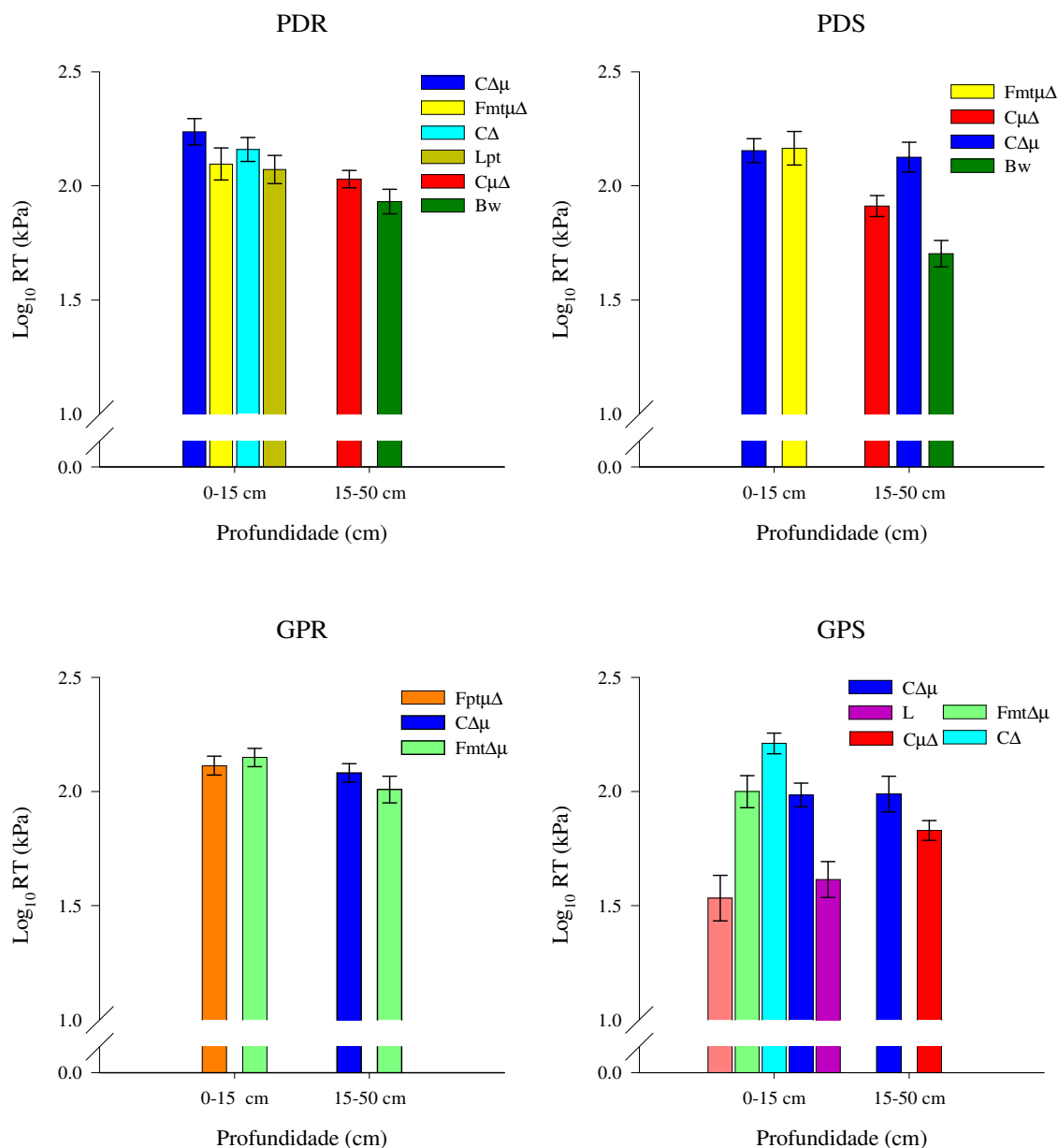
#### 4.4. 2 RT e Ds

Concomitantemente às avaliações visuais dos perfis, seguem as avaliações quantitativas. Na Figura 4.4, estão apresentados os valores médios de densidade de agregados ( $D_{sa}$ ) para as UMH's. O menor valor observado de  $D_{sa}$  foi para a UMH L ( $1,29 \text{ kg dm}^{-3}$ ) no tratamento GPS e o maior para Fmt $\mu\Delta$  ( $1,63 \text{ kg dm}^{-3}$ ) no tratamento PDR. Além de ter sido observado pelo perfil cultural uma diferenciação nos efeitos dos sistemas de rotação nas estruturas, para a  $D_{sa}$  também foi possível identificar algumas diferenças. Por exemplo, a  $D_{sa}$  da UMH Bw foi significativamente maior em PDR do que em PDS (IC95%), assim como, a UMH Fmt $\Delta\mu$  na camada de 0-15 cm apresentou maior  $D_{sa}$  no tratamento GPR quando comparado com o GPS, (Figura 4.4). Esses resultados corroboram com os obtidos pelo perfil cultural e indicam que o sistema de rotação resulta em maiores impactos na estrutura do solo até nas camadas mais profundas.



if

**Figura 4.4:** Densidade de agregados ( $Ds$ ) de unidades morfologicamente homogêneas identificadas em Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (GP) com rotação (R) e sucessão (S) de culturas. As barras de erro representam o intervalo de confiança de 95%. C: volume de solo contínuo em que não se distinguem agregados, F: volume de solo formado de agregado separados por uma rede de fissuras, L: volume de solo solto, poroso constituído de torrões de tamanhos variados,  $\mu$ : torrões com forte porosidade interna principalmente arredondadas,  $\Delta$ : torrões com baixa ou nenhuma porosidade visível,  $\Delta\mu$  e  $\mu\Delta$ : porosidade interna dos torrões intermediária, mt: médios torrões, pt: pequenos torrões, Bw: camada não alterada pelo manejo.



**Figura 4.5:** Resistência t $\acute{e}$ nsil de agregados (RT) de unidades morfologicamente homog $\acute{e}$ neas identificadas em Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto (PD) e convencional (GP) com rota $\acute{c}$ o (R) e sucess $\acute{a}$ o (S) de culturas. As barras de erro representam o intervalo de confian $\c$ a de 95%. C: volume de solo cont $\acute{i}$ nua em que n $\acute{a}$ o se distinguem agregados, F: volume de solo formado de agregado separados por uma rede de fissuras, L: volume de solo solto, poroso constitu $\acute{i}$ do de torr $\circ$ es de tamanhos variados,  $\mu$ : torr $\circ$ es com forte porosidade interna principalmente arredondadas,  $\Delta$ : torr $\circ$ es com baixa ou nenhuma porosidade vis $\acute{i}$ vel,  $\Delta\mu$  e  $\mu\Delta$ : porosidade interna dos torr $\circ$ es intermedi $\acute{a}$ ria, mt: m $\acute{e}$ dios torr $\circ$ es, pt: pequenos torr $\circ$ es, Bw: camada n $\acute{a}$ o alterada pelo manejo.

Na figura 4.5, s $\acute{a}$ o apresentados os valores m $\acute{e}$ dios de RT para as UMH's nos tratamentos de manejo do solo e de culturas. As UMH's identificadas como C $\Delta$ , Fmt $\mu\Delta$  e Fpt $\mu\Delta$ , n $\acute{a}$ o diferiram entre si e apresentaram os maiores valores

médios de RT, enquanto que  $C_{\mu\Delta}$  apresentou um valor de RT próximo ao da estrutura Bw, indicando um menor efeito do manejo nas estruturas  $C_{\mu\Delta}$ . Neste caso, é possível observar que as UMH's com maior RT ( $C_{\Delta}$ ,  $F_{m\mu\Delta}$  e  $F_{p\mu\Delta}$ ) ocorrem na camada de 0-15 cm, enquanto que  $C_{\mu\Delta}$  e Bw na camada de 15-50 cm (Figura 6). De acordo com Barik et al. (2014), os efeitos do tráfego de maquinários agrícolas nas propriedades físicas (densidade do solo, estabilidade de agregados, resistência à penetração, porosidade total) ocorrem principalmente na camada de 0-10 cm, porque os efeitos da proximidade de contato solo-pneu são em grande parte confinadas às camadas superficiais do solo. Outro aspecto, é que nas camadas superficiais ocorre uma maior concentração de COS que aumenta a RT em solos com altos teores de argila (Imhoff et al., 2002), além de aumentar a retenção de água no solo e reduzir sua densidade, aumentando o risco de deformação do solo durante o tráfego de máquinas. (Défossez et al., 2014).

Os resultados mostram que para a UMH do tipo  $C_{\Delta\mu}$  ocorrem maiores valores de RT nos tratamentos sob plantio direto (PDR e PDS), quando comparado com o plantio convencional (GPR e GPS), ou seja, em sistemas com revolvimento do solo há uma redução da RT. Estes resultados corroboram com Bavoso et al. (2010) e discordam de Blanco-Canqui et al. (2005), Abid and Lal (2009) e Blanco-Moure et al. (2012) que demonstraram redução da RT em agregados obtidos sob plantio direto devido ao aumento ao COS em solo sob plantio direto quando comparado com preparo convencional. Segundo Imhoff et al. (2002), em solos tropicais, os óxidos de ferro podem alterar as cargas das superfícies dos minerais, aumentando a ligação entre as partículas minerais e orgânicas, conseqüentemente aumentando a RT.

Neste estudo, para a profundidade de 0-30, cm os teores de COS são maiores no PD (1,86 %) do que no PC (1,68 %). Isto significa que mesmo com maiores teores de COS sob PD, estes não contribuíram para reduzir a RT dos agregados. Alguns autores têm relatado relação positiva entre RT e COS (Blanco-Canqui and Lal, 2007; Freitas Seben et al., 2013; Guimarães et al., 2009; Reis et al., 2014). Possivelmente, sob mesma estrutura, a densidade dos agregados é maior sob PD devido que no momento das operações motomecanizadas, a palhada sob plantio direto favorece maior conteúdo de água, promovendo aumento na  $D_{as}$ , e por conseqüência, maiores valores de RT. Guérif (1990) argumenta que a maior RT em

solos argilosos pode ocorrer após a compactação em solos com maiores conteúdos de água.

Considerando o mesmo sistema de manejo do solo, os valores de RT das UMH's Bw e  $C_{\mu\Delta}$  na camada de 15-50 cm do plantio direto, e,  $F_{mt\Delta\mu}$  na camada de 0-15 cm no preparo convencional, apresentaram maiores valores de RT nos sistemas com rotação (IC 95%) do que com sucessão (Figura 4.5), no entanto, tal comportamento não acontece para a Das, (Figura 4.4). Estes resultados sugerem que a rotação de culturas estabelece agregados mais resistentes, culminando com maiores valores de RT. A qualidade do material orgânico adicionado ao solo nos diferentes sistemas de manejo (rotação e sucessão) pode ser um dos fatores que diferencia a RT. De acordo com Ekwue (1990) a adição de matéria orgânica proveniente de gramíneas resultou no aumento da RT, enquanto que a adição de turfa reduziu a RT. Zhang (1994), verificou a redução da RT a medida que houve aumento de matéria orgânica e redução do grau de humificação.

Outro fator que diferencia os sistemas de rotação e sucessão é a quantidade de material adicionado: por exemplo, a cultura do milho aporta maior palhada ao solo, o que justifica o maior teor de COS no sistema de rotação em comparação com o sistema de sucessão trigo-soja. O efeito da adição de palhada na RT foi demonstrado no estudo de Blanco-Canqui e Lal (2007), que observaram aumento da RT com o aumento sucessivo da palhada depositada sob a superfície do solo. Blanco-Canqui et al., (2007, também demonstraram mudanças significativas na RT até a profundidade de 50 cm com deposição de palhada de  $16 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

De maneira geral, os sistemas de culturas avaliados (rotação e sucessão) resultaram em efeitos distintos na qualidade estrutural do solo em todos os sistemas de manejos avaliados utilizando o perfil cultural, assim como, os resultados das análises físicas de RT indicaram efeitos moderados do sistema de culturas no comportamento físico.

## 4.5 CONCLUSÕES

Os sistemas de preparo intensivos com revolvimento do solo apresentaram impacto nas camadas mais profundas, comparativamente com o plantio direto. No plantio convencional, o surgimento da camada fissurada se deve ao efeito do preparo do solo antes da semeadura das culturas de inverno e verão. E,

em algumas situações, o sistema de rotação de culturas não foi suficiente para amenizar os impactos do preparo do solo.

Os sistemas de rotação de culturas apresentaram estruturas contínuas e compactas (CΔ), contudo essas estruturas restritivas ao crescimento encontravam-se em áreas pontuais do perfil, por exemplo abaixo da linha de semeadura. Do ponto de vista físico, estruturas mais resistentes que não limitam o enraizamento são benéficas pelo fato de serem mais resistentes à quebra em situações como impacto de gotas de chuvas ou transito de máquinas.

## 5 ARTIGO C: CARACTERIZAÇÃO DE UNIDADES ESTRUTURAIS MORFOLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS EM PERFIS CULTURAIS DE UM LATOSSOLO VERMELHO COM AUXÍLIO DA MICROMORFOLOGIA

### 5.1 RESUMO

As modificações antrópicas, causadas por atividades como cultivo e tráfego de máquinas, afetam diretamente a estrutura do solo, um dos principais atributos de sua qualidade. O estudo da morfologia do solo possibilita visualização da estrutura e do espaço poroso do solo, tornando a análise de imagens e a micromorfologia ferramentas importantes na compreensão e interpretação dos efeitos do manejo. O objetivo do trabalho foi avaliar aspectos micromorfológicos e micromorfométricos de unidades estruturais morfolologicamente homogêneas (UMH's) identificadas em perfis culturais sob diferentes sistemas de manejo do solo e culturas. Em um experimento de longa duração, em Latossolo Vermelho Eutrófico, localizado no Norte do Estado do Paraná, foram avaliados quatro sistemas de manejo do solo : Convencional com arado de disco, Convencional com Grade Pesada, Plantio Direto escarificado a cada três anos e Plantio Direto; e dois sistemas de culturas: rotação e sucessão. Ao todo foram abertas 16 trincheiras e em cada uma foram descritas e classificadas as unidades morfolologicamente homogêneas (UMH's) do solo pelo método do perfil cultural. Nessas UMH's foram coletadas amostras indeformadas de solo e confeccionados blocos e lâminas delgadas utilizados nas análises micromorfológicas e micromorfométricas. Os resultados dessas análises permitiram observar e quantificar variações no número e distribuição do tamanho dos poros.

Palavras chave: Plantio Convencional, Plantio direto, análise de imagens, lâminas delgadas do solo, manejo do solo.

CHARACTERISTICS OF HOMOGENEOUS MORPHOLOGICAL UNITS IN CULTURAL PROFILES OF A RHODIC EUTRUDOX AIDING OF MICROMORPHOLOGY

### ABSTRAT

Anthropogenic changes caused by activities such as farming and machinery traffic, directly affect soil structure, one of the main attributes of quality. The soil morphology study allows visualization of the structure and porous space, making the analysis of images and the morphology important tools for understanding and interpretation of the management effects. The aim was to evaluate micromorphological and micromorfometrical aspects of homogeneous morphological units (HMU's) identified in cultural profiles under different soil management systems and cultures. In a long-term experiment in Rhadic Hapludox, located in the north of Parana State, were evaluated four tillage systems: Conventional tillage with a disk plow, Conventional tillage with a heavy disk, No-tillage, No-tillage and chiseling every 3 years all with two crop systems and two cropping systems: rotation and succession. In total, were 16 open trenches and each have been described and classified homogeneous morphological units (UMH's) soil by the cultural profile method. Within these UMH's undisturbed soil samples were collected and made blocks and thin sections used in the micromorphological and micromorfométricas analyzes The results of these

analyses allowed to observe and quantify variations in the number and distribution of pore size

Key words: Conventional tillage, no-tillage, analysis of image, thin sections of soil, soil management.

## 5.2 INTRODUÇÃO

Diversos trabalhos e pesquisas vem sendo realizados visando avaliar os efeitos de práticas de manejo sobre as propriedades físicas dos solos. O solo cultivado, tende a ter sua estrutura original alterada pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, o que leva à redução do volume de macroporos e aumento no volume de microporos e na densidade do solo (Bertol et al., 2007). A descrição e a quantificação detalhada das feições do solo utilizando técnicas micromorfológicas e de análise de imagens permitem obter evidências acerca dessas mudanças nos atributos físicos do solo (Castro et al., 2003).

A porosidade é umas das principais características afetadas pelos manejos, Os inúmeros processos que ocorrem no espaço poroso do solo promovem o surgimento de poros com formas e tamanhos distintos. Alguns sistemas são propostos para descrever a morfologia dos poros, como a de Bullock et al., (1985) que, com base no sistema proposto por Brewer (1964), apresentam uma classificação que consiste em poros do tipo: empacotamento ou empilhamento, cavidades, canais, vesículas e fissuras. Para Ringrose-Voase, 1987, os poros tipo empacotamento e as fissuras são considerados poros estruturais, por surgirem vinculados à formação e arranjo das unidades estruturais do solo, apresentam definição da unidade estrutural do solo; e os poros tipo canais, cavidades, câmaras e vesículas não têm relação com as unidades estruturais. Para Richard et al., 2001, os poros estruturais são resultantes do cultivo, tráfego, tempo e da atividade biológica do solo, sendo considerados bons indicadores dos processos de compactação; esses autores apresentam uma visão diferente de Bullock et al. (1985), principalmente em relação a atividade biológica, que são considerados os principais responsáveis pela geração de câmaras e canais Os bioporos apesar de representarem pequeno volume em relação ao volume total de poros, são altamente funcionais e reduzem a resistência do solo à penetração das raízes (Genro Júnior et al., 2004).

Pagliai et al., 1983, utilizando micromorfologia do solo mostraram que mudanças ocorridas solos podem variar de acordo com os diversos sistemas de manejo aplicados, evidenciando importante papel nas suas características estruturais, segundo Drees et al. 1994, alterações nas propriedades do solo, são advindas principalmente das alterações na estrutura do solo em microescala.

Nesse contexto, o uso de técnicas de análise de imagens nos estudos quantitativos e qualitativos de estrutura do solo tem-se tornado mais comum, aplicadas como uma ferramenta de auxílio aos conhecimentos já adquiridos. Com o auxílio das técnicas de processamento e análise digital de imagem, a micromorfologia é capaz de fornecer resultados de porosidade com precisão além de possibilitar a visualização das alterações estruturais ocasionadas pela compactação e adensamento do solo (STOOPS, 2003).

O objetivo do trabalho foi avaliar aspectos micromorfológicos e micromorfométricos de unidades estruturais morfologicamente homogêneas (UMH's) identificadas em perfis culturais sob diferentes sistemas de manejo do solo e culturas.

## 5.3 MATERIAL E METODOS

### 5.3.1 Descrição da área

O trabalho foi conduzido no Campo Experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja), localizado em Londrina - PR, Brasil, a 620 metros de altitude, 23°11' latitude S e 51°11' longitude, em um experimento de manejo de longa duração, instalado na safra 1988/89. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico, com 710 g kg<sup>-1</sup> de argila, 82 g kg<sup>-1</sup> de silte e 208 g kg<sup>-1</sup> de areia. A declividade média da área experimental é de 0.03 m m<sup>-1</sup>. O clima da região corresponde ao tipo Cfa (mesotérmico úmido), segundo a classificação de Köppen-Geinger, com temperatura média anual de 21° C, média das máximas de 28.5° C em fevereiro e média das mínimas de 13.3° C em julho. A média anual de precipitação é de 1.651 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (217 mm) e agosto o mês mais seco (60 mm). A vegetação nativa está inserida no domínio de Mata Atlântica, classificada como Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 1992).

O experimento foi instalado em delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições, em parcelas de 7,5 x 30,0 m (225 m<sup>2</sup>). Os tratamentos foram compostos de quatro sistemas de preparo do solo: (1) plantio direto, em rotação e sucessão (PDR/PDS); (2) preparo convencional com arado de discos a 0.20 – 0.25 m de profundidade média, realizado antes da cultura de verão, em rotação e sucessão (ADR/ADS); (3) grade pesada a profundidade média de 0,15 m, ou arado de aivecas com profundidade de atuação média de 0,35 m, seguido de uma gradagem leve a profundidade média de 0.08 m, em rotação e sucessão (GPR/GPS); e, (4) sistema plantio direto com escarificação a cada três anos, antes das culturas de inverno, com escarificador equipado com cinco hastes trabalhando a uma profundidade média de 0.25 m, sem gradagem subsequente, em rotação e sucessão (PDER /PDES). E, dois sistemas de culturas: sucessão de culturas soja (*Glycine max* (L.) Merr.) / trigo (*Triticum aestivum* L.) e rotação de culturas incluindo culturas de grãos [soja, milho (*Zea mays* L.) e trigo] e de cobertura e adubação verde [tremoço (*Lupinus albus* L.), e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.)].

Nos tratamentos (2) e (3), o preparo do solo antes das culturas de inverno foi realizado todos os anos com grade pesada a profundidade média de 0,15

m, seguida de uma gradagem leve para destorroamento /nivelamento do solo, a profundidade média de 0,08 m.

A implantação e o manejo das espécies vegetais envolvidas no experimento, incluindo cultivares, época de semeadura, espaçamento, população de plantas, adubação e tratamentos fitossanitários, foram realizados de maneira uniforme para todos os tratamentos e em consonância com as indicações técnicas para o Estado do Paraná. No entanto, as espécies vegetais utilizadas para cobertura de solo (tremoço e aveia preta) não foram adubadas, conforme Franchini et al. (2012).

### 5.3.2 Perfil Cultural Do Solo

Com vistas a detectar as modificações morfológicas provocadas pelos diferentes manejos, em cada sistema de preparo e de cultura, foram abertas duas trincheiras perpendiculares ao sentido da operação dos implementos, (1x1x1 m de largura, altura e comprimento), totalizando 16 perfis. Em cada trincheira, em uma das faces foram descritos os perfis e a caracterização das unidades morfolologicamente homogêneas (HMU's), de acordo com o MPC ( Método do Perfil Cultural), adaptado para solos tropicais conforme Tavares Filho et al. (1999). Após foram confeccionados mapas para representação esquemática dos perfis e mensuração da proporção de cada UMH, identificadas de acordo com as características apresentadas na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1:** Descrição UMH's identificadas.

HMU's	Descrição
L	Volume de solo livre.
Lpt	Volume de solo livre, pequenos torrões.
Lpt $\mu\Delta$	Volume de solo livre, pequenos torrões com média porosidade interna visível.
Fpt $\mu\Delta$	Volume de solo fissurado, pequenos torrões, média porosidade interna visível.
Fpt $\Delta\mu$	Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível.
Fmt $\mu\Delta$	Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível.
Fmt $\Delta\mu$	Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível.
C $\mu\Delta$	Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível.
C $\Delta\mu$	Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível.
C $\Delta$	Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado.
Bw	Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo manejo.

### 5.3.3 Análises micromorfológicas e micromorfométricas

Foram selecionadas as UMH's mais representativas de cada perfil, Para a confecção dos blocos e das lâminas delgadas de solo, totalizando 17 blocos e 17 lâminas (Tabela 5.2). Para tanto, amostras indeformadas de cada UMH selecionada foram coletadas utilizando-se caixa de papel-cartão com dimensões de 7 x 12 x 6 cm. Para a retirada destas amostras, a caixa foi introduzida na parede da trincheira após esculpimento da amostra e, posteriormente, separada com o auxílio de uma faca. Após a extração, cada amostra foi identificada quanto ao local de coleta, profundidade e orientação em relação à superfície do solo.

**Tabela 5.2:** Identificação dos blocos e lâminas com suas UMH's e manejos correspondentes.

Lâmina	Manejo	UMH	Lâmina	Manejo	UMH
N-1	PDES	Fpt $\mu\Delta$	N-10	PDS	C $\mu\Delta$ /Bw
N-2	PDES	C $\Delta\mu$	N11	GPR	Fmt $\Delta\mu$
N-3	ADS	C $\Delta$	N12	GPR	C $\Delta\mu$
N-4	PDER	C $\Delta\mu$	N13	GPR	C $\Delta\mu$ /C $\mu\Delta$
N-5	PDER	C $\mu\Delta$ /Bw	N14	PDR	C $\Delta\mu$
N-6	GPS	C $\mu\Delta$	N15	PDR	C $\mu\Delta$ /Bw
N-8	ADR	C $\mu\Delta$	N16	GPS	C $\Delta$
N-9	PDS	C $\Delta\mu$	N17	PDER	C $\mu\Delta$
			N19	ADS	C $\Delta\mu$

(C $\Delta$ ) Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado C $\Delta\mu$ : Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível (C $\Delta\mu$ ) ; C $\mu\Delta$ : Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível(C $\mu\Delta$ :) Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões; Fpt: Volume de solo fissurado, pequenos torrões Fmt: Volume de solo fissurado, médios torrões Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo. Fpt+TF:Volume de solo fissurado, pequenos torrões, ocorrência de terra fina. Fpt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível (Fpt $\Delta\mu$ ). Fmt $\mu$ D: Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível (Fmt $\mu$ D). Fmt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível (Fmt $\Delta\mu$ ). PDR/PDS: plantio direto, em rotação e sucessão; ADR/ADS: preparo convencional com arado de discos em rotação/ sucessão; GPR/GPS: grade pesada em rotação/sucessão (GPR/GPS); e PDER/PDES: sistema plantio direto com escarificação a cada três anos, em rotação/sucessão.

### 5.3.4 Confecção de blocos e lâminas Delgadas

No laboratório de solos da Universidade Estadual de Londrina- UEL, as amostras indeformadas de solo foram submetidas à secagem ao ar por 60 dias e, em seguida, colocadas em estufa com ventilação forçada a 40°C por 48 horas, para retirada de toda água presente na amostra.

As amostras indeformadas foram impregnadas com resina poliéster por capilaridade em câmara de vácuo, a viscosidade da resina foi reduzida com a adição de monômero de estireno para facilitar a penetração da resina no interior da amostra (CASTRO et. al., 2003), adicionada de pigmento fluorescente Tinopal (Ciba-Geigy®).

Após impregnação das amostras e cura da resina, os blocos foram encaminhados para o Laboratório de Micromorfologia do Solo do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, onde foram cortados em fatias utilizando serra de diamante, destinando-se uma para a confecção de um bloco para análise de imagens e caracterização quantitativa da porosidade e outra para a obtenção de lâmina delgada. Para confecção das lâminas delgadas, uma das faces da fatia foi polida no disco rotatório utilizando como abrasivo o carbureto de silício de diferentes granulações, até atingir espessura de cerca de 30  $\mu\text{m}$ , desejável para análise ao microscópio óptico. Os procedimentos de confecção dos blocos e das lâminas estão descritos em CASTRO et al. (2003).

Para avaliações quantitativas (micromorfometria) da porosidade, foram utilizados blocos de dimensões de 6 x 6,5 cm e para a descrição micromorfológica as lâminas delgadas de 6,5 x 4 cm. A análise de imagens dos blocos de solo foi realizada no Laboratório de Microscopia do e a descrição das lâminas delgadas de solo ocorreram no Laboratório de Microscopia do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP.

As lâminas foram analisadas em lupa binocular Wild e com microscópio óptico petrográfico Zeiss, sob luz normal (LN) e polarizada (LP). As descrições seguiram os critérios e terminologia propostos por Bullock et al. (1985). A análise descritiva compreendeu principalmente a identificação dos componentes da trama (material fino, material grosseiro e poros), sua frequência aproximada, distribuição relativa, identificação e descrição da microestrutura. A sequência de descrição partiu das observações das lâminas da base para o topo dos perfis seguindo as recomendações de CASTRO et al. (2003).

### *5.3.5 Análise de imagens*

Com o procedimento de análise de imagens, foram adquiridas 15 imagens por bloco, totalizando 300 imagens. Para a quantificação da porosidade, os

blocos de solo foram iluminados com luz ultravioleta e fotografados com o auxílio de uma câmera digital (Sony®, modelo DFW-X700), em sistema “charged couple device” (CCD), acoplada a lupa binocular .

Para cada bloco de uma UMH de cada perfil, foram obtidas aleatoriamente 15 fotomicrografias, compondo imagens com dimensões de 12x15 mm (180 mm<sup>2</sup>) As imagens foram digitalizadas em 1024x768 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, em aumento de 10X, onde a área de cada pixel corresponde a 156,25 µm<sup>2</sup>. A identificação dos poros na imagem foi feita pela delimitação da limiarização (“thresholding”) de tons de cinza para cada conjunto de imagens. Posteriormente, foi realizada a binarização e etiquetagem das imagens empregando o programa de análises de imagem Noesis Visilog 5.4. A operação de etiquetagem possibilitou reconhecer e individualizar os poros sobre cada imagem binária por meio de um critério de conexão,( SILVA 2011).

Os poros foram classificados de acordo com sua forma e divididos em três grupos, 1: arredondados (canais e cavidades isoladas); 2: alongados (fissuras); 3: complexos (empacotamento), (COOPER et al. 2015).

## **5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As observações microscópicas das lâminas delgadas revelaram diferenciações da geometria do espaço poroso, e essas diferenciações foram atribuídas a alterações causadas pelo manejo. As descrições micromorfológicas estão sumarizadas nos Quadros 5.1 e 5.2, nas Figuras 5.3 a 5.18, representando os sistemas de plantio direto e convencional, respectivamente.

### *5.4.1 Observações gerais*

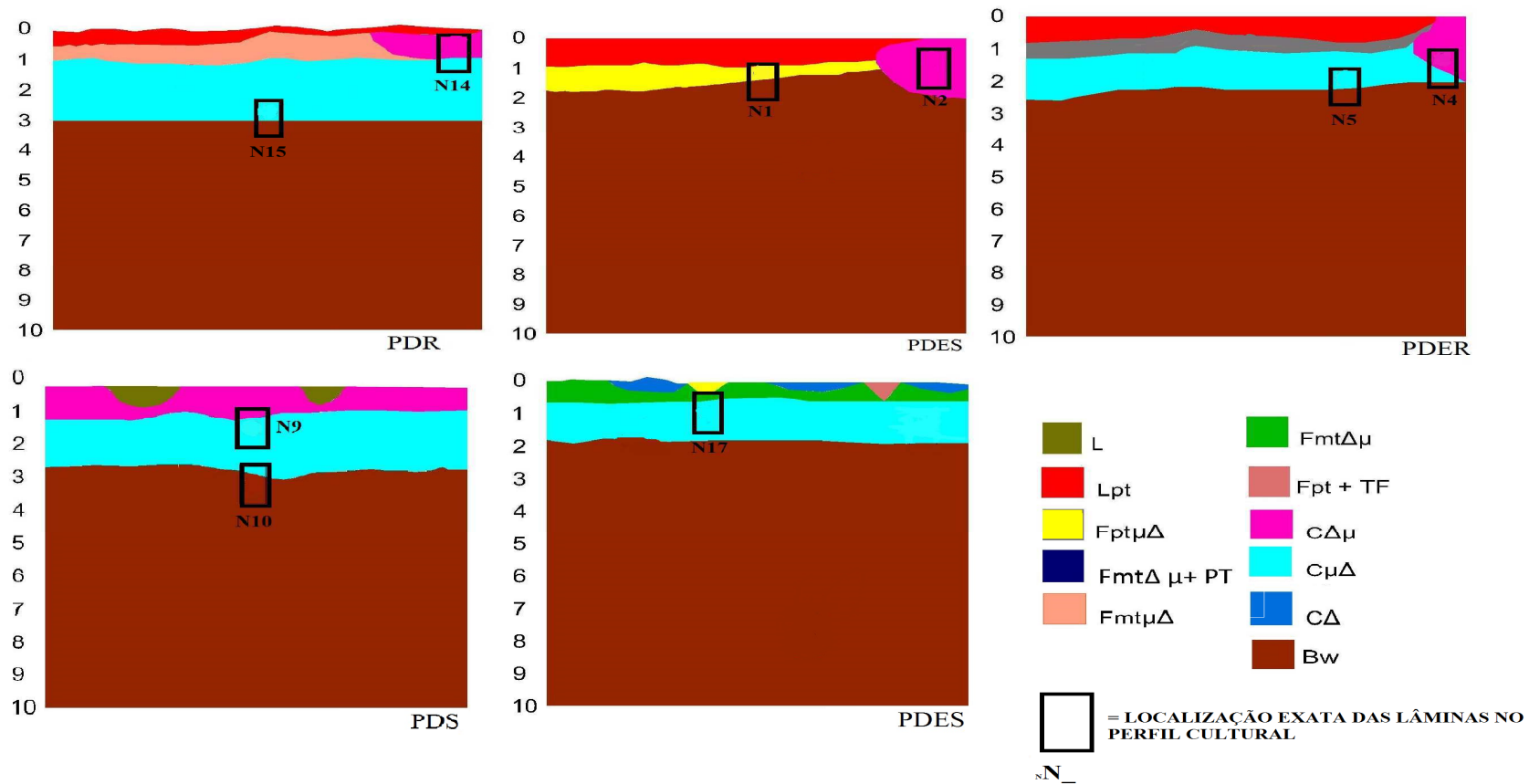
Dentre as características micromorfológicas básicas, dá-se ênfase neste estudo para a relação G/F: razão entre a parte ocupada pelo material grosseiro (G) e pelo material fino (F). Para a descrição sistemática da relação G/F foi adotado o padrão de distribuição relativa G/F, de acordo com os 5 tipos básicos propostos por Stoops e Jongerius (1975): mônico: unidades de fábrica com partículas de um só grupo de tamanho ou ainda material amorfo (por exemplo,

areia, silte, cascalho); gefúrico: as unidades grosseiras são ligadas por pontes de material fino; quitônico: as unidades grosseiras estão rodeadas de material fino (por exemplo, areia recoberta por argila ou agregados recobertos por argila); enáulico: material grosseiro e agregados de material fino (microagregados) nos espaços intersticiais, sem preenchê-los completamente e porfírico: as partículas grosseiras distribuem-se numa massa densa de material fino (por exemplo, argila) e não existem os poros intersticiais. Neste trabalho foram encontradas duas distribuições relativas, a saber, Porfírica e Enáulica.

Um aspecto geral observado na descrição de todas lâminas, foi o de apresentarem baixo teor de material grosseiro, em torno de 5-10%, com predominância de magnetita e quartzo cristalino, característicos dos Latossolos oriundos de basalto. Buscando-se uma diferenciação pelo efeito de manejo, os blocos e lâminas foram separadas entre UMH's submetidas ao Plantio Direto e Plantio Convencional, essas seguem identificadas nas Figuras 5.1 e 5.2, respectivamente, visto que é de suma importância sua localização no perfil para o bom entendimento do comportamento de algumas características observadas.

Uma característica utilizada como parâmetro de comparação entre os tratamentos, foi o sistema de fissuração e os tipos de poros. Nota-se que as fissuras mais evidentes foram detectadas em maior proporção principalmente nas unidades C (contínuas), localizadas em subsuperfície, com surgimento de formas fissuradas e estrutura em blocos bem definidas. Estas observações de microestrutura maciça e porosidade fissural acrescidas de menores evidências de atividade biológica na matriz foram mais intensas nessa UMH (C).

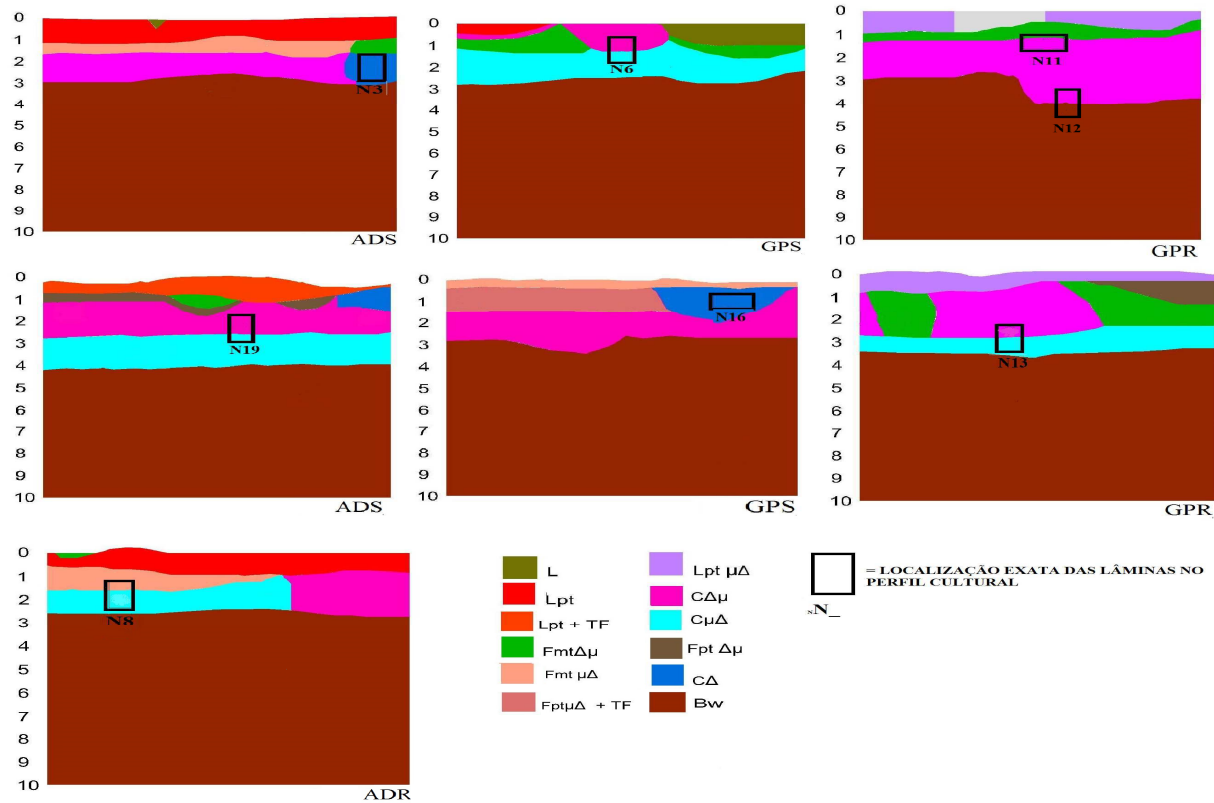
### 5.4.2 PLANTIO DIRETO



(C $\Delta$ ) Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado; C $\Delta\mu$ : Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível (C $\Delta\mu$ ); C $\mu\Delta$ : Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível (C $\mu\Delta$ ); Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões; Fpt: Volume de solo fissurado, pequenos torrões; Fmt: Volume de solo fissurado, médios torrões; Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo. Fmt+TF: Volume de solo fissurado, médio torrões, ocorrência de terra fina. Fpt $\mu\Delta$ : Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível (Fpt $\mu\Delta$ ); Fmt $\mu\Delta$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível (Fmt $\mu\Delta$ ); Fmt $\Delta\mu$ : Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível (Fmt $\Delta\mu$ ). PDR/PDS: plantio direto, em rotação e sucessão; ADR/ADS: preparo convencional com arado de discos em rotação/ sucessão; GPR/GPS: grade pesada em rotação/sucessão (GPR/GPS); e PDER/PDES: sistema plantio direto com escarificação a cada três anos sucessão (PDE) e Plantio Direto (PD), em rotação (R) e sucessão (S).

**Figura 5.1:** Representação esquemática do perfil cultural do solo com a localização das Unidades Morfogicamente Homogêneas (UMH's) identificadas sob Plantio direto realizado com escarificação a cada três anos sucessão (PDE) e Plantio Direto (PD), em rotação (R) e sucessão (S).

### 5.4.3 PLANTIO CONVENCIONAL

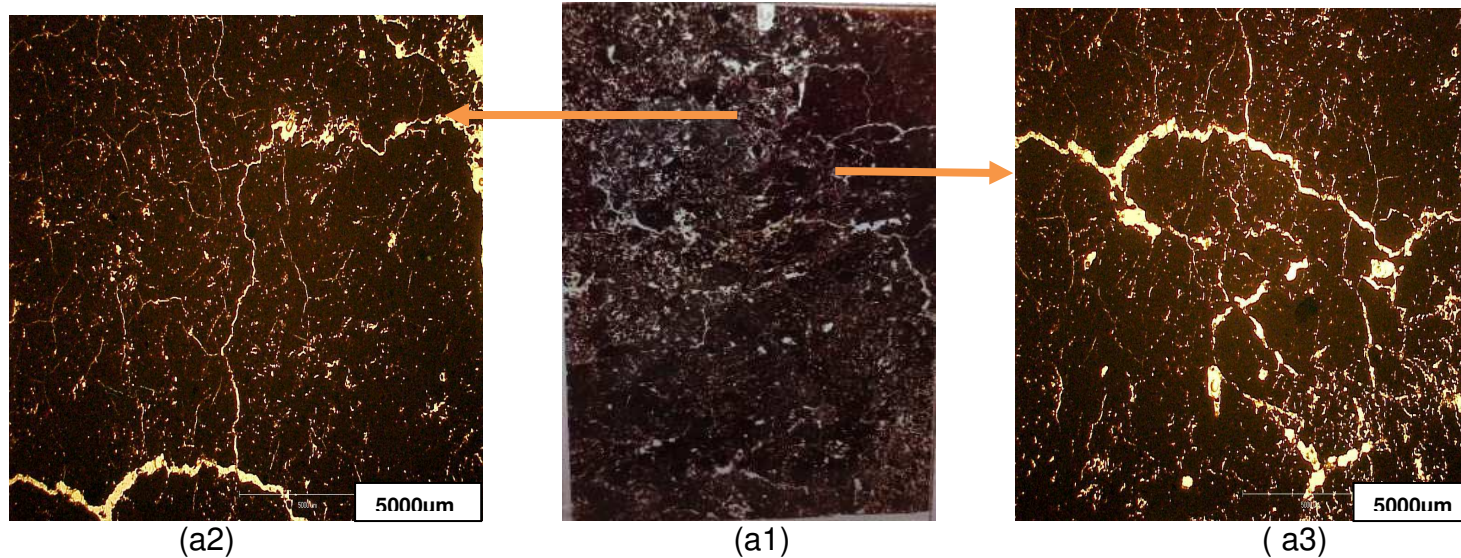


(CΔ) Volume de solo contínuo, sem porosidade visível, compactado CΔμ: Volume de solo contínuo, pouca porosidade interna visível (CΔμ); CμΔ: Volume de solo contínuo, média porosidade interna visível (CμΔ); Lpt: Volume de solo livre, pequenos torrões; Fpt: Volume de solo fissurado, pequenos torrões Fmt: Volume de solo fissurado, médios torrões Bw: Horizonte B latossólico, poroso, sem sinal de alteração pelo. Fpt+TF: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, ocorrência de terra fina. FptΔμ: Volume de solo fissurado, pequenos torrões, pouca porosidade interna visível (FptΔμ). FmtμΔ: Volume de solo fissurado, médios torrões, média porosidade interna visível (FmtμΔ). FmtΔμ: Volume de solo fissurado, médios torrões, pouca porosidade interna visível (FmtΔμ). PDR/PDS: plantio direto, em rotação e sucessão; ADR/ADS: preparo convencional com arado de discos em rotação/ sucessão; GPR/GPS: grade pesada em rotação/sucessão (GPR/GPS); e PDER/PDES: sistema plantio direto com escarificação a cada três anos, em rotação/sucessão

**Figura 5.2:** Representação esquemática do perfil cultural do solo com a localização das Unidades morfogicamente homogêneas (UMH's) identificadas sob preparo convencional do solo, realizado com grade pesada (GP) e Arado de Discos (AD) em rotação (R) e sucessão (S).

#### 5.4.4 LÂMINAS E FOTOMICROGRAFIAS - PLANTIO DIRETO

##### PDES - Fpt $\mu$ $\Delta$ (N1):

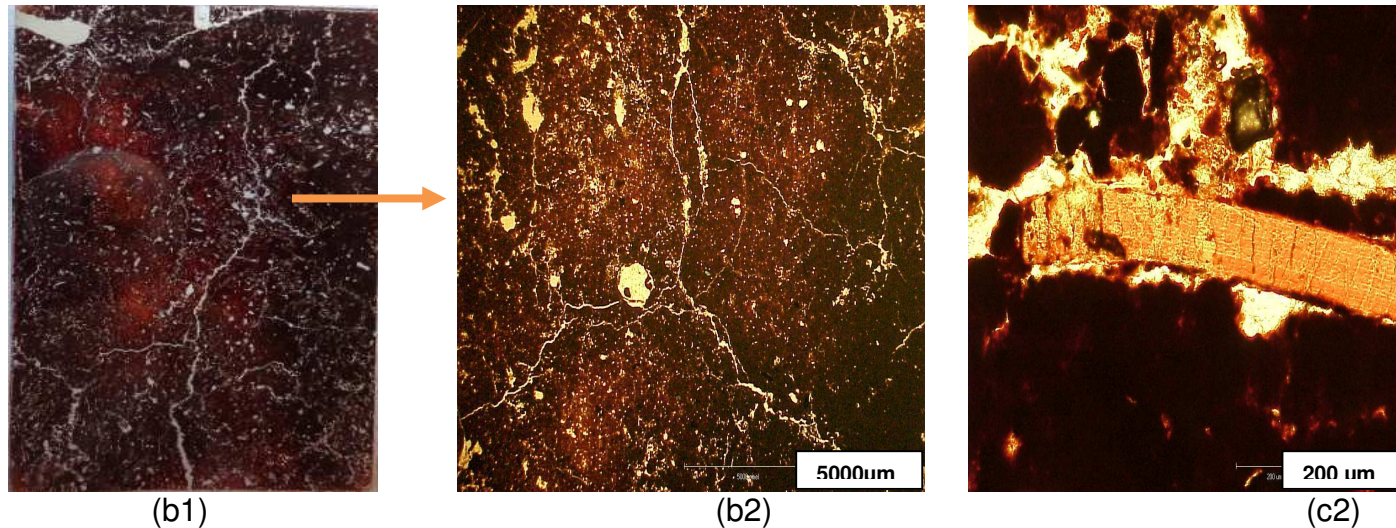


Nota-se a formação de porosidade predominantemente fissural, caracterizando a unidade **Fpt $\mu$  $\Delta$** , a figura (a3) ilustra a rede de fissuras maior entre os agregados, imagem característica dessa estrutura. Na foto (a2), detalhe da formação de bloco subangulares pelas redes de fissuras menores entre os microagregados.

**Figura 5.3 .** Lâmina e fotomicrografias correspondentes a unidade **Fpt $\mu$  $\Delta$**  no perfil cultural sob plantio direto escarificado a cada três anos em sucessão: (a1) visão geral da lâmina delgada (N1) ilustrando a UMH **Fpt $\mu$  $\Delta$** ; (a2) Detalhe da porosidade de fissuração e formação de blocos subangulares; (a3) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade **Fpt $\mu$  $\Delta$** .

A UMH **Fpt $\mu$  $\Delta$**  localiza-se superficialmente, entre 0,07 e 0,18 m no perfil cultural (Figura 5.1), apresenta distribuição relativa predominantemente Porfírica, com microestrutura coalescida e incremento de microfissuras (Figura 5.3a2). No estudo micromorfológico, a presença de fissuras e maior coalescência de agregados é interpretada como degradação estrutural. Entretanto, em termos de porosidade, as unidades fragmentadas apresentam maior porosidade em relação às unidades contínuas, como também se observa na avaliação e classificação morfológica do perfil cultural.

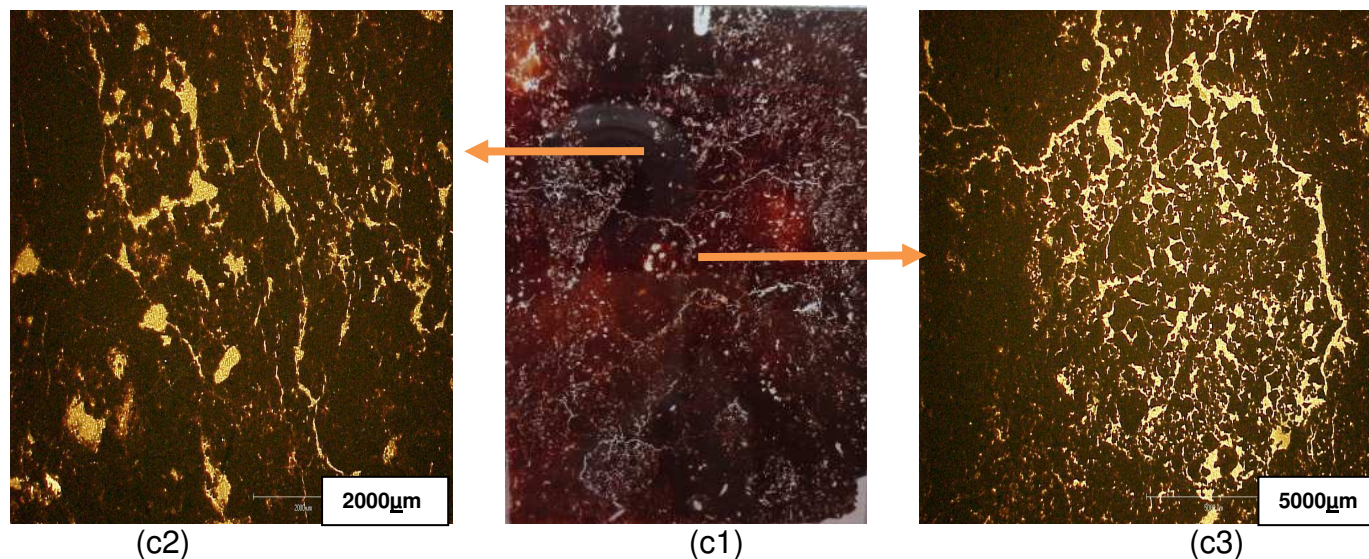
**PDES - CΔμ ( N2)**



Microestrutura apresenta-se em blocos subangulares, com subestrutura de blocos subangulares formados por um processo intenso de fissuração do fundo matricial.

**Figura 5.4 .** Lâmina e fotomicrografias correspondentes unidade CΔμ, sob plantio direto escarificado a cada três anos em sucessão; (b1) Lâmina delgada do solo (N2) representando a UMH CΔμ; (b2) Fotomicrografia distribuição relativa e porosidade da unidade CΔμ; (c2) Fotomicrografia raiz em decomposição.

A UMH CΔμ localiza-se entre 0,05 a 0,30 m, com menor porosidade se comparada a unidade FptμΔ (Tabela 5.3), e distribuição relativa predominantemente Porfírica, formada por uma microestrutura complexa composta por blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida, parcialmente a bem acomodados, denotando uma qualidade microestrutural inferior à FptμΔ, principalmente pela redução do tipo de poros de empilhamento complexo, característica essa observada frequentemente em estruturas contínuas (C). A porosidade dominante foi do tipo fissural com intensa microfissuração no interior dos blocos subangulares, cavidades arredondadas e policôncavas. A intensa microfissuração na matriz do solo, reflete a expansão e contração do solo como resultado dos processos de umedecimento e secagem e do crescimento de raízes.

**PDER - CΔμ (N4)**

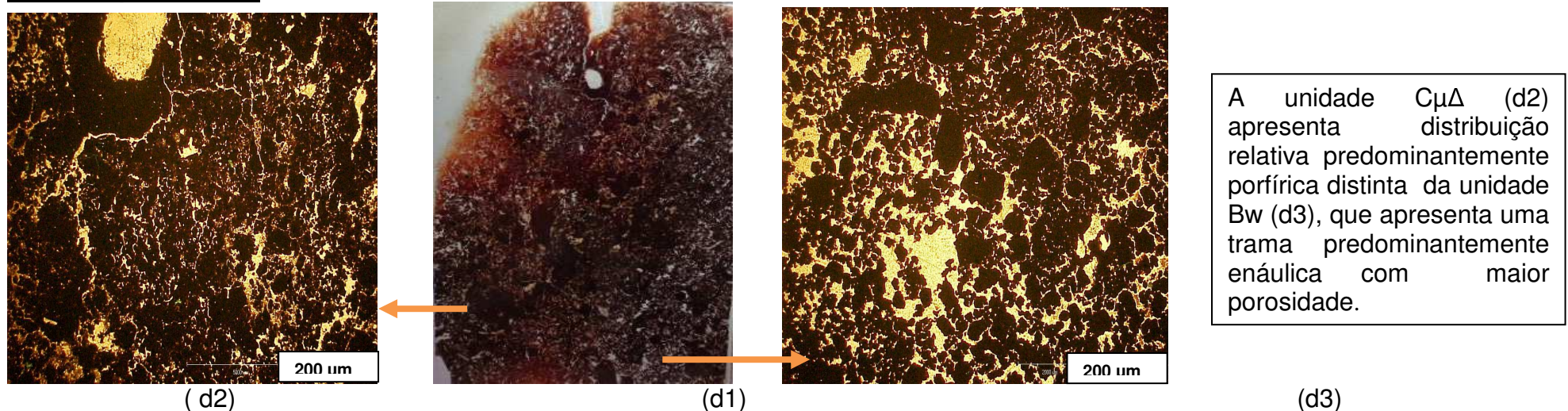
Microestrutura densa com blocos subangulares, com subestrutura de blocos subangulares menos delimitados se comparados a mesma estrutura citada anteriormente (Figura 5.4b2), formados por um processo intenso de fissuração do fundo matricial. Porosidade fissural predominante que apresenta certa orientação.

**Figura 5.5** . Lâmina e fotomicrografias correspondentes a unidade CΔμ sob plantio escarificado a cada três anos em rotação. (c1) Lâmina delgada do solo (N4) representando a UMH CΔμ; (c2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade CΔμ; (c3) Estrutura microgranular.

Comparativamente a mesma estrutura CΔμ classificada (Figura 5.4b2), nota-se a mesma tendência de predominância de porosidade fissural, porém essas apresentam-se orientadas em relação à superfície, enquanto as fissuras presentes na CΔμ sob plantio direto em rotação não apresentaram essa orientação evidente, nota-se também maior ocorrência de cavidades arredondadas (Figura 5.5c2), essas observações estão de acordo com Pagliai (1987), que estudando a porosidade presente sob diferentes sistemas de manejo, relatou a predominância de porosidade do tipo fissural e maior ocorrência de cavidades arredondadas e policôncavas como características de estruturas em processo de degradação, e indicadoras da ocorrência de esforço físico em razão do uso intensivo de máquinas em solos submetidos a plantio convencional. Apresenta distribuição relativa com trama predominante Porfírica, formada por uma microestrutura complexa composta por blocos

subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida, e parcialmente a bem acomodados. Sinais de atividade biológica (Figura 5.5c3).

### **PDER- C $\mu$ $\Delta$ /Bw (N5)**



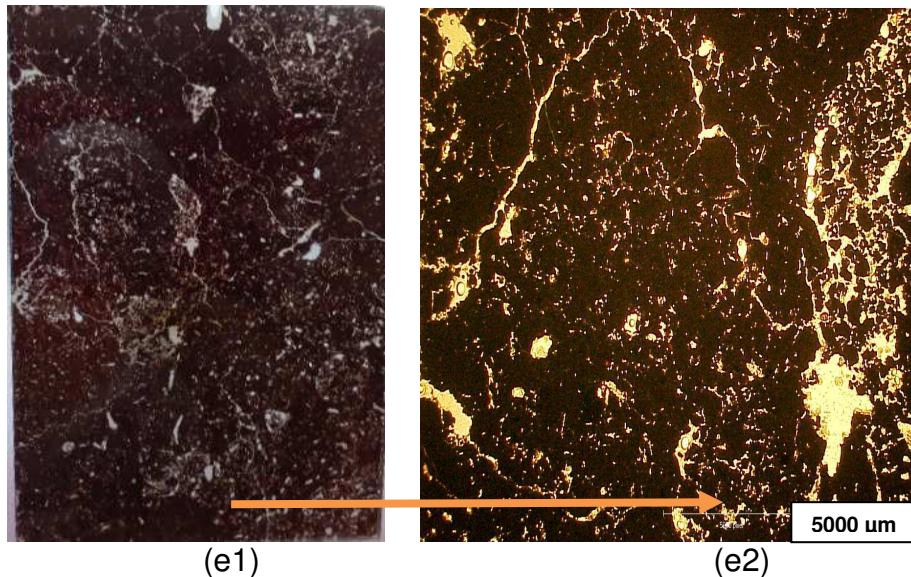
A unidade C $\mu$  $\Delta$  (d2) apresenta distribuição relativa predominantemente porfírica distinta da unidade Bw (d3), que apresenta uma trama predominantemente enáulica com maior porosidade.

**Figura5 6:** Lâmina e fotomicrografias correspondentes as unidades C $\mu$  $\Delta$  e Bw, sob plantio direto escarificado a cada três anos em rotação; (d1) Lâmina delgada do solo (N5) representando a UMH C $\Delta$ ; (d2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade C $\Delta$  $\mu$ ; (d3) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade Bw.

A UMH C $\mu$  $\Delta$  localiza-se entre 0,05 a 0,30 m de profundidade no perfil e diferencia-se da unidade C $\Delta$  $\mu$  (Figura 5.5c2). O grau de compactação é menor na estrutura C $\mu$  $\Delta$ , como descrito em Tavares et al.,(1999). Essa UMH diferencia-se da C $\Delta$  $\mu$ , pois apresenta agregados com menor grau de coalescência, podendo denotar recuperação da estrutura compactada do solo. O grau de compactação é maior na estrutura C $\Delta$  $\mu$  formando blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente a bem acomodados. Na UMH C $\mu$  $\Delta$  também forma blocos subangulares com pedalidade parcialmente desenvolvida porém menos acomodados.

Os resultados de Soares et al. (2005), avaliando perfis de Latossolo Vermelho, submetidos a sistema de manejo intensivo, com as culturas de citros e cana-de-açúcar, através do uso da micromorfologia, revelaram que o uso agrícola do solo promoveu alterações na forma e no tamanho dos agregados, fazendo com que um ambiente inicialmente com forte pedalidade e porosidade conectada, apresente uma distribuição relativa porfírica, com redução da macroporosidade, pela coalescência de agregados. A UMH Bw sob plantio direto situada em geral a partir de 0,30 m de profundidade, apresenta distribuição predominantemente do tipo enáulica, conferindo maior porosidade a unidade (Tabela 5.3), também nota-se algumas zonas pórfiro-enáulicas (Figura 5.6d3).

### PDS - CΔμ (N9)

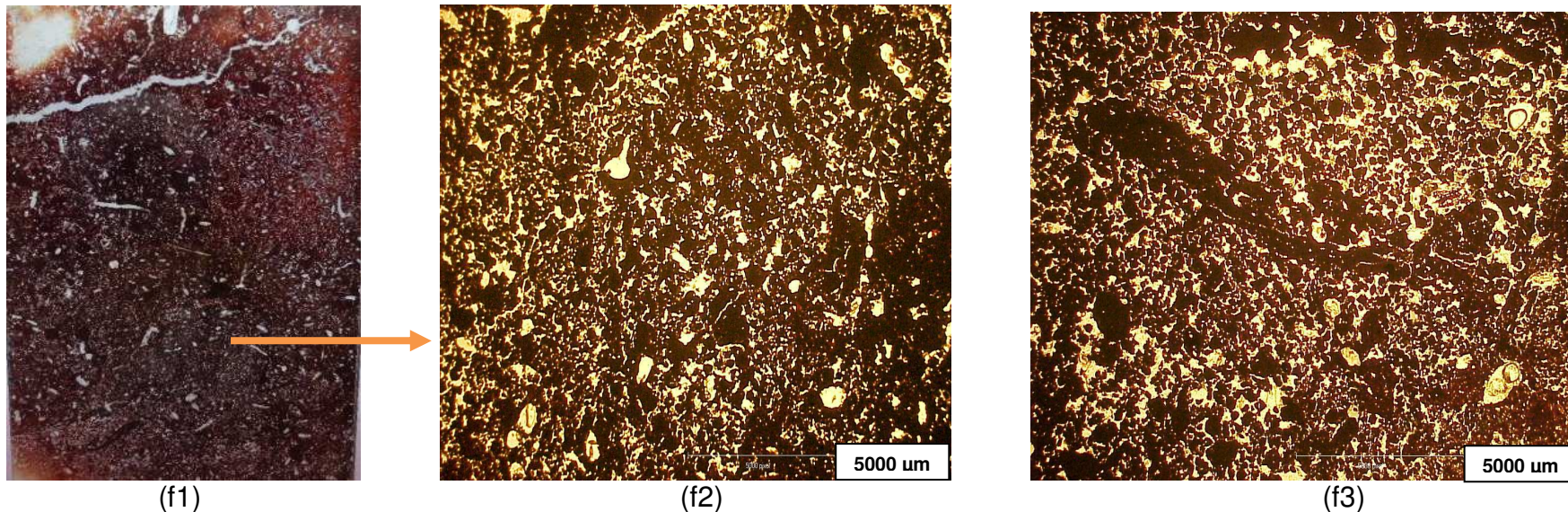


Porosidade fissural presente, algumas zonas com presença de cavidades e canais.

**Figura 5.7:** Lâmina e fotomicrografia correspondente unidade CΔμ, sob plantio direto em sucessão; (e1) Lâmina delgada do solo (N9) representando a UMH CΔμ; (e2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade CΔμ.

As lâminas sob Plantio direto sem escarificação, seguiram a mesma tendência descritas anteriormente para as mesmas estruturas identificadas, com algumas peculiaridades inerentes a cada manejo, porém não foi possível identificar e afirmar que certas variações foram em decorrência da escarificação ou ausência desta, assim como as possíveis modificações advindas do sistema de cultura (rotação ou sucessão).

### **PDS - Bw (N10)**

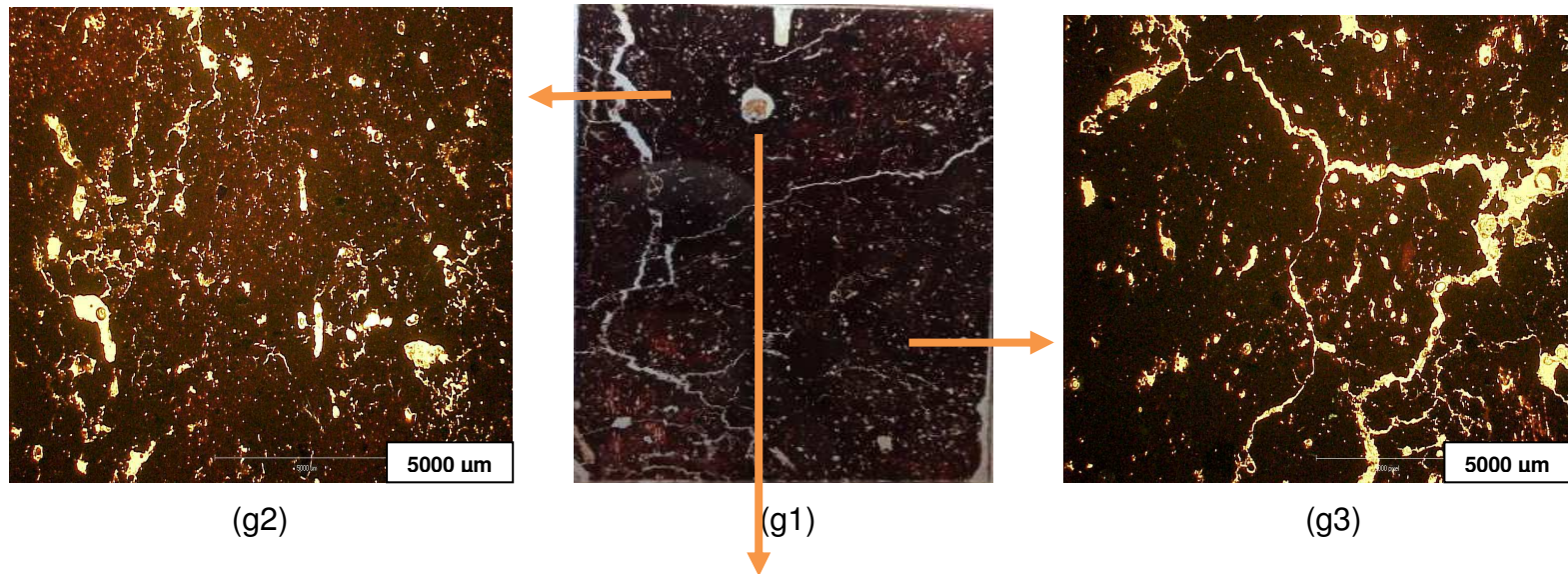


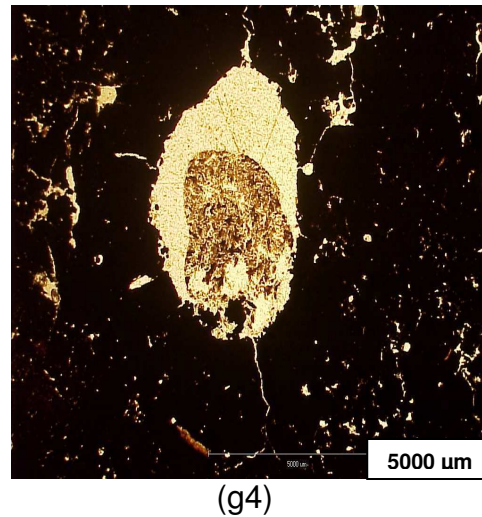
**Figura 5.8:** Lâmina e fotomicrografias correspondente a unidades Bw, sob plantio direto em sucessão; (f1) Lâmina delgada do solo (N10) representando a UMH Bw; (f2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade Bw; (f3) Detalhe de atividade biológica.

A distribuição relativa foi predominantemente do tipo enáulica (Figura5.8f2). A porosidade dominante neste tipo de microestrutura é do tipo empilhamento complexo e cavidades arredondadas. A lâmina apresenta-se homogênea, apenas destaca-se uma grande fissura na parte superior, porém, não característica dessa unidade quando comparadas as mesmas unidades

citadas anteriormente. Apresenta grande atividade biológica, evidenciada pela presença de cavidades e canais de origem biológica, preenchidos ou não, e pelas feições de excrementos ou coprólitos nos canais (5.8f3). Fitzpatrick, 1993, relata que a presença de atividade da fauna do solo é muito frequente nos Latossolos, e analisando esse tipo de solo observou que características como: presença em grandes quantidades de canais e pedotúbulos, excrementos, o grau de individualização dos microagregados granulares e a organização geral da matriz, indicam que um dos principais agentes responsáveis pela organização interna desses solos é a fauna, principalmente cupins e formigas. Esses resultados concordam com os apresentados por Silva., (2011).

#### **PDR - CΔμ(N14)**

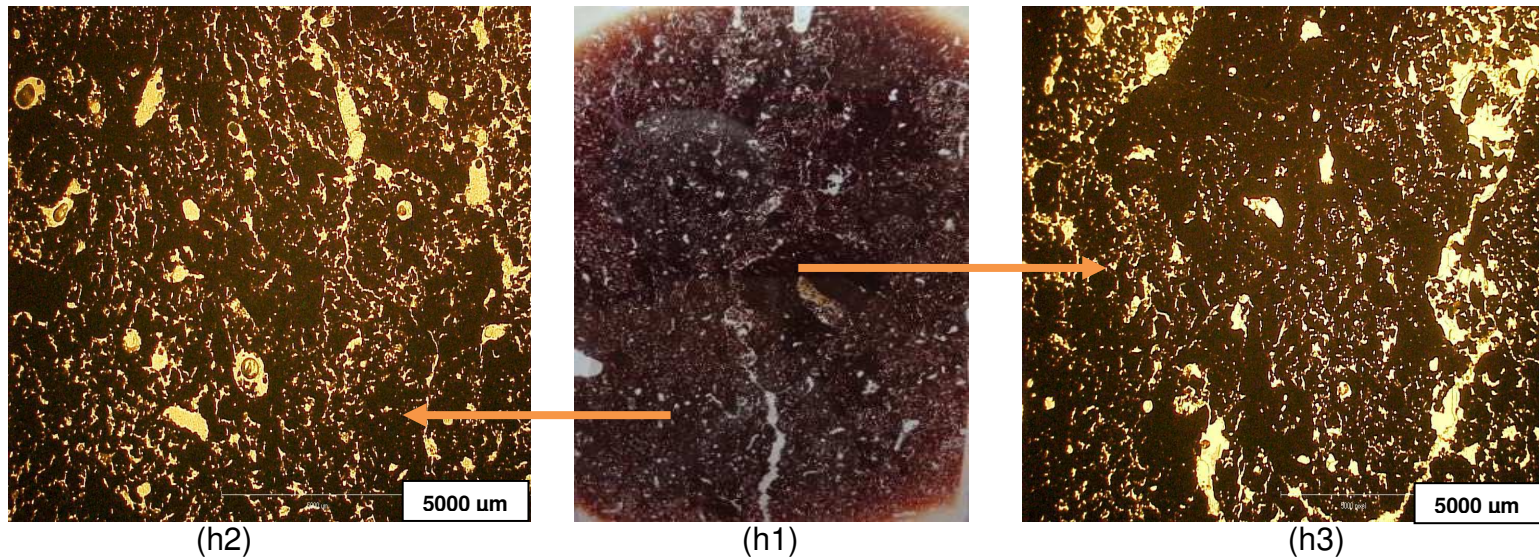




**Figura 5.9:** Lâmina e fotomicrografias correspondente a unidade CΔμ sob plantio direto em rotação; (g1) Lâmina delgada do solo (N14) representando a UMH CΔμ; (g2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade CΔμ; (g3) Detalhe blocos subangulares; (g4) Detalhe excrementos

A UMH CΔμ localiza-se entre 0,05 a 0,20 m de profundidade no perfil, a distribuição relativa foi predominantemente Porfírica. A atividade biológica nesta UMH é evidenciada também pela presença de cavidades e canais de origem biológica, e pelas feições de excrementos (coprólitos) dentro dos canais com tecidos vegetais reconhecíveis e são muitas vezes produzidos por minhocas, conforme descrição de Kooistra e Pulleman (2010), (Figura 5.9g4).

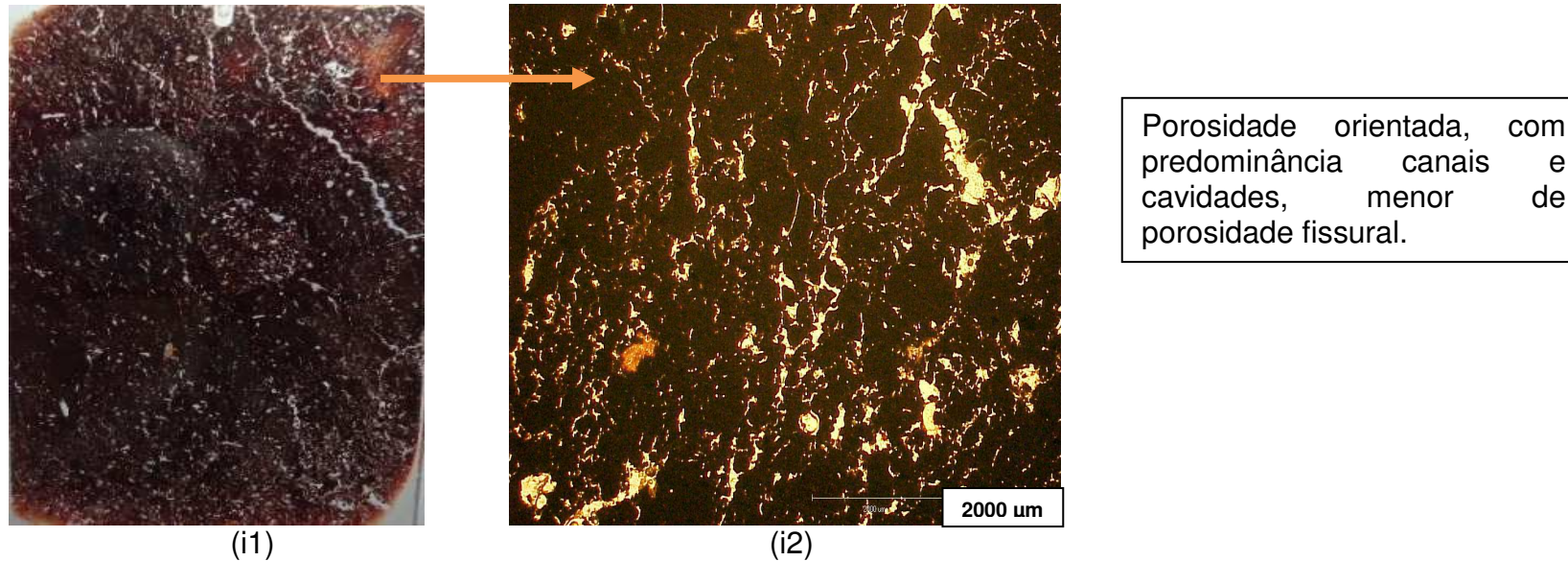
**PDR- C $\mu$  $\Delta$ /Bw (N15)**



Lâmina homogênea com presença de blocos compactos na unidade C $\mu$  $\Delta$ .

**Figura 5.10:** Lâmina e fotomicrografias correspondentes às unidades C $\mu$  $\Delta$  e Bw, sob plantio direto em rotação; (h1) Lâmina delgada do solo (N15) representando as UMH's C $\mu$  $\Delta$  e Bw; (h2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade Bw; (h3) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade C $\mu$  $\Delta$ .

Lâmina com alta atividade biológica, e descrição semelhante semelhante a N5. PDER (Figura5.5).

**PDES- C $\mu$  $\Delta$  (N17)**

**Figura 5.11:** Lâmina e fotomicrografia correspondente unidade C $\mu$  $\Delta$ , sob plantio direto escarificado a cada três anos em sucessão; (i1) Lâmina delgada do solo (N17) representando a UMH C $\mu$  $\Delta$ ; (i2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade C $\mu$  $\Delta$ .

A distribuição relativa entre as unidades contínuas (C) estudadas nestes perfis sob plantio direto predominantemente Porfírica, algumas possuem algumas variações com pequenas zonas enáulicas, é importante salientar grande parte do tipo de poros de empilhamento em unidades Bw e C $\mu$  $\Delta$  principalmente, localizado em canais e cavidades biológicas presentes nas lâminas. Silva (2011).

As UMH's contínuas C $\mu$  $\Delta$ / C $\Delta$  $\mu$  no perfil cultural sob sistema de plantio direto refletem, uma modificação da forma e do tamanho da microestrutura e tipos de poros presentes, dos agregados, com redução da porosidade de empilhamento e incremento da porosidade fissural. Essas características denotam uma compactação mais evoluída, visto que fica difícil delimitar e

reconhecer os contornos entre os agregados, pela transformação do material em uma massa mais contínua. Mesmo com essas evidências relatadas nessas unidades também foram evidenciados sinais de atividade biológica e presença de raízes podendo induzir uma possível resiliência desta estrutura, provavelmente devido ao manejo adotado, sinais estes mais evidentes na UMH C $\mu$  $\Delta$ , quando comparada a UMH C $\Delta$  $\mu$  neste quesito. Rizzo (2000) em solo similar observou sinal de resiliência da estrutura, analisando o grau de coalescência dos agregados e porosidade em relação aos diferentes tempos de cultivo, aliados a adoção de práticas vegetativas, o autor relata que os indícios de descompactação dos agregados foi diretamente proporcional ao aumento da matéria orgânica e atividade biológica do solo.

A Tabela 5.3 apresenta a porosidade (%) segundo a forma e tamanho dos poros das UMH's sob plantio direto. A unidade C $\mu$  $\Delta$  apresentou maior porosidade total 29,6% no plantio escarificado PDES. Com relação a distribuição do número de poros segundo a forma e tamanho nota-se que os poros do tipo complexos grandes (Comp G) predominaram em todas as estruturas no plantio direto (PD e PDE) variando de 42,3 a 49,7%. A predominância desse tipo de poros é desejável visto que eles promovem a conectividade entre estes. A classe de poros arredondados médios (Arredod M) obteve a segunda maior proporção entre os tratamentos, variando de 22,3% a 26,2%.

Como relatado por Ringrose-Voase e Bullock (1984), a presença de poros arredondados em unidades contínuas pode estar associada com a coalescência dos agregados e conseqüentemente o desaparecimento dos poros de empacotamento, dando origem aos poros do tipo cavidades e câmaras, que estão relacionados com os processos de compactação do solo, e enquanto que a classe de poros alongados médios e grandes (Elong M e G), apresentou a menor proporção 4,7 a 5,3%. Para Pagliai et al. (1983), os poros alongados são os mais desejados do ponto de vista agrônomo, pois são tipicamente poros de transmissão, que não se nota nesse estudo. Com base nos resultados obtidos (Tabela 5.3).

**Tabela 5.3:** Distribuição da porosidade (%), segundo a forma e o tamanho dos poros das UMH's do perfil cultural sob Plantio Direto.

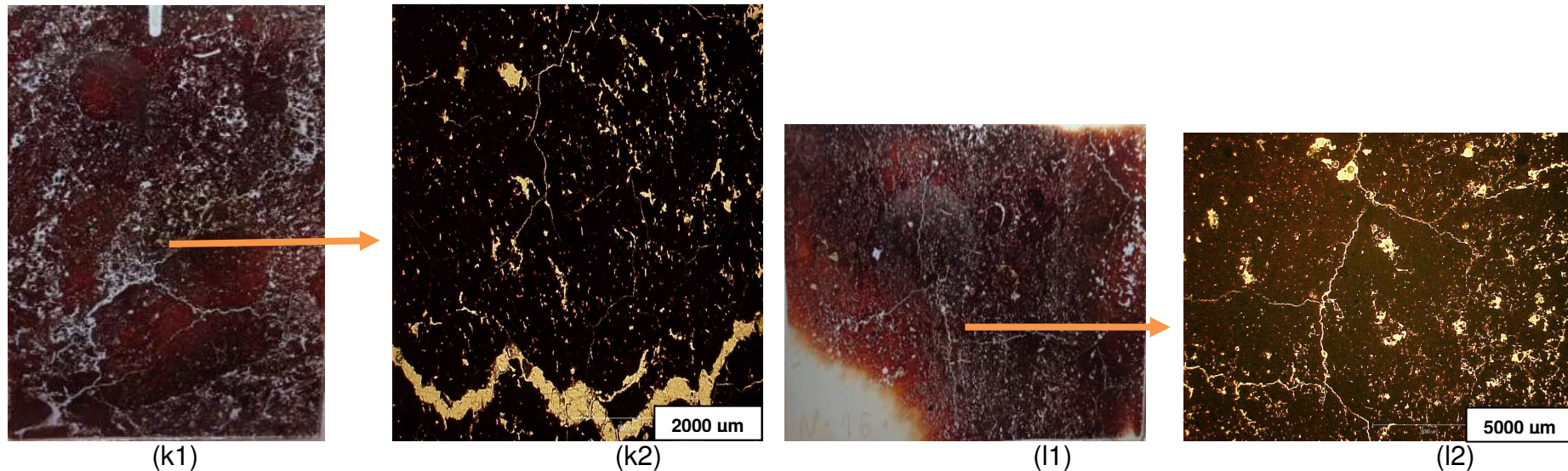
		(% Tipo Poro)							Porosidade Total
		Comp G	Comp M	Elong G	Elong M	Arredond G	Arredond M	Arredond P	
Lâmina	UMH	PDES							
N1	Fpt $\mu\Delta$	1.7	1.6	0.5	0.8	1.5	3.1	2.5	11.7
N2	C $\Delta$	5.1	0.0	1.4	0.7	1.6	3.7	1.9	12.6
N17	C $\mu\Delta$	20.5	0.0	0.6	1.8	0.0	4.0	2.8	29.6
Trat	UMH	PDER							
N4	C $\mu\Delta$	8.5	0.0	1.4	0.0	1.3	4.0	2.3	17.5
N5	C $\Delta\mu$	5.4	0.0	1.2	1.0	1.3	3.4	1.5	13.9
N5	Bw	8.5	1.9	1.5	1.0	1.2	4.0	1.9	19.9
Total		49.7	3.4	6.5	5.3	6.9	22.3	13.0	
		(% Tipo Poro)							Porosidade Total
		Comp G	Comp M	Elong G	Elong M	Arredond G	Arredond M	Arredond P	
Trat	UMH	PDR							
N14	C $\Delta\mu$	4.7	0.0	1.4	0.0	1.4	3.6	1.9	13.0
N15	C $\mu\Delta$	1.8	0.0	0.0	0.0	1.5	1.6	0.0	4.9
N15	Bw	4.9	0.0	1.0	0.0	0.0	3.0	1.3	10.2
Trat	UMH	PDS							
N9	C $\Delta\mu$	5.5	0.0	1.2	1.4	1.0	4.4	3.0	16.6
N10	Bw	11.3	0.0	1.5	1.2	1.1	4.2	2.5	22.1
N10	C $\mu\Delta$	9.5	0.0	1.6	1.1	1.3	4.2	2.3	20.1
Total		42.3	0.1	9.0	4.7	8.5	26.2	13.6	

**Quadro 5.1:** Resumo das descrições micromorfológicas das lâminas delgadas do solo sob sistema de plantio direto

Lâmina	Estrutura	Manejo	Fundo matricial	Microestrutura	Porosidade	Adendos
N1	Fp $\mu$ $\Delta$	PDES	Predominantemente porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (30%) e cavidades arredondadas e policôncavas (35%), canais (10%) e fissuras (25%).	Presença de coprólitos/ atividade biológica
N2	C $\Delta$ $\mu$	PDES	Predominantemente Porfírica, com pequenas zonas enáulicas	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (20%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (30%), e fissuras grandes (40%). canais (10%)	Raízes em decomposição e grandes fissuras
N4	C $\Delta$ $\mu$	PDER	Predominantemente eunáulicas	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (20%) e cavidades arredondadas e policôncavas medias pequenas (35%), Fissuras (45%) e canais (5%).	
N5	C $\mu$ $\Delta$ /Bw		Predominantemente eunáulica com zonas porfíricas	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (40%) e cavidades arredondadas e policôncavas (20%), canais (5%) e fissuras (35%). Empilhamento composto (40%) e cavidades arredondadas e policônc (20%), canais (5%) e fissuras (35%).	
N7	C $\mu$ $\Delta$	PDR	Porfírica- enáulica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (25%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (30%), e fissuras grandes (40%). canais (5%)	Estruturas mais compactas na parte inferior da lamina
N9	C $\Delta$ $\mu$	PDS	Predominatemetnete porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (25%) e cavidades arredondadas e policôncavas (30%), canais (10%) e fissuras (35%).	Atividade biológica
N10	C $\mu$ $\Delta$ /Bw	PDS	Predominantemente eunáulica com zonas porfíricas	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (35%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (30%), e fissuras grandes (10%), canais (15%)	
N14	C $\Delta$ $\mu$	PDR	Porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (20%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (30%), e fissuras grandes (40%). canais (10%)	
N15	C $\mu$ $\Delta$ /Bw	PDR	Predominantemente eunáulica com zonas porfíricas	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (25%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (15%), e fissuras grandes (30%). canais (20%)	Grande atividade biológica
N17	C $\mu$ $\Delta$	PDES	Porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (30%) e cavidades arredondadas e policôncavas (30%), canais (5%) e fissuras grandes (25%).	

#### 5.4.5 LÂMINAS E FOTOMICROGRAFIAS - PLATIO CONVENCIONAL

##### ADS - CΔ(N3) e GPS - CΔ(N16)



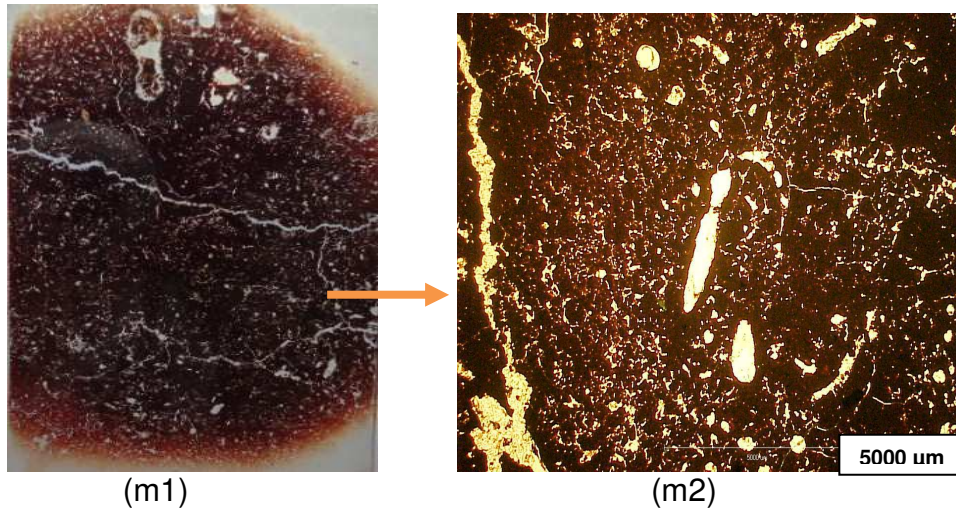
**Figura 5.12:** Lâminas e fotomicrografias correspondentes a unidade CΔ, sob arado de discos e grade pesada em sucessão; (k1) e (l1) Lâminas delgadas do solo (N3) e (N16) representando a unidade CΔ; (k2) e (l2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade CΔ.

No presente estudo a estrutura CΔ foi detectada somente sob preparo convencional, tornando essa UMH característica desse esse tipo de preparo, estrutura contínua, adensada, indicando sinais de compactação do solo. A estrutura CΔ identificada, em ADS (Figura 5.12k2), apresentou uma rede de fissuras mais densas e hierarquizadas, caracterizando fissuras mais longas e largas, espaçadas, e entre elas ocorrem as fissuras mais finas e mais curtas, se comparada a mesma estrutura em GPS (Figura 5.12l2), porém ambas mantêm a mesma tendência de porosidade, mesmo pertencendo a manejo distintos. Segundo Pagliai (1988), os poros fissurais são característicos de áreas em processo de degradação da estrutura do solo e encrostamento

superficial, em virtude da menor cobertura vegetal do solo. Quando um solo se encontra compactado pode ocorrer deformação dos agregados originais, sendo ela parcial ou total e, dependendo do grau de compactação, agregados podem passar de uma forma granular pequena a muito pequena, para uma estrutura mais contínua, também chamada de maciça (CASTRO et al., 2003). Esse processo resulta na modificação da forma e do tamanho dos agregados originais, pela sua coalescência crescente, e redução da porosidade original. Em solos cultivados a degradação e adensamento da microestrutura granular original dos Latossolos tem como consequência a formação de uma microestrutura maciça causada pela destruição de agregados maiores e a consequente aproximação mecânica de agregados menores formando grandes blocos que, além de modificar a estrutura do solo, afetam também a composição da macrofauna (MARCELINO et al., 2010).

Além da estrutura  $C\Delta$  aparecem também os tipos  $C\mu\Delta$ ,  $C\Delta\mu$ ,  $Bw$  com características semelhantes às observadas e já detalhadas nos sistemas anteriores (Plantio Direto), como atestam as Figuras 5.12 a 5.17.

#### **GPS - $C\mu\Delta$ (N6)**

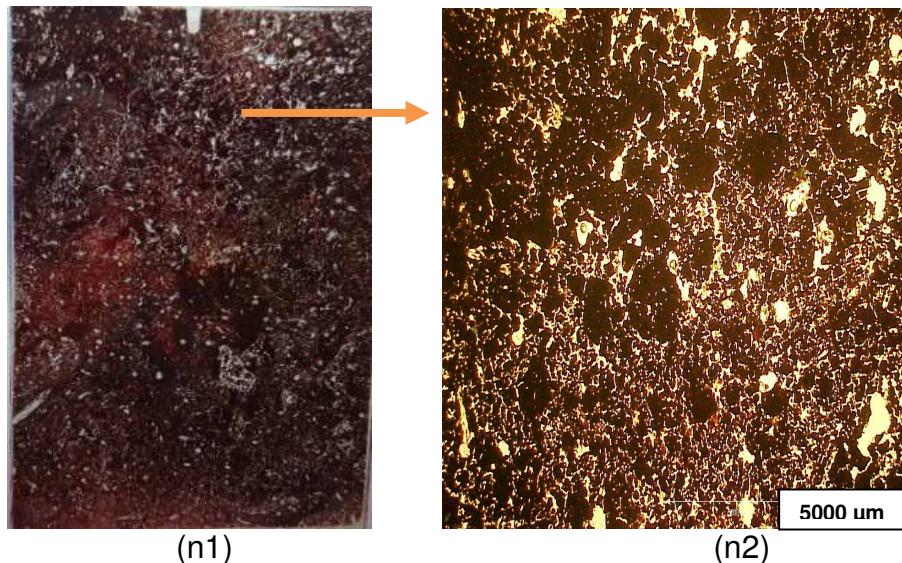


Presença de canais e cavidades grandes.

**Figura 5.13:** Lâmina e fotomicrografia correspondente unidade  $C_{\mu\Delta}$ , sob Grade pesa; (5.13m1) Lâmina delgada do solo (N6) representando a unidade  $C_{\mu\Delta}$ ; (m2) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade  $C_{\mu\Delta}$ .

A unidade contínua  $C_{\mu\Delta}$  presente nos perfil cultural sob plantio convencional GPS apresentou trama com distribuição relativa do tipo porfírica enáulica, assim como nos perfis sob plantio direto.

### **ADR- $C_{\mu\Delta}$ (N8)**



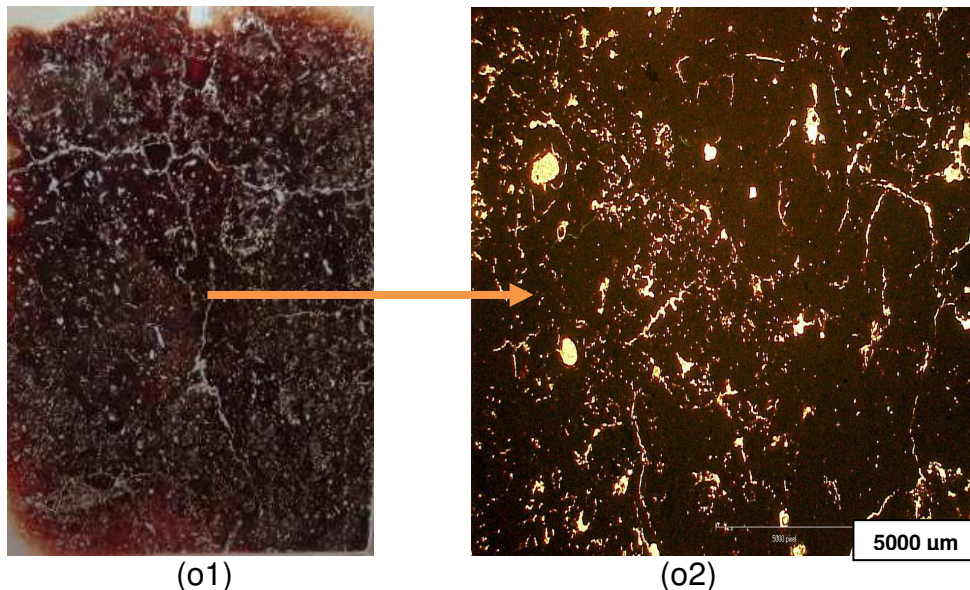
**Figura 5.14:** Lâmina e fotomicrografia correspondente unidade  $C_{\mu\Delta}$ , sob plantio convencional com arado de discos em rotação; (n1) Lâmina delgada do solo (N8) representando a unidade  $C_{\mu\Delta}$ ; (n2) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade  $C_{\mu\Delta}$ .

A unidades contínuas presentes no perfil cultural sob plantio convencional também apresentaram indícios de atividade biológica (coprólitos) e fragmentos de raízes em decomposição, porém, ocorreram em menor proporção em relação ao observado nos perfis sob plantio direto.(Figuras 5.13 a 5.17). A semelhante distribuição relativa do fundo matricial das unidades

Bw e suas variações nos perfis avaliados, predominantemente enáulica para porfírica, nas unidades alteradas pelos sistemas de manejo, demonstram a ocorrência de degradação da estrutura dos agregados originais, passando de uma forma granular pequena ou subangular/subarredondada e porosa, para uma estrutura mais contínua.

Foi observado nas UMH's nos perfis culturais sob plantio direto tanto como no plantio convencional a redução da porosidade de empilhamento, principalmente nas unidades C (contínuas), localizadas em subsuperfície, com surgimento de formas fissuradas e estrutura em blocos bem definida. Todas estas observações de microestrutura maciça e porosidade fissural acrescidas de menores evidências de atividade biológica na matriz foram mais intensas sobre as UMH's do plantio convencional

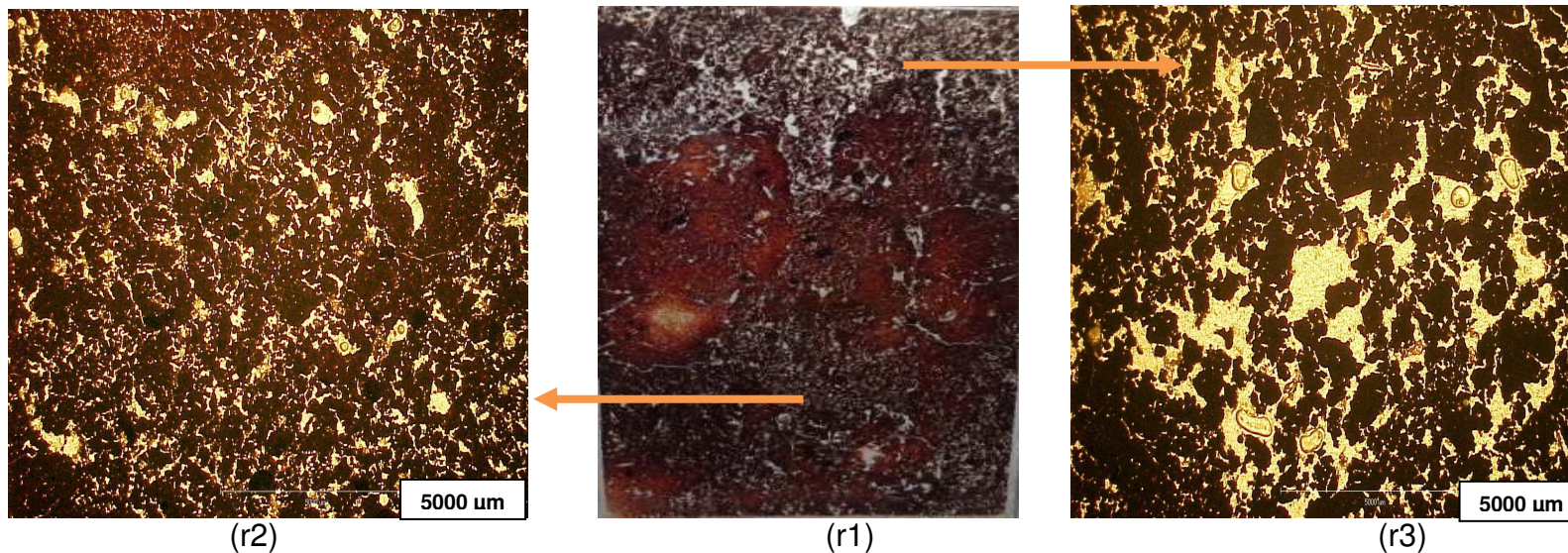
### **ADS- Fmt $\Delta\mu$ (N11)**



**Figura 5.15:** Lâmina e fotomicrografia correspondente a unidade Fmt $\Delta\mu$ , sob plantio convencional com arado de discos em sucessão; (o1) Lâmina delgada do solo (N11) representando a unidade Fmt $\Delta\mu$ ; (o2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade Fmt $\Delta\mu$ .

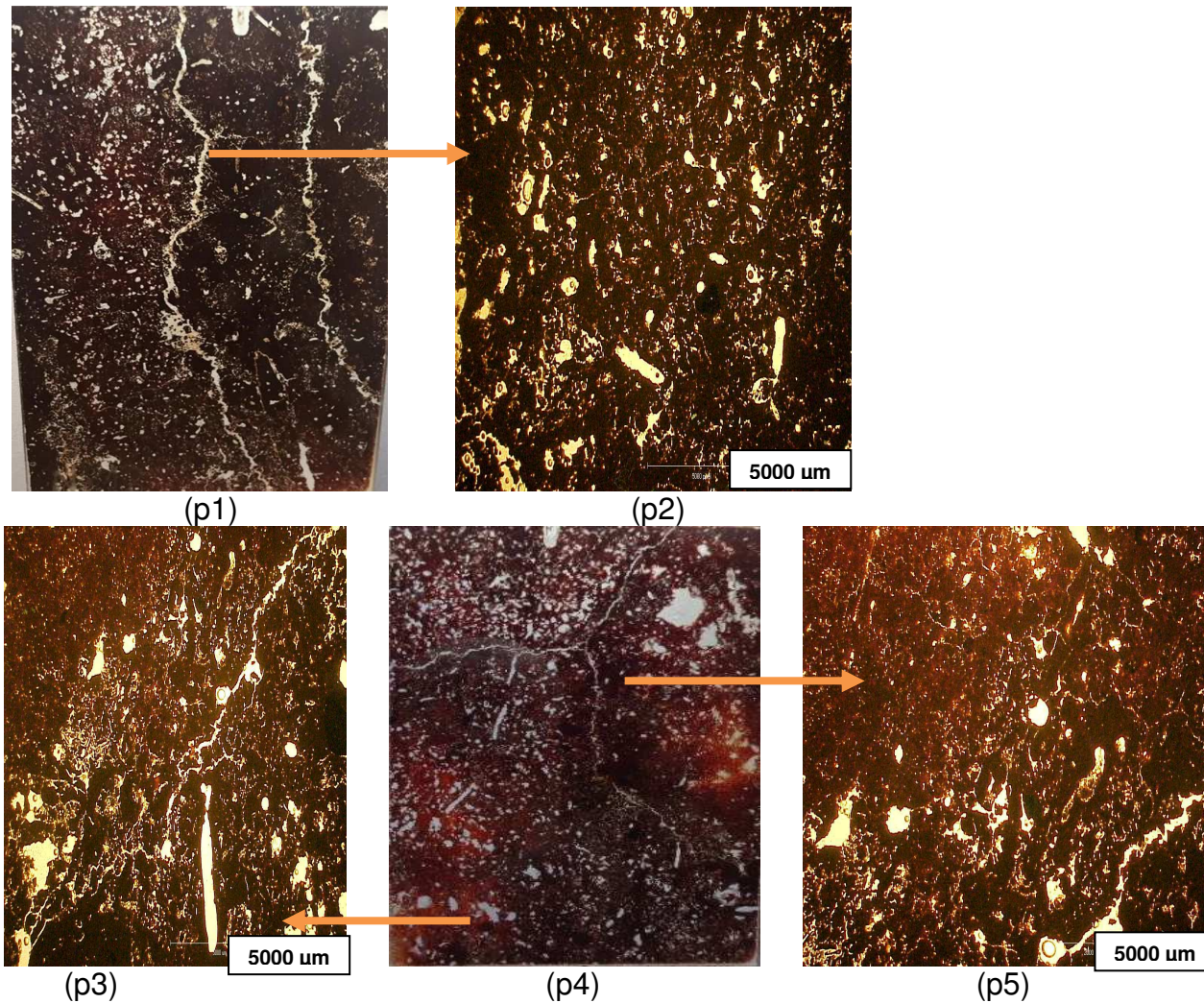
A unidades fragmentada no perfil sob plantio convencional (Figura 15o2) se localiza próxima da superfície e apresenta uma distribuição relativa similar à da UMH do tipo  $C\Delta\mu$  no ADS, porém com microestrutura mais coalescida e incremento de microfissuras (Figura 5.16r2)

### ADS- $C\Delta\mu$ / $C\mu\Delta$ (N19)



**Figura 5.16:** Lâmina e fotomicrografias correspondentes às unidades  $C\Delta\mu$  e  $C\mu\Delta$ , sob plantio convencional com arado de discos em sucessão; (r1) Lâmina delgada do solo (N19) representando a unidade  $C\Delta\mu$  e  $C\mu\Delta$ ; (r2) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade  $C\Delta\mu$ ; (r3) Fotomicrografia da distribuição relativa e porosidade da unidade  $C\mu\Delta$ .

**GPR -  $C\Delta\mu$  (N12) e  $C\Delta\mu/C\mu\Delta$  (N13)**



**Figura 5.17:** Lâminas e fotomicrografias correspondentes às unidades  $C\Delta\mu$  e  $C\mu\Delta$ , sob plantio convencional com grade pesada em rotação; (p1) Lâmina delgada do solo (N12) representando a unidade  $C\Delta\mu$ ; (p2) Fotomicrografia da distribuição relativa e da

porosidade da unidade C $\Delta\mu$ .; (p4) Lâmina delgada do solo (N13) representando a unidade C $\mu\Delta$ ; (p2) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade C $\mu\Delta$ ; (p5) Fotomicrografia da distribuição relativa e da porosidade da unidade C $\Delta\mu$ .

A Tabela 5.4, apresenta a porosidade (%) segundo a forma e tamanho dos poros, UMH's sob plantio convencional. Os poros do tipo complexos Grandes ( Comp G) são predominantes também nas unidades sob plantio convencional, seguidos dos arredondados médios (Arredond M). A porosidade do solo sob preparo com grade pesada foi maior que a porosidade do solo que sofreu preparo com arado de discos tanto em rotação como em sucessão de culturas (Tabela 5.4). Sabe-se que a intensidade de pulverização do implemento utilizado no manejo com grade pesada é maior do que a ação do implemento agrícola utilizado no manejo com arado, porém o efeito nesse caso não foi considerado negativo em relação a grade, vale salientar que ambos manejos agem aumentando a densidade de acomodação do solo em camadas mais superficiais. (SCHAEFER et al. 2001).

Curmi et al. (1994), estudando o efeito do uso agrícola na modificação da estrutura e da porosidade do solo, verificaram que a compactação induzida pelo cultivo afetou, diferentemente cada classe de poro, sendo os poros oriundos da fauna e flora os mais afetados. Resultados semelhantes foram observados no presente trabalho, pois o solo preparado com grade pesada nas observações micromorfológicas, apresentou menor quantidade de poros oriundos de atividade biológica como canais e câmaras em relação ao solo sob plantio direto

**Tabela 5.4:** Distribuição da porosidade (%), segundo a forma e o tamanho dos poros das UMH's do perfil cultural sob Plantio Convencional.

		(% Tipo de Poro)							
		Comp G	Comp M	Elong G	Elong M	Arredond G	Arredond M	Arredond P	Total
Lâminas	UMH	GPS							
N6	C $\mu$ $\Delta$	4.50	0.10	1.25	1.00	1.86	3.56	1.51	13.78
N16	C $\Delta$	2.66	0.00	0.00	1.50	0.00	3.72	4.41	12.29
Trat	UMH	GPR							
N11	C $\Delta$ $\mu$	5.69	0.00	1.03	1.10	0.00	4.12	2.72	14.66
N12	C $\Delta$ $\mu$	7.98	0.00	1.36	0.00	1.26	3.94	2.20	16.75
N132	C $\Delta$ $\mu$	13.48	0.00	1.36	1.18	1.01	4.26	2.46	23.75
N13	C $\mu$ $\Delta$	13.70	0.00	1.35	1.21	1.00	4.46	2.59	24.32
		48.02	0.10	6.36	5.99	5.13	24.06	15.90	
		(% Tipo Poro)							
		CompG	Comp M	Elong G	Elong M	Arredond G	Arredond M	Arredond P	Total
Lâminas	UMH	ADS							
N3	C $\Delta$	6.40	0.00	1.23	0.00	1.85	3.25	1.45	14.18
N19	C $\Delta$ $\mu$	4.51	1.00	1.00	1.00	2.28	3.11	1.54	14.44
Trat	UMH	ADR							
N8	C $\Delta$ $\mu$	5.82	0.00	1.27	0.00	1.70	3.89	1.89	14.57
		16.74	1.00	3.50	1.00	5.83	10.25	4.87	

De modo geral, analisando todas as UMH's nos perfis sob plantio direto e plantio convencional, as observações microscópicas qualitativas realizadas a partir das lâminas delgadas revelam diferenciações principalmente quanto à microestrutura e à geometria do espaço poroso, permitindo inferir que os efeitos das alterações são consequência dos sistemas de manejo.

**Quadro 5.2:** Resumo das descrições micromorfológicas das lâminas delgadas do solo sob sistema de plantio convencional

Lâmina	Estrutura	Manejo	Fundo matricial	Microestrutura	Porosidade	Adendos
N3	CΔ	ADS	Predominantemente porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (20%) e cavidades arredondadas e policôncavas médias pequenas (30%), Fissuras (40%) e canais (10%).	
N6	CμΔ	GPS	Predominantemente porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (20%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (30%), e fissuras grandes (40%).canais (10%)	Grandes canais, raízes em decomposição
N8	CμΔ	ADR	Predominantemente porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (30%) e cavidades arredondadas e policôncavas médias pequenas (35%), Fissuras (30%) e canais (5%).	
N11	FmtΔμ	GPR	Predominantemente porfírica		Empilhamento composto (30%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (35%), e fissuras grandes (25%).canais (10%)	
N12	CΔμ	GPR	Predominantemente porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (25%) e cavidades arredondadas e policôncavas médias pequenas (35%), Fissuras (30%) e canais (10%).	
N13	CΔμ/CμΔ	GPR	Predominantemente porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (30%) e cavidades arredondadas e policôncavas (30%), canais (15%) e fissuras (25%).	
N16	CΔ	GPS	Predominantemente porfírica		Empilhamento composto (25%) e cavidades arredondadas e policôncavas médias pequenas (35%), Fissuras (30%) e canais (10%).	
N19	CΔμ	ADS	Predominantemente porfírica	Complexa: microagregados intergranulares	Empilhamento composto (30%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (35%), e fissuras (30%).canais (5%)	

## 5.5 CONCLUSÕES

As análises micromorfológicas qualitativas e quantitativas das UMH's sob cada sistema de manejo permitiram a avaliação do efeito do manejo agrícola na qualidade estrutural do solo e trazem informações adicionais relevantes para diferenciação entre os sistemas de manejo.

No presente estudo a estrutura  $C\Delta$  foi detectada somente sob preparo convencional, tornando essa UMH característica desse esse tipo de preparo, estrutura contínua, adensada, indicando sinais de compactação do solo.

As UMH's contínuas  $C\mu\Delta/ C\Delta\mu$  no perfil cultural sob sistema de plantio direto refletem, uma modificação da forma e do tamanho da microestrutura e tipos de poros presentes, dos agregados, com redução da porosidade de empilhamento e incremento da porosidade fissural.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

O método do perfil cultural foi sensível às alterações morfológicas do solo causadas pelos manejos e permitiu: - a identificação de impactos relacionados aos sistemas de manejo, assim como indicação de práticas de recuperação da qualidade estrutural do solo. Considerando que as estruturas do solo sob plantio direto apresentaram recuperação da qualidade estrutural do solo, conclui-se que esse sistema favorece sua qualidade. Além disso, a estrutura é um importante atributo da qualidade e sustentabilidade dos manejos dos solos e de sua fertilidade global.

A análise de imagens mostrou-se como uma ferramenta eficiente nas observações da morfologia dos tipos de poros nas UMH's sob os diferentes sistemas de manejo. Os poros predominantes foram do tipo empilhamento complexo e cavidades arredondadas, com ocorrência de porosidade fissural, especialmente nas UMH's C (contínuas) e em suas variações.

As UMH's C e variações, mostraram uma matriz com distribuição relativa predominantemente porfírica, mais compacta, com coalescência de agregados, e microestrutura em blocos subangulares; já as UMH's Bw, não alteradas pelo manejo, uma distribuição enáulica mais porosa, com microestrutura granular.

As análises micromorfológicas qualitativas e quantitativas das UMH's sob cada sistema de manejo permitiram a avaliação do efeito do manejo agrícola na qualidade estrutural do solo e trazem informações adicionais relevantes para diferenciação entre os sistemas de manejo.

## REFERÊNCIAS

- ABID, M.; LAL, R. Tillage and drainage impact on soil quality: II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 364-372, 5// 2009.
- ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W. C. T.; TIJINK, F. G. J.; VAN DER LINDEN, J. P.; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 1. Machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, v. 73, n. 1–2, p. 145-160, 2003.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Ciência Rural**, v.24: p.275-280, 1994.
- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p.115-119, 1995.
- ALVAREZ, R.; LAVADO, R.S. Climate, organic matter and clay content relationship in the Pampa and Chaco soils Argentina. **Geoderma**, 83:127-141, 1998.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ARVIDSSON, J.; TRAUTNER, A.; VAN DEN AKKER, J. J. H.; SCHJØNNING, P. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden: II. Soil displacement during wheeling and model computations of compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 60, n. 1–2, p. 79-89, 6// 2001.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 622 p, 2002.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil Tillage Research**., 53:215-230, 2000.
- BAQUERO, J. E. ; RALISCH, R. ;MEDINA, C. C. ;TAVARES FILHO, J.;GUIMARÃES, M. F.. Soil physical properties and sugarcane root growth in a red Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 63-70, 2012.
- BARIK, K.; AKSAKAL, E. L.; ISLAM, K. R.; SARI, S.; ANGIN, I. Spatial variability in soil compaction properties associated with field traffic operations. **CATENA**, v. 120, n. 0, p. 122-133, 9// 2014.
- BATJES, N. H. Mitigation of atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations by increased carbon sequestration in the soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 27, p. 230-235, 1998.

BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; FABIOLA, N.; TORMENA, C.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 227-234, 2010.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 95, n. 1–2, p. 240-254, 9// 2007.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R.; OWENS, L. B.; POST, W. M.; IZAURRALDE, R. C. Mechanical Properties and Organic Carbon of Soil Aggregates in the Northern Appalachians. **Journal Soils Sediments**. Am. J., v. 69, n. 5, p. 1472-1481, 2005/9 2005.

BLANCO-MOURE, N.; ANGUREL, L. A.; MORET-FERNÁNDEZ, D.; LÓPEZ, M. V. Tensile strength and organic carbon of soil aggregates under long-term no tillage in semiarid Aragon (NE Spain). **Geoderma**, v. 189–190, n. 0, p. 423-430, 11// 2012.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. **Aust.J. Agric. Res.**, 46:1459-1466, 1995.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Ciência . Rural**, v.21, p.409-418, 1997.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. ; DILLY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência . Rural**, 30:91-95, 2000.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetado pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, 58:555-560, 2001.

BERTOL, O. J.; Rizzi, N. E.; Bertol, I.; Roloff, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.781-792, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. 355p.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.6, p.626- 631, 2004.

BULLOCK, P. et al.. **Handbook for soil thin section description**. Albrington: **Waine Reserch**,1985. 152p.

BRAUNACK, M.V. ; DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a review. I - Properties of aggregates and beds of aggregates. **Soil Tillage Research.**, 14:259-279, 1989.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York: John Wiley, 1976. 482p.

BROSSARD, M. FREGONEZI, G. A. F.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; PASINI, A.; VILELA, Lourival ; AYARZA, M. A. . Analysis of an illustrative interaction between structural features and earthworm populations in Brazilian ferralsols. *Comptes Rendus. Géoscience*, v. 344, p. 41-49, 2012.

CAMARGO, O. A. and ALLEONI, L. R. F. (1997), **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 132 p

CAMPOS, R.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:121-126, 1995.

CARDOSO, E.G. et al.. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v.41, n.3, p.493-501, mar. 2006.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:99-105, 1990.

CARTER, M.R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Can. Journal of Soil Science.*, 70:425-433, 1990.

CARVALHO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; ATHAYDES, M.L.F.; ARF, O. & SÁ, M.E. Produtividade do milho em sucessão a adubos verde no sistema de plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, v.39: p.47-53, 2004.

CASTRO, O.M. **Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo**. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1, 1995, Curitiba. Anais...Curitiba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Disponível em: [http://www.ipef.br/publicacoes/seminario\\_cultivo\\_minimo/cap04.pdf](http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_cultivo_minimo/cap04.pdf). Acesso em 25 de novembro de 2015.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PADANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:527-538, 1998.

CASTRO, S.S. de et al.. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2003. v.3, p.107- 164.

CASTRO, S. S.; COOPER, M.; SANTOS, M. C.; VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: Curi, N; Marques, J. J.; Guilherme, L. R. G.; Lima, J. M.; Lopes, A. S.; Alvarez V., V. H. (ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, 2003. p.107-164.

COSTA, F.S. **Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo do solo em experimentos de longa duração**. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 98p. (Tese de Mestrado).

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 27:527-535, 2003.

COSTA, F.S.; GOMES, J.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases de efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, 36:693-700,2006.

COSTA, S.E.V.G.A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; C.A.O, E.G. & HOLZSCHUH, M.J. Phosphorus and root distribution and corn growth as related to long term tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:1237-1247, 2009.

COOPER, M. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizonte B latossólico e B textural sobre diabásio**. 1999. 132f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

COOPER, M. ;BOSCHI, R. S.; SILVA, V. B. ; SILVA, L. F. S. . Software for micromorphometric characterization of pores obtained from 2d image analysis. **Scientia Agricola**, 2015. (no prelo).

CHAVES, J.C.D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. Inf., **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 22:53-60, 2001.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.933-942, 2008

CURMI, P.; KERTTZMAN, F.F.,QUEIROZ NETO, J.P. **Degradation of structure and hydraulic properties in an Oxisol under cultivation (Brazil)**. In: RINGROSE-VOASE A.J.,HUMPHERYS G.S., eds. Soil micromorphology: studies in management and genesis. In: INTERNATIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORPHOLOGY, 9, Townsville, 1994. Proceedings. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.596-579. (Developments in Soil Science, 22).

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo,Solo Santo**

**ÂNGELO (Latosolo Roxo distrófico).** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981. 138p.(Tese de Mestrado).

DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:241-247, 1997.

DIDONÉ, E.J.; MINELLA, J.P. G.; MERTEN, G.H. Quantifying soil erosion and sediment yield in a catchment in southern Brazil and implications for land conservation. **Journal Soils Sediments**, v. 15, p.2334–2346, 2015.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality.** In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA, 1994. p.1-20. (Special, 35).

DULEY, F.L. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. **Soil Journal Soils Sediments Am. Proc.**, 4:60-64, 1939.

DREES, L.R.; KARATHANASIS, A.D.; WILDING, L.P. & BLEVINS, R.L. Micromorphological characteristics of longterm no-till and conventionally tilled soils. **Journal Soils Sediments. Am. J.**, 58:508-517, 1994.

ELLIOTT, E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. **Journal Soils Sediments. Am. J.**, 50:627-633, 1986.

ELLIOT, T. R.; HECK, R. J. A comparison of optical and X-ray CT technique for void analysis in soil thin section. **Geoderma**, Amsterdam, v. 141, p. 60-70, 2007.

HENIN, S. et al.. **Le profil cultural:** Principes de physique du sol. Paris, Masson, 1960. 320p.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1097-1104, 2003.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: Lier, Q. J. van (ed.). Física do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2010. p.1-27.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

FERRERAS, L. A.; BATTISTA, J. J.; AUSILIO, A.; PECORARI, C. Parâmetros físicos del suelo em condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 161-170, 2001.

FREITAS, P.L. de, BLANCANEAU, Ph. Estrutura e porosidade do solo. In: PUIGNAU, J. (ed.) **Metodologias para investigacion en manejo de suelos**. Montevideu : IICA-PROCISUR, 1994. p.25-42. (Diálogo/IICA-PROCISUR, 39).

FREGONEZI, G. A. F. et al.. Modificações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, n.4, p. 1017-1027, 2001.

GRANATSTEIN, D. ; BEZDICEK, D.F. The need for a soil quality index: Local and regional perspectives. **Am. J. Altern. Agric.**, 7:12-16, 1992.

GROENIGEN, K.J., BLOEM, J., BAATH, E., BOECKX, P., ROUSK, J., BODE´, S., FIRRIAL, D., JONES, M.B., 2010. Abundance, production and stabilization of microbial biomass under conventional and reduced tillage. *Soil Biol. Biochem.* 42, 48–55.

GAUDARD, D.M. **A origem do Mercado de Crédito do Carbono**. Ministério de Minas e Energia, Disponível em:<<http://www.conpet.gov.br/artigos>> Acesso em 30 de maio de 2013.

GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H.. **Guide méthodique du profil cultural**. Lyon, CEREF-GEARA, 1987. 71p.

GENRO JÚNIOR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:477-484, 2004.

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, v.39, p.65-73, 2009.

GOEDERT, W.; SCHERMACK, M. J. AND FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, 223-227, 2002.

GOMES, J. A.; SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. L.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SAGRILO, E.; MORA, F. Adubações orgânica e mineral, produtividade do milho e características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo. *Acta Scientiarum, Agronomy*, v.27, p.521-529, 2005.

GUPTA, V.V.S.R. & GERMIDA, J.J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregation size classes as affected by cultivation. **Soil Biology Biochem.**, 20:777-786, 1988.

GUIMARÃES, M .F.; RALISCH, R.; MEDINA, C. C.. **O perfil cultural e as modificações da estrutura do solo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. **Resumos...** Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p. 23-24.

HARBERERN, J. A soil health index. **Journal of Soil Science | Water Conserv.**, v.47, 1992. (Editorial) .

HUFFMAN, E.; EILERS, R.G.; PADBURY, G.; WALL, G. & MacDONALD, B. Canadian Agri-Environmental indicators related to land quality: Soil cover, soil erosion, soil salinity and risk of water contamination. In: CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., Montpellier, 1998. Anais. Montpellier, Rural Development Sector – World Bank, 1998. CD ROM.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: Brasil, DEDIT/CDDI, 92 pp., 1992.

JANZEN, H.H.; CAMPBELL, C.A.; IZAURRALDE, R.C.; ELLERT, B.H.; JUMA, N.; MCGILL, W.B. & ZENTNER, R.P. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies. *Soil Till. Res.*, 47:181-195, 1998.

KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; DORAN, J.W. Soil quality: Current concepts and applications. **Adv. Agron.**, 74:1-40, 2001.

KAY, B. D.; ANGERS, D. A. Soil structure. In: SUMMER, M.E. (Ed). **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, 2000. p. A229- A275.

KEMPER, W.D.; ROSENEAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In. KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*, 1. Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, **America Society of Agronomy**, 1986. p.425-442.

KIEHL, E. J. Manual de Edafologia, Relações Solo – Planta. São Paulo: **Agrônômica**. Cap. 15, 1979.

KLEIN, V. A.; BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v.25, p.395-398, 1995.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**. v.30; p.959-964, 2000.

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

KRAVCHENKO, A. N. et al. Long-term differences in tillage and land use affect intra-aggregate pore heterogeneity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 5, p. 1658-1666, 2011.

KRIBAA, M. et al.. Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, p. 43-53, 2001.

KOOISTRA, M. J.; PULLEMAN, M. M. Features related to faunal activity. In: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (Eds.). **Interpretation of**

**micromorphological features of soils and regoliths.** Amsterdam: Elsevier, 2010, p. 397-440.

LA SCALA Jr., N.; BOLONHEZI, D. & PEREIRA, G.T. Shortterm soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no till sugar cane area in Southern Brazil. **Soil Tillage Research.**, 91:244-248, 2006.

LAL, R. & GREENLAND, B.J. **Soil physical properties and crop production in tropics.** Chichester, John Wiley, 1979. p.7-85.

LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; COLE, C. V. **The Potential of U.S. cropland sequester carbon and mitigate the greenhouse effect.** Chelsea, MI: Sleeping Bear Press, 1998. 128 p.

LAL, R.; BRUCE, J.P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science Pollution**, v. 2, p. 177-185, 1999.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. **The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management.** In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA, 1994. p.37-51. (Special, 35).

LETEY, J.. Relationship between soil physical properties and crop production. In: STEWART B. A. (ed.). **Advances in Soil Science I**; New York, v.1, p.277-294, 1985.

LIMA, A. A.; LIMA, W. L.; BERBARA, R. L. L. Diversidade da mesofauna de solo em sistemas de produção agroecológica. In: I Congresso Brasileiro de Agroecologia, n. 1, 2006. **Revista Brasileira de Agroecologia**. p. 1199 – 1202. 2006.

MACEDO, S F S ; FREGONEZI, G. A. F.; GUILHERME, P R; GUIMARÃES, M. F.; ARAÚJO, A. G.; RALISCH, R.; MEDINA, C. C.; BENASSI, D. A. ; SIQUEIRA, E. M. . **Caracterização física e química de um latossolo bruno sob plantio direto a tração animal.** In: III Encontro Latino-Americano de Plantio direto na pequena propriedade, 1998, Pato Branco- PR. Resumo. Pato Branco - PR: IAPAR, 1998

MACHADO, P.O. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Quim. Nova**, v. 28(2):239-334, 2005.

MACHADO, J.A.; SOUZA, D.M.P.; BRUM, A.C.R. Efeitos de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 5:187-189, 1981.

MANICHON, H.. **Influence des systèmes de culture sur le profil cultural: élaboration d' une méthode de diagnostic basée sur l' observation morphologique.** 1982. 241f. Tese (Doutorado) - Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 1982.

MANICHON, H.; GAUTRONNEAU, Y. **Guía metódica del perfil cultural** – Informe 54. LaPaz: IBTA/ORSTOM, 1996. 29p.

MARCELINO, V. Oxic and related materials. In: STOOPS, G.; MARCELINO, V.; MEES, F. (Eds.). **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Amsterdam: Elsevier, 2010, p. 305-327.

MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciênciado Solo**, 2003. v.3, p.107-164.

MERMUT, A.R.. **Introduction to soil micromorphology**. Saskatoon: University of Saskatchewan, Department of Soil Science, 1992.115p.

MILLER, R.M. & JASTROW, J.D. **The role of mycorrhizal fungi in soil conservation**. In: BETHLENFALVAY, G.J. & LINDERMAN, R.G., eds. Mycorrhizae in sustainable agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1992. p.29-44. (ASA, Special Publication, 54).

MURPHY C.P.; BULLOCK, P.; TURNER R.H.. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis: Part I. Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, v.28, p. 498–508, 1977.

MUZILLI, O. **Manejo do solo em sistema plantio direto**. In: Casão Junior, R.; Siqueira, R.; Mehta, Y. R; Passini, J. J. (eds.) Sistema Plantio Direto com qualidade. 1.ed. Londrina/Foz do Iguaçu: IAPAR/ITAIPU Binacional, 2006. cap.2, p.9-27.

NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C. & KOUAKOUA, E. Efeito do manejo do solo e da matéria orgânica em água quente na estabilidade de agregados de um Latossolo Argiloso. **Ciência Rural**, 36:1410–1415, 2006.

NUERNBERG, N.J. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages: **Sociedade Brasileira de Ciência do solo** – Núcleo Regional Sul, 1998. 160p.

OLIVEIRA, G.C. **Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo submetido a diferente Sistemas de manejo por 20 anos no cerrado**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 78p. (Tese de Doutorado).

PAGLIAI, M.; LA MARCA, M.; LUCAMANTE, G.. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. **Journal of Soil Science**, v.34, p.391-403, 1983.

PAGLIAI, M. et al.. Changes in some physical properties of a Clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium Power. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.73, p.119-129, 2003.

PAGLIAI, M.; La MARCA, M. & LUCAMANTE, G. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. **Journal of Soil Science**., 34:391-403, 1983.

PAGLIAI, M. Soil porosity aspects. **International Agrophysics**, Lublin, v. 4, p. 215-232, 1988.

PAGLIAI, M. Micromorphology and soil management. **Development in Soil Science**, Amsterdam, v. 22, p. 623-640, 1994.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo podzólico vermelho-escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 135-140, 1991

PAUSTIAN, K.; ANDRÉN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; Van NOORDWIJK, M. & WOOMER, P.L. **Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions**. *Soil Use Manag.*, 13:230-244, 1997.

PARFITT, R. L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S. & SHERPHERD, T.G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, 75:1-12 1997.

PARR, J.F.; PAPENDICK, S.B.; HORNICK, S.B. & MEYER, R.E. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *Am. J. Altern. Agric.*, 7:5-11, 1992.

PENTEADO, S.R. **A adubos verdes e produção de biomassa** – Melhoria e recuperação dos solos. 1.ed. Campinas: Via Orgânica, 2007. 164p. CASTRO, O.M. Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1, 1995, Curitiba. Anais...Curitiba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Disponível em: [http://www.ipef.br/publicacoes/seminario\\_cultivo\\_minimo/cap04.pdf](http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_cultivo_minimo/cap04.pdf). Acesso em 25 de agosto de 2015.

PEREIRA, I.S.; RESCK, D.V.S.; GUEDES, H.M.; SILVA, J.E. & CASTRO, L.H.R. **Efeito de diferentes sistemas de manejo na distribuição de macro e microagregados e no teor de carbono orgânico em Latossolo Vermelho-Escuro na região dos Cerrados, Brasil**. SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1., Brasília, 1996. Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras nos Cerrados. Anais. Planaltina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p.367-371.

PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F. Método para quantificar pequenas áreas (perfil do solo) utilizando SIG. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v.26, n.4, p.495-500, 2005.

PEREIRA NETO, O.C. et al.. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.11, n.5, p.489- 496, 2007.

PIRES, L. F. et al. Pore system changes of damaged Brazilian oxisols and nitosols induced by wet-dry cycles as seen in 2-D micromorphologic image

analysis. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 81, n. 1, p. 151-161, 2009.

PORTELLA, C. M. R. ; GUIMARÃES, M. F.; FELLER, C. ;FONSECA, I. C. B.; TAVARES FILHO, J.. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**; v. 36, p. 1868-1877, 2012.

RALISCH, R., GUIMARÃES, M.F., MEDINA,C.C. **The cultural profile methodology utilization to evaluate the tillage effects and tillage equipment efficiency**. In: WORLD CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 12, Milano, 1994. Proceedings...Merelbeke, CIGR, 1994. p. 1273-1279.

RALISCH, R.. **Efeito de três sistemas de manejo no estado estrutural de um latossolo roxo. 1995**. 65f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 1995.

RALISCH, R.; MIRANDA, T.M.; OKUMURA, R.S.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; SCOPE, E; BALBINO, L.C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12 n.4 , p.381-384, 2008.

RALISCH, R.; ALMEIDA, E.;SILVA, A. P.;PEREIRA NETO, O. C.;GUIMARÃES, M. F. . Morphostructural characterization of soil conventionally tilled with mechanized and animal traction with and without cover crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1795-1802, 2010.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1609-1623, 2007

RENNER, Rosana Maria. **Seqüestro de Carbono e viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. Disponível em://www.ufrgs.br/necon/2evavea(3).pdf. Acesso em 19 de junho de 2013.

RICHARD, G.; BOIZARD, H.; ROGER-ESTRADE, J.; BOIFFIN, J. & GUÉRIF, J. Effect of compaction on the porosity of a silt soil: influence on unsaturated hydraulic properties. *Eur. J. Soil Sci.*, 52:49-58, 2001.

RINGROSE-VOASE, A.J. A scheme for the quantitative description of soil macrostructure by image analysis. . **Journal of Soil Science**.,v. 38, p.343-356, 1987.

ROGER-ESTRADE, G. RICHARD, J. CANEILL, H. BOIZARD, Y. COQUET, P. DEFOSSEZ, MANICHON, H.. 2004. Morphological characterization of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modeling of structural changes over time. **Soil Tillage Research** v. 79: p. 33–49.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. **Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo**. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. 1.ed.Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304p.

SALTON, J.C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.158p.

SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E.; BREJDA, J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. **Soil Sci.**, 164:224- 234, 1999.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, 35:2485-2492, 2000.

SILVA, I. R. da; MENDONÇA, E. de S. Matéria Orgânica do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do Solo. 1ª ed. MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 2007. p. 275-374.

SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:113-117, 1997.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. & CARVALHO, F.G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola.**,10:579-585, 2006.

SILVA, R.H. & ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.**, 25:253-260, 2001.

SILVA, ADRIANA PEREIRA DA ; BABUJIA, LETÍCIA CARLOS ; FRANCHINI, JULIO CEZAR ; Ralisch, R ;HUNGRIA, Mariangela;Guimarães, Maria de Fátima. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil & Tillage Research**, v. 142, p. 42-53, 2014.

SILVEIRA, P.M.; SILVA, O.F.; STONE, L.F. & SILVA, J.G. Efeito do preparo do solo, plantio direto e rotação de culturas sobre o rendimento e economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, 36:257-263, 2001.

SILVA, L. F. S., **Atributos físicos e micromorfológicos da Estrutura de um Latossolo Vermelho Distroférrico típico submetido ao manejo Agrícola 2011**. 214 f. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas-Faculdade de engenharia agrícola, 2011.

SOARES, J.L.N.; ESPINDOLA, C.R.; PEREIRA, W.L.M. Physical properties of soils under intensive agricultural management. **Scientia Agricola**, v.62, p.165-172, 2005.

SOARES, J. L. N.; ESPÍNOLA, C. R.; FOLONI, L. L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 353-359, 2005.

SOUZA, Z.M. et al.. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.487-492, mar. 2006.

SCHAEFER, C.E.R. et al.. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.765-769, 2001.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I- Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:427-436, 2000.

SHUKLA, M.K.; LAL, R. & EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Till. Res.*, 87:194-204, 2006.

STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. 2. Ed. New York, **John Wiley & Sons**, 496p., 1994.

STOOPS, G. **Guidelines for the analysis and description of soil and regolith thin sections**. Madison: Soil Science Society of America, 2003. 184 p.  
STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeito do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 34:83-91, 1999.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo do solo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 395-401, 2001.

TAMIA, A.; MOREAU, R.; FORTIER, M. & YORO, G. Influence du travail du sol sur l'évolution physique d'un sol forestier ferrallitique après défrichement motorisé. **Étude et Gestion des Soils**, V 6; n1, p:27-39, 1999.

TAVARES FILHO, J. **Organisation et comportement des latosols du Paraná (Brésil). Influence de leur mise en valeur**. 1995. 229f. Tese (Doutorado em Science de la Terre, área de concentração Física do Solo) - Université Henry Poicaré - Nancy I, 1995.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C & NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:393- 399, 1999.

TAVARES FILHO, J. TESSIER, D.. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.6, p.1837-1844, 2009.

TAVARES FILHO, J., TESSIER, D. Effects of different management systems on porosity of oxisols in Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, n. 3, p.899-906, 2010.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.333-39, 1996.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A., ARAÚJO, M.A., FIDALSKI, J., IMHOFF, S., SILVA, Á.P.d., 2008. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32, 943-952.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the **National Academy of Science of the United States of America (PNAS)**. vol. 108, no. 50, 20260-20264, 2011.

VIANA, J.H.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R.. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n.1 p.11-19, 2004.

VOLK, L. B. S.; NOLLA, A.; TOPPA, E. C. B.; VALERIO, L. A. L.; MARINI, P. M. Alterações em propriedades físicas de um Latossolo Vermelho arenoso sob mata natural e diferentes manejo. *Cultivando o saber*, Cascavel, v.2, n.4, p. 163-172, 2009. Disponível em: <http://www.fag.edu.br/graduacao/agronomia/csvolume24/19.pdf>. Acesso em: 30 de abril de 2015.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 40, p487-494, 2005.

ZINN, Y.L.; LAL, R. RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.