



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA**

---

**RAFAEL FUENTES LLANILLO**

**INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO  
FAMILIAR MECANIZADA DE GRÃOS EM MODALIDADES  
DE PLANTIO DIRETO NO NORTE DO PARANÁ, BRASIL**

---

Londrina  
2007

**RAFAEL FUENTES LLANILLO**

**INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO  
FAMILIAR MECANIZADA DE GRÃOS EM MODALIDADES  
DE PLANTIO DIRETO NO NORTE DO PARANÁ, BRASIL**

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

Orientadora: Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães.

Londrina  
2007

**RAFAEL FUENTES LLANILLO**

**INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO  
FAMILIAR MECANIZADA DE GRÃOS EM MODALIDADES  
DE PLANTIO DIRETO NO NORTE DO PARANÁ, BRASIL**

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Sônia Maria Pereira Pessoa  
Bergamasco – FEAGRI/UNICAMP

---

Dr. Tiago Pellini – IAPAR

---

Prof. Dr. Oswaldo Calzavara – UEL

---

Profa. Dra. Maria Helena de Moraes  
FCA/UNESP

---

Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães – UEL

---

Dr. Augusto Guilherme de Araújo (suplente)  
IAPAR

---

Profa. Dra. Carmen Sílvia Vieira Janeiro Neves  
(suplente) – UEL

---

Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães  
Orientadora – UEL

Londrina, 05 de dezembro de 2007.

## **DEDICATÓRIA**

A Burô, Mó e Chupy, família ideal de todas as horas que eu amo tanto,  
aos meus pais Ana e Rafael,  
aos meus irmãos Ana e Fernando,  
ao meu sobrinho Guilherme,  
aos muitos amigos leais,  
a Deus por ter-me trazido força,  
ao escotismo e ao triathlon também.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha orientadora Maria de Fátima Guimarães pela confiança e também pelo agradável relacionamento durante a trajetória,

aos agricultores parceiros pela participação sincera, fundada na confiança da longa convivência,

ao IAPAR por ter investido em mim e permitido mais esse passo,

aos técnicos agrícolas Ronaldo Rossetto e Pedro Machado do IAPAR pelo trabalho conjunto, pelo apoio técnico irrestrito e amizade incondicional,

às amigas Anaís Kasuya Saldanha e Paula Daniela Munhos pela grande ajuda no tratamento das informações econômicas,

aos professores Angel Rosales Valdez da Universidad de Holguín, Cuba, Maria Inês Fonseca e Osvaldo Coelho Pereira Neto da UEL pela participação ativa no desenvolvimento da pesquisa,

aos amigos pesquisadores do IAPAR Dimas Soares Júnior, Antonio Carlos Laurenti, Moacyr Doretto, Ademir Calegari, Augusto Guilherme de Araújo, Ruy Casão Júnior, Edson Lima de Oliveira, Wilian Ricce, Paulo Henrique Caramori e Rubens Siqueira pela colaboração científica,

aos colegas das Redes de Referência de todo o Paraná mas especialmente a Dimas Soares Júnior, Márcio Miranda, Sérgio Carneiro, Adenir de Carvalho, Ciro Marcolini, Manoel Pessoa de Lira, Maurílio Soares Gomes e Rafael Figueiredo por tudo o que passamos juntos,

à Cleo Contini pelo apoio na ADP sempre ao nosso lado,

às meninas da Biblioteca do IAPAR Sephora Cordeiro, Jacqueline Sawada Buratto, Clarice Francisquini e Joyce Pacheco pelo competente apoio técnico na condução da revisão bibliográfica,

à Giovana Sonomura pela amizade e valiosa ajuda nas ilustrações,

ao professor Ricardo Ralisch pelo incentivo e amizade,

ao amigo Altair Dorigo presente nos momentos mais difíceis.

FUENTES LLANILLO, Rafael. **Indicadores de sustentabilidade da produção familiar mecanizada de grãos em modalidades de plantio direto no norte do Paraná, Brasil**. 2007. 142f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

## RESUMO

Treze estabelecimentos agropecuários das Redes de Referências para a Agricultura Familiar que utilizam o plantio direto na produção de grãos foram estudados nos aspectos econômicos de rentabilidade e classificados por tipos e tempos de adoção do manejo. Seis deles foram selecionados para um estudo detalhado de morfologia, física e química do solo. O objetivo foi gerar referências sobre sustentabilidade, baseadas em indicadores factíveis na aplicação e fáceis de reproduzir, com uma abordagem sistêmica e conservacionista, sob condições reais dos produtores. A metodologia utilizou indicadores de custos variáveis, margens brutas, perfil cultural, resistência à penetração, densidade do solo, agregação, conteúdo de carbono e outros atributos químicos de rotina. O sistema familiar de produção mecanizada de grãos em plantio direto no norte do Paraná é rentável, mesmo quando a adoção do sistema é parcial. A rotação de culturas é relativamente limitada e não inclui adubos verdes e plantas de cobertura, mas está associada às maiores rentabilidades. Produtores especializados em grãos obtêm as melhores margens brutas, mas produtores diversificados podem auferir resultados semelhantes desde que possuam sementeiras próprias ou serviços terceirizados de boa qualidade e pontualidade. A qualidade e o momento adequado de semeadura são cruciais para obter resultados econômicos superiores. Às piores margens brutas e produtividades está associado o uso de sementeiras alugadas. O plantio direto consolidado de longo prazo com rotação de culturas, mostrou-se sustentável em relação à morfologia de solos, sem ocorrência de compactação. O plantio direto de longo prazo com escarificação eventual apresentou boas condições, mas apresentou um adensamento mais rápido e mais extenso em relação ao plantio direto de longo prazo sem nenhum revolvimento. A compactação, principalmente nas áreas sob ação do rodado, é a principal ameaça à sustentabilidade do sistema, ainda mais quando os produtores dependem de sementeiras e colhedoras alugadas, com menos autonomia para decidir os momentos ótimos para realização das operações. O curto prazo é a fase mais crítica do plantio direto quando pode evoluir para a consolidação ou desvirtuar-se em compactação. O sistema de preparo mínimo de solo foi o que apresentou as maiores densidades e valores de resistência à penetração aproximando-se de valores críticos para a sustentabilidade. Houve acúmulo de carbono em superfície pelo uso contínuo do sistema de plantio direto, e os maiores conteúdos de carbono foram do plantio direto de longo prazo com rotação de culturas. Os sistemas com preparo mínimo de solo com escarificação anual ou eventual podem manter ou acumular carbono, mas o revolvimento limita esse efeito. Exceto para o conteúdo de carbono, com os dados disponíveis não foi evidente o efeito dos diferentes tipos de plantio direto sobre a fertilidade química do solo, em virtude das diferentes situações locais e estratégias de manejo de nutrientes. O plantio direto na sua forma completa mostrou-se sustentável com relação a todos os indicadores estudados.

**Palavras-chave:** Margem bruta. Perfil cultural. Resistência à penetração. Densidade. Carbono.

FUENTES LLANILLO, Rafael. **Sustainability indicators of mechanized grain crops family farming systems under different types of no-tillage in the north of Parana, Brazil.** 2007. 142f. Thesis (Doctor in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

## ABSTRACT

Thirteen farms of the Network of References for Household Farming that use no-tillage technology in grain production were studied with regard to their economic revenues and classified according type and time of no-tillage adoption. Six of them were selected for detailed study of morphological, physical and chemical attributes of their soils. The objective was to generate references of sustainability, based on indicators feasible and easy to reproduce, with a conservationist and multidisciplinary approach under the real farmers conditions. Methodology included indicators as variable cost, gross margin, cropping profile, resistance to penetration, soil density, soil aggregation, carbon content and other routine chemical attributes. The no-tillage household farming system of grain crops in the north of Parana State is profitable even when partially adopted. Crop rotation is relatively limited and doesn't include green manures and cover crops, but is associated with the highest revenues. Farmers specialized on grain crops reach better gross margins, but diversified farmers can achieve similar results as far as they have their own seeding machines or access to good quality and prompt contracted services. The quality and the adequate moment of sowing are crucial to obtain superior economic results. The worst gross margins and yields are linked with the utilization of contracted sowing operations. Consolidated long-term no-tillage with crop rotation showed sustainability in relation to soil morphology, without soil compaction. Long-term no-tillage with eventual use of chisel plough presented good morphological conditions, but also a quick and extense increase in soil density compared to undisturbed long-term no-till. Compaction, specially in the wheel traffic zones, appears to be the major constraint to sustainability of the system, even more when farmers depend on hired sowing and harvest machines and, therefore, with less autonomy to define the precise moment of operations. The short-term is the most critical period to no-till systems, when they can either evolve to consolidation or devirtuate to compaction. The direct-drilling minimum till with chisel plough presented the highest soil densities and resistance to penetration, reaching values close to critical in terms of soil physical sustainability. Carbon contents increased on soil surface due to continuous no-tillage cropping and higher values were achieved long-term no-till with crop rotation. Annual or eventual chisel ploughing systems may maintain or accumulate carbon, but the soil disturbance restrict this effect. Except for carbon content, with the available data it was not possible to observe the effects of different types of no-till on other chemical attributes of soil fertility, due to different specific situations of site location and nutrient management strategies. The no-tillage system, on its complete version, is sustainable in relation to all selected indicators.

**Keywords:** Gross margin. Cropping profile. Resistance to penetration. Soil density. Carbon.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
2.1 SUSTENTABILIDADE, AGRICULTURA SUSTENTÁVEL E PLANTIO DIRETO .....	12
2.2 MARGEM BRUTA COMO INDICADOR ECONÔMICO.....	16
2.3 INDICADORES DE MORFOLOGIA E FÍSICA DO SOLO .....	20
2.4 INDICADORES DE QUÍMICA DO SOLO .....	28
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	31
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	31
3.2 PÚBLICO-META .....	33
3.3 ROTEIRO DE PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	34
<b>4 ARTIGO A: MARGENS BRUTAS EM PLANTIO DIRETO DE GRÃOS EM ESTABELECIMENTOS AGROPECUÁRIOS FAMILIARES NO NORTE DO PARANÁ, BRASIL</b> .....	37
RESUMO E ABSTRACT.....	37
4.1 INTRODUÇÃO.....	38
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	40
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	42
4.4 CONCLUSÕES.....	51
<b>5 ARTIGO B: PERFIL CULTURAL E QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO DE GRÃOS EM ESTABELECIMENTOS AGROPECUÁRIOS FAMILIARES NO NORTE DO PARANÁ, BRASIL</b> .....	52
RESUMO E ABSTRACT.....	52
5.1 INTRODUÇÃO.....	53
5.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	54
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
5.4 CONCLUSÕES.....	85

<b>6 ARTIGO C: CONTEÚDO DE CARBONO E OUTROS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO SOB PLANTIO DIRETO DE GRÃOS EM ESTABELECIMENTOS AGROPECUÁRIOS FAMILIARES NO NORTE DO PARANÁ, BRASIL.....</b>	<b>86</b>
RESUMO E ABSTRACT .....	86
6.1 INTRODUÇÃO .....	87
6.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	88
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	89
6.4 CONCLUSÕES .....	104
<b>7 CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>128</b>
ANEXO 1 – Procedimentos Metodológicos: Caracterização da Área de Estudo ...	129
ANEXO 2 – Procedimentos Metodológicos: Entrevista Semi-estruturada.....	132
ANEXO 3 – Indicadores Econômicos.....	136
ANEXO 4 – Indicadores de Química de Solo.....	141

## 1 INTRODUÇÃO

A discussão sobre agricultura sustentável atinge dimensões planetárias, pois simultaneamente e de forma duradoura deve-se minimizar a erosão, produzir alimentos, fibras e biocombustíveis, e adicionalmente, seqüestrar e acumular carbono para mitigar o efeito estufa e as mudanças climáticas globais.

Uma verdadeira revolução se processou no Brasil e no mundo desde os anos 70 do século passado no sentido de uma agricultura mais estável, sem inversão das camadas do solo, semeando diretamente sobre os resíduos vegetais de uma cobertura permanente. Ao longo dos últimos 35 anos tem-se desenvolvido o sistema de plantio direto, internacionalizado como no-tillage ou simplesmente no-till, que é o principal instrumento do que se tem chamado de agricultura de conservação. Tal sistema tem sido adaptado a inúmeras regiões, para diversas condições edafoclimáticas e socioeconômicas, sendo acessível a pequenos, médios e grandes produtores, tanto familiares como empresariais.

Durante quase duas décadas o Estado do Paraná capitaneou diversos projetos desenvolvimento rural e conservação de solos, entretanto considera-se o Projeto de Microbacias Hidrográficas PARANARURAL (1987/1995), o divisor de águas que evoluiu das práticas mecânicas de controle da erosão para uma visão sistêmica da paisagem, onde a estratégia técnica incluía o sistema de plantio direto junto com outras práticas de conservação, inclusive estradas rurais, abastecedouros comunitários, proteção de mananciais e planos integrados de microbacias hidrográficas. Esse programa serviu de modelo para o Banco Mundial em projetos de desenvolvimento rural conservacionista e combate à pobreza em outros estados e países.

No escopo desses projetos, diversas ações públicas de pesquisa e extensão rural foram dirigidas prioritariamente aos pequenos e médios produtores familiares. É um setor significativo em participação na produção e em número de pessoas envolvidas, que constitui o público mais vulnerável dentro do modelo econômico. São empreendimentos agropecuários onde o trabalho, na sua essência, é realizado pela família produtora.

A experiência do IAPAR –Instituto Agrônômico do Paraná- e da EMATER –Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural- na

aplicação do enfoque de sistemas de produção e da visão sistêmica, multidisciplinar e interinstitucional para atender a pequena produção familiar data do início do projeto PRORURAL em 1981 (Berdegué, 2000). Diversas variantes metodológicas foram utilizadas ao longo dos anos, privilegiando, em certas situações, o nível de comunidades e, em outras, o das microbacias hidrográficas, mas sempre olhando o estabelecimento ou unidade produtiva como um todo.

Mas foi a partir de 1998, no marco do projeto PARANÁ 12 MESES e utilizando metodologia desenvolvida pelo Institute de L'Élevage, da França, que se deflagrou um novo enfoque em parceria com os agricultores no projeto "Redes de Referências para a Agricultura Familiar" levado a efeito pelo IAPAR e EMATER. Uma rede é um conjunto de estabelecimentos representativos de determinado sistema de produção familiar, que após processo de promoção da eficiência e sustentabilidade conduzido por agricultores e técnicos, servem como referência técnica e econômica para as outras unidades por elas representadas.

Na atualidade cerca de 250 estabelecimentos são acompanhados em 14 das 20 regiões do Paraná. Na mesorregião Norte do Paraná composta pelas regiões de Londrina, Cornélio Procopio e Apucarana, 11 sistemas de referência já foram descritos e publicados, assim como referências modulares de soja e frango de corte, e mais de 10 sistemas estão sendo aprimorados. A equipe do projeto na região já produziu análises técnico-econômicas de curto prazo desses sistemas (Soares Júnior e Saldanha, 2000; Carvalho et al., 2001), assim como análises de médio e longo prazo foram alvo de três dissertações de mestrado em administração rural. Saldanha (2005) estudou evolução e determinantes das margens brutas dos estabelecimentos, Carneiro (2005) fez uma prospecção do impacto de implantação da reserva legal e Soares Júnior (2006) estudou as redes de unidades produtivas como instrumento do desenvolvimento territorial.

A presente tese tem um foco na produção familiar mecanizada de grãos em plantio direto, com o objetivo de classificar suas modalidades e saber quão sustentáveis são esses sistemas nas condições reais dos produtores, segundo indicadores econômicos e de qualidade de solos.

Os resultados deste trabalho são apresentados na forma de três artigos:

- Margens brutas em plantio direto de grãos em estabelecimentos agropecuários familiares no norte do Paraná, Brasil.
- Perfil cultural e qualidade física do solo sob plantio direto de grãos em estabelecimentos agropecuários familiares no norte do Paraná, Brasil.
- Conteúdo de carbono e outros atributos químicos do solo sob plantio direto de grãos em estabelecimentos agropecuários familiares no norte do Paraná, Brasil.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A presente revisão restringe-se de forma utilitária aos conceitos de sustentabilidade e de seus indicadores com relação aos aspectos econômicos das unidades produtivas e dos solos nos seus aspectos morfológicos, físicos e químicos.

### 2.1 SUSTENTABILIDADE, AGRICULTURA SUSTENTÁVEL E PLANTIO DIRETO

A palavra sustentabilidade tem sua origem do Latim **sus-tenere** que significa suportar ou manter. Segundo Kidd (1992), o conceito de sustentabilidade, relacionado com o futuro da humanidade, foi usado pela primeira vez em 1972, no livro *Blueprint for Survival*. Segundo Van Bellen (2005) a noção de desenvolvimento sustentável surge no início dos anos 70, pela crítica da sociedade ao modelo dominante até então de desenvolvimento exclusivamente à base de crescimento. De acordo com o autor o termo desenvolvimento sustentável foi discutido pela primeira vez pela World Conservation Union (IUCN) no documento *World's Conservation Strategy* (IUCN, UNEP e WWF, 1980).

Para Van Bellen (2005) existem dois eventos marcantes na definição do significado do desenvolvimento sustentável. O primeiro foi a Conferência de Estocolmo de 1972 sobre meio ambiente humano onde foi discutido o relatório *The limits to growth*, produzido pelo Grupo de Roma, onde se ressaltou que os problemas ambientais tinham uma escala global e aumentavam de forma exponencial. Respeitando a importância de muitos outros eventos intermediários, o segundo evento marcante foi a Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992 no Rio de Janeiro, quando foi definido o documento *Agenda 21*.

Outro marco importante na discussão foi o Relatório Brundtland, elaborado a partir da World Commission on Environment and Development (WCED, 1987), que traz uma das definições mais conhecidas que afirma que o desenvolvimento sustentável é o atendimento às necessidades das gerações presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas

próprias necessidades. A primeira definição mundialmente aceita é a do Relatório Brundtland e a segunda, bem mais aceita atualmente, é todo o documento de 40 capítulos intitulado Agenda 21 (United Nations, 1993).

De acordo com Kidd (1992) seis diferentes correntes de pensamento que deram origem ao conceito de sustentabilidade já se encontravam completamente desenvolvidas antes do termo sustentabilidade ser primeiramente utilizado, incluindo a da crítica à tecnologia, a ecológica, a do ecodesenvolvimento, além das correntes de redução, paralisação e reversão do crescimento econômico (Marcatto, 2000).

Em realidade, as variações de significados para o conceito de sustentabilidade revelam valores, percepções e visões políticas diferentes e até conflitantes de como utilizar os recursos naturais. O grau de sustentabilidade é relativo em função do campo ideológico ambiental ou da dimensão em que cada ator se coloca (Van Bellen, 2005). Desde aqueles que propõem simples ajustes no presente modelo de desenvolvimento, até aquelas que demandam mudanças mais radicais e estruturais nos padrões de produção e de consumo da sociedade como um todo (Ehlers, 1996; Darolt, 2000; Marcatto, 2000). Entretanto, todas elas têm traços comuns que são a interação entre crescimento populacional, uso de recursos não renováveis e pressão sobre o meio ambiente, de forma a buscar um equilíbrio de longo prazo para garantir as gerações futuras. A busca de sistemas sustentáveis na agricultura foi um desafio crítico à Revolução Verde, de toda a sociedade, com relação à preservação do meio ambiente.

Com esse pano de fundo, desde os anos 80, a agricultura sustentável tem sido estudada segundo três dimensões: ecológica, econômica e social. Na dimensão ecológica, o agroecossistema sob utilização deve manter através do tempo suas características fundamentais, sem degradação de seus componentes e relações; na dimensão econômica o sistema deve produzir uma rentabilidade razoável e estável através do tempo; na dimensão social, os benefícios obtidos pela utilização dos recursos naturais devem ser distribuídos com equidade na sociedade de acordo com valores culturais e éticos. A conjugação de um adequado desempenho com respeito às três dimensões, de forma integrada e contínua ao longo do tempo, é o que confere sustentabilidade a um sistema de produção (Conway, 1994; Müller, 1996; Ehlers, 1996; Darolt, 2000).

O início dos anos 90 foi um período fértil para estudos de avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (CGIAR, 1989) promovido por instituições como o Banco Mundial (Njikamp, Soeteman e Van den Bergh, 1991), o CGIAR (Conway, 1994) e a OECD (OECD, 1997). Na América Latina, trabalhos de instituições como o CIMMYT (Harrington, Jones e Winograd, 1994), IICA/GTZ (Camino e Müller, 1993; Fuentes Llanillo, Machado e Fontana, 1993; Winograd, 1995; Müller, 1996) e RIMISP (RIMISP, 1996) resultaram na definição de diversos indicadores com as características desejáveis de relevância, objetividade, facilidade de mensuração e replicação, e possibilidade de estabelecimento de inter-relações (Camino e Müller, 1993; Fuentes Llanillo, Machado e Fontana, 1993; Müller, 1996; Darolt, 2000; Turnes, 2004).

No Brasil, mais especificamente no Paraná, fruto de uma ação sinérgica deflagrada contra a erosão em meados da década de 70 por produtores autônomos pioneiros principalmente, e também pela ação conjunta da GTZ e o órgão estadual de pesquisa agropecuária IAPAR, pelas empresas produtoras de agroquímicos e equipamentos, pela extensão das cooperativas, e depois da extensão oficial, desenvolveram-se as bases do sistema de plantio direto (Borges, 2003; Bolliger et al., 2006). O sistema de plantio direto juntamente com um conjunto de práticas conservacionistas dirigidas não só às culturas anuais, mas também às outras formas de exploração agrosilvipastoris inclusive adequação de estradas rurais, foi colocado à disposição dos agricultores no nível das microbacias hidrográficas através do Projeto PARANARURAL, fruto de um Acordo de Empréstimo entre o Banco Mundial e o Estado do Paraná, sendo importante propulsor de sua massificação em escala estadual.

O sistema de plantio direto de culturas anuais aliado a um elenco de boas práticas como a integração lavoura-pecuária sem sobrepastoreio, a fruticultura integrada, os sistemas hortícolas com cobertura permanente, os sistemas agroflorestais e agrosilvipastoris e as áreas de proteção permanente, tem sido mundialmente denominado Agricultura de Conservação que é uma grande corrente da agricultura sustentável. Ela se baseia em três princípios fundamentais: o não revolvimento do solo, a cobertura permanente do solo e a rotação de culturas (FAO, 2002; Dixon, 2003; Benites, 2003).

O sistema de plantio direto é a principal técnica da Agricultura de Conservação sendo definido como o plantio de culturas anuais diretamente sobre o

solo sem nenhuma preparação prévia primária ou secundária, abrindo somente uma estreita faixa, profunda o suficiente para depositar sementes e fertilizantes (Bolliger et al., 2006; Landers, 2001). Tais sistemas ocuparam no Brasil na safra 2005/06 mais de 25 milhões de hectares (Bernoux et al 2006; FEBRAPDP, 2007) e mais de 95 milhões de hectares no mundo em 2004/05 (Derpsch, 2005). A experiência do plantio direto no Brasil como base para uma agricultura sustentável tem sido bem caracterizada na bibliografia (Bolliger et al., 2006; Landers, 2001; Derpsch, 1998; Calegari, Darolt e Ferro, 1998).

No sul do Brasil esse conceito tem sido ampliado para o que se chama sistema de plantio direto com qualidade, onde as técnicas de manejo conservacionista de solo são usadas em toda sua amplitude: rotação de culturas, plantas de cobertura, sementeiras apropriadas, manejo amplo da fertilidade do solo (física, química e biológica) e racionalização do uso de insumos químicos para reduzir custos e contaminação ambiental (Casão Júnior et al., 2006; Medeiros e Calegari, 2006; Calzavara, 2003).

Segundo revisão realizada por McGarry (2003) sobre mais de uma centena de trabalhos sobre plantio direto, em geral respostas positivas ao plantio direto superam as negativas, já que na maioria dos casos, resultam em melhoria das condições físicas do solo e/ou nos níveis de matéria orgânica. Os efeitos positivos do plantio direto cobrem diversas áreas como melhoria na conservação de solos e águas, o incremento paulatino da fertilidade do solo, redução do requerimento de trabalho, diminuição no consumo de combustível e na utilização de máquinas e o concomitante incremento da rentabilidade global dos produtores (Benites, 2003; Dixon, 2003; McGarry, 2003; Bolliger et al., 2006; Calegari, 2006; Hobbs, 2007), apesar de poder ocorrer dependência de insumos agroquímicos, principalmente de herbicidas (Bolliger et al. 2006).

Em solos argilosos, a compactação do solo em plantio direto tem sido apontada como um entrave à manutenção do solo sem algum tipo de preparo (McGarry, 2003). Também devido a isso tem sido defendido o tráfego controlado de máquinas como quarto princípio da agricultura de conservação (Benites, 2003). Em vista do processo de compactação muitos produtores se utilizam da escarificação eventual, interrompendo o ciclo de incremento da matéria orgânica (Castro Filho et al., 1998). O acúmulo de carbono em superfície é a principal virtude do sistema de plantio direto pelos seus efeitos sobre a agregação e sobre a biologia do solo

(Andrade, Colozzi Filho e Giller, 2003). A movimentação do solo mesmo eventual cria condições para a oxidação do carbono e diminuição da matéria orgânica e também quebra a resiliência das culturas às pragas e doenças, obtida pelo não revolvimento contínuo do solo.

## **2.2 A MARGEM BRUTA COMO INDICADOR ECONÔMICO**

Os aspectos econômicos do plantio direto (no-tillage) são tratados brevemente no nível da macroeconomia e depois no nível da unidade produtiva e dos talhões dentro dos limites do sistema de produção.

O plantio direto tem sido visto como uma alternativa com triplo efeito positivo. Aumentando a rentabilidade dos agricultores, diminuindo os riscos e gerando efeitos externos positivos, na conservação ambiental e no desenvolvimento econômico (Dixon, 2003).

Um tema relevante é o custo econômico e social da erosão dos sistemas convencionais em relação ao plantio direto. Marques (1998) e Rodrigues (2005) colocam que o processo erosivo tem dois tipos de efeitos: internos e externos. Os internos estão associados à perda na eficiência da produção e são absorvidos pelos produtores, incrementando seus custos de produção no médio e longo prazo. O efeito interno ou o custo privado da erosão seria dado pelos nutrientes perdidos pelo solo erodido (Bertol et al., 2005) ou em casos mais graves, o custo seria a diminuição do valor de mercado da terra pela degradação (Campanhola, Luiz e Luchiari Júnior, 1997; Marques, 1998; Rodrigues, 1999; Rodrigues; 2005). Já os efeitos externos são absorvidos por outros agentes econômicos, como perda de biodiversidade ou a diminuição da qualidade da água ou a perda do recurso solo em si mesma. Normalmente são subestimados, pois a contabilização monetária de alguns custos de reposição não traduz o verdadeiro valor do solo, em que a formação de cada centímetro leva 400 anos em nossas condições.

Bertol et al. (2005) no planalto catarinense concluíram que o plantio direto reduziu as perdas de solo e água em 88 e 57% respectivamente, e que os custos por hectare-ano de perda de P, K, Ca e Mg por erosão foram de US\$24,94

em preparo convencional, US\$16,33 em preparo mínimo e US\$14,83 em plantio direto, inferiores aos obtidos por Freitas e Castro (1983), Pimentel et al. (1995), Alfsen et al. (1996) e Martinez-Casasnovas e Ramos (2004).

Rodrigues (2005) analisando plantio direto de soja e milho no cerrado brasileiro em Mato Grosso do Sul encontrou que na soja e no milho os custos foram 0,47% maiores e 5,92% menores respectivamente e custos ambientais 81,22 e 29,43 % menores que em sistema convencional.

Externalidades como as disponibilidades de combustíveis fósseis e dos nutrientes estão na mesma direção de uma vantagem do plantio direto em relação ao convencional (Hobbs, 2007; Fuentes Llanillo et al, 2006c; Sorrenson, Lopez-Portillo e Nuñez, 1997 e 1999; Sorrenson e Montoya, 1984; Laurenti e Fuentes Llanillo, 1981). As exigências dos consumidores e a crescente mudança de mentalidade dos produtores têm feito que a agricultura orgânica em suas diversas correntes tenha avançado (Darolt, 2000; Gareau, 2004; Casão et al., 2006). O plantio direto não é incompatível com agricultura orgânica. Toda reciclagem deve ser potencializada, lado a lado com a paulatina substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis e alternativas energéticas.

O solo detém o maior estoque de carbono da superfície terrestre, cerca de 1500 Gt, equivalente a três vezes a quantidade estocada na biomassa e duas vezes a quantidade existente na atmosfera (Bernoux et al., 2006). A habilidade do plantio direto em seqüestrar e acumular carbono no solo tem sido apontado como um dos principais efeitos externos positivos do sistema na mitigação dos gases do efeito-estufa (Lal et al., 1988; Cole, 1996; Lal, 1999; Benites, Dudal e Koohafkan, 1999; Bot et al., 2001; Sá et al., 2001; Reicosky, 2001; Tebrugge, 2001; Benites, 2003; Bernoux et al., 2006; Calegari, 2006). Levando em conta uma acumulação média de 1 t C/ ha.ano no sul do Brasil, há um potencial de seqüestrar 29 Mt de CO<sub>2</sub> anualmente (Bot et al., 2001; Benites, 2003). Assumindo 40% de uso do plantio direto e preparo mínimo na Europa, acumulando de 0,5 a 0,8 t C/ ha.ano, há um potencial de seqüestrar 130Mt de CO<sub>2</sub> anualmente, 40% da meta de redução do continente em 2012 (Tebrügge, 2001). Nos Estados Unidos com um potencial de seqüestro de 0,5 a 1,0 t C/ ha.ano seria possível chegar a 180 Mt de C anualmente, 30% da meta de redução daquele país (Lal, 1999). Mesmo imaginando uma estabilização nos níveis de carbono dos solos após alguns anos de adoção do

sistema, diminuindo taxas de seqüestro, esses números são muito expressivos, apesar de sua valoração econômica não estar muito bem quantificada ainda.

Com certeza o que mais mobilizou os produtores na expansão do plantio direto foi a maior rentabilidade do sistema devido a menores custos com combustíveis e máquinas, e a menor demanda por trabalho em relação ao preparo convencional (Hobbs, 2007; Bolliger et al., 2006; Alvim e Oliveira Júnior, 2005; Alvim et al., 2004; Dixon, 2003). No início da década de 1980, o sistema de plantio direto tinha custos semelhantes ao plantio convencional, pois em plantio direto a diminuição de custos pela não preparação do solo, era totalmente gasta com herbicidas e sua aplicação (Laurenti e Fuentes Llanillo, 1981), mesmo que os efeitos de longo prazo pela diminuição da erosão e de uma maior reciclagem de nutrientes apontassem para sua viabilidade (Sorenson e Montoya, 1984). Durante a década de 1980 com semeadeiras mais eficientes e com herbicidas dessecantes mais eficazes e menos agressivos ao meio ambiente, ocorreu a expansão do sistema em área no sul do Brasil.

Nessa mesma época o desenvolvimento de semeadeiras de plantio direto à tração animal e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas para pequenos produtores com restrições de recursos, permitiu viabilizar o sistema para esse público, com incrementos na renda e muito menor demanda e penosidade do trabalho familiar (Darolt, 1998; Ribeiro et al., 2005; Bolliger et al., 2006). Para pequenos produtores de recursos escassos, o plantio direto é mais arriscado inicialmente, já que envolve gastos em nutrientes e eventualmente herbicidas pouco utilizados no sistema tradicional (Samaha, Guerreiro e Santos Filho, 1998). Muitas vezes devem-se estancar as perdas do sistema, antes de introduzir o plantio direto (Ribeiro et al., 2005).

Na segunda metade dos anos 90 com a diminuição do preço dos herbicidas dessecantes, o sistema se expandiu também nas áreas de cerrado do Centro-Oeste brasileiro, após um período de adaptações tecnológicas à área tropical. Atualmente a maior parte das lavouras do cerrado é feita sob plantio direto (Landers et al, 1996; Saturnino e Landers, 1997; Landers, 1998; Rodrigues, 1999; Landers, 2001; Bolliger et al., 2006).

Entre os produtores, a adaptação do plantio direto é variada e complexa, e a adoção parcial de certos componentes e tecnologias é a norma, em detrimento da adoção do plantio direto ideal com qualidade (Bolliger et al., 2006).

Esse é principalmente o caso da rotação de culturas e do uso de plantas de cobertura, princípio cuja adoção têm sido pequena (Araújo, Casão Júnior e Siqueira, 2001; Medeiros e Calegari, 2006; Leal et al., 2005).

A margem bruta é um indicador dos mais utilizados em análises de aspectos econômicos de sustentabilidade (Saldanha, 2006; Leal et al., 2005; Sánchez-Girón et al., 2004; Gareau, 2004; Van Gessel et al., 2004; Carvalho et al., 2001; Soares Júnior e Saldanha, 2000; Laurenti e Fuentes Llanillo, 1981). Comumente é chamada de Gross Margin (GM), Return Over Variable Costs (ROVC) e Income Above Variable Costs (IAVC), esta última utilizada para estabelecimentos agrícolas como um todo (Gareau, 2004; Sánchez-Girón et al., 2004).

É importante ressaltar que a margem bruta deve remunerar os custos fixos (depreciação) e os custos de oportunidade do capital antes de ser considerada como remuneração da mão-de-obra familiar. Por isso, deve ser interpretada com rigor ao fazer inferências.

Num trabalho pioneiro de análise econômica de experimentos no Norte do Paraná, Laurenti e Fuentes Llanillo (1981) não encontraram diferenças significativas entre a rentabilidade do plantio direto e do convencional, mas concluíram que inclusão do milho no verão na sucessão soja-trigo apresentou maior margem bruta com menor risco de variação na rentabilidade. Sorrenson e Montoya (1984) também no Paraná encontraram dados semelhantes de margens brutas, mas indicaram tendências de longo prazo em favor do plantio direto. Sorrenson, Lopez-Portillo e Nuñez (1997 e 1999) e Sorrenson, Duarte e Lopez-Portillo (1998) concluíram pela viabilidade de sistemas de plantio direto para pequenos produtores no Paraguai. Samaha, Guerreiro e Santos Filho (1998) encontraram maiores margens líquidas em plantio direto para pequenos produtores do Centro-sul do Paraná. Uri (1999) analisando estabelecimentos agropecuários modais concluiu os resultados econômicos dependem mais das características específicas locais de cada estabelecimento tais como tipo de solo, condições climáticas, rotação de culturas e padrões gerenciais, que impossibilitam dizer que há benefícios privados com a adoção do plantio direto. Sánchez-Girón et al. (2004), Van Gessel et al. (2004) e Leal et al. (2005) concluíram que as margens brutas são maiores em plantio direto, especialmente quando incluem rotação de culturas.

Saldanha (2005) e Carvalho et al. (2001) analisaram as margens brutas de produtores familiares de grãos no Norte do Paraná, concluindo que tanto o

sistema convencional quanto o plantio direto são viáveis e as margens brutas dependem mais da combinação de atividades e das condições de mercado.

A análise dos aspectos econômicos do plantio direto sempre é valorizada quando feita no âmbito multidisciplinar. Chapman et al. (2003), Van Gessel et al. (2004) e Medeiros e Calegari (2006) exploraram de forma econômica e técnica a superioridade do sistema de plantio direto em relação ao preparo de solo convencional.

### **2.3 INDICADORES DE MORFOLOGIA E FÍSICA DE SOLO**

Avaliar qualidade do solo refere-se a avaliar a capacidade física do solo em sustentar o pleno desenvolvimento das plantas (Reichert, Reinert e Braida, 2003). Para medir qualidade, o uso de indicadores facilmente mensuráveis e que podem ser largamente reproduzidos em nível local é de suma importância no monitoramento da sustentabilidade, ainda mais se tratando de um processo tão amplo como o plantio direto de culturas anuais que ocupa cerca de 5 milhões de hectares no Paraná e mais de 25 milhões de hectares no Brasil (FEBRAPDP, 2007; Derpsch, 2005; Bernoux et al., 2006).

A análise da morfologia dos solos pelo método do Perfil Cultural é uma técnica de inspiração francesa (Henin et al., 1960; Manichon, 1982; Gautronneau e Manichon, 1987), que foi utilizada inicialmente como ferramenta pedagógica para o ensino de estudantes de Agronomia, transformando-se posteriormente num método de caracterização dos estados dos horizontes antropizados, levando em conta o modo de organização dos torrões e o estado interno destes (Tavares Filho et al., 1999). Em essência, o método do Perfil Cultural pode servir ao diagnóstico qualitativo do estado físico do solo, à descrição da sua organização estrutural, à visualização de interações físico-químico-biológicas e a estudos de mecânica de solo e de desenvolvimento radicular sob diferentes tipos de manejo de solo e de forma especial sob plantio direto (Ralisch, Guimarães e Medina, 1994; Ralisch, 1995; Ralisch et al., 1995; Tavares Filho et al., 1999; Tavares Filho et al., 2001; Fregonezi et al., 2001; Neves et al., 2003; Pereira Neto et al., 2007). O método torna-se ainda mais potente quando usado como orientador de amostragens

de solos para análises quantitativas físico-químico-biológicas complementares. Neste estudo foi dada ênfase às análises físicas como densidade, resistência à penetração e agregação (Fregonezi et al., 2001; Tavares Filho et al., 2001; Neves et al., 2003). Dada sua facilidade relativa de execução, o perfil cultural associado com alguns indicadores de qualidade física dos solos permite ser replicado nas mais diversas situações, dando boas indicações sobre a qualidade do sistema de manejo de solo.

Com relação a indicadores de qualidade física dos solos, Singer e Ewing (2000) e Imhoff (2002) sugerem que a escolha deve recair sobre aqueles que estão relacionados diretamente à produção das culturas e que sejam suficientemente potentes para medir a capacidade do solo de fornecer adequada aeração e quantidade de água para o crescimento e expansão do sistema radicular, da mesma forma que devem medir a magnitude com a qual a matriz do solo resiste à deformação. Os indicadores mais utilizados de qualidade física do solo são: densidade do solo, porosidade, distribuição e tamanho dos poros, resistência do solo à penetração, profundidade efetiva de enraizamento, intervalo hídrico ótimo, índice de compressão, diâmetro médio de agregados e nível de matéria orgânica (Topp et al., 1997; Schoenholtz, Van Miegroet e Burger, 2000, Singer e Ewing, 2000).

A densidade é sem dúvida a propriedade do solo mais estudada tanto em plantio direto como em preparo mínimo e preparo convencional, seja como indicador principal ou acessório de qualidade física de solos. A variação nos valores de densidade é proveniente de diferenças no volume total de poros e do volume de macroporos. A densidade em geral tem relação direta com a resistência à penetração (Beltrame, Gondim e Taylor, 1981; Castro, 1995; Borges, Kiehl e Souza, 1999). Geralmente solos cultivados em preparo convencional perdem matéria orgânica e sofrem aumento de densidade abaixo da camada de corte dos implementos de preparo (Allmaras, Black e Rickman, 1973). Já no sistema de plantio direto as maiores densidades, superiores às do preparo convencional (Vieira, Cogo e Cassol, 1978; Abrão et al., 1979; Fernandes, Galloway e Bronson, 1983; Eltz, Peixoto e Jaster, 1989; Derpsch et al., 1991), ocorrem superficialmente, em torno de 10 cm de profundidade, principalmente em solos argilosos, devido ao tráfego de máquinas e ao adensamento natural na ausência de revolvimento, contudo a partir dessa profundidade as densidades são menores. Densidades do solo sob uso de preparo mínimo com escarificação podem variar, ora aproximando-se de preparos

convencionais (Yang e Kay, 2001), ora próximas do plantio direto (Lal, Mahboubi e Faussey, 1994).

Para as condições de Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 1999), antigo Latossolo Roxo (Typic Haplorthox – US ou Rhodic Ferralsol – FAO) característicos da área de estudo e de larga ocorrência no sul do Brasil, existem muitas referências sobre densidade em plantio direto (PD), preparo mínimo (PM) e preparo convencional (PC) de solo. Áreas de floresta natural apresentam densidades superficiais próximas de  $1,00 \text{ Mg.m}^{-3}$  apesar dos registros na bibliografia de valores acima de  $1,20 \text{ Mg.m}^{-3}$  (Richart et al., 2005; Neves et al., 2003). Num experimento em Londrina (PR) sem tráfego de colheita, Derpsch et al. (1991) encontraram após sete anos entre 0 e 20 cm  $1,17 \text{ Mg.m}^{-3}$  em PD,  $1,10 \text{ Mg.m}^{-3}$  em PM e  $1,02$  em PC. Entre 20 e 30 cm houve uma inversão com  $1,10 \text{ Mg.m}^{-3}$  em PC e PM e  $1,03$  em PD. Corsini e Ferraudó (1999) em Jaboticabal (SP) classificaram crescimento radicular de milho sob plantio direto de sete anos na camada superficial (0-6 cm) como alto de  $1,00$  a  $1,14 \text{ Mg.m}^{-3}$ , médio com densidades entre  $1,14$  e  $1,27 \text{ Mg.m}^{-3}$ , baixo entre  $1,27$  e  $1,47 \text{ Mg.m}^{-3}$ , muito baixo entre  $1,47$  e  $1,57 \text{ Mg.m}^{-3}$  e crítico acima de  $1,57 \text{ Mg.m}^{-3}$ , e na camada subsuperficial (20-26 cm) alto de  $1,12$  a  $1,20 \text{ Mg.m}^{-3}$ , médio com densidades entre  $1,20$  e  $1,29 \text{ Mg.m}^{-3}$ , baixo entre  $1,29$  e  $1,34 \text{ Mg.m}^{-3}$ , muito baixo entre  $1,34$  e  $1,40 \text{ Mg.m}^{-3}$  e crítico acima de  $1,40 \text{ Mg.m}^{-3}$ . Neves et al. (2003) partindo de amostragens dirigidas pelos volumes encontrados em perfis culturais nesse tipo de solo em parcelas de produção nas regiões norte e oeste do Paraná, encontraram em plantio direto densidades de  $1,26$  a  $1,35 \text{ Mg.m}^{-3}$  em volumes  $F\Delta$  e  $F\Delta\mu$  e de  $1,17$  a  $1,40 \text{ Mg.m}^{-3}$  em volumes  $C\Delta\mu$  e de  $1,04$  a  $1,22 \text{ Mg.m}^{-3}$  em  $C\mu$ . Em sistema de preparo mínimo de solo encontrou-se valores de  $1,57 \text{ Mg.m}^{-3}$  em volume  $F\Delta\mu$  e em preparo convencional  $1,38$  a  $1,62 \text{ Mg.m}^{-3}$  em  $F\Delta$  e  $F\Delta\mu$  e  $1,28$  a  $1,44 \text{ Mg.m}^{-3}$  em  $C\Delta$  e  $C\Delta\mu$ . Richart et al. (2005) e Fuentes Llanillo et al. (2006) em revisões bibliográficas sobre o tema para esse tipo de solo, consideraram densidades acima de  $1,40$  a  $1,45 \text{ Mg.m}^{-3}$  como restritivas ao crescimento radicular, colocando em risco a sustentabilidade do sistema.

Segundo Ribon e Tavares Filho (2004) a resistência à penetração (RP) é uma das propriedades físicas que expressa o grau de compactação, e conseqüentemente, quão facilmente as raízes penetram o solo. A densidade do solo e a umidade são os parâmetros mais importantes na quantificação da resistência à penetração. A densidade tem uma relação direta com a resistência (Beltrame,

Gondim e Taylor, 1981; Castro, 1995; Borges, Kiehl e Souza, 1999) e a umidade está negativamente correlacionada com a resistência (Beltrame, Gondim e Taylor, 1981; Correchel et al., 1997; Tormena, Silva e Libardi, 1998).

Segundo Tormena e Roloff (1996), a penetrometria é um método apropriado para avaliar a resistência à penetração de raízes no solo, apesar das diferenças entre uma raiz e um cone metálico. Diversos estudos relatam que 2 MPa de resistência à penetração traduzem condições impeditivas para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas, o que originalmente foi proposto por Taylor e Gardner (1963). Azooz, Arshad e FranzlÜbbers (1996) classificaram como altos valores de resistência à penetração na faixa de 2,0 a 4,0 MPa.

Tormena e Roloff (1996) estudaram a resistência à penetração num Latossolo Vermelho-Escuro de Ponta Grossa (PR) onde se implantou plantio direto por três anos e monitoraram entrelinhas trafegadas e não-trafegadas. Não encontraram índices superiores a 1,6 MPa na umidade padrão de 0,34 kg kg<sup>-1</sup>, que não são impeditivos ao crescimento de raízes. Entretanto, os dados foram concludentes no sentido de detectar, na faixa de 0 a 10 cm, sob tráfego, que a resistência era três vezes maior que sem tráfego e que a resistência foi estável nas entrelinhas não trafegadas. Foloni, Calonego e Lima (2003), em Latossolo Vermelho distroférico de textura média de Botucatu (SP), mediram a resistência à penetração usando camada compactada em anéis de 5 cm e densidades de 1,28, 1,42, 1,56 e 1,69 Mg m<sup>3</sup>, concluindo que uma camada compactada com densidade 1,69 Mg m<sup>3</sup> apresenta resistência à penetração de 1,4 MPa impeditiva à penetração de raízes de milho. Tormena et al. (2002), em Latossolo Vermelho distroférico textura média, cultivado com mandioca em Araruna (PR), obtiveram os seguintes valores de resistência à penetração na faixa de 0 a 5 cm: 4,0 MPa em plantio direto, 2,5 MPa em preparo mínimo e 2,0 MPa em plantio convencional, com solo relativamente seco numa umidade em torno de 0,15kg kg<sup>-1</sup>. Entretanto com o solo próximo da capacidade de campo encontrou-se 2,7 MPa em plantio direto, 1,8 MPa no preparo mínimo e 1,4 MPa em plantio convencional mostrando que na ocorrência de condições mais úmidas, os valores de resistência à penetração podem ser considerados não impeditivos para os sistemas plantio convencional (PC) e preparo mínimo (PM) e pouco impeditivos para o sistema plantio direto (PD). No entanto, em solo seco os valores de resistência podem atingir níveis altamente impeditivos, especialmente sob PD. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por

Tormena e Roloff (1996). Segundo Araújo, Tormena e Silva (2004) nesse mesmo tipo de solo, em Maringá (PR), sob mata, os valores de resistência à penetração (RP) atingem níveis considerados críticos ao crescimento das raízes ( $RP > 2,0$  MPa) somente para conteúdos de água muito baixos ( $< 0,15$  kg kg<sup>-1</sup>) e em densidades elevadas (acima de  $1,60$  Mg m<sup>-3</sup>). A maior densidade encontrada no solo sob mata nativa ( $1,59$  Mg m<sup>-3</sup>) é muito próxima da menor densidade encontrada no solo sob cultivo ( $1,55$  Mg m<sup>-3</sup>) e, nestes dois pontos, os valores da resistência à penetração, no mesmo conteúdo de água do solo, são muito semelhantes. Solo sob cultivo de vinte anos apresentou resistência à penetração maior que  $2,0$  MPa abaixo de  $0,25$  kg kg<sup>-1</sup> de umidade e acima de  $1,65$  Mg m<sup>-3</sup> de densidade, podendo atingir cerca de  $10,0$  MPa em condições extremas. Abreu, Reichert e Reinert (2004), em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico arênico de Santa Maria (RS), após sete anos de plantio direto, mediram a resistência à penetração em quatro sistemas de manejo com umidade de  $0,15$  kg kg<sup>-1</sup>, que foi máxima na camada de  $7,5$  cm, nos tratamentos sem preparo do solo, atingindo valores máximos de  $1,6$  MPa no cultivo mínimo (crotalaria),  $1,45$  MPa no solo descoberto e  $1,35$  MPa no plantio direto (soja). No sistema escarificação (soja), a RP máxima ocorreu a  $17,5$  cm, possivelmente na camada não afetada pela mobilização do solo, atingindo  $0,85$  MPa. Em nenhum dos tratamentos a RP superou o limite de  $2,0$  MPa. O confinamento de maiores valores de RP em camadas em torno de  $10$  cm de profundidade, com amplitude de  $7,5$  a  $17,5$  cm, parece ser uma característica de solos em plantio direto, tanto em solos arenosos (Silva, Reinert e Reichert, 2000a; Silva, 2003; Streck, 2003) quanto argilosos (Genro Junior, 2002; Silva, 2003; Secco, 2003).

Araújo et al. (2004), num Latossolo Vermelho distroférico com 66% de argila, em Campo Mourão (PR), em área sob plantio direto por 13 anos, testaram o efeito de uma escarificação (ESC) comparada à continuidade do plantio direto (PD) e concluíram que a escarificação não teve nenhum efeito na densidade, pois nas camadas 0 a 15 e 15 a 30 cm nem as densidades ( $1,13$  e  $1,14$  Mg m<sup>-3</sup> em PD e  $1,09$  e  $1,14$  Mg m<sup>-3</sup> em ESC) nem a resistência à penetração, que foi de  $2,28$  e  $2,38$  MPa em plantio direto contínuo e de  $2,37$  e  $2,83$  MPa em plantio direto com escarificação, foram significativamente alteradas. Genro Júnior, Reinert e Reichert (2004), também em Latossolo Vermelho argiloso de Ijuí (RS), em quatro rotações de culturas em plantio direto conduzidas por quatro anos, encontraram valores de resistência à penetração restritivos (de  $3,0$  a  $3,5$  MPa a  $10$  cm) ao crescimento das plantas,

quando a umidade do solo variou de 0,14 a 0,28 kg kg<sup>-1</sup>. Souza e Alves (2003) em Latossolo Vermelho distrófico de cerrado em Selvíria (MS), compararam quatro sistemas de manejo implantados no mínimo há oito anos, com um de 16 anos em seringueira e outro de 20 anos em pastagem. Observou-se que o preparo mínimo apresenta resistência à penetração muito parecida com a condição de cerrado natural, o que deve ser levado em conta na discussão de sustentabilidade. Plantio direto, seringueira e pastagem apresentaram RP próximas de 2,0 MPa de 0 a 10 cm e próximo de 3,0 Mpa entre 10 e 20 cm que podem ser consideradas limitantes. Costa et al. (2003) para Latossolo Bruno em Guarapuava (PR) após 21 anos de comparação entre PD, PC e mata, observaram que a RP variou de 0,5 MPa, no solo sob PC, a 2,0 MPa, no solo sob PD, e não foi afetada significativamente pelos sistemas de manejo devido a um alto coeficiente de variação (42 a 67%) da resistência à penetração. Apesar disso, o solo sob PD apresentou os maiores valores absolutos de resistência do solo à penetração em todas as camadas (1,0 MPa de 0 a 5 cm, 1,6 MPa de 5 a 10 cm e 2,0 MPa de 10 a 20 cm).

Assim, dependendo das condições de densidade e de umidade, as áreas cultivadas podem facilmente atingir valores maiores que 2MPa de resistência à penetração, principalmente em plantio direto, mas também em plantio convencional, lavouras permanentes e pastagens.

Nas avaliações a penetrometria apresenta, em geral, alta variabilidade e deve sempre cotizada em conjunto com a umidade, da qual é altamente dependente, e requer um número razoável de repetições por observação no campo.

Agregados de solo maiores e mais pesados conferem maior estruturação ao solo, maior porosidade, maior condutividade hidráulica e maior resistência à compressão com inegáveis vantagens para a sustentabilidade dos sistemas de produção. De acordo com Castro Filho et al. (1998), o tamanho dos agregados do solo e o estado de agregação podem ser influenciados por diferentes processos de manejo e práticas culturais, que alteram o teor de matéria orgânica e a atividade biológica do solo. A matéria orgânica é considerada por muitos pesquisadores como o principal agente de estabilização dos agregados do solo (Tisdall e Oades, 1982; Castro Filho et al., 1998; Gang et al., 1998) e segundo Cruz et al. (2003) o resultado esperado em tratamentos que apresentem diferenças no teor de carbono orgânico é que haja uma alta correlação entre carbono orgânico e

agregação do solo. Além disso, o ambiente menos oxidativo no solo em plantio direto, de acordo com Bayer et al. (2003) promove diminuição no grau de humificação da matéria orgânica em comparação aos solos manejados sob preparo reduzido e preparo convencional.

Castro Filho et al. (1998), após catorze anos de manejo de solo diferenciado em Latossolo Vermelho distróférrico (Typic Haplorthox ou Rhodic Ferralsol) em Londrina (PR), concluíram que o sistema de plantio direto, pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície, melhorou o estado de agregação graças ao incremento de C-orgânico, sobretudo na camada de 0 a 10 cm onde os valores de diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados foram significativamente superiores no plantio direto em relação ao plantio convencional. O aumento de C-orgânico resultou em aumento dos índices de agregação, pela diminuição da classe de menor diâmetro e aumento das classes de diâmetro maior. A agregação do solo tendeu a aumentar em rotações de culturas com espécies de relação C/N mais alta, como o milho.

Após sete anos de experimentação em um Latossolo Bruno álico de Guarapuava (PR), na altitude de 1000m, Eltz, Peixoto e Jaster (1989) concluíram que não houve diferenças significativas entre sistemas de manejo no C-orgânico, mas na camada de 0 a 5 cm o plantio direto apresentou diâmetro médio de agregados significativamente superior (5,5mm) ao plantio convencional (2,0 a 3,0 mm). Bertol et al. (2004), em Cambissolo Húmico, a 940 m de altitude em Lages (SC), após sete anos, concluíram que o teor de carbono orgânico foi maior no plantio direto e no campo nativo do que no preparo convencional, especialmente na superfície do solo, diminuindo com a profundidade em todos os sistemas de manejo. Isso influenciou o diâmetro médio ponderado de agregados, que foi menor no preparo convencional (4,7 mm em média) do que no plantio direto (5,9 mm em média) e no campo nativo (6,0 mm em média). Cruz et al. (2003), para um Argissolo Vermelho franco-arenoso, em Pelotas (RS), encontraram maior conteúdo de carbono orgânico no plantio direto; mas isso não refletiu em diferenças significativas no diâmetro médio de agregados, talvez devido ao fato do sistema plantio direto ter sido estabelecido há apenas três anos, insuficientes para alterar a estrutura. Rosa et al. (2003), em cultivo intensivo em Latossolo Vermelho eutróférrico argiloso, em Santa Helena de Goiás (GO), após cinco anos de plantio direto irrigado, plantio direto de sequeiro e floresta natural (“cerradão”), concluíram que o plantio direto não foi capaz

de restabelecer a matéria orgânica nos níveis da mata, além de favorecer a compactação do solo estudado. O plantio direto de sequeiro não acarretou variações significativas nos teores de carbono orgânico total e nas formas mais dinâmicas de carbono, quando comparado ao plantio direto irrigado. Materechera e Mkhabela (2001) verificaram o efeito estruturante da matéria orgânica no sudeste da Swazilândia, comparando a camada de 0 a 15 cm de um solo cultivado continuamente, que apresentou 1,08% de C-orgânico e diâmetro médio geométrico úmido (DMG) de 1,6 mm, um solo sob pousio que apresentou 1,83% de C-orgânico e DMG de 2,2 mm e um antigo criadouro usado para cultivo que apresentou 3,90% de C-orgânico e DMG de 2,9 mm. Kay e Vandenbygaart (2002) afirmam que as pesquisas têm indicado que o C-orgânico do solo se acumula perto da superfície e é perdido nas camadas subsuperficiais quando da conversão do plantio convencional para o plantio direto. Há necessidade de mais pesquisas sobre como o balanço entre esses dois processos muda com o tempo em solos de diferentes texturas, drenagens e sob diferentes climas. Como exemplo de longo prazo, Castro Filho et al. (2002), trabalhando em Latossolo Vermelho distrófico após 21 anos de comparação entre plantio direto e convencional, encontraram que o peso médio (7,171 e 5,845g respectivamente), o diâmetro médio (4,266 e 2,844mm respectivamente) e o índice de estabilidade de agregados (93 e 90 respectivamente) foram significativamente maiores em plantio direto que em preparo convencional. Oliveira et al. (2003), após 20 anos de manejo de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado em Planaltina (DF), encontraram diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados significativamente maior em cerrado (4,4mm) que em plantio direto (3,6mm) e convencional (3,3mm) na camada de 0 a 5cm, com matéria orgânica de 48, 48 e 28 g kg<sup>-1</sup> respectivamente. Já na profundidade de 20 a 30 cm não houve diferença significativa entre sistemas com 4,3mm de DMG e matéria orgânica de 29g/kg para os três. Costa et al. (2003), em uma avaliação de vinte e um anos comparando plantio convencional (PC), plantio direto (PD) e mata nativa em Latossolo Bruno na altitude de 1000m, em Guarapuava (PR), concluíram que o maior DMG dos agregados foi observado na camada 0 a 5 cm sob mata (5,2mm), seguido de PD (3,7 mm) e PC (1,6 mm), indicando efeito positivo do não-revolvimento do solo e do acúmulo de resíduos vegetais na superfície sobre a estabilidade de agregados. Nas demais camadas, não houve diferenças significativas. Efeitos semelhantes do PD no

aumento da estabilidade de agregados têm sido verificados em Argissolos (Albuquerque et al., 1994) e Latossolos (Campos et al., 1995) do sul do Brasil.

De forma geral, o sistema de plantio direto tem acumulado carbono orgânico e tem formado agregados maiores na superfície em relação ao plantio convencional, aproximando-se mais das condições de mata, cerrado e campo nativo, sendo mais sustentável com relação a esses aspectos.

#### **2.4 INDICADORES DE QUÍMICA DO SOLO**

A matéria orgânica do solo é o núcleo da discussão sobre sustentabilidade com relação aos aspectos de química e física do solo sob plantio direto (Parra, 1986; Sidiras e Pavan, 1986; Roth et al., 1987; Bayer e Mielniczuk, 1997; Freitas et al., 2000; Sá et al., 2001; Machado, 2003; Calegari, 2006). Algum tempo depois da implantação do sistema de plantio direto com cobertura permanente, a camada mais superficial do solo vai sofrendo uma diferenciação positiva, em relação ao sistema convencional com aração ou escarificação (Muzilli, 1983; Parra, 1986; Sidiras e Pavan, 1986; Eltz et al., 1989; Klepker e Anghinoni, 1995; Bayer e Mielniczuk, 1997; Rheinheimer et al., 1998; Falleiro et al., 2003; Calegari, 2006). São os resíduos vegetais da superfície que adicionam carbono orgânico ao solo (Sidiras e Pavan, 1986; Roth et al., 1987; Machado e Gerzabek, 1993; Bayer, 1996; Bayer e Mielniczuk, 1997; DeMaria et al., 1999; Freitas et al., 2000; Sá, 2001; Sá et al., 2001; Machado et al., 2003; Calegari, 2006) e propiciam melhores condições de agregação, com agregados maiores e mais estáveis (Tisdall e Oades, 1982; Castro Filho et al., 1998; Castro Filho et al., 2002; Calegari, 2006) e com maior população e mais atividade microbiana e biológica (Sá et al., 2001; Andrade et al., 2003; Alvear et al., 2005).

Calegari (2006) concluiu que o preparo convencional executado adequadamente pode acumular carbono orgânico no solo, apesar de não superar o plantio direto em superfície (0 a 10 cm) e em termos totais. Oliveira, Diehl e Gonçalves (2007) em experimento de rotação de culturas em PC e PD de 20 anos no IAPAR em Londrina (PR), concluíram que os conteúdos de carbono foram 26 e 37% maiores em PC e PD respectivamente em relação a quando o experimento foi

instalado, mas não foram significativamente diferentes daqueles encontrados por Muzilli (1983) aos cinco anos no mesmo experimento, sugerindo uma estabilização ou incrementos muito pequenos nos níveis de carbono. De acordo com Machado, Sohi e Gaunt (2003) no mesmo experimento aos 21 anos, não houve acumulação significativa de carbono de 0 a 40 cm, somente de 0 a 20 a acumulação do PD foi significativamente maior. Na superfície do PD a maior parte do carbono é recente, 100% de 0 a 5cm, mas a partir dos 10cm, o carbono recente em PC da ordem de 50% é maior que em PD com menos de 20% abaixo dos 10 cm, mesmo que o carbono total foi maior em PD do que em PC. O PC incorpora o carbono em camadas subsuperficiais mesmo abaixo da linha de corte dos implementos entre 20 e 30 cm, movimento que não se verificou em PD abaixo dos 15 cm .

A ausência de revolvimento e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, definem uma distribuição diferente não só da matéria orgânica, mas também dos nutrientes no perfil em relação ao preparo convencional. Três estudos realizados Muzilli (1983), Machado e Gerzabek (1993) e Oliveira, Diehl e Gonçalves (2007) sobre o mesmo experimento aos 5, 15 e 20 anos relataram valores superiores de pH em PD em relação ao PC, a despeito de referências internacionais indicando o contrário, principalmente em sistemas com aplicação mais intensa de nitrogênio (Dick, 1983; Dalal, 1989; Franzluebbers e Hons, 1996; Ismail, Blevins e Frye, 1994; Juro, Dabiri e Franzluebbers, 1995). A matéria orgânica é responsável por 70% da CTC dependente de pH nos solos da região de estudo (Pavan, Bingham e Pratt, 1985). O PD ao diminuir a oxidação da matéria orgânica, promove o aumento da CTC, beneficiando a adsorção de cátions trocáveis (Ca, Mg, K) mediante trocas com o H<sup>+</sup> dos grupos funcionais orgânicos. Dessa forma o PD promove aumento nos teores de Ca, Mg, K e também do P (Muzilli, 1983; Calegari et al., 1992; Pavan, 1997; Muzilli, 2002; Oliveira, Diehl e Gonçalves, 2007).

Os nutrientes provenientes das adubações no sistema de plantio direto, principalmente os de menor mobilidade como o fósforo, tendem a concentrar-se na camada mais superficial, criando gradientes de concentração (Muzilli, 1983; Klepker e Anghinoni, 1995; Falleiro, 2003; Calegari, 2006). O mesmo ocorre com o calcáreo cuja aplicação superficial demanda tempo para correção de acidez em camadas inferiores (Oliveira e Pavan, 1996). A presença de palha na superfície diminui a lixiviação do potássio, sendo a própria palha uma importante fonte desse nutriente para as culturas subseqüentes, permitindo racionalizar as adubações

(Rosolem et al., 2006).

A rotação de culturas tem um importante papel na reciclagem e diminuição desses gradientes. As gramíneas atuam de forma muito eficaz para promover a formação de agregados, tanto pela ação direta das raízes como pelo suprimento de resíduos orgânicos mais duradouros e estáveis (Muzilli, 1996). Quando a cobertura é realizada com resíduos vegetais que possuem alta relação C/N, observa-se decréscimo na mineralização da matéria orgânica e aumento na imobilização dos nutrientes nela contidos (N, P, S), sobretudo na camada superficial do solo, devido à maior oferta de C-orgânico que estimula a atividade microbiana responsável pela imobilização do N no sistema solo-planta (Andrade, Colozzi Filho e Giller, 2003; Alvear et al., 2005). A inclusão de leguminosas na seqüência de culturas ajuda a minimizar os efeitos da imobilização, resultando em maior acúmulo de N no solo (Amado et al., 1999). Em sistemas produtivos reais diferenças na fertilidade química são esperadas com a evolução do sistema no tempo, dependendo da estratégia de manejo de nutrientes com relação à reposição das quantidades extraídas pelas colheitas (Gareau et al., 2004).

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

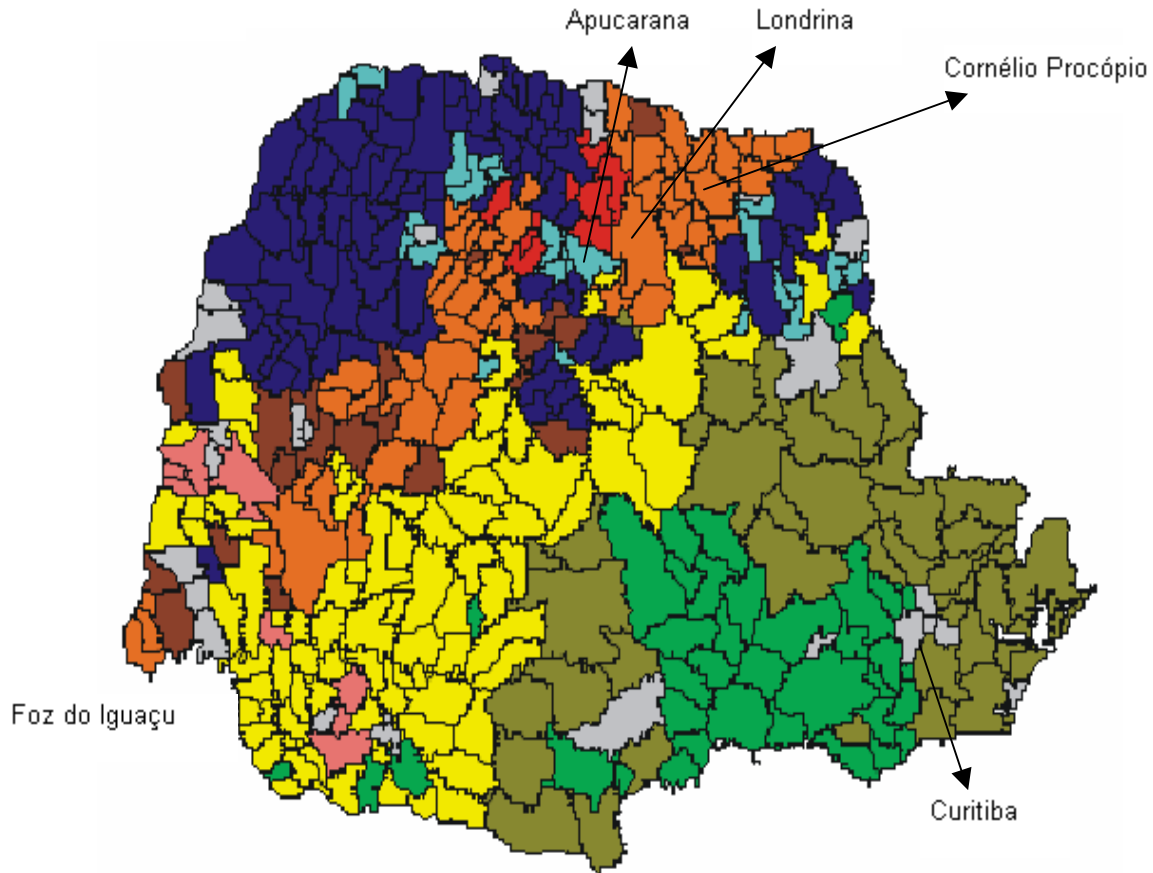
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estado do Paraná caracteriza-se por uma ampla diversidade regional de sua agricultura que é produto da pluralidade geológica, das características climáticas de transição entre climas subtropical e temperado, e pelos ciclos econômicos de ocupação e exploração econômica. A Figura 3.1. extraída de Fuentes Llanillo et al. (2006a) apresenta um quadro dessa diversidade em período recente onde foram identificados dez tipos de municípios.

A área de estudo é a mesorregião Norte do Paraná do projeto Redes de Referências para a Agricultura Familiar, composta por 55 municípios que integram as regiões administrativas de Londrina, Apucarana e Cornélio Procópio do IAPAR e EMATER-PR. A região foi colonizada num regime predominante de pequenas propriedades durante o Ciclo do Café a partir da década de 50 do século passado, que foi a atividade agrícola dominante até meados da década de 70. A partir dos anos 70, sob influência do declínio da atividade cafeeira e da expansão dos modos de produção da Revolução Verde, fomentada pela política de crédito rural subsidiado, a exploração do espaço agrícola regional passou a ser tracionada por sistemas de produção mecanizada de grãos principalmente soja. A importância desses sistemas na região permanece até os dias atuais e pode ser apreciada na Figura 3.1. onde o tipo 7 de município denominado “Agricultura moderna de grãos, pouca pecuária e mais mão-de-obra permanente” é o predominante.

Em termos geográficos, a área de estudo está inserida no Médio Vale do Paranapanema do Estado do Paraná, compreendida entre as coordenadas 50° 10' e 51° 30' W e 22° 40' e 23° 30' N entre o Rio Paranapanema e o Trópico de Capricórnio, cuja cidade-pólo é Londrina. O tipo climático predominante é o Cfa segundo a classificação de Köppen, definido como Subtropical úmido com verão quente (temperatura média > 22°C). As altitudes variam entre 350 e 700m sobre o nível do mar e o solo predominante nas parcelas estudadas é o Latossolo Vermelho

Figura 3.1 – Regionalização da Agricultura do Estado do Paraná – 1995/96



#### GRUPOS OU TIPOS DE MUNICÍPIOS

- Café e/ou lavouras permanentes e pastagens plantadas sem matas nativas (*Grupo 1*)
- Agropecuária de baixa modernização com matas nativas (*Grupo 2*)
- Agricultura familiar de baixa intensidade e matas nativas (*Grupo 3*)
- Agricultura familiar de média intensidade mista de Lavoura e pecuária (*Grupo 4*)
- Pastagens plantadas e pecuária bovina extensiva e mais mão-de obra permanente (*Grupo 5*)
- Agricultura moderna de grãos, pouca pecuária e mais mão-de-obra permanente (*Grupo 7*)
- Agricultura moderna de grãos, café/lav. perm. e mais mão-de-obra permanente (*Grupo 8*)
- Agricultura moderna de grãos e empreita tradicional, sem café ou lav. perm. (*Grupo 10*)
- Agricultura moderna de grãos, familiar com terceirização e pecuária intensiva (*Grupo 11*)
- Outros tipos de municípios (*Grupos 6, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20*)

Fonte: Fuentes Llanillo et al. (2006a)

difotérrico (antigo Latossolo Roxo), Typic Haplorthox pela classificação americana ou Rhodic Ferralsol pela FAO, cujos teores de argila são da ordem de 55 a 70%. A precipitação pluviométrica média na região varia de 1350 a 1650 mm. A delimitação da região e a especificação dessas características estão apresentadas no Anexo 1.

### 3.2 PÚBLICO-META

O Paraná 12 Meses foi um projeto de desenvolvimento econômico, social e ambiental orientado à agricultura paranaense, implementado pelo Governo do Paraná entre 1998 e 2006 que investiu recursos da ordem de US\$ 185 milhões provenientes do Tesouro do Estado (50%) e de Acordo de Empréstimo junto ao Banco Mundial (50%).

O público beneficiário do Projeto e também das Redes de Referência como parte integrante, foram os produtores familiares nas suas mais diversas condições, fossem eles proprietários, arrendatários, assentados, posseiros, parceiros ou meeiros. A classificação do público beneficiário incluiu três categorias de Produtores Simples de Mercadorias (PSM) e uma categoria de Empresário Familiar (EF). Os PSM são produtores familiares em condições de reprodução simples, a diferentes distâncias do estágio de acumulação de capital e os EF são produtores familiares tecnificados no estágio de reprodução ampliada. Os critérios de tipificação e enquadramento são apresentados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1. - Público beneficiário do Projeto Paraná 12 Meses e das Redes de Referência para a Agricultura Familiar**

Beneficiários	Variáveis classificatórias			
	Área (ha)	Capital (US\$)		Mão-de-obra familiar (%)
		benfeitorias	máquinas	
<b>PSM 1</b>	até 15	< 5.000	< 4.000	>80
<b>PSM 2</b>	até 30	< 12.000	< 12.000	>50
<b>PSM 3</b>	até 50	< 40.000	< 36.000	>50
<b>EF</b>	até 50	> 40.000	> 36.000	>50

Fonte : Manual Operativo do Projeto Paraná 12 Meses (1999)

O público-meta nesta tese é constituído de produtores familiares PSM 3 e EF, que são as categorias com maior dotação de recursos dentro do público beneficiário, guardando semelhança com as categorias D e E do PRONAF. São produtores com estabelecimentos de 26 a 54 hectares de superfície agrícola

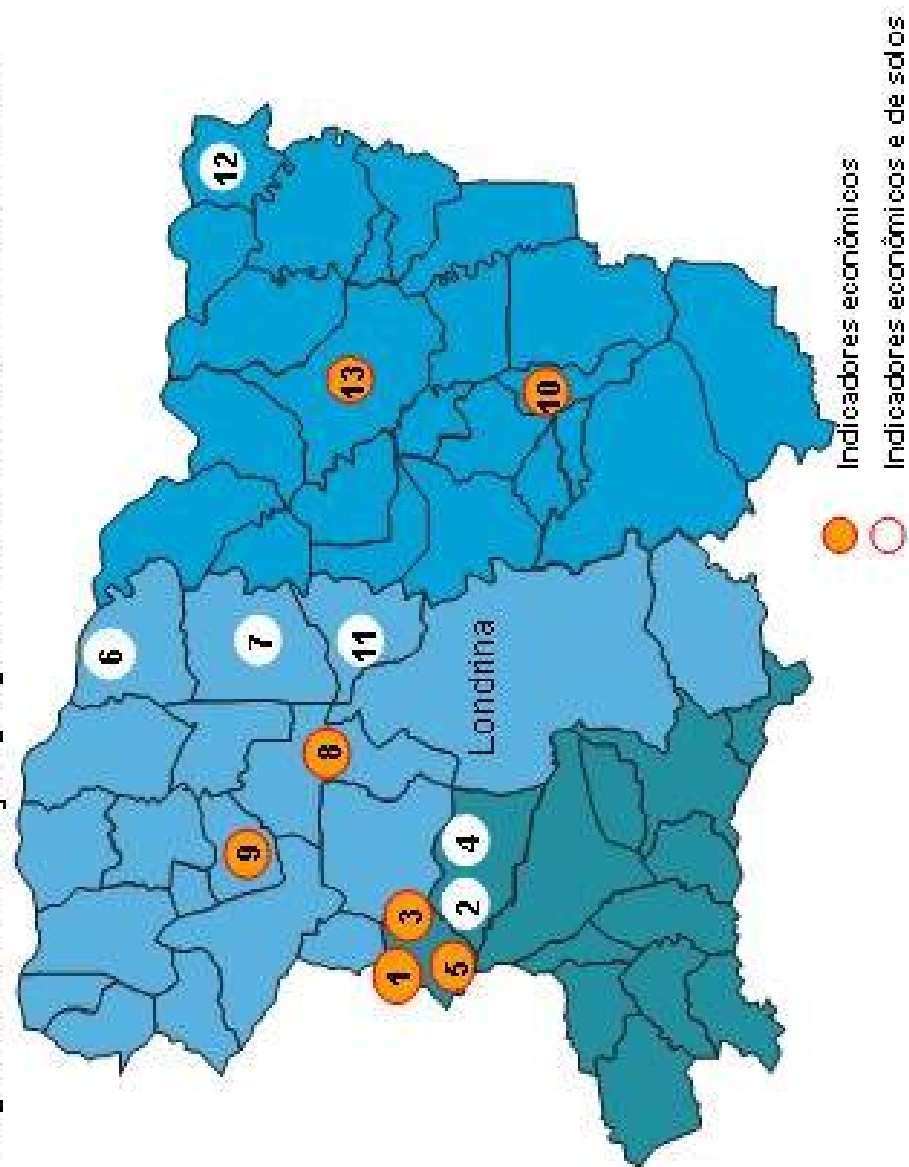
útil, com 10 a 53 hectares de área destinada ao cultivo mecanizado de grãos em plantio direto ou transições de preparo mínimo com semeadura direta. Reúne produtores especializados em grãos principalmente soja, milho e trigo e também produtores de grãos diversificados com outras atividades de renda como café, laranja, frango, banana e pêssego. Alguns deles com menores áreas de grãos e limitações de a capital não possuíam semeadeiras próprias, fazendo uso de serviços terceirizados.

### **3.3 ROTEIRO DE PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Dentro do objetivo de verificar a sustentabilidade do sistema familiar de produção mecanizada de grãos, buscaram-se valorizar registros do projeto Redes sobre o tema, que tivessem a série de dados mais longa possível. Dos cerca de 60 estabelecimentos participantes do projeto na região no período 1998/2004, 21 contavam com registros técnico-econômicos de um período desejado de seis anos-safra e 13 deles tinham na produção mecanizada de grãos parte significativa de sua renda e utilizavam ou passaram a utilizar o sistema de plantio direto durante o período de análise. Esses 13 estabelecimentos foram então selecionados para estudarem-se indicadores econômicos e ao mesmo tempo identificar as diferentes modalidades de plantio direto praticadas. A sua localização geográfica é apresentada na Figura 3.2.

Para cada estabelecimento foram organizadas as informações econômicas levantadas, e foram calculados Custos Variáveis (CV), Receitas Brutas (RB) e Margens Brutas (MB) por hectare de Superfície Agrícola Útil (SAU) dedicada a culturas de grãos ao longo de seis anos das safras 1998/99 a 2003/04 corrigidos para julho de 2006. Além da informação técnica já disponível sobre o manejo dos talhões proveniente do acompanhamento de seis safras, durante dezembro de 2005

Figura 3.2. – Localização geográfica dos estabelecimentos estudados.



feita, com cada um dos treze produtores, uma entrevista semi-estruturada (Anexo 2) para identificar e caracterizar as modalidades de plantio direto. Com esses resultados foi produzido o artigo A desta tese, onde ficaram caracterizadas duas faixas de margens brutas.

Optou-se por estudar os aspectos ligados ao solo em seis dos 13 estabelecimentos iniciais. Condicionou-se apenas que três deles fossem do grupo de menores margens brutas e outros três do grupo de maiores margens brutas e com certa representatividade das modalidades mais freqüentes. Foram escolhidos PD 12 anos com rotação (MB alta), PD 9 anos com rotação (MB baixa), PD 11 anos com escarificação eventual sem rotação (MB alta), PD 6 anos sem rotação semeadeira alugada (MB baixa), PD 4 anos sem rotação semeadeira alugada (MB baixa) e Preparo Mínimo (escarificação) com Semeadura Direta 9 anos com rotação incipiente (MB alta). São os estabelecimentos 2, 4, 6, 12, 11 e 7 respectivamente que aparecem em vermelho na Figura 3.2.

Nesses seis estabelecimentos em novembro de 2006 foram estudados atributos morfológicos, físicos e químicos do solo utilizando os seguintes procedimentos:

- dois perfis culturais por estabelecimento (12 no total) onde foram estudados atributos morfológicos até 50cm;
- seis amostras de solo por perfil, duas em cada profundidade (0-5, 5-10 e 10-20 cm) para analisar atributos químicos, granulometria e argila dispersa em água;
- 24 amostras de resistência à penetração, 12 no rodado e 12 fora, em volta de cada perfil com penetrômetro de mola até 45 cm;
- 36 amostras de cilindros volumétricos por perfil, 12 em cada profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm), seis no rodado e seis fora, para determinar densidade e umidade.

Com esses resultados produziu-se o artigo B sobre atributos morfológicos e físicos e o artigo C sobre conteúdo de carbono e outros atributos químicos.

#### **4. ARTIGO A: MARGENS BRUTAS EM PLANTIO DIRETO DE GRÃOS EM ESTABELECIMENTOS AGROPECUÁRIOS FAMILIARES NO NORTE DO PARANÁ, BRASIL.**

##### **Resumo**

O presente artigo avaliou a rentabilidade do conjunto de lavouras de grãos sob plantio direto, utilizando a análise multicaso de treze estabelecimentos agropecuários familiares de grãos no Norte do Paraná, Brasil, através da avaliação das margens brutas por hectare-ano ao longo de seis safras anuais entre 1998/99 e 2003/04. Averiguou-se ainda a existência ou não de uma relação entre a rentabilidade e os diferentes tipos de plantio direto com respeito ao nível de revolvimento do solo, à realização de rotação de culturas e ao acesso a maquinários apropriados.

Palavras-chave – margem bruta, plantio direto, agricultura de conservação, agricultura familiar.

##### **Abstract**

This article evaluated the profitability of the mix of grain crops under no-tillage, in a multiple case analysis of thirteen family enterprises of grains in the North of Parana State, Brazil, through evaluation of gross margins per hectare-year by six annual seasons between 1998/99 and 2003/04. It was also verified the existence or not of a relationship between profitability and the different types of no-tillage regarding to the level of soil disturbance, type of crop rotation and access to appropriate machinery .

Key words - gross margin, no tillage, conservation agriculture, household farming.

## 4.1. Introdução

A busca de sistemas sustentáveis na agricultura é um desafio pós-Revolução Verde que se intensificou pela crescente demanda da sociedade com relação a preservação do meio-ambiente e da qualidade dos alimentos. Desde a década de 1980 a sustentabilidade na agricultura tem sido estudada segundo três dimensões: ecológica, econômica e social. Dimensão ecológica no sentido de que o agroecossistema sob utilização deve manter através do tempo as características fundamentais, sem degradação de seus componentes e relações; dimensão econômica no sentido de que o sistema deve produzir uma rentabilidade razoável e estável através do tempo; e dimensão social no sentido de que os benefícios obtidos pela utilização dos recursos naturais devem ser distribuídos com equidade na sociedade de acordo com valores culturais e éticos vigentes. A conjugação de um bom desempenho nesses três eixos de forma contínua ao longo do tempo é o que confere sustentabilidade a um sistema de produção (Conway, 1994; Müller, 1996; Darolt, 2000).

O Plantio Direto (PD) está reconhecidamente entre as principais alternativas na busca dessa sustentabilidade, sendo a principal técnica do que se tem chamado Agricultura de Conservação (FAO, 2002). O plantio direto (PD) ocupou no Brasil na safra 2005/06 mais de 25 milhões de hectares (Bernoux et al 2006; FEBRAPDP, 2007). A agricultura de conservação encerra um sentido mais amplo que o plantio direto de culturas anuais. Inclui outros tipos de manejos conservacionistas como a integração lavoura-pecuária sem sobrepastoreio, a fruticultura integrada, os sistemas hortícolas com cobertura permanente, os sistemas agroflorestais e agrosilvipastoris, as áreas de proteção permanente e os planos integrados de microbacias hidrográficas. Ela se baseia em três princípios fundamentais: o não revolvimento do solo, a cobertura permanente do solo e a rotação de culturas (FAO, 2002). Mais de 95 milhões de hectares no mundo em 2004/05 estão ocupados com agricultura de conservação (Derpsch, 2005).

O PD é definido como o plantio de culturas diretamente sobre o solo sem nenhuma preparação prévia primária ou secundária, abrindo somente um estreito sulco, profundo o suficiente para depositar sementes e fertilizantes (Bolliger et al., 2006; Landers, 2001). Esse conceito tem sido mais recentemente ampliado

para o que se chama plantio direto com qualidade, onde as técnicas de manejo conservacionista de solo são usadas em toda sua amplitude: rotação de culturas, plantas de cobertura, semeadoras apropriadas, manejo amplo da fertilidade do solo (física, química e biológica) e racionalização do uso de insumos químicos para reduzir custos e contaminação ambiental (Casão Júnior et al., 2006; Calzavara, 2003). McGarry (2003) num trabalho de revisão sobre plantio direto (no-tillage) de caráter mundial concluiu que em geral respostas positivas ao PD superam as negativas, já que na maioria dos casos, a adoção do sistema resulta em melhoria das condições físicas do solo e/ou nos níveis de matéria orgânica. Os efeitos positivos do PD cobrem diversas áreas como melhoria na conservação de solos e águas, o incremento paulatino da fertilidade do solo, redução do requerimento de trabalho, diminuição no consumo de combustível e na utilização de máquinas e ainda incremento da rentabilidade global dos produtores. Dentre os efeitos negativos, sob determinadas circunstâncias de adoção do sistema de PD, pode ocorrer uma pesada dependência de insumos agroquímicos principalmente herbicidas (Bolliger et al. 2006). A compactação do solo em plantio direto tem sido apontada como um entrave à manutenção do solo sem algum tipo de preparo (McGarry, 2003).

A margem bruta (receita bruta menos custos variáveis) é a medida de rentabilidade mais utilizada, tanto pelos pesquisadores em análise de experimentos pelos pesquisadores e técnicos, assim como empiricamente pelos agricultores. Isto se dá principalmente pela sua relativa facilidade de obtenção e pelo significado prático imediato de saber quanto sobra da receita total, retiradas as despesas diretas. A margem bruta ponderada por unidade de área permite a comparação entre estabelecimentos independente do tamanho (Saldanha, 2005; Leal et al., 2005; Sánchez-Girón et al., 2004; Van Gessel et al. et al., 2004; Carvalho et al., 2001; Soares Júnior e Saldanha, 2000).

É sabido que dentro de uma região, o nível de produtividade e de rentabilidade de cada estabelecimento agrícola particular é tipicamente função de vários fatores locais específicos (solo, condições micro-climáticas, sucessão de culturas, manejo e gestão) (Uri, 1999).

Ressalvada a variabilidade existente entre estabelecimentos produtivos, a hipótese deste artigo é que se o PD é realizado de diferentes

maneiras, deve haver diferentes rentabilidades para as diferentes modalidades, que interferem no grau de sustentabilidade do sistema.

Assim o presente artigo tem os seguintes objetivos:

a) Identificar e classificar diferentes estratégias para conduzir explorações mecanizadas de grãos em plantio direto (tipos de PD), caracterizando as adaptações realizadas pelos agricultores balizado pelo que é tecnicamente recomendado .

b) Medir a rentabilidade dos tipos de plantio direto através da determinação das receitas brutas, custos variáveis e margens brutas por hectare por ano ao longo de seis anos.

c) Identificar restrições técnicas e demandas de pesquisa em PD.

## **4.2. Material e Métodos**

A metodologia utilizada foi um estudo multicaso de treze estabelecimentos familiares participantes do projeto “Redes de Propriedades de Referência para Agricultura Familiar”, desenvolvido conjuntamente pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER-PR), nas regiões administrativas de Londrina, Apucarana e Cornélio Procópio, Paraná (Soares Júnior, 2006; Carneiro, 2005; Saldanha, 2005; Carvalho et al, 2001; Soares Júnior e Saldanha, 2000). Foram selecionados estabelecimentos familiares de produção de grãos que utilizavam ou passaram a utilizar plantio direto no período 1998/99 a 2003/04. Um dos estabelecimentos que houvera adotado o plantio direto em 2004 foi classificado como plantio convencional no período de análise, e mantido como referência de situação de recém-adotante do sistema.

### **4.2.1. Cálculo de margens brutas por hectare no período 1998/99 a 2003/04**

A margem bruta é um indicador dos mais utilizados em análises econômicas (Fuentes Llanillo et al., 2006c; Saldanha, 2005; Leal et al., 2005; Sánchez-Girón et al., 2004; Gareau, 2004; Van Gessel et al. et al., 2004; Carvalho et

al., 2001; Soares Júnior e Saldanha, 2000; Laurenti e Fuentes Llanillo, 1981). É importante ressaltar que a margem bruta deve remunerar os custos fixos (depreciação) e os custos de oportunidade do capital antes de ser considerada como remuneração da mão-de-obra familiar. Por isso deve ser interpretada como uma medida de desempenho parcial ao fazer inferências.

Para cada um dos 13 estabelecimentos foram levantadas informações técnico-econômicas e calculados Receitas Brutas (RB), Custos Variáveis (CV) e Margens Brutas (MB) por hectare de Superfície Agrícola Útil (SAU) dedicada a culturas de grãos ao longo de seis anos. Os valores monetários levantados em cada safra foram corrigidos para valores reais de julho de 2006.

- a) Custos Variáveis Grãos = Insumos + Combustíveis e Manutenção + Mão-de-Obra Contratada + Aluguel de Máquinas
- b) Renda Bruta Grãos =  $\sum \text{QuantidadeG}_n * \text{PreçoG}_n$
- c) Margem Bruta Grãos = Renda Bruta Grãos – Custos Variáveis Grãos
- d)  $\text{MB}_g/\text{SAU}_g = \text{RB}_g/\text{SAU}_g - \text{CV}_g/\text{SAU}_g$

Onde  $\text{SAU}_g$  é a superfície agrícola útil em hectares destinada ao cultivo de grãos em cada estabelecimento agrícola.

Todos os valores obtidos de RB, CV e MB ao fim de cada ano-safra foram corrigidos para julho de 2006 pela inflação medida pelo IGP-DI da FGV. Os valores foram também expressos em dólares, onde os valores em R\$ de julho de 2006 foram convertidos à taxa de R\$ 2,19 por dólar vigente naquele mês.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo sistema SISVAR-UFLA (Ferrera, 2000) e comparados pelo teste de médias Scott e Knott a 1% (Scott e Knott, 1974).

#### **4.2.2. Entrevista semi-estruturada sobre modalidades de plantio direto**

De posse das informações técnico-econômicas ao longo de seis anos realizou-se em dezembro de 2005 uma entrevista semi-estruturada destacando os seguintes temas cujo detalhamento é feito no Anexo 2:

- a) Manejo de solo, plantio direto e uso da terra.
- b) Máquinas semeadoras, colhedoras, operações agrícolas e tráfego de máquinas.
- c) Classificação do tipo de plantio direto.

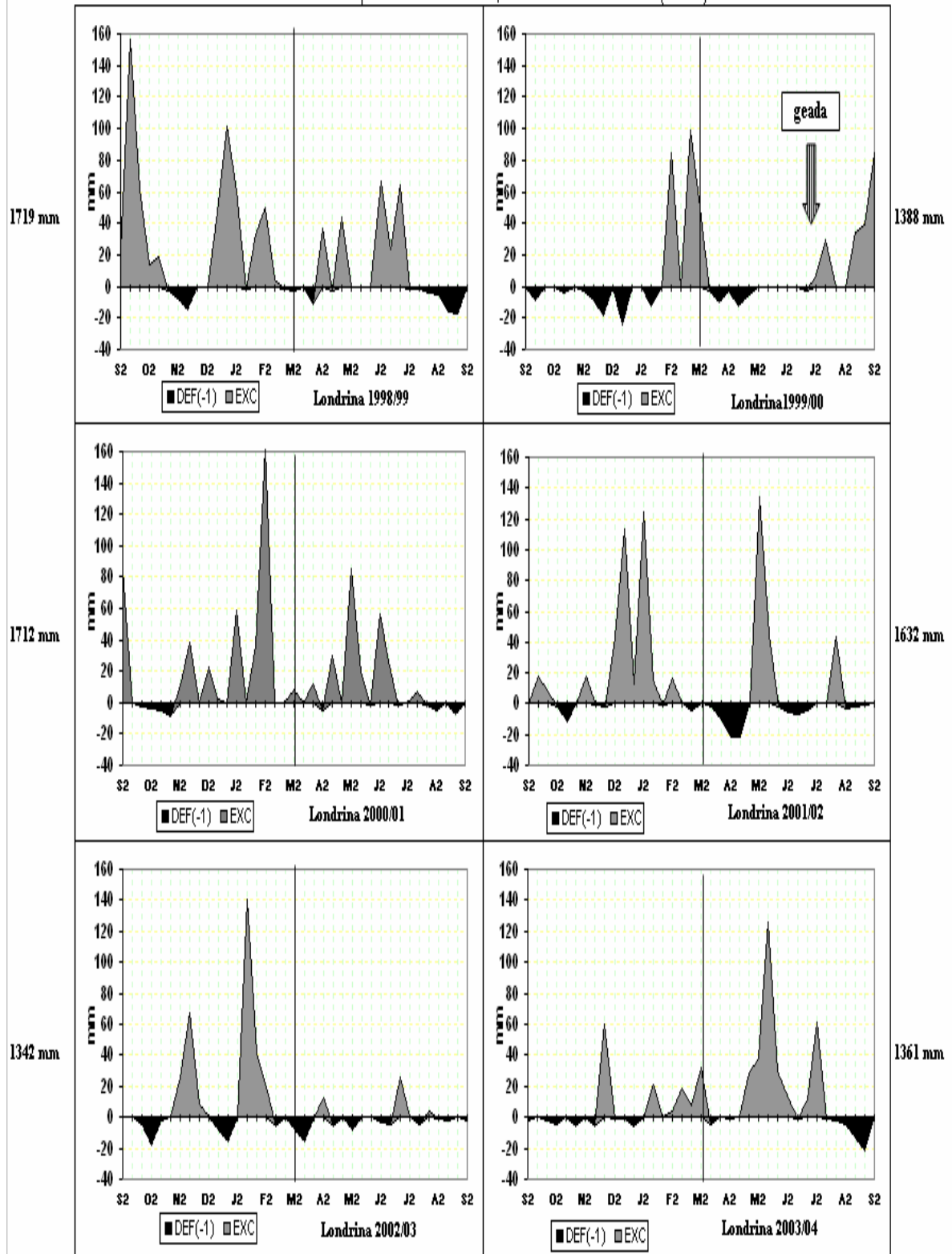
### 4.3. Resultados e Discussão

Os 13 estabelecimentos estudados estão situados em oito municípios no Vale do Paranapanema do Estado do Paraná, compreendidos entre as coordenadas 50° 10' e 51° 30' W e 22° 40' e 23° 30' N entre o Rio Paranapanema e o Trópico de Capricórnio, cuja cidade-pólo é Londrina. As altitudes variam entre 350 e 700m sobre o nível do mar e o solo predominante nas parcelas estudadas é o Latossolo Vermelho Distroférico, de acordo com a classificação brasileira (EMBRAPA, 1999), Typic Haplorthox pela classificação americana ou Rhodic Ferralsol pela FAO, cujos teores de argila são da ordem de 55 a 70%. A precipitação pluviométrica média na região varia de 1350 a 1650 mm anuais com expressiva variação interanual (Carvalho et al., 2001; Fuentes Llanillo et al., 2006a). Para referenciar as condições climáticas dos anos agrícolas 1998/99 a 2003/04 apresenta-se balanço hídrico por decêndio para Londrina (PR) na figura 4.1.

No ano agrícola foi arbitrado o segundo decêndio de setembro para início da safra de verão e o segundo decêndio de março para o início do inverno.

De forma bastante sintética, o clima da região teve quatro anos regulares em 1998/99 (verão com estiagem inicial e inverno normal), 2001/02 (verão normal e inverno seco), 2002/03 (verão com veranico e inverno seco) e 2003/04 (verão com veranico e inverno normal), um ano ruim em 1999/00 (verão com seca prolongada e inverno com seca e geada) e um ano bom em 2000/01 (verão normal e inverno normal).

**Figura 4.1.** - Balanço Hídrico da cidade de Londrina (PR), Brasil, pelo método de Thornthwaite e Mather conforme planilhas de Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998).



Apresenta-se na Figura 4.2. um resumo das condições de mercado dos três principais grãos no período 1999 a 2004. A cotação do dólar do mês de março que esteve próxima dos R\$ 2,00 em 1999, 2000 e 2001, subiu para R\$ 2,35 em 2002, R\$ 3,45 em 2003, iniciando declínio em 2004 quando foi a R\$ 2,90.

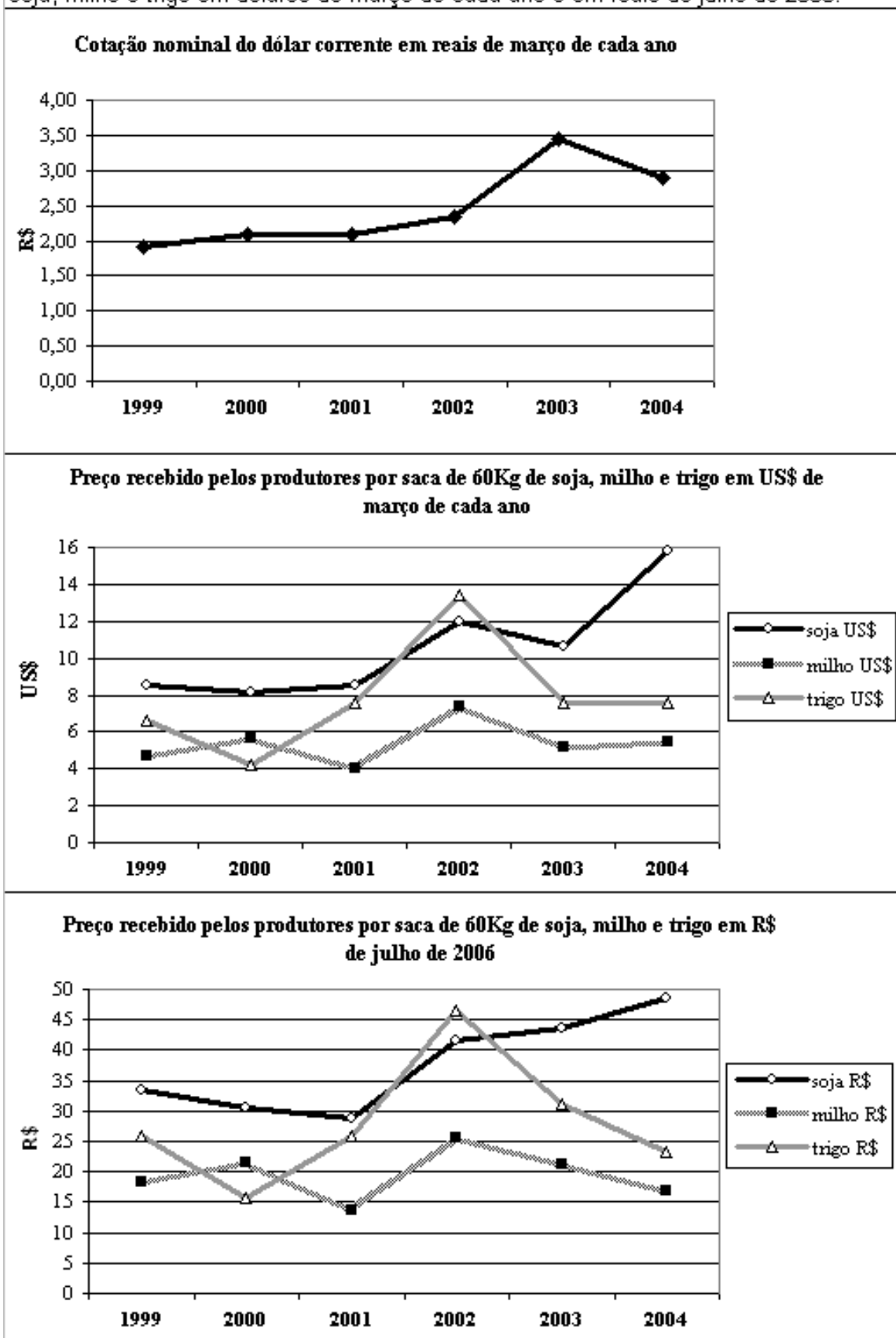
O preço recebido pela saca de 60 kg de soja também subiu em dólares, já que nos três primeiros anos estava ao redor de US\$ 8 e foi a US\$ 12, 11 e 16 em 2002, 2003 e 2004, respectivamente. Esses dois aspectos conjugados levaram o preço da saca de 60 kg de soja de R\$ 30 para cerca de R\$ 42, 45 e 49 em valores de julho de 2006, tendo sido responsável por um expressivo incremento na renda e na margem bruta dos produtores no último triênio, caracterizando um período extremamente favorável aos agricultores. Os preços do trigo e do milho também tiveram impacto positivo na renda em 2002 e 2003.

A partir da análise das margens brutas médias por hectare e das informações levantadas na entrevista específica, elaborou-se a Tabela 4.1. que descreve os tipos identificados. São quatro categorias principais: Plantio Direto (PD) de 7 a 10 anos com e sem rotação de culturas, Preparo Mínimo com Semeadura Direta (PMSD) de 7 anos sem rotação de culturas, Plantio Direto (PD) de 2 a 6 anos sem rotação de culturas, e Preparo Convencional (PC) de 7 anos sem rotação de culturas este último com plantio direto recém adotado.

Em seis estabelecimentos (1 a 6) realizava-se o PD de 7 a 10 anos . Todos eram especializados em grãos com áreas variando de 38 a 48 ha. Em quatro realizava-se rotação de culturas, em um realizava-se rotação incipiente e em outro não era realizada.

A rotação de culturas é relativamente simples e inclui o milho no verão na sucessão soja/ trigo, seguido muitas vezes do milho safrinha como estratégia de recuperar a cobertura do solo. A aveia preta, o triticale e a aveia branca também são utilizados como rotações de inverno, mas sempre para a produção de grãos ou para alimentação animal. Não houve no período nem um caso de utilização de culturas exclusivamente como adubo verde ou planta de cobertura. Nesse grupo apenas no estabelecimento 5 houve contratação de plantadeira alugada.

**Figura 4.2.** - Cotação do dólar americano e preço recebido pelos produtores pela soja, milho e trigo em dólares de março de cada ano e em reais de julho de 2006.



**Tabela 4.1.** - Tipos de plantio direto e convencional em estabelecimentos familiares selecionados da região de Londrina (PR) entre 1998/99 a 2003/04

Estabelecimentos	Área de grãos (ha)	Sist. de prod.	Tipo de PD em 2004	Ano de adoção sistema atual	Rotação						Plant Semej Colheit	Produtividade Média			Margem Bruta Média <sup>1</sup>		Custo Variável Médio <sup>1</sup>				
					Verão		Inverno		P/A <sup>4</sup>			Qn/ha (n° de safras observadas)	Milho	Trigo	Milho Safrainha	R\$/ha ano	US\$/ha ano	R\$/ha ano	US\$/ha ano		
					Soja	Milho	Trigo	Milho Safrainha	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	Soja	Milho	Trigo	Milho Safrainha						
1	41,1	Esp		1995								P	A	3484 <sup>(6)</sup>	8006 <sup>(6)</sup>	2342 <sup>(6)</sup>	4339 <sup>(1)</sup>	2165 a	989 a	1416 a	647 a
2	46,0	Esp		1994								P	P	3398 <sup>(6)</sup>	7116 <sup>(4)</sup>	2403 <sup>(5)</sup>	3549 <sup>(4)</sup>	1911 a	873 a	1246 a	569 a
3	43,6	Esp	PD 7 a 10 anos, sem rotação	1995								P	P	2971 <sup>(6)</sup>	5282 <sup>(4)</sup>	1668 <sup>(5)</sup>	1657 <sup>(3)</sup>	1700 a	776 a	901 b	412 b
4	47,8	Esp/PS		1997								P	P	2298 <sup>(6)</sup>	4893 <sup>(4)</sup>	1202 <sup>(5)</sup>		1117 b	510 b	813 b	371 b
5	38,7	Esp	PD 10 anos, rotação incipiente, semeadeira alugada	1994								A	P	2904 <sup>(6)</sup>	5605 <sup>(3)</sup>	1939 <sup>(6)</sup>		1044 b	477 b	1512 a	691 a
6	41,1	Esp	PD 9 anos, sem rotação (escarificação cada 4 anos)	1995								P	n usa	3390 <sup>(6)</sup>			4826 <sup>(6)</sup>	2200 a	1005 a	1418 a	648 a
7	53,2	Esp	Preparo Mínimo Semeadura Direta 7 anos, rotação incipiente	1997								P	P	3099 <sup>(6)</sup>			3533 <sup>(6)</sup>	1675 a	765 a	1562 a	714 a
8	28,0	Div	PD 4 anos, sem rotação	2000								P	P	3440 <sup>(6)</sup>			2110 <sup>(6)</sup>	1627 a	743 a	1556 a	711 a
9	26,5	Div	PD 5 anos, sem rotação (escarificação cada 4 anos)	1999								P	P	3107 <sup>(6)</sup>			1997 <sup>(6)</sup>	1615 a	737 a	1304 a	596 a
10	9,7	Div		1998								A	A	2308 <sup>(3)</sup>	5238 <sup>(3)</sup>	2206 <sup>(2)</sup>		948 b	433 b	816 b	373 b
11	20,6	Div	PD 2 a 6 anos, sem rotação, semeadeira alugada	2002								A	A	2610 <sup>(6)</sup>			2171 <sup>(4)</sup>	918 b	419 b	1259 a	575 a
12	24,2	Div		2000								A	A	2624 <sup>(6)</sup>			1850 <sup>(4)</sup>	785 b	358 b	1119 b	511 b
13	15,7	Div	Preparo Convencional 7 anos, sem rotação, semeadeira alugada <sup>3</sup>	1997								A	A	2396 <sup>(6)</sup>			2353 <sup>(5)</sup>	990 b	452 b	1281 a	585 a

<sup>1</sup> média de seis anos 1998/99 a 2003/04 em R\$ corrigidos pelo IGP-DI (FGV) para julho de 2006 onde valores seguidos por uma mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 1%.

<sup>2</sup> valores em US\$ obtidos pelo câmbio médio de julho de 2006 de R\$2,19 por dólar

<sup>3</sup> adoção do plantio direto em 2004, preparo convencional com escarificador no verão e grade rone no inverno durante o período de análise.

<sup>4</sup> Propria Alugada

No estabelecimento 7 realizava-se um PMSD de 7 anos, especializado em grãos com área de 53 ha. Fazia-se rotação incipiente de soja com trigo e/ou milho safrinha. O preparo mínimo consistia de escarificação e semeadura direta de soja e gradagem leve e semeadura direta de trigo ou milho safrinha. Após trigo, iniciou-se plantio direto de soja em 2002/03. Sobre milho safrinha, realizou-se escarificação.

Em cinco estabelecimentos (8 a 12) realizava-se o PD de 2 a 6 anos, com áreas de grãos de 10 a 28 ha, sem rotação de culturas, quatro deles com sucessão soja/trigo e um com soja/milho safrinha. Todos os estabelecimentos desse grupo diversificaram grãos com outras atividades tal como café, banana, pêssego, laranja e frango de corte. No grupo apenas dois produtores possuíam semeadeiras próprias enquanto três outros alugavam equipamentos.

Finalmente no estabelecimento 13 realizava-se PC de 7 anos até 2004, usando escarificação no verão e gradagem pesada no inverno, com 16 ha de soja/trigo sem rotação de culturas, diversificado com café.

Com relação à rentabilidade, predominam na bibliografia efeitos positivos pela adoção do plantio direto em relação ao plantio convencional, principalmente advindos da redução dos custos variáveis e em menor escala de incrementos na produtividade (Dixon, 2003; Fuentes Llanillo et al., 2006c; Sorrenson, Lopez-Portillo e Nuñez, 1997 e 1999; Sorrenson, Duarte e Lopez-Portillo, 1998; Laurenti e Fuentes Llanillo, 1981). A redução de custos mais expressiva é advinda da eliminação das operações de preparo de solo e pode variar substancialmente entre regiões dependendo da escala de adoção do sistema (custo das máquinas), da escala de tempo (curto prazo versus longo prazo) e dos preços dos combustíveis (Dixon, 2003). Outra vantagem do sistema no longo prazo é a menor necessidade de fertilizantes químicos, que representam de 24 a 30% dos custos variáveis de produção (Lu et al., 2000; Gareau, 2004).

Explorando a tabela 4.1., verifica-se que o teste estatístico de médias de Scott e Knott a 1% (Scott e Knott, 1974), discriminou duas faixas de margens brutas, uma mais alta variando de R\$ 1615 (US\$ 737) a 2200 (US\$ 1005) por hectare-ano (índice a) e outra mais baixa de R\$ 785 (US\$ 358) a 1117 (US\$ 510) por hectare-ano (índice b). Com relação aos custos variáveis foram discriminadas duas faixas, uma de custos mais altos variando de R\$ 1246 (US\$ 569)

a 1562 (US\$ 714) por hectare-ano (índice a) e outra de custos mais baixos de R\$ 813 (US\$ 371) a 1119 (US\$ 511) por hectare-ano (índice b).

No grupo de maior rentabilidade da tabela 4.1. estão quatro PD de 7 a 10 anos (um sem rotação de culturas e três com rotação) com margens brutas de R\$ 1700 (US\$ 776) a 2200 (US\$ 1005) por hectare-ano, seguidos de 2 PD de 4 a 5 anos sem rotação de culturas e 1 PMSD de 7 anos com rotação incipiente, com margens de R\$ 1615 (US\$ 737) a 1675 (US\$ 765) por hectare-ano. Essa superioridade relativa do plantio direto mais antigo sobre o plantio direto de curto prazo e o preparo mínimo, estaria indicando que com o tempo de adoção do plantio direto, as vantagens biológicas do sistema vão se refletindo em vantagens econômicas.

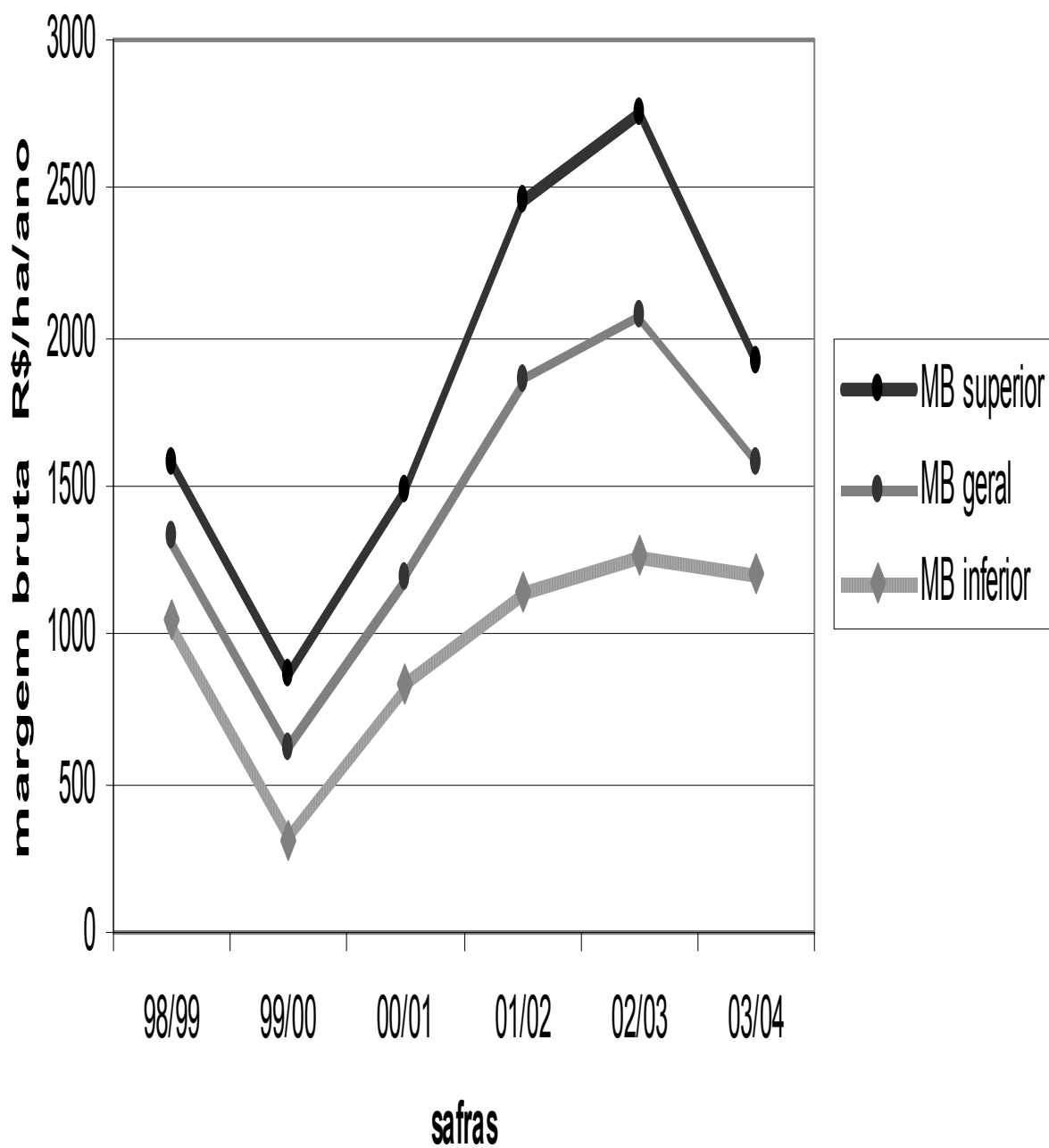
No grupo de menor rentabilidade da tabela 4.1. estão um PD de 7 anos com rotação de culturas, um PD de 10 anos com rotação incipiente e semeadeira alugada, três PD de 2 a 6 anos sem rotação com semeadeiras alugadas e um PC de 7 anos sem rotação com semeadeiras alugadas. Apesar das margens brutas menores de R\$ 785 (US\$ 358) a R\$ 1117 (US\$ 510) há rentabilidade num patamar mais baixo. Nesse grupo a utilização de serviços terceirizados para o plantio, muitas vezes compromete a produtividade das culturas por ser realizado com pouca qualidade e fora dos momentos ótimos (Araújo, Casão Júnior e Siqueira, 2001). As diferenças nas margens brutas estão mais relacionadas às produtividades obtidas, principalmente na cultura de soja que comanda o sistema. As produtividades da cultura de soja no grupo de rentabilidade superior estão entre 2971 e 3484 kg/ha, enquanto no grupo de rentabilidade menor, onde predominam usuários de semeadeiras alugadas, estão entre 2308 e 2904 kg/ha. Esse é o aspecto mais nítido na explicação das diferenças de rentabilidade, mais que a especialização e a escala de produção, visto que estabelecimentos como 8 e 9 são diversificados e operam numa escala 40% menor que os especializados, mas se posicionam na faixa de maior rentabilidade, e os estabelecimentos 4 e 5 que são especializados e de escala maior, se posicionam na faixa de menor rentabilidade. Um aspecto que parece não ter efeito negativo na rentabilidade e nas produtividades é a realização de uma escarificação eventual, como é o caso dos estabelecimentos 6 (PD 9 anos sem rotação) e 9 (PD 5 anos sem rotação), já que ambos estão na faixa das maiores margens brutas.

Ainda discutindo a tabela 4.1., as quatro maiores margens brutas são obtidas com PD de 7 a 10 anos, das quais três são obtidas com rotação de culturas (R\$ 1700 a 2165/ha/ano) e uma, a maior, é obtida sem rotação de culturas (R\$ 2200/ha/ano). Esse resultado permite dizer que a rotação de culturas, nesse caso, é uma das práticas dos produtores mais bem sucedidas, mas as sucessões soja/milho safrinha ou soja/trigo puderam equiparar-se financeiramente às rotações que incluem outras culturas de grãos no período. Dois aspectos que ainda devem ser lembrados são que soja/milho e soja/trigo, por envolver uma leguminosa e uma gramínea em sucessão, não são exatamente monoculturas, e que as rotações utilizadas com milho no verão e milho safrinha, trigo, aveia preta, aveia branca e triticale no inverno, apesar de suas virtudes, ficariam financeiramente no mesmo nível que sucessões relativamente simples e bem sucedidas sob uma boa gestão. Esse resultado de certa forma confirma a superioridade de sistemas que envolvem rotação de culturas, associados ou não à utilização do plantio direto (Laurenti e Fuentes Llanillo, 1981; Uri, 1999; Sánchez-Girón et al., 2004; Leal et al, 2005). Resultados mais auspiciosos em PD, com rotações de culturas mais ricas incluindo adubos verdes e coberturas, foram obtidos em unidades de teste e validação em nível de estabelecimento no Oeste do Paraná por Medeiros e Calegari (2006).

A maior parte desses estabelecimentos usa um itinerário técnico que busca maximização de margens incorrendo em custos variáveis mais altos (R\$ 1246 a 1562 ou US\$ 569 a 714), enquanto alguns como 3, 4, 11 e 12 adotam uma estratégia de minimização de custos (R\$ 813 a 1117/ha/ano ou US\$ 371 a 511/ha/ano) principalmente pela diminuição no uso de insumos agroquímicos. O estabelecimento 3 deve ser destacado como o único com custos variáveis mais baixos (b) e com maiores margens brutas (a) (Tabela 4.1.). Para especificar a variabilidade interanual das margens brutas apresenta-se a Figura 4.3. onde é possível verificar a média anual da margem bruta dos dois grupos e a média geral, além das diferenças entre o primeiro e o segundo triênios.

Nos anos favoráveis associando aspectos climáticos e econômicos, o grupo de maiores margens brutas se destaca ainda mais do grupo de menores margens. Já nos piores anos, levando-se em conta que custos fixos e remuneração dos custos de oportunidade podem atingir de R\$ 200 a 500, parte do grupo de menores margens brutas não tem resiliência e pode ter sua viabilidade econômica ameaçada colocando em risco a sustentabilidade.

**Figura 4.3.- Média dos grupos de margens brutas superiores, inferiores e média geral.**



#### 4.4. Conclusões

O sistema familiar de produção mecanizada de grãos em plantio direto no norte do Paraná é rentável, mesmo quando a adoção do sistema é parcial no sentido da semeadura direta sem envolver rotação de culturas.

Em plantio direto a qualidade e o momento adequado de semeadura são cruciais para obter resultados econômicos superiores. Às piores margens brutas e produtividades está associado o uso de semeadeiras e plantadeiras alugadas, onde o plantio direto não superou o preparo convencional de referência. Nos piores anos do ponto de vista climático e econômico, tais margens brutas mal puderam cobrir custos fixos e custos de oportunidade, comprometendo a remuneração do trabalho familiar. Exigir melhor qualidade dos serviços terceirizados e buscar adquirir máquinas semeadeiras próprias em caráter grupal ou individual é desejável para maior sustentabilidade desses estabelecimentos agropecuários familiares.

A rotação de culturas é relativamente limitada e não inclui adubos verdes e plantas de cobertura, mas está associada às maiores rentabilidades. A cobertura do solo vem sendo principalmente mantida pela palhada remanescente da cultura de milho e também da aveia em alguns casos.

Produtores especializados em grãos obtêm as melhores margens brutas, mas produtores diversificados podem auferir resultados semelhantes desde que possuam plantadeiras e semeadeiras próprias ou serviços terceirizados de boa qualidade e pontualidade.

Alguns produtores seguiram estratégia de minimização de custos pela menor utilização de insumos, através de manejo de pragas e doenças, práticas de controle biológico e racionalização de adubações com rentabilidades menores em geral.

Outras pesquisas devem ser conduzidas para dotar os produtores de mais alternativas viáveis de rotação de culturas assim como promover estudos sobre atitudes de minimização de riscos no contexto do plantio direto.

## **5. ARTIGO B: PERFIL CULTURAL E QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO DE GRÃOS EM ESTABELECIMENTOS AGROPECUÁRIOS FAMILIARES NO NORTE DO PARANÁ, BRASIL.**

### **Resumo**

Seis estabelecimentos agropecuários familiares que praticam diferentes tipos de plantio direto foram estudados por meio de perfis culturais, resistência à penetração, densidade e granulometria. Os resultados evidenciaram que a compactação de solo é o maior problema, principalmente na zona do rodado, quando o sistema não é manejado apropriadamente e também que o plantio direto de longo prazo com rotação de culturas e cobertura permanente do solo pode evitar a compactação e melhorar os atributos físicos e morfológicos do solo.

Palavras-chave - sustentabilidade, plantio direto, perfil cultural, densidade, resistência à penetração.

### **Abstract**

Six family farming enterprises practicing different types of no-tillage were studied by means of cultural profiles, resistance to penetration, density and textural analysis. Results showed that soil compaction is the main problem principally in the traffic zone when the system is not managed properly and also that long term no-tillage with crop rotation and permanent soil cover may avoid compaction and improve physical and morphological soil attributes.

Key words - sustainability, no-tillage, cropping profile, density, resistance to penetration.

## 5.1. Introdução

O sistema de plantio direto em culturas mecanizadas de grãos, elemento chave da agricultura de conservação, tem sido avaliado como sustentável devido a seus efeitos positivos na conservação de solos, na construção integrada da fertilidade do solo sob aspectos químicos, físicos e biológicos, na redução de custos em combustíveis e manutenção de máquinas, na menor demanda de trabalho e na melhoria da rentabilidade das explorações (Hobbs, 2007; Bolliger et al., 2006; Casão et al., 2006; McGarry, 2003). Alguns efeitos negativos podem advir, dependendo das condições de adoção do sistema, como uma maior dependência de agroquímicos, principalmente de herbicidas (Bolliger et al., 2006), assim como a formação de camadas compactadas por efeito do tráfego pouco controlado de máquinas sobre o solo sem revolvimento (McGarry, 2003).

Qualidade física do solo refere-se a capacidade do solo em sustentar o pleno desenvolvimento das plantas (Reichert, Reinert e Braida, 2003). O uso de indicadores facilmente mensuráveis e que podem ser largamente reproduzidos em nível local é de suma importância no monitoramento da sustentabilidade, ainda mais levando em conta que o plantio direto de culturas anuais que ocupa cerca de 5 milhões de hectares no Paraná e mais de 25 milhões de hectares no Brasil (FEBRAPDP, 2007; Derpsch, 2005; Bernoux et al., 2006).

A análise da morfologia dos solos pelo método do perfil cultural é uma técnica de inspiração francesa (Henin et al., 1960; Manichon, 1982; Gautronneau e Manichon, 1987), que foi utilizada inicialmente como ferramenta pedagógica para o ensino de estudantes de Agronomia, transformando-se posteriormente num método de caracterização dos estados dos horizontes antropizados, levando em conta o modo de organização dos torrões e o estado interno destes (Tavares Filho et al., 1999). Em essência, o método do perfil cultural pode servir ao diagnóstico qualitativo do estado físico do solo, à descrição da sua organização estrutural, à visualização de interações físico-químico-biológicas e a estudos de mecânica de solo e de desenvolvimento radicular sob diferentes tipos de manejo de solo e de forma especial sob plantio direto (Ralisch, Guimarães e Medina, 1994; Ralisch, 1995; Tavares Filho et al., 1999; Tavares Filho et al., 2001; Fregonezi et al., 2001; Neves et al., 2003; Pereira Neto et al., 2007). O método torna-se ainda

mais potente quando usado como orientador de amostragens de solos para análises quantitativas físico-químico-biológicas complementares. Dada sua facilidade relativa de execução, o perfil cultural associado com alguns indicadores de qualidade física dos solos permite ser replicado nas mais diversas situações, dando boas indicações sobre o nível de sustentabilidade do sistema de manejo de solo em uso.

A hipótese deste artigo é que se existem diferentes modalidades de PD, deve haver diferentes níveis de qualidade física e morfológica nos solos.

Assim o objetivo do presente artigo foi avaliar a sustentabilidade de sistemas familiares de produção de grãos em modalidades de plantio direto no Norte do Paraná por meio de indicadores de morfologia e qualidade física do solo

## **5.2. Material e métodos**

Os estabelecimentos agropecuários familiares que foram selecionados como unidades de análise deste estudo localizam-se em seis municípios no Médio Vale do Paranapanema do Estado do Paraná, compreendidos entre as coordenadas 50° 10' e 51° 30' W no Baixo Rio Tibagi e 22° 40' e 23° 30' N entre o Rio Paranapanema e o Trópico de Capricórnio, cuja cidade-pólo é Londrina. As altitudes variam entre 350 e 700m sobre o nível do mar e o solo predominante nas parcelas é o Latossolo Vermelho Distroférico, de acordo com a classificação brasileira (EMBRAPA, 1999) ou Oxisol Argiloso pela FAO ou Typic Haplorthox pela classificação americana, cujos teores de argila são da ordem de 55 a 70%. A precipitação pluviométrica média na região varia de 1350 a 1650 mm anuais com expressiva variação interanual (Carvalho et al., 2001; Fuentes Llanillo et al., 2006a).

O Projeto Redes de Referências para a Agricultura Familiar desenvolvido pelo IAPAR, EMATER e famílias de produtores colaboradores, monitorou durante seis anos cerca de 60 estabelecimentos no norte do Paraná, nas regiões de Londrina, Cornélio Procópio e Apucarana (Carvalho et al., 2001). Treze deles, que tem na produção mecanizada de grãos em plantio direto uma de suas atividades principais, no artigo A desta tese, foram classificados por tipo de plantio direto e estudados quanto às margens brutas obtidas e aos custos variáveis por hectare-ano ao longo de seis anos (1998/99 a 2003/04). Neste artigo B seis desses treze estabelecimentos, três entre os de maior e três entre os de menor

rentabilidade, foram selecionados para estudar morfologia e qualidade física do solo, buscando nessa escolha garantir representatividade das modalidades de plantio direto. Foram selecionados PD 12 anos com rotação (MB alta), PD 9 anos com rotação (MB baixa), PD 11 anos com escarificação eventual sem rotação (MB alta), PD 6 anos sem rotação semeadeira alugada (MB baixa), PD 4 anos sem rotação semeadeira alugada (MB baixa) e Preparo Mínimo (escarificação) com Semeadura Direta 9 anos com rotação incipiente (MB alta). São os estabelecimentos 2, 4, 6, 12, 11 e 7 respectivamente que aparecem na Tabela 5.1.

Nos estabelecimentos 2 e 4 realiza-se plantio direto de 12 e 9 anos, sem nunca haver sido revolvido o solo depois da adoção, exceto a movimentação nas linhas de semeadura, e faz-se rotação de culturas alternando milho com a soja no verão, a cada três anos, e no inverno utiliza-se trigo e aveia preta sempre para produção de grãos, além de milho safrinha, aveia branca e triticale. Dispõe-se de maquinário próprio adequado para realizar as operações de semeadura e colheita. Ambos estão muito próximos daquele manejo preconizado como ideal tecnicamente. Diferem, entretanto, na intensidade de utilização de agroquímicos e na estratégia de gestão dos custos. O estabelecimento 2 utiliza intensivamente agroquímicos, obtém altas produtividades (soja=3398 kg/ha) e está na faixa de maiores custos e de maiores margens brutas enquanto o estabelecimento 4 adota uma estratégia de menor uso de fertilizantes e de manejo biológico de pragas, e obtém produtividades mais modestas (soja=2298 kg/ha) por menores custos, posicionando-se na faixa de menor rentabilidade.

No estabelecimento 6 realiza-se um plantio direto de 11 anos, sendo que de 4 em 4 anos, o solo recebe uma operação de escarificação para remover adensamentos declarados pelo produtor. Todos os anos são semeados soja no verão e milho safrinha no inverno sem rotação de culturas. Com intenso uso de insumos, as produtividades são altas (soja=3390 kg/ha), situando-se na faixa de maiores custos e atingindo a maior margem bruta média do grupo.

Nos estabelecimentos 12 e 11 realiza-se plantio direto de 6 e 4 anos, semeando continuamente soja no verão e milho safrinha no inverno (4) ou soja no verão e trigo no inverno (5), sem rotação de culturas e utilizando semeadeiras alugadas. Esse último aspecto é determinante na obtenção de produtividades mais modestas (soja = 2624 e 2610 kg/ha respectivamente) e rentabilidades mais baixas,

**Tabela 5.1.-** Tipos de plantio direto nos seis estabelecimentos estudados na região de Londrina (PR)

estabelecimento	perfis	Tipo de PD em 2006	Rotação ao longo dos anos							Semead/Colheiteira	Produtividade Média			CVM <sup>1</sup>	MBM <sup>1</sup>		
			Verão		Inverno			Kq/ha (n° de safras observadas)	Milho		Trigo	Milho Safinha					
			Soja	Milho	Trigo	Milho Safinha	Aveia Branca						Aveia Preta			Triticale	
			Soja	Milho	Trigo	Milho Safinha	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	P / A <sup>2</sup>	P / A <sup>2</sup>	Soja	Milho	Trigo	Milho Safinha	R\$/haano	
2	1 e 2	PD 12 anos, com rotação	Soja	Milho Safinha	Trigo	Milho Safinha	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	P	P	3398 <sup>(6)</sup>	7116 <sup>(4)</sup>	2403 <sup>(5)</sup>	3549 <sup>(4)</sup>	1246 a	1911 a
4	3 e 4	PD 9 anos, com rotação	Soja	Milho	Trigo	Milho	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	P	P	2298 <sup>(6)</sup>	4893 <sup>(4)</sup>	1202 <sup>(5)</sup>		813 b	1117 b
6	5 e 6	PD 11 anos, sem rotação, escarificação de 4 em 4 anos	Soja	Milho	Trigo	Milho	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	P	A	3390 <sup>(6)</sup>			4826 <sup>(6)</sup>	1418 a	2200 a
12	7 e 8	PD 6 anos, sem rotação, semeadeiras alugadas	Soja	Milho	Trigo	Milho	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	A	A	2624 <sup>(6)</sup>			1850 <sup>(4)</sup>	1119 b	765 b
11	9 e 10	PD 4 anos, sem rotação, semeadeiras alugadas	Soja	Milho	Trigo	Milho	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	A	A	2610 <sup>(6)</sup>		2171 <sup>(4)</sup>		1259 a	918 b
7	11 e 12	Preparo Mínimo com Semeadura Direta 9 anos, rotação incipiente	Soja	Milho	Trigo	Milho	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	P	A	3099 <sup>(6)</sup>		3533 <sup>(3)</sup>	3815 <sup>(6)</sup>	1562 a	1675 a

<sup>1</sup> CVM Custo Variável Médio e MBM Margem Bruta Média de seis anos 1998/99 a 2003/04 em R\$/haano corrigidos para julho de 2006 onde valores seguidos por uma mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 1%.

<sup>2</sup> P- própria A- alugada

principalmente devido à realização da semeadura fora dos momentos ótimos e com qualidade discutível e não pelo maior custo eventual das operações terceirizadas (Araújo, Casão Júnior e Siqueira, 2001).

No estabelecimento 7 realiza-se um tipo de manejo de solo chamado de preparo mínimo. As semeaduras são todas realizadas com máquinas de plantio direto, independente do nível de revolvimento feito pelas operações de preparo. Quando no inverno é semeado trigo, não é feito nenhum preparo de solo para soja e ocorre o plantio direto. Quando no inverno é semeado milho safrinha, é feito um preparo de solo para a soja que o sucede, realizando-se uma escarificação e uma gradagem. Tanto para a semeadura de milho safrinha ou trigo no inverno é feito um preparo de solo reduzido à base de uma gradagem leve. Existe uma rotação de culturas incipiente com alternância de milho safrinha e trigo no inverno, sempre com soja no verão. Nesse estabelecimento obtêm-se produtividades relativamente altas (soja=3099 kg/ha), com os custos mais altos do grupo, pois incluem preparo de solo, posicionando-se no piso da faixa das maiores margens brutas médias.

A avaliação da qualidade física do solo foi realizada pelo estudo da morfologia do solo pelo método do perfil cultural complementado por avaliações de granulometria/argila dispersa em água, de densidade/umidade e de resistência à penetração.

O método do perfil cultural foi proposto por Henin (1960), aperfeiçoado por Manichon (1982) e Gautronneau e Manichon (1987), e adaptado para condições tropicais brasileiras conforme Ralisch (1995), Ralisch et al. (1995) e Tavares Filho et al. (1999). A morfologia do solo foi observada em duas trincheiras por estabelecimento, transversais às linhas dos cultivos, medindo 1,5 m de largura, 0,6 m de profundidade e 0,8 m de espaço de trabalho. A análise consistiu em descrever os modos de organização dos torrões e o estado interno destes nos volumes de solo encontrados em cada perfil. Foi dada especial atenção a existência de impedimentos físicos ao desenvolvimento normal das raízes das culturas de grãos. Dado a importância do tráfego no surgimento de camadas compactadas, na escolha da posição da trincheira, garantindo-se sempre a presença da ação do rodado da colhedeira (equipamento mais pesado) no perfil, lado a lado com uma área fora da ação do rodado, tendo sido esse um critério (fora do rodado e no rodado) seguido ao longo de toda a análise. Os perfis foram analisadas aos pares em cada estabelecimento nos dias 8, 9, 10, 11, 27 e 30 de novembro de 2006.

Nesse período as lavouras de verão estavam em vias de implantação ou recém implantadas, sendo um momento propício para analisar cobertura de palha remanescente do período de inverno.

Concomitantemente foram realizadas as demais amostragens nas mesmas datas, exceto amostragens de densidade e resistência à penetração nos perfis 7 e 8, que pelo fato do solo estar demasiadamente seco, foram feitas um mês depois no dia 27 de dezembro de 2006. Os perfis culturais obtidos foram digitalizados e georreferenciados pelo software Arc View 8.3 em polígonos com pontos de controle nos quatro vértices do perfil (0 a 50 cm de altura e 0 a 150 cm de largura). Foram medidas as áreas frontais dos volumes de solo relativos à L (livre), F (fragmentado), CΔ (contínuo compacto) e Cμ (contínuo poroso e rugoso) cujos valores foram submetidos a uma análise de componentes principais e uma análise de agrupamento dos perfis segundo suas similaridades.

A resistência à penetração do solo foi medida com penetrógrafo de mola, cone e haste padrão ASAE (ASAE, 1986), marca Soil Control modelo Penetrographer SC-60, com diâmetro da base do cone de 12,8 mm e ângulo de 30°, além de registro contínuo da pressão em Mpa até a profundidade de 60 cm. As determinações foram no entorno de cada trincheira, com doze repetições no rodado (seis de cada lado da trincheira) e doze repetições fora do rodado (seis de cada lado da trincheira) até a profundidade de 45 cm com leitura de 5 em 5 cm.

A densidade e umidade foram determinadas pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) de 98 cm<sup>3</sup>, amostradas no entorno de cada trincheira, com seis repetições no rodado e seis repetições fora do rodado, para cada uma das três profundidades de 0 a 10 cm, de 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm.

A granulometria e a porcentagem de argila natural (dispersa em água) foram amostradas para cada trincheira em duas posições, uma no rodado e outra fora do rodado, nas profundidades de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm e 10 a 20 cm e analisadas pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Da diferença entre a porcentagem de argila total e a da argila dispersa em água, obteve-se uma estimativa da argila que estaria retida nos agregados.

### 5.3. Resultados e Discussão

#### 5.3.1. Representação gráfica e descrição dos perfis.

As observações feitas em dois perfis por estabelecimento totalizando doze perfis estão representados graficamente na Figura 5.1. As setas cinza identificam as áreas sob efeito do rodado de colhedeira.

A largura do dois pneus do rodado de uma colhedeira é de 110 cm, para uma largura de corte de 550 cm para plataformas de soja e 400 cm para plataformas de milho trafegando de 20 a 28 % da área. O rodado da colhedeira foi usado como localizador da área dos perfis culturais para magnificar os efeitos devido ao maior peso e a maior superfície afetada, sem no entanto abster-se da ação do rodado dos tratores que é mais frequente apesar do menor peso e largura.

Em seqüência as situações dos seis estabelecimentos estão sintetizadas na Tabela 5.2. para a área fora da ação do rodado e na Tabela 5.3. para a área afetada pela ação do rodado. Nessas tabelas, aquelas camadas que não apresentam problemas de desenvolvimento radicular aparecem em branco, as que apresentam impedimentos moderados aparecem em cinza claro e as que aparecem em cinza escuro representam impedimentos severos.

Nos perfis 1 e 2 (estabelecimento 2) o sistema de plantio direto estava sendo feito há 12 anos com rotação de culturas. Apresentou a melhor cobertura de solo do grupo, com 90% de cobertura da superfície do solo com palhada de trigo de colheita recente e 10% sem cobertura, circunscritos às linhas de soja recém-emergida revolvidas no processo recente de semeadura. Nesses perfis o solo apresentou ótimas condições morfológicas. Fora do rodado o perfil 1 apresentava uma camada livre  $L_{\mu}$  de 5 cm chegando a 8 cm nos cones de semeadura, evoluindo para um fragmentado  $F_{\mu}$  composto de grandes torrões entre 12 e 21 cm com porosidade interna visível abundante. Depois de 22 cm havia o início de estrutura maciça  $C_{\mu}$  muito porosa e rugosa, transição para o horizonte pedológico Bw até os 50 cm.

No rodado a única diferença é que aparecia uma camada  $F_{\mu\Delta}$  com pequenos torrões ligeiramente densos entre 6 e 11 cm, uma tendência nos PD de 9 a 12 anos. Entretanto, não se constitui impedimento ao crescimento radicular, que

**Figura 5.1.** – Representação gráfica dos perfis culturais

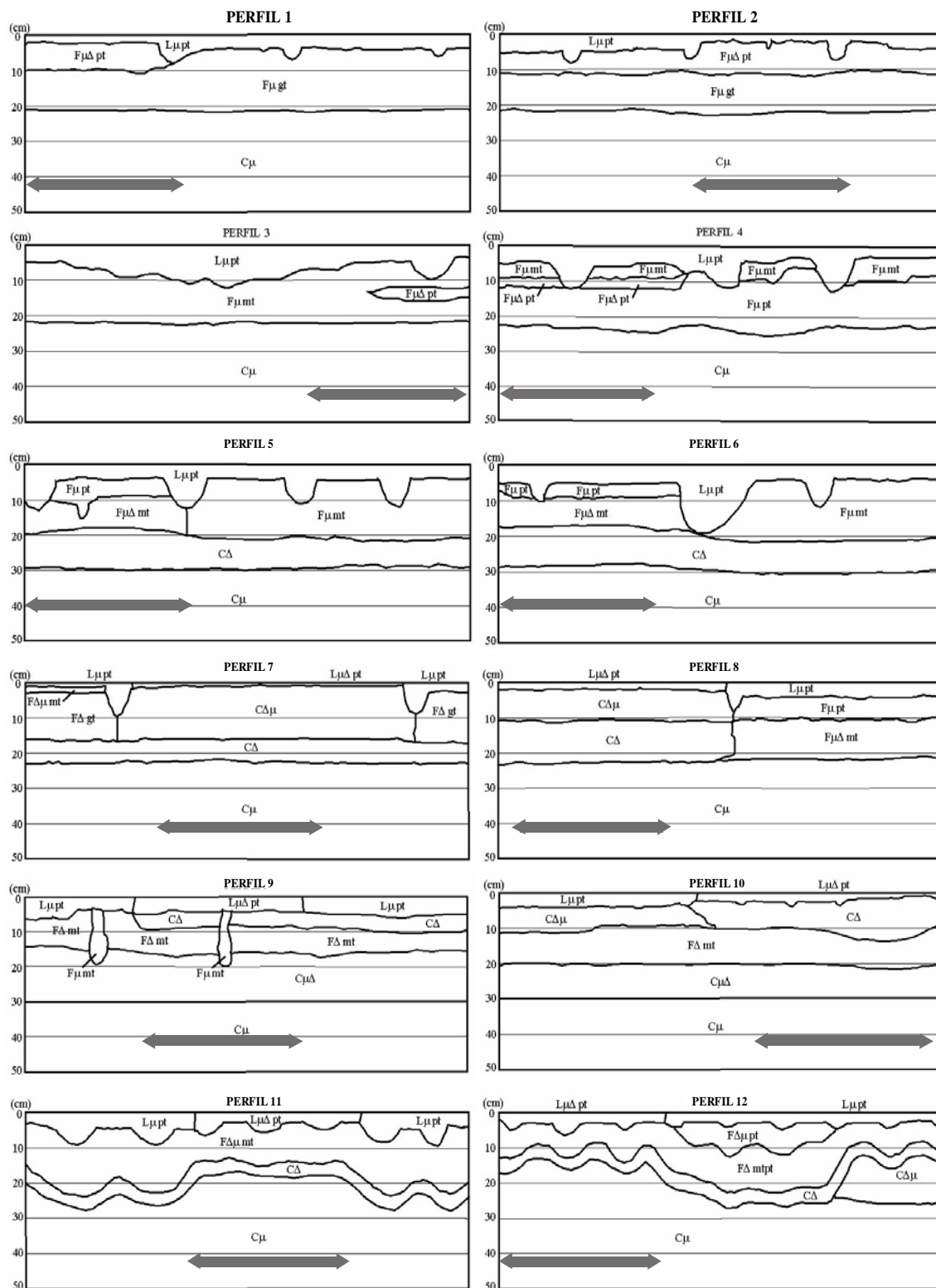


Tabela 5.2. - Síntese da descrição dos perfis culturais na área fora da açã

prof (cm)	<b>estab. 2- perfis 1 e 2</b> <b>90% cobertura palha trigo</b> <i>Plantio Direto 12 anos</i> <i>com rotacao de culturas</i>	<b>estab. 4- perfis 3 e 4</b> <b>80% cobertura palha milho trigo</b> <i>Plantio Direto 9 anos</i> <i>com rotacao de culturas</i>	<b>estab.6- perfis 5 e 6</b> <b>80% cobertura palha milho</b> <i>Plantio Direto 11 anos s/ rotaçã</i> <i>escarificaçã cada 4 anos</i>
1	<b>L<math>\mu</math><sub>pt</sub></b> 0-5cm 50% TF e 50% torrões pequen	<b>L<math>\mu</math><sub>pt</sub></b> 0-6cm 50% TF e 50% torrões pequen	<b>L<math>\mu</math><sub>pt</sub></b> 0-4cm 50% TF e 50% torrões livres
2	nos, muito porosos e rugosos, colonizados	nos, muito porosos e rugosos, colonizados	pequenos, muito porosos e rugosos, bem
3	por raízes, alta atividade biológica. Atinge	por raízes, alta atividade biológica. Esse livre	colonizados por raízes, muitas minhocas.
4	7-8cm nos sulcos de plantio	se expande até 10-12 cm nos sulcos de plantio e áreas adjacentes.	Atinge 13cm nos sulcos de plantio de milho.
5			
6			
7			
8			
9	<b>F<math>\mu</math><sub>gt</sub></b> -6-21cm torrões grandes muito porosos e rugosos, colonizados por raízes, alta	<b>F<math>\mu</math><sub>ndpt</sub></b> 7-22cm torrões médios e pequenos porosos e rugosos, bem colonizados por	<b>F<math>\mu</math><sub>nt</sub></b> 5-20cm torrões médios muito porosos e rugosos, bem colonizados por raízes,
10	atividade biológica, desenvolvimento radicular intra-agregados intenso, raízes arredondadas	raízes, muitas minhocas e atividade biológica desenvolvimento radicular intra-agregados intenso, raízes arredondadas, transição variável no limite superior com o livre expandido	muitas minhocas e atividade biológica, desenvolvimento radicular intra-agregados intenso, raízes arredondadas, camada penetrada por bolsões de livre expandido.
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			<b>CA</b> 21-29cm estrutura contínua compacta, relíquia do sistema convencional (arado), pouca porosidade e rugosidade visíveis bem colonizada por raízes arredondadas ou ligeiramente achatadas, camada em aparente regeneração
23	<b>C<math>\mu</math></b> 22-50cm: início da estrutura maciça microagregada, estado interno $\mu$ , transição para Bw, muito poroso, resultado do empilhamento de pequenos agregados, presença de raízes arredondadas, intensa atividade biológica de anelídeos e insetos.	<b>C<math>\mu</math></b> 23-50cm início da estrutura maciça microagregada, estado interno $\mu$ , transição para Bw, muito porosa e rugosa, empilhamento de pequenos agregados, presença de raízes arredondadas, intensa atividade biológica de formigas e anelídeos.	
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			<b>C<math>\mu</math></b> 30-50cm início de estrutura maciça microagregada, estado interno $\mu$ , transição para Bw, muito porosa e média rugosidade, resultado do empilhamento de pequenos agregados, presença raízes arredondadas intensa atividade biológica de macrofauna.
32			
33			
50			

\* Torrões pequenos 0-5cm, torrões médios 5-10cm e torrões grandes &gt;10cm

ção do rodado de colhedeira (FORA DO RODADO)

<b>estab. 12- perfis 7 e 8</b> <b>50% cobertura palha milho</b>	<b>estab. 11- perfis 9 e 10</b> <b>70% cobertura palha trigo</b>	<b>estab. 7- perfis 11 e 12</b> <b>85% cobertura palha trigo</b>
<i>Plantio Direto 6 anos s/ rotação</i> <i>semeadeiras alugadas</i>	<i>Plantio Direto 4 anos s/ rotação</i> <i>semeadeiras alugadas</i>	<i>Preparo Mínimo com Semeadura Direta 9 anos rotação incipiente</i>
<b>L<math>\mu</math><sub>pt</sub></b> 0-4cm 50% TF e 50% torrões livres pequenos, muito porosos e rugosos, bem colonizados por raízes, atinge 7-8 cm nos sulcos de plantio de milho.	<b>L<math>\mu</math><math>\Delta</math><sub>pt</sub></b> 0-4cm 70% TF e 30% torrões pequenos laminares, máximo 6-7cm nos sulcos de raízes.	<b>L<math>\mu</math><sub>pt</sub></b> 0-4cm com 50%TF e 50% torrões pequenos laminares, fortemente porosos e rugosos, muito colonizados por raízes, com 6-9cm nos sulcos de plantio
<b>F<math>\Delta</math><sub>gt</sub></b> 5-14cm torrões grandes compactos e em compactação até 16x9cm, com porosidade fissural e rugosidade visíveis, colonizados por raízes ligeiramente achatadas e cilíndricas, solo seco rachaduras até 14cm. Em áreas com boa cobertura e maior atividade biológica ocorrem faixas de <b>F<math>\mu</math><sub>pt</sub></b> e <b>F<math>\mu</math><math>\Delta</math><sub>mt</sub></b> com torrões sem compactação.	<b>C<math>\Delta</math><math>\mu</math>/F<math>\Delta</math><sub>mt</sub></b> 5-10cm estrutura contínua ou fragmentada em compactação com porosidade fissural e rugosidade visíveis, fruto de coesão de torrões laminares, colonizada por raízes ligeiramente achatadas e também cilíndricas e arredondadas.	<b>F<math>\Delta</math><math>\mu</math><sub>mt pt</sub></b> 5-20cm torrões médios e pequenos laminares de 2-3cm de espessura, em compactação, com porosidade fissural e rugosidade visíveis, crescimento raízes cilíndricas e arredondadas.
<b>CA</b> 15-23cm estrutura contínua compactada relíquia do sistema convencional (grade pesada) sem porosidade e rugosidade visíveis, poucas raízes de formato achatado	<b>F<math>\Delta</math><sub>mt</sub></b> 11-20cm torrões médios, porosidade e rugosidade média, compactos e em compactação, raízes cilíndricas ou ligeiramente achatadas nas fissuras e algumas penetrando torrões	
<b>C<math>\mu</math></b> 24-50cm início da estrutura maciça microagregada, estado interno $\mu$ , transição para Bw, muita porosidade e rugosidade, resultado do empilhamento de pequenos agregados, presença de raízes arredondadas, destacável atividade biológica de formigas, anelídeos e outros insetos	<b>C<math>\mu</math><math>\Delta</math></b> 21-30cm estrutura contínua com porosidade e rugosidade visíveis mas ligeiramente densa sem no entanto impedir raízes cilíndricas e arredondadas	<b>CA</b> 21-26cm estrutura contínua compacta sem porosidade fissural e rugosidade visíveis, pouca presença de raízes, crescimento radicular achatado.
	<b>C<math>\mu</math></b> 31-50cm início de estrutura maciça microagregada, estado interno $\mu$ , transição para Bw, muito porosa e média rugosidade, resultado do empilhamento de pequenos agregados, presença de raízes cilíndricas, câmaras de formigas e corós	<b>C<math>\mu</math></b> 27-50cm início da estrutura maciça microagregada, estado interno $\mu$ , transição para Bw, muito porosa e rugosa, empilhamento de pequenos agregados, presença de raízes arredondadas, intensa atividade biológica de formigas e anelídeos.

Tabela 5.3. - Síntese da descrição dos perfis culturais na área sob ação d

prof (cm)	estab. 2- perfis 1 e 2	estab. 4- perfis 3 e 4	estab.6- perfis 5 e 6
	90% cobertura palha trigo <i>Plantio Direto 12 anos com rotacao de culturas</i>	80% cobertura palha milho e t <i>Plantio Direto 9 anos com rotacao de culturas</i>	80% cobertura palha milho <i>Plantio Direto 11 anos s/ rotaçã escarificação cada 4 anos</i>
1	<b>L<math>\mu</math><sub>pt</sub></b> 0-4cm: 50% TF e 50% torrões pequ	<b>L<math>\mu</math><sub>pt</sub></b> 0-5cm 60% TF e 40% torrões pequen	<b>L<math>\mu</math><sub>pt</sub></b> 0-4cm 50% TF e 50% torrões livres
2	nos, muito porosos e rugosos, colonizados	muito porosos e rugosos, colonizados por	pequenos, muito porosos e rugosos, bem
3	por raízes, alta atividade biológica. Atinge	raízes, alta atividade biológica. Atinge 10cm	colonizados por raízes e muitas minhocas.
4	7-8cm nos sulcos de plantio.	nos sulcos de plantio.	Atinge 13cm nos sulcos de plantio de milho.
5			
6	<b>F<math>\mu</math><math>\Delta</math><sub>pt</sub></b> 5-11cm: torrões pequenos, ligeira-	<b>F<math>\mu</math><sub>mt</sub></b> 6-10cm torrões médios muito porosos	<b>F<math>\mu</math><sub>mt</sub></b> 5-9cm torrões médios, muito porosos
7	mente densos pela ação do rodado, porém	e rugosos, bem colonizados por raízes e com	e rugosos, colonizados por raízes, muitas
8	com porosidade e rugosidade visíveis e	muita atividade biológica	minhocas e alta atividade biológica.
9	bem colonizados por raízes cilíndricas		
10			
11		<b>F<math>\mu</math><math>\Delta</math><sub>pt</sub></b> 11-14cm torrões pequenos, ligeira-	<b>F<math>\mu</math><math>\Delta</math><sub>pt,mt</sub></b> 10-20cm torrões pequenos e mé-
12		mente densos (colheita 2005/06 solo úmido)	dios, ligeiramente densos (colheita 2005/06
13		porosidade e rugosidade visíveis bem coloni-	solo úmido), com porosidade e rugosidade
14	<b>F<math>\mu</math><sub>gt</sub></b> 12-21cm torrões grandes muito poro-	<b>F<math>\mu</math><sub>mtpt</sub></b> 15-22cm torrões médios e pequenos	visíveis, zona de acumulação de argilas, bem
15	sos e rugosos, colonizados por raízes, alta	porosos e rugosos, bem colonizados por raí-	colonizados por raízes arredondadas.
16	atividade biológica, desenvolvimento radicu-	zes, muita atividade biológica, desenvolvimen-	
17	lar intra-agregados intenso, raízes arredon-	to radicular intra-agregados, raízes arredonda-	
18	dadas	das.	
19			
20			
21			
22			<b>C<math>\Delta</math></b> 21-29cm estrutura contínua compacta,
23			reliquia do sistema convencional (arado),
24	<b>C<math>\mu</math></b> 22-50cm: início da estrutura maciça	<b>C<math>\mu</math></b> 23-50cm início da estrutura maciça	pouca porosidade e rugosidade visíveis mas
25	microagregada, estado interno $\mu$ , transição	microagregada, estado interno $\mu$ , transição	bem colonizada por raízes arredondadas ou
26	para Bw, muito poroso, resultado do empí-	para Bw, muito porosa e rugosa, empilhamen-	ligeiramente achatadas, camada em aparente
27	lhamento de pequenos agregados, presença	to de pequenos agregados, presença de raí-	regeneração
28	de raízes arredondadas.	zes arredondadas, intensa atividade biológica	
29		de formigas e anelídeos.	
30			
31			<b>C<math>\mu</math></b> 30-50cm início de estrutura maciça
32			microagregada, estado interno $\mu$ , transição
33			para Bw, muito porosa e média rugosidade,
			resultado do empilhamento de pequenos
			agregados, presença raízes arredondadas,
			intensa atividade biológica de macrofauna.
50			

\* Torrões pequenos 0-5cm, torrões médios 5-10cm e torrões grandes &gt;10cm

## o rodado da colhedeira (NO RODADO)

estab. 12- perfis 7 e 8 50% cobertura palha milho	estab. 11- perfis 9 e 10 70% cobertura palha trigo	estab. 7- perfis 11 e 12 85% cobertura palha trigo
<i>Plantio Direto 6 anos s/ rotação semeadeiras abugadas</i>	<i>Plantio Direto 4 anos s/ rotação semeadeiras abugadas</i>	<i>Preparo Mínimo com Semeadura Direta 9 anos rotação incipiente</i>
$L\mu\Delta_{pt}$ 0-2cm 70% TF e 30% torrões pequenos laminares, 7-8cm nos sulcos de plantio.	$L\mu\Delta_{pt}$ 0-3cm 70% TF e 30% torrões pequenos laminares em processo de compactação, máximo 4-5cm nos sulcos de plantio.	$L\mu\Delta_{mt\ pt}$ 0-4cm 50% TF e 50% torrões médios e pequenos laminares, porém porosos e rugosos, colonizados por raízes, camada atinge 6-9cm no sulcos de plantio.
$C\Delta\mu$ 3-13cm estrutura contínua compacta e em compactação, pouca porosidade fissural e rugosidade visíveis, raízes achatadas, com solo seco fissuras até 16cm.	$C\Delta$ 4-9cm estrutura contínua compactada, pouca porosidade fissural e rugosidade visíveis, produto de coesão de torrões laminares achatados pelo rodado, presença de raízes achatadas	$F\Delta/\Delta\mu_{mt\ pt}$ 5-14cm torrões médios e pequenos laminares de 2-3cm de espessura, achatados pelo rodado, em compactação e tb compactos, com porosidade fissural e rugosidade visíveis, raízes arredondadas ou ligeiramente achatadas nas fissuras e também intra torrões.
$C\Delta$ 15-23cm estrutura contínua compactada relíquia do sistema convencional (grade pesada) sem porosidade e rugosidade visíveis, poucas raízes de formato achatado	$F\Delta_{mt}$ 10-20cm torrões médios, porosidade e rugosidade médias, compactos e em compactação, raízes cilíndricas ou ligeiramente achatadas nas fissuras e algumas colonizando os torrões.	$C\Delta$ 15-20cm estrutura contínua compacta sem porosidade fissural e rugosidade visíveis, raízes achatadas.
$C\mu$ 24-50cm início da estrutura maciça microagraegada, estado interno $\mu$ , transição para Bw, muita porosidade e rugosidade, resultado do empilhamento de pequenos agregados, presença de raízes arredondadas, destacável atividade biológica de formigas, anelídeos e outros insetos	$C\mu\Delta$ 21-30cm estrutura contínua com porosidade e rugosidade visíveis medianamente densa sem no entanto impedir a colonização de raízes arredondadas.	$C\mu$ 21-50cm início da estrutura maciça microagraegada, estado interno $\mu$ , transição para Bw, muito porosa e rugosa, empilhamento de pequenos agregados, presença de raízes arredondadas, intensa atividade biológica de formigas e anelídeos.
	$C\mu$ 31-50cm início de estrutura maciça microagraegada, estado interno $\mu$ , transição para Bw, muito porosa e média rugosidade, resultado do empilhamento de pequenos agregados, presença de raízes cilíndricas, câmaras de formigas e corós	

apresentavam desenvolvimento normal ao longo de todo o perfil, com porosidade fissural abundante. No perfil 2 essa camada de 5 cm de espessura aparecia em toda a extensão lateral do perfil pelo fato do tráfego atingir diferentes áreas entre os períodos de verão e inverno, distribuindo seus efeitos homoganeamente. De qualquer forma a existência de uma faixa  $L_{\mu}$  e  $F_{\mu}$  até os 21 cm, significa um ambiente muito propício ao desenvolvimento radicular das culturas.

Nos perfis 3 e 4 (estabelecimento 4) o sistema de plantio direto era feito há 9 anos, com uso de rotação de culturas. Apresentava uma boa cobertura de 80% da superfície com palhada de trigo e milho safrinha, com os 20% descobertos provocados pela movimentação da sementeira recente de soja. Nesses perfis o solo apresentou ótimas condições morfológicas, onde fora do rodado havia uma camada livre  $L_{\mu}$  com pequenos torrões de 5 a 12 cm nos sulcos de sementeira, evoluindo para um fragmentado  $F_{\mu}$  com médios torrões entre 6 e 22 cm e depois de 23 cm havia o início de estrutura maciça  $C_{\mu}$  muito porosa e rugosa, transição para o horizonte pedológico Bw até os 50 cm (Tabela 5.2.).

Na área sob ação do rodado a única diferença é que aparecia uma camada ligeiramente densa  $F_{\mu\Delta}$  de 10 a 14 cm (Tabela 5.3) que devido à grande porosidade fissural não se constituía num impedimento. Da mesma forma que no estabelecimento 2, o desenvolvimento radicular era normal ao longo de todo o perfil e a existência de uma faixa  $L_{\mu}$  e  $F_{\mu}$  até os 22 cm, representa um ambiente apropriado ao desenvolvimento radicular das culturas de cereais. Tanto no rodado como fora do rodado, a camada livre  $L_{\mu}$  no estabelecimento 4 era mais expandida que no estabelecimento 2, da mesma forma que a camada  $F_{\mu}$  com médios torrões seguinte era mais porosa e rugosa, tendo as melhores condições morfológicas de todos os perfis. Foi possível identificar uma estratégia de rotação de culturas com minimização de custos pela menor utilização de insumos, através de manejo de pragas e doenças, práticas de controle biológico e racionalização de adubações. Foi a situação com melhor morfologia de todos os perfis. Aparentemente esse manejo criou um ambiente mais estimulante ao desenvolvimento radicular e à atividade biológica em geral.

Nos perfis 5 e 6 (estabelecimento 6) o plantio direto estava sendo feito há 11 anos sem rotação de culturas e durante esse período foram realizadas duas operações de escarificação (1999 e 2003), a cada quatro anos para romper adensamentos. Apresentava uma boa cobertura de 80% da superfície com palha de

milho safrinha, com os 20% descobertos provocados pela movimentação da sementeira recente de soja. Nesses perfis o solo apresentou boas condições morfológicas, que só não foram ótimas pela existência de uma camada C $\Delta$  antiga entre 20 e 30 cm de profundidade. Fora do rodado (Tabela 5.2.) havia uma camada livre L $\mu$  com pequenos torrões de 4 cm (que passava dos 10 cm em bolsões ampliados nas linhas de sementeira e nas áreas de ação das hastes do escarificador), seguido por um fragmentado F $\mu$  com médios torrões muito poroso e rugoso entre 5 e 20 cm até encontrar um C $\Delta$  entre 21 e 29 cm que é uma relíquia compacta de um pé-de-arado, que pela colonização de raízes, aparentava estar em regeneração. Depois dos 30 cm havia o início de estrutura maciça C $\mu$ , muito porosa e rugosa, transitória para o horizonte pedológico Bw até os 50 cm.

Na área sob ação do rodado (Tabela 5.3.) a única diferença é que aparecia uma camada ligeiramente densa F $\mu\Delta$  de 10 a 20 cm que devido à grande porosidade fissural não se constituía num impedimento. Da mesma forma que nos estabelecimentos 2 e 4, o desenvolvimento radicular era normal ao longo de todo o perfil e a existência de uma faixa L $\mu$  e F $\mu$  até os 20 cm, representava um ambiente apropriado ao desenvolvimento radicular das culturas de cereais. Tanto no rodado como fora do rodado, a camada livre L $\mu$  foi ampliada pela prática da escarificação, mas aparentemente facilitou um adensamento mais rápido e mais extenso de 10 a 20 cm de F $\mu\Delta$  no rodado, em relação aos estabelecimentos 2 e 4 com plantio direto de longo prazo sem nenhum revolvimento.

Nos perfis 7 e 8 (estabelecimento 12) o plantio direto estava sendo feito há 6 anos sem rotação de culturas. Apresentava uma cobertura de 50% da superfície com palha de milho safrinha e 50% descobertos principalmente nas áreas sob ação do rodado que produziram menor quantidade de biomassa. Nesses perfis o solo apresentou sérias limitações nas condições morfológicas principalmente na área sob influência do rodado, pois houve uma associação do adensamento superficial do plantio direto, confinado pela base compactada do implemento de preparo do sistema convencional anterior (“pé-de-grade”). Esse tipo de fenômeno foi descrito por Tormena e Roloff (1996).

Fora do rodado (Tabela 5.2.) havia uma camada livre L $\mu$  pequenos torrões com 4cm, seguido entre 5 e 14 cm por um fragmentado que variou de F $\Delta$  com grandes torrões em compactação com moderada porosidade fissural (predominante), até F $\mu\Delta$  com médios torrões e F $\mu$  com pequenos torrões muito

porosos e rugosos nas áreas com maior cobertura e atividade biológica. Em seqüência encontrava-se um C $\Delta$  entre 15 e 23 cm que é a base compactada do implemento de preparo do sistema convencional anterior (“pé-de-grade”), pouco colonizado por raízes de formato achatado. Depois dos 24 cm havia o início de estrutura maciça C $\mu$ , muito porosa e rugosa, transitória para o horizonte pedológico Bw até os 50 cm.

Na área sob ação do rodado (Tabela 5.3.) a situação era mais drástica, pois a camada livre L $\mu\Delta$  era mais delgada e com maior quantidade de terra fina, seguida entre 3 e 13 cm de uma camada contínua C $\Delta\mu$  em compactação com pouca porosidade e rugosidade visíveis, até encontrar um C $\Delta$  entre 14 e 23 cm que é a compactação remanescente do implemento de preparo do sistema convencional. Depois dos 24 cm havia o início de estrutura maciça C $\mu$  muito porosa e rugosa transitória para o horizonte pedológico Bw até os 50 cm. Ao contrário dos estabelecimentos 2, 4 e 6, a pouca disponibilidade de L $\mu$  e F $\mu$  até os 20 cm, resultava num ambiente pouco apropriado às culturas de cereais no rodado, principalmente pelos impedimentos ao crescimento radicular aparecerem tão superficialmente, cuja penetração requer condições de solo úmido. Entretanto, fora do rodado a situação era menos limitante, pois a presença de 5 a 14 cm de fragmentado F $\Delta$ gt e F $\mu\Delta$ mt ao invés de C $\Delta\mu$ , permitia condições mais apropriadas ao desenvolvimento radicular.

Nos perfis 9 e 10 (estabelecimento 11) o plantio direto estava sendo feito há 4 anos sem utilização de rotação de culturas. Apresentava uma cobertura de 70% da superfície com palhada de trigo, variando de 50 a 90% dependendo da parcela dentro do estabelecimento, do seu grau de compactação e quantidade de biomassa produzida. Nesses perfis o solo apresentou limitações nas condições morfológicas principalmente no rodado, pois houve uma compactação superficial (5 a 10 cm) típica de plantio direto de curto prazo, que é o período mais crítico de aumento de densidade e diminuição de porosidade (Corsini e Ferraud, 1999), seguido de um processo de compactação em curso na camada subsequente (10 a 20 cm).

Fora do rodado (Tabela 5.2.) havia uma camada livre L $\mu$  pequenos torrões com 4cm, seguido entre 5 e 10 cm por uma estrutura contínua C $\Delta\mu$  ou um fragmentado F $\Delta$  com médios torrões, ambos em compactação, com moderada porosidade e rugosidade visíveis, penetrados por raízes ligeiramente achatadas. Em

seqüência encontra-se um F $\Delta$  com médios torrões entre 10 e 20 cm em compactação colonizado por raízes ligeiramente achatadas. De 21 a 30 cm existe um contínuo C $\mu$  $\Delta$  com empilhamento de pequenos agregados ligeiramente densos, mas que permitiam desenvolvimento radicular normal. A partir dos 31 cm havia o início de estrutura maciça C $\mu$  muito porosa e rugosa, transição para o horizonte pedológico Bw até os 50 cm.

Na área sob ação do rodado (Tabela 5.3.) a situação era um pouco mais limitante, pois a camada livre L $\mu$  $\Delta$  era mais delgada e com maior presença de terra fina denotando compactação, seguida entre 4 e 9 cm de uma camada contínua C $\Delta$  compacta, típica de plantio direto realizado com tráfego em condições inapropriadas de umidade. Essa camada era seguida por um F $\Delta$  médios torrões em compactação de 10 a 20 cm com média porosidade e rugosidade, desenvolvimento radicular ligeiramente achatado nas fissuras e eventualmente penetrando torrões. De 21 a 30 cm havia um contínuo C $\mu$  $\Delta$  com empilhamento de pequenos agregados ligeiramente densos, mas que permitiam desenvolvimento radicular normal. A partir dos 31 cm até os 50 cm início de estrutura maciça C $\mu$  muito porosa e rugosa, transição para o horizonte pedológico Bw. No estabelecimento 11 existiam limitações físicas em menor intensidade que no estabelecimento 12 anterior por que a compactação era somente superficial, apesar do aparente agravamento do adensamento até os 20 cm devido a uma sobreposição de rodados da trincheira 10, mas não havia compactação do sistema convencional anterior. No rodado a situação era pouco apropriada às culturas de cereais, principalmente pelos impedimentos ao crescimento radicular aparecerem tão superficialmente, sendo penetráveis normalmente somente em condições favoráveis de umidade. Fora do rodado as condições eram mais apropriadas, em vista da existência entre 5 e 10 cm de F $\Delta$ mt e C $\Delta$  $\mu$  ao invés de C $\Delta$ , permitindo desenvolvimento radicular senão apropriado, bem menos impeditivo que na área sob rodado.

Nos perfis 11 e 12 (estabelecimento 7) era feita semeadura direta sob preparo mínimo de solo e rotação de culturas incipiente há 9 anos. Apresentava uma cobertura de 85% da superfície com palhada de trigo, pois nesta safra estava sendo feito plantio direto de soja sobre trigo. Nos perfis 11 e 12 o solo apresentou pequenas limitações nas condições morfológicas, pois havia uma camada compactada que era a base de corte do instrumento de preparo de solo que é o escarificador.

Fora do rodado (Tabela 5.2.) havia uma camada livre  $L_{\mu}$  com pequenos torrões com 4 cm, seguida entre 5 e 20 cm por um fragmentado  $F\Delta_{\mu}$  com médios e pequenos torrões laminares em compactação, com porosidade e rugosidade visíveis, crescimento normal de raízes. Em seqüência havia um  $C\Delta$  com médios torrões entre 21 e 26 cm, compactado com porosidade fissural e rugosidade visíveis, colonizado por raízes achatadas. De 21 a 50 cm havia um contínuo  $C_{\mu}$  fruto do empilhamento de pequenos agregados, muito poroso e rugoso, transição para o horizonte pedológico Bw.

Na área sob ação do rodado (Tabela 5.3.) a situação era um pouco mais limitante, pois a camada livre  $L_{\mu\Delta}$  tinha maior quantidade de terra fina denotando compactação, seguida entre 5 e 14 cm por um fragmentado  $F\Delta$  com médios torrões em compactação, porosidade e rugosidade visíveis, penetrados por raízes normais ou ligeiramente achatadas. Em seqüência havia um  $C\Delta$  com médios torrões entre 15 e 20 cm compactado, com pouca porosidade fissural e rugosidade visível, colonizada por raízes achatadas. De 21 a 50 cm havia um contínuo  $C_{\mu}$  fruto do empilhamento de pequenos agregados, muito poroso e rugoso, transição para o horizonte pedológico Bw. No estabelecimento 7 existiam limitações morfológicas de menor intensidade que no estabelecimento 11 anterior, pois aparentemente a compactação era menos superficial, apesar da facilidade de adensamento que existe nas estruturas fragmentadas mobilizadas pelo preparo mínimo de solo e a compactação do pé-de-implemento. Assim, a situação era apropriada fora do rodado e moderadamente apropriada às culturas de cereais, mesmo que sob o espectro de um adensamento mais rápido que sob plantio direto contínuo e mesmo o risco de erosão.

Nenhuma limitação encontrada nos estabelecimentos analisados, mesmo nos casos mais extremos, representou um obstáculo que não pudesse ser corrigido com práticas mecânicas e vegetativas. Abaixo dos 30 cm todos os perfis analisados apresentavam condições satisfatórias do ponto de vista morfológico.

O PD de 9 e 12 anos executado adequadamente, com boa cobertura de solo e rotação de culturas, mostrou-se sustentável em relação à morfologia de solos, sem ocorrência de compactação, tendendo a ampliar através da atividade biológica, os volumes de livre e fragmentado no perfil (livre expandido), similarmente a perfis de floresta nesse tipo de solo (Neves et al., 2003).

O PD de 4 a 6 anos realizado com equipamentos alugados alia o adensamento característico dos primeiros anos de implantação do sistema com a compactação proveniente de tráfego de máquinas em momentos inapropriados (Araújo, Casão Júnior e Siqueira, 2001). Essa situação é mais grave quando existe compactação remanescente do sistema anterior.

O PMSD 9 anos confinou a camada revolvida de solo entre a superfície e a base compactada do limite de trabalho do implemento de preparo. A própria mobilização favorece adensamento. Isso é perceptível em menor escala pelo efeito da escarificação eventual em plantio direto em longo prazo.

### 5.3.2. Análise de componentes principais dos volumes dos perfis

A análise indicou dois fatores principais e a matriz de correlações entre variáveis e fatores assim como as raízes características e a variância explicada estão na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** - Correlações entre variáveis e fatores, e variância explicada.

Variáveis	Fator 1 (-L-F) Menos livre expandido	Fator 2 (-C $\mu$ +C $\Delta$ ) Mais compactação
<b>Lx</b>	<b>-0,89</b>	0,07
<b>Fx</b>	<b>-0,81</b>	-0,09
<b>C<math>\mu</math></b>	0,47	<b>-0,83</b>
<b>C<math>\Delta</math></b>	0,45	<b>0,83</b>
<b>Raiz Característica</b>	1,88	1,39
<b>Variância Explicada</b> (81,8%)	47,0	34,8

O fator 1 se correlaciona negativamente com livre e fragmentado sendo chamado de “Menos livre expandido” enquanto que o fator 2 se correlaciona negativamente com contínuo rugoso e poroso, e positivamente com contínuo compacto sendo chamado de “Mais compactação”. Os valores dos fatores assumidos por cada perfil foram representados na Figura 5.2.

À esquerda estão os perfis com situação mais favorável com relação ao desenvolvimento radicular em vista da maior quantidade de livre e fragmentado. No quadrante **III** de valores negativos para os dois fatores está a situação mais sustentável do ponto de vista da morfologia do solo, pois há mais livre expandido e menos compactação. Essa é a situação dos perfis 1, 2, 3, 4 de plantio direto de 12 e 9 anos com rotação de culturas e do perfil 11 de preparo mínimo com semeadura direta de 9 anos com rotação de culturas incipiente. No quadrante **II** de valores negativos para menos livre expandido, e positivos para mais compactação estão os perfis 5 e 6 de plantio direto de 11 anos com escarificação eventual sem rotação de culturas. Apesar da excelente condição do livre expandido desses dois perfis, apresentam uma limitação à sustentabilidade representada pela extensão de compactação antiga de implemento de preparo de solo (CΔ). À direita estão os perfis com mais limitações ao desenvolvimento radicular devido à menor disponibilidade de livre expandido e maior quantidade de contínuo. No quadrante **IV** com valores positivos para menos livre expandido e negativos de mais compactação estão os perfis 9 e 10 de plantio direto de 4 anos sem rotação de culturas e semeadeiras alugadas e o perfil 12 de preparo mínimo com semeadura direta de 9 anos com rotação de culturas incipiente. São as situações de pouca quantidade de livre onde os impedimentos compactados são muito superficiais. Nesse caso a sustentabilidade está comprometida se não forem tomadas medidas corretivas. No quadrante **I** de valores positivos de menos livre expandido e positivos de mais compactação estão os perfis 7 e 8 com plantio direto de 6 anos com semeadeiras alugadas, que apresentam a situação menos sustentável, fruto da limitada disponibilidade de livre e da sobreposição de duas camadas compactadas no rodado.

Em resumo, a abordagem quantitativa da análise de componentes principais ratificou algumas evidências qualitativas trazidas pela descrição dos perfis, e está de acordo com o encontrado por Pereira Neto et al. (2007). A consolidação do plantio direto é conseguida com o máximo desenvolvimento das camadas fragmentado e livre (livre expandido), sem que se



formem camadas contínuas compactas. O modelo dos componentes principais traduziu isso estabelecendo um eixo de livre e fragmentado, e a contraposição entre contínuo compacto e contínuo poroso e rugoso.

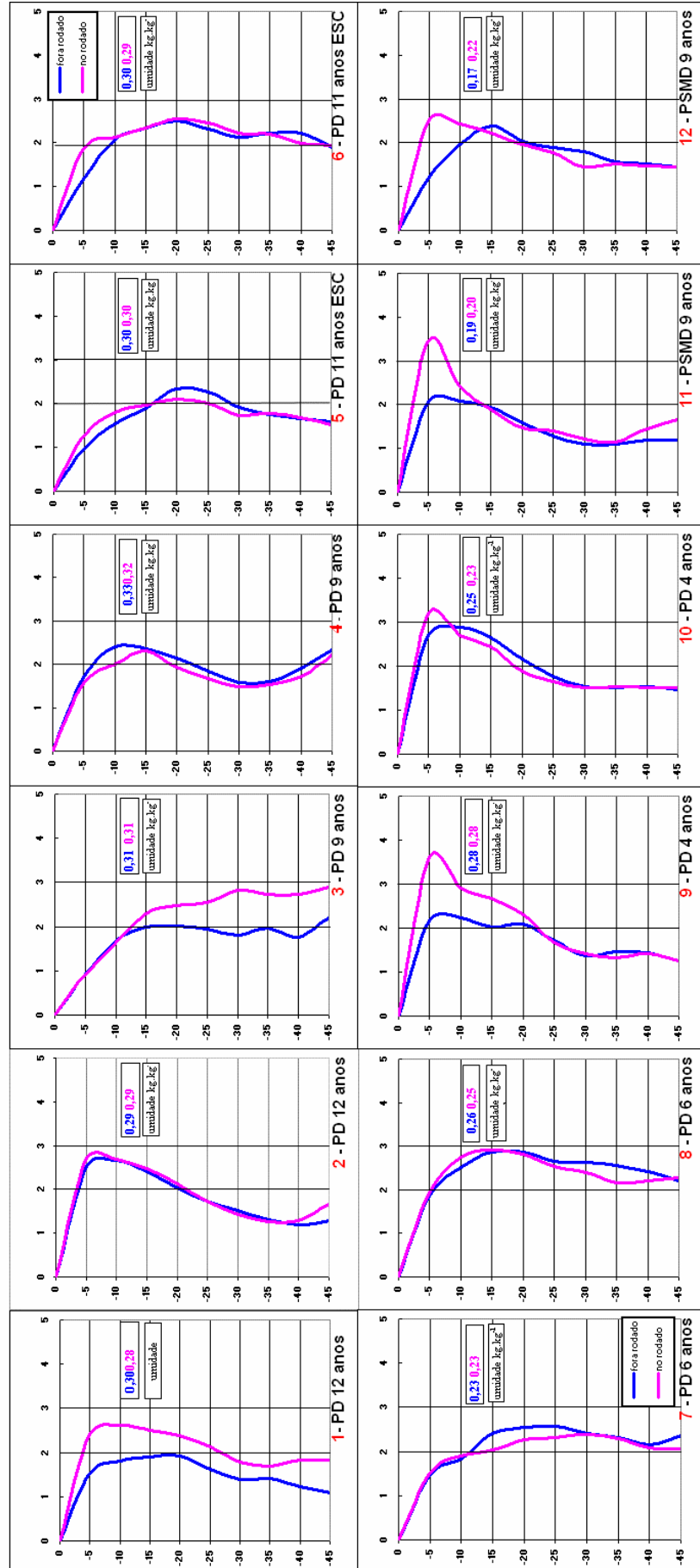
### **5.3.3. Resistência à penetração (RP)**

Os resultados de resistência à penetração (RP) são apresentados na Figura 5.3., especificando valores no rodado e fora do rodado, juntamente com os teores de umidade. A resistência à penetração está correlacionada negativamente com a umidade (Beltrame, Gondim e Taylor, 1981; Correchel, Silva e Tormena, 1997; Tormena, Silva e Libardi, 1998; Borges, Kiehl e Souza, 1999; Fuentes Llanillo et al., 2006b). Os teores médios de umidade de 0 a 30 cm encontrados no campo (0,17 a 0,33 kg.kg<sup>-1</sup>) estão entre a condição seca e a capacidade de campo e, guardadas as proporções, permitem comparabilidade entre os perfis.

Existe certa variação na bibliografia sobre quais valores de RP são restritivos ao crescimento de raízes das plantas cultivadas. Segundo Fuentes Llanillo et al. (2006b), Silva, Tormena e Imhoff (2002) e Tormena e Roloff (1996) existe um valor inicialmente relatado por Taylor e Gardner (1963) de 2 MPa como impeditivo ao crescimento de raízes de algodão que passou a ser tradicionalmente utilizado. Tormena, Silva e Libardi (1998) classificaram esse valor como restritivo, mas não impeditivo ao crescimento de raízes. Sene et al. (1985) e Canarache (1990) sugeriram valores acima de 2,5 Mpa como críticos em solos argilosos. Azooz et al. (1996) classificaram valores entre 2 e 4 MPa como altos e acima de 4 MPa como muito altos. Koolen e Kuippers (1983) concluíram que RP superiores a 3 MPa causaram redução drástica de raízes. Trabalhando com o mesmo tipo de solo do presente artigo, Tavares Filho et al. (2001) concluíram que valores de RP entre 2 e 4 MPa não foram impeditivos ao crescimento radicular de milho, mas provocaram alterações morfológicas no solo e nas raízes.

Nesta análise levando em conta, tanto as referências bibliográficas, como as evidências em solos Latossolo Vermelho Distroférico argiloso (Oxisol Argiloso ou Typic Haplorthox), considerou-se a faixa de RP entre 2 a 3 MPa como de transição entre condições adequadas e condições restritivas ao desenvolvimento radicular de culturas de grãos, consubstanciadas pela presença de achatamento e tortuosidade. Essa faixa foi usada como referência de observação na Figura 5.3.

**Figura 5.3. - Resistência à penetração em MPa fora do rodado e no rodado para 12 perfis culturais em Latossolo Vermelho Distroférrico argiloso da região de Londrina (PR), Brasil.**



Esses valores são plausíveis até mesmo porquê as camadas naturais não afetadas pelo manejo agrícola abaixo dos 30 cm apresentam RP entre 1,5 e 2,0 MPa.

De acordo com a Figura 5.3., de uma forma geral, não houve situações absolutamente críticas ou de colapso em termos de RP. Fora do rodado em nenhum perfil foi atingido o valor de 3 MPa e no rodado os perfis 9, 10 e 11 (PD 4 anos e PMSD 9 anos) foram os únicos acima desse valor (3,6; 3,2 e 3,5 MPa). Houve, entretanto diversas limitações que puderam ser detectadas, em geral confirmando e quantificando o diagnóstico morfológico dos perfis culturais.

Os perfis 1 e 2 do estabelecimento 2 com PD de 12 anos com rotação de culturas apresentaram RP máxima de 2,6 a 2,7 MPa entre 5 e 10 cm de profundidade. No perfil 1 na área fora do rodado a RP em todas as profundidades esteve abaixo dos 2 Mpa, enquanto no rodado teve seu máximo entre 5 e 10 cm com 2,6 MPa. No perfil 2, devido a um maior tráfego fruto da alternância dos rodados entre inverno e verão, houve uma quase coincidência entre rodado e fora do rodado que teve seu máximo entre 5 e 10 cm com pouco mais 2,7 MPa. O confinamento de maiores valores de RP em torno de 10 cm, com uma amplitude que pode variar entre 5 e 15 cm, é uma característica do plantio direto tanto em solos argilosos como arenosos (Genro Júnior, 2002; Silva, 2003; Secco, 2003; Silva, Reinert e Reichert, 2000; Streck, 2003; Fuentes Llanillo et al., 2006b). Nesse caso particular, esses valores máximos traduzem certo adensamento já detectado na área sob efeito do rodado no perfil cultural, que em nenhum momento caracterizou compactação, em vista da normalidade no desenvolvimento das raízes.

Os perfis 3 e 4 do estabelecimento 4 com PD de 9 anos com rotação de culturas apresentaram RP superficial baixa até atingir 2,2 MPa aos 15 cm, com variação de comportamento até os 45 cm entre perfis. No perfil 3 na área fora do rodado a RP em todas as profundidades esteve abaixo dos 2 MPa enquanto no rodado atingiu 2,3 MPa aos 15 cm, aumentando para 2,8 MPa aos 30 cm e assim permanecendo até 45 cm. No perfil 4 houve uma quase coincidência entre rodado e fora do rodado que teve seu máximo entre 10 e 15 cm com 2,3 Mpa, diminuindo para valores abaixo de 2 MPa entre 20 e 45 cm. Não houve, nesse caso, nenhum impedimento ao crescimento radicular e o perfil 4 acusou um ligeiro adensamento típico do plantio direto entre 10 e 15 cm já detectado no perfil cultural, onde a RP foi pouco superior aos 2 MPa, valor muito adequado de RP em PD nesse tipo de solo.

Os perfis 5 e 6 do estabelecimento 6, com PD de 11 anos com escarificação de 4 em 4 anos sem rotação de culturas, apresentaram RP superficial baixa no início até pouco mais de 2 MPa entre 20 e 25 cm de profundidade na soleira de um implemento de preparo de solo de sistema convencional já detectado no perfil cultural. No perfil 5 tanto na área fora do rodado como no rodado a RP até os 20 cm de profundidade esteve abaixo dos 2 MPa atingindo 2,2 MPa entre 20 e 30 cm diminuindo logo após para 1,6 MPa até 45 cm. No perfil 6 houve uma quase coincidência entre rodado e fora do rodado que teve seu máximo entre 20 e 25 cm com 2,5 MPa diminuindo para valores próximos de 2 MPa entre 30 e 45 cm. Não houve nesse caso nenhum impedimento ao crescimento radicular pois o uso da escarificação eventual aparentemente manteve a RP inferior aos 2 MPa, próximo do ideal desejado de RP em plantio direto de longo prazo nesse tipo de solo. A compactação da base de um implemento de preparo de solo antigo parece ser menor em termos de RP do que aparentava morfológicamente no perfil cultural, tendo atingido no máximo 2,5 MPa, o que confirmaria a hipótese de um estado de regeneração, já que as raízes nessa camada também tiveram formato normal ou ligeiramente achatado.

Os perfis 7 e 8 do estabelecimento 12, com PD de 6 anos sem rotação de culturas com uso de semeadeiras alugadas, apresentaram RP superficial menor do que aparentava o perfil cultural. No perfil 7 houve uma quase coincidência entre a área fora do rodado e no rodado. A RP até os 15 cm de profundidade esteve abaixo dos 2 MPa atingindo 2,3 MPa entre 20 e 30 cm diminuindo logo após para 2,0 MPa até 45 cm. No perfil 8 novamente houve coincidência entre rodado e fora do rodado só que com valores mais altos de RP confirmando a compactação detectada no perfil cultural desde os 5 até os 25 cm onde os valores de RP se aproximaram dos 3 MPa. Essas restrições ao crescimento radicular com RP próximas dos 3 MPa caracteriza um adensamento no PD de curto prazo nesse tipo de solo, que somente a partir do quinto ano agrícola começa se inverter (Corsini e Ferraudó, 1999) até que o sistema de PD atinja a consolidação em torno do oitavo ano (Pereira Neto et al., 2007). A compactação do sistema anterior (15 a 25 cm) parece ser mais importante em termos de RP do que o adensamento natural do PD (5 a 15) já que as raízes naquela camada tiveram formato achatado. Nitidamente isso traduz não terem sido tomadas medidas preliminares de descompactação para adoção do PD e o efeito de confinamento do perfil pelas camadas adensadas abaixo

da profundidade trabalhada pelo órgão ativo dos implementos de preparo do sistema anterior. Isso está de acordo com evidências obtidas por Tormena e Roloff (1996).

Os perfis 9 e 10 do estabelecimento 11, com PD de 4 anos sem rotação de culturas com uso de semeadeiras alugadas, apresentaram a maior RP superficial do grupo confirmando aquilo que foi visto no perfil cultural. No perfil 9 houve uma nítida diferença entre a área fora do rodado e no rodado. Fora do rodado nenhuma restrição com a RP entre 5 e 10 cm de profundidade com 2,2 MPa indo para 2 MPa aos 20 cm e para 1,5 MPa de 25 a 45 cm. No rodado entre 5 e 10 cm de profundidade a RP atingiu o maior valor de todos os perfis com 3,7 MPa indo de 3,0 para 2,0 MPa entre 10 e 20 cm e para 1,5 MPa de 25 a 45 cm. No perfil 10 as curvas foram semelhantes mas com menor discrepância entre rodado e fora do rodado, também com valores altos de RP atingindo entre 5 e 10 cm, 2,9 MPa fora do rodado e 3,2 MPa, confirmando a compactação superficial detectada nos perfis culturais, indo para 2 MPa aos 20 cm e para 1,5 MPa de 25 a 45 cm. Houve, nesse caso, impedimento ao crescimento radicular com RP acima de 3 MPa, característico do PD de curto prazo nesse tipo de solo, principalmente na área sob ação do rodado. Isso está de acordo com a morfologia encontrada nos perfis e com Corsini e Ferraudó (1999) e Tormena e Roloff (1996). Não havia nesses dois perfis nenhum impedimento ao sistema anterior (15 a 25 cm), indicando tomada de medidas preliminares de descompactação antes da implantação do PD.

Os perfis 11 e 12 do estabelecimento 6 com preparo mínimo de solo com semeadura direta de 9 anos, com rotação de culturas incipiente, são os que mais próximos se encontram do manejo convencional com revolvimento de solo. A RP superficial foi relativamente alta principalmente no rodado, também influenciada por teores de umidade em torno de 0,20 kg.kg<sup>-1</sup>. No perfil 11 houve uma nítida diferença entre a área fora do rodado e no rodado. Fora do rodado nenhuma restrição, pois a RP entre 5 e 15 cm de profundidade apenas atingiu 2 MPa e depois dos 20 cm caiu para 1,5 MPa ou menos até 45 cm. No rodado, aos 5 cm de profundidade a RP atingiu o valor de 3,5 MPa, de 2,5 MPa aos 10 e além dos 20 cm para 1,5 MPa ou menos até 45 cm. No perfil 12 as RP foram menores, com valores máximos de 2,5 MPa aos 5 cm no rodado e 2,3 MPa aos 15 cm fora do rodado, caindo para valores inferiores a 2 MPa entre 20 e 45 cm. Houve nesse caso impedimento ao crescimento radicular com RP acima de 3 MPa no rodado aos 5 cm, não coincidindo com a morfologia do perfil cultural. Os impedimentos morfológicos

relativos a soleira do escarificador (15 a 25 cm) identificados no perfil cultural, não se traduziram em maiores RP nessas profundidades, e sim imediatamente acima, mostrando maior tendência à compactação do solo revolvido do que do solo sob PD, caracterizando um confinamento da camada F $\Delta$  pelo piso de corte do equipamento de preparo (Tormena e Roloff, 1996).

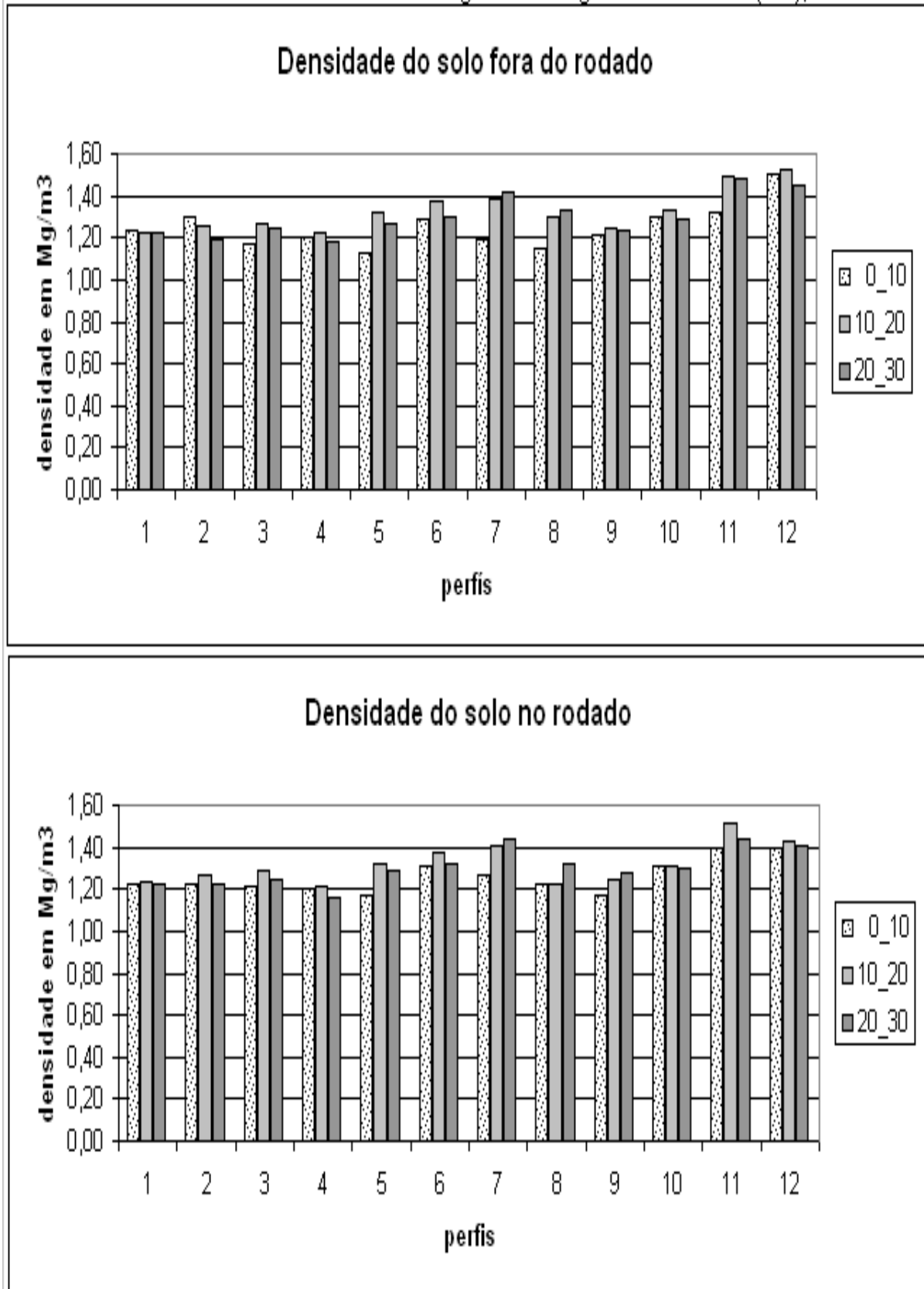
Em geral a presença de maiores RP em preparo mínimo de solo e em PD em curto prazo e de menores RP em PD em médio e longo prazo fortalece a idéia de um ciclo de maturidade para o plantio direto. Entre o quinto e oitavo ano, através principalmente do aumento da matéria orgânica e da atividade biológica na estrutura do solo, ocorre uma melhoria das condições físicas do solo, inclusive da resistência à penetração (Corsini e Ferraudo, 1999). Caso haja condições inadequadas de tráfego ou deficiências na construção de maiores níveis superficiais de matéria orgânica, esse ciclo pode desvirtuar-se em compactação.

#### **5.3.4. Densidade do solo em diferentes profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm)**

Os resultados de densidade são apresentados na Figura 5.4. As densidades fora do rodado e no rodado em cada perfil guardam grande semelhança. As densidades superficiais (0-10 cm) foram mais baixas em PD de 12, 11, 9 e 6 anos em torno de 1,20 Mg.m<sup>-3</sup> (perfis 1 a 8), e foram ligeiramente superiores em PD de 4 anos entre 1,20 e 1,30 Mg.m<sup>-3</sup> (perfis 9 e 10) enquanto o PMSD de 9 anos apresentou as maiores densidades acima de 1,40 Mg.m<sup>-3</sup> (perfis 11 e 12). O PD de 12 e 9 anos com rotação de culturas (perfis 1, 2, 3 e 4) apresentou em subsuperfície densidades da ordem de 1,20 Mg.m<sup>-3</sup> muito propícias ao desenvolvimento radicular (Corsini e Ferraudo, 1999; Richart et al., 2005; Fuentes Llanillo et al., 2006).

O PD de 11 anos com escarificação de quatro em quatro anos sem rotação de culturas (perfis 5 e 6) apresentou em subsuperfície de 10 a 20 cm densidades maiores da ordem de 1,30 a 1,40 Mg.m<sup>-3</sup> que não representam grandes limitações tanto pelo valor ainda não muito restritivo, como por serem volumes F $\mu$  e F $\mu\Delta$  (Neves et al., 2003). Na profundidade de 20 a 30 cm existia, nesses perfis, uma camada compacta C $\Delta$  que apresentou densidades de 1,25 a 1,30 Mg.m<sup>-3</sup>, bastante razoáveis, reforçando a hipótese de regeneração dessa camada. A principal inferência é que a escarificação eventual gera uma maior tendência ao adensamento nos volumes F do que o PD de longo prazo sem nenhum revolvimento.

**Figura 5.4.-** Densidade em  $\text{Mg.m}^{-3}$  fora do rodado e no rodado para 12 perfis culturais em Latossolo Vermelho distroférico argiloso da região de Londrina (PR), Brasil.



O PD de 6 anos sem rotação de culturas com semeadeiras alugadas (perfis 7 e 8) apresentou em subsuperfície densidades de 1,30 a 1,40  $\text{Mg.m}^{-3}$ , não muito limitantes em termos de valores, mas dignas de monitoramento nos volumes  $C\Delta$  e  $C\Delta\mu$ , principalmente no perfil 7 onde ultrapassou 1,40  $\text{Mg.m}^{-3}$   $\text{Mg.m}^{-3}$ . Esse é o período crítico na consolidação do plantio direto, no qual, quando bem executado, espera-se que a densidade e resistência à penetração devem começar a diminuir (Corsini e Ferraud, 1999). A soleira do implemento de preparo do sistema convencional anterior, confinando camadas superficiais, e a pouca autonomia sobre o momento ótimo de plantio e colheita são agentes capazes de afetar a sustentabilidade do plantio direto.

O PD de 4 anos sem rotação de culturas com semeadeiras alugadas (perfis 10 e 11) apresentou em subsuperfície densidades de 1,20 a 1,30  $\text{Mg.m}^{-3}$ , sem limitação em termos de valores, diferentemente da morfologia dos perfis e da resistência à penetração nos volumes  $C\Delta$  e  $C\Delta\mu$ . Como já foi dito no PD 6 anos essa é a fase onde densidade e resistência à penetração devem chegar ao seu máximo (Corsini e Ferraud, 1999). A não existência de soleira de implemento de preparo do sistema anterior é um aspecto positivo e a pouca autonomia sobre o momento ótimo de plantio e colheita pode desestabilizar o PD.

O PMSD de 9 anos com rotação de culturas incipiente (perfis 11 e 12) foi o que apresentou as maiores densidades em subsuperfície sempre superiores a 1,40  $\text{Mg.m}^{-3}$  tanto no rodado como fora do rodado, seja de 10 a 20 cm, seja de 20 a 30 cm, tendo atingido um máximo de 1,50  $\text{Mg.m}^{-3}$ . Esse foi o único sistema a atingir situação mais crítica em termos de densidade (Corsini e Ferraud, 1999; Richart et al., 2005; Fuentes Llanillo et al., 2006b).

As maiores densidades de PD em subsuperfície (1,30 a 1,40  $\text{Mg.m}^{-3}$ ) foram naqueles perfis que de alguma forma tinham compactação do sistema anterior (5, 6, 7 e 8). As maiores densidades absolutas em subsuperfície foram do PMSD que superou 1,40  $\text{Mg.m}^{-3}$  em todas as situações e chegou a 1,50  $\text{Mg.m}^{-3}$ . Maiores densidades em PMSD e PD de curto e médio prazo e menores densidades em PD de longo prazo está de acordo com o encontrado por Corsini e Ferraud (1999) e com Neves et al. (2003) para o mesmo tipo de solo.

### 5.3.5. Granulometria e argila dispersa em água (0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm).

Buscou-se com a análise granulométrica e de argila dispersa em água verificar peculiaridades texturais e o nível de agregação propiciado pelos sistemas de manejo segundo os perfis nas profundidades 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm. Os resultados são apresentados na Figura 5.5.

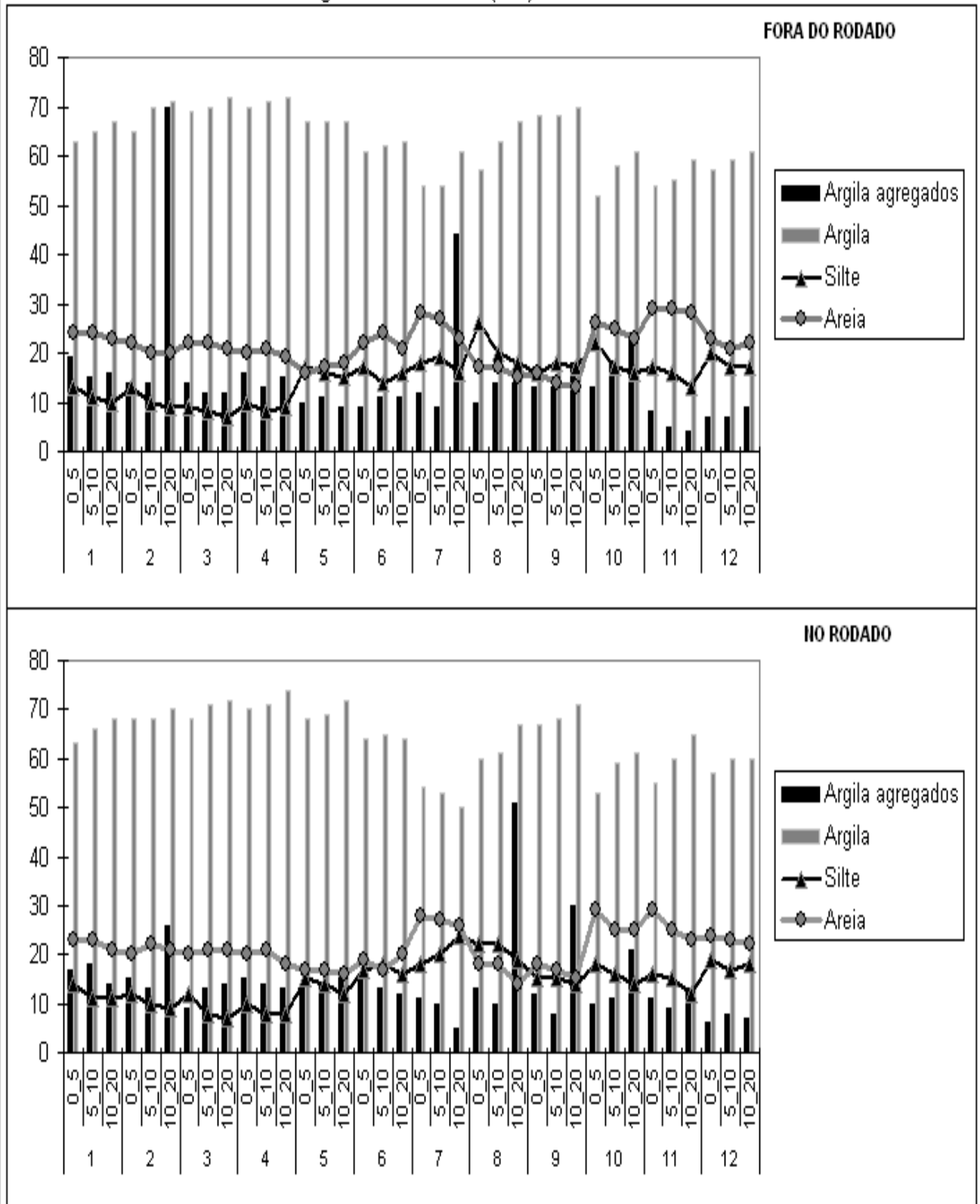
Com relação à textura os perfis 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 9 apresentaram teores de argila mais altos, de 60 a 72%, enquanto os perfis 7, 10, 11 e 12 detêm teores de argila também altos, porém num patamar inferior entre 50 e 60%. Os perfis 1, 2, 3 e 4 apresentam teores de silte em torno de 10% e de areia em torno de 20%. Os perfis 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 apresentam teores de silte mais altos que 15%, especialmente nos perfis 7 e 8 onde ultrapassam 20%. Teores mais baixos de argila (perfis 7, 10, 11 e 12) correspondem a maiores teores de areia, entre 20 a 30%. Solos com mais silte parecem favorecer o processo de adensamento no solo, o que é perceptível quando se associa à análise textural com os resultados morfológicos dos perfis. Interessante notar a semelhança entre os perfis 7 e 10, e 8 e 9, respectivamente, que apesar de fazerem parte de dois estabelecimentos diferentes, tiveram pares que mostraram a possibilidade relativa de variação dentro de um mesmo estabelecimento.

Com relação à agregação, houve alguns resultados extremos sempre em subsuperfície (10 a 20 cm), que devem ser considerados com cuidado, pois o fato de pouca argila ter sido dispersa em água pode indicar nível de formação de agregados como também pode estar apontando para um adensamento daquela camada, assumida também certa tolerância esperada na variabilidade amostral. É o caso da profundidade 10 a 20 cm do perfil 2, que no perfil cultural era um  $F\mu$  a  $F\Delta\mu$  com grandes torrões, revelando um efeito sustentável da agregação. Já no caso dos perfis 7, 8, 9 e 10, principalmente no rodado, ocorreram camadas  $C\Delta$  a  $C\Delta\mu$  que tinham caráter de adensamento inicial do PD aliado a uma compactação por tráfego inadequado e compactação do sistema anterior.

Na estimativa de agregação, a maior evidência é que PMSD (perfis 11 e 12) é o sistema com menor formação de agregados em superfície e subsuperfície, no rodado e fora do rodado. Os PD 12 e 9 anos com rotação (perfis 1, 2, 3 e 4) apresentaram os maiores níveis de agregação em superfície (0 a 5 cm e 5 a 10 cm), assim como PD 11 anos com escarificação cada 4 anos (PD com

escarificação, perfis 5 e 6) na zona do rodado. Isso está de acordo com Castro Filho et al. (2002).

**Figura 5.5-** Argila de agregados, argila total, silte e areia fora do rodado e no rodado nos doze perfis na região de Londrina (PR)



Os perfis 5 e 6 apresentam maior diferença de agregação entre as situações no rodado e fora do rodado. Fora do rodado a escarificação eventual diminuiu a agregação aos níveis do PSMD, enquanto no rodado se aproximou do PD longo prazo com rotação. Os perfis 7, 8, 9 e 10 apresentaram agregação superficial intermediária entre PD de longo prazo e o PMSD de longo prazo, com menores níveis de agregação no rodado mais compactado do que fora do rodado.

Como forma de abranger os múltiplos aspectos abordados nos perfis culturais, resistência à penetração, densidade e granulometria, é feita a síntese que se segue.

O PD de 12 e 9 anos sem mobilização do solo, com boa cobertura e rotação de culturas, mostrou-se sustentável em relação à morfologia de solos, sem ocorrência de compactação, tendendo a ampliar, através da atividade biológica, os volumes de livre e fragmentado no perfil (livre expandido), mantendo densidades adequadas em torno de  $1,20 \text{ Mg.m}^{-3}$ , resistência à penetração máxima de 2,5 MPa entre 5 e 10 cm e porcentagens de argila em agregados da ordem de 13 a 17%, podendo ser qualificado como plantio direto consolidado. Mesmo assim a área sob ação do rodado deve ser continuamente monitorada para prevenir o processo de compactação.

O PD 11 anos com escarificação a cada quatro anos, com boa cobertura de solo, mas sem rotação de culturas, mostrou boas características morfológicas, também com desenvolvimento exuberante de livre expandido, densidades superficiais adequadas em torno de  $1,20 \text{ Mg.m}^{-3}$ , assim como resistência à penetração inferior a 2,0 MPa. Já em subsuperfície (10 a 20 cm) as densidades foram maiores entre 1,30 e  $1,40 \text{ Mg.m}^{-3}$ , com a resistência à penetração atingindo um máximo de 2,5 MPa apenas aos 20 cm. Porcentagens de argila em agregados em torno de 10% foram menores que no plantio direto de longo prazo sem revolvimento. A escarificação eventual cria pré-condições para um adensamento.

O PD de 4 e 6 anos sem rotação e realizado com equipamentos alugados, morfológicamente aliou o adensamento característico dos primeiros anos de implantação do sistema, com a compactação proveniente de tráfego de máquinas em momentos inapropriados. Essa situação é mais grave quando existe “pé-de-grade” do sistema anterior. No PD 4 anos a resistência à penetração superou 3 MPa no rodado entre 5 e 10 cm mas as densidades superficiais mantiveram-se entre 1,20 e  $1,30 \text{ Mg.m}^{-3}$ , tanto em superfície como em subsuperfície. No PD em médio prazo a

resistência à penetração foi menor de 3 MPa, mas as densidades em subsuperfície se aproximaram de  $1,40 \text{ Mg.m}^{-3}$ . A porcentagem de argilas em agregados em superfície em torno de 10% no rodado e de 12 a 15% fora do rodado indicam os benefícios da agregação já nos primeiros anos de adoção do sistema. Essa fase é crítica para a consolidação do sistema, pois caso haja condições inadequadas de tráfego e ou deficiências na construção de maiores níveis superficiais de matéria orgânica, esse ciclo pode desvirtuar-se em compactação.

O preparo mínimo com semeadura direta em longo prazo (9 anos) morfologicamente apresentou uma camada de “pé-de-grade” de pequena extensão (5 cm) entre os 15 e 25 cm que confina a camada revolvida pelo preparo de solo, favorecendo seu adensamento. Isso é perceptível em menor escala pelo efeito da escarificação eventual em PD 11 anos. Devido a isso, apresentou resistência à penetração máxima de mais de 3 MPa no rodado entre 5 e 10 cm e as maiores densidades em superfície ( $1,40 \text{ Mg.m}^{-3}$ ) e em subsuperfície ( $1,50 \text{ Mg.m}^{-3}$ ). O sistema apresentou os indicadores menos adequados de densidade e de resistência à penetração, sempre dependente de novas mobilizações. Apresentou a menor porcentagem de agregação de argilas entre 5 e 10%, sendo o solo mais sujeito à compactação e à erosão. Pela produtividade e rentabilidade podendo ser qualificado como um sistema de preparo mínimo bem executado.

Nenhuma limitação encontrada, mesmo nos casos mais extremos, representou um obstáculo que não pudesse ser corrigido com práticas mecânicas e vegetativas. Abaixo dos 30 cm todos os perfis analisados apresentavam condições absolutamente satisfatórias do ponto de vista morfológico.

A análise fatorial dos volumes de solo encontrados nos perfis permitiu concluir que a consolidação do PD é conseguida com o máximo desenvolvimento das camadas fragmentado e livre (livre expandido) sem que se formem camadas contínuas compactas. O modelo dos componentes principais traduziu isso estabelecendo um eixo de livre e fragmentado, e a contraposição entre contínuo compacto e contínuo poroso e rugoso.

## 5.4. Conclusões

O PD de longo prazo consolidado com rotação de culturas mostrou-se sustentável em relação à morfologia de solos, sem ocorrência de compactação, tendendo a ampliar, através da atividade biológica, os volumes de livre e fragmentado com agregação adequada (livre expandido).

No PD 9 anos com rotação de culturas foi possível identificar uma estratégia de minimização de custos pela menor utilização de insumos, através de manejo de pragas e doenças, práticas de controle biológico e racionalização de adubações. Apesar da rentabilidade menor, foi a situação com melhor morfologia e física de solos de todos os perfis. Aparentemente esse manejo criou um ambiente mais estimulante ao desenvolvimento radicular e à atividade biológica em geral.

O PD de longo prazo com escarificação eventual apresentou boas condições de livre expandido pela prática da escarificação, mas apresentou um adensamento mais rápido e mais extenso de 10 a 20 cm em relação ao PD de longo prazo sem nenhum revolvimento. A escarificação eventual mecânica tende a criar caminhos para oxidação do carbono.

A compactação, principalmente nas áreas sob ação do rodado, é a principal ameaça à sustentabilidade no PD de 4 a 6 anos, ainda mais quando os produtores dependem de semeadeiras e colhedoras alugadas, com menos autonomia para decidir os momentos ótimos para realização das operações. O curto prazo é a fase mais crítica do PD quando pode evoluir para a consolidação ou desvirtuar-se em compactação.

O sistema de preparo mínimo de solo foi o que apresentou as maiores densidades e valores de resistência à penetração subsuperficiais aproximando-se de valores críticos para a sustentabilidade.

Abaixo dos 30 cm todos os perfis analisados apresentavam condições absolutamente satisfatórias do ponto de vista morfológico.

## **6. ARTIGO C: CONTEÚDO DE CARBONO E OUTROS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO SOB PLANTIO DIRETO DE GRÃOS EM ESTABELECIMENTOS AGROPECUÁRIOS FAMILIARES NO NORTE DO PARANÁ, BRASIL.**

### **Resumo**

Seis estabelecimentos agropecuários familiares que praticam diferentes tipos de plantio direto de grãos foram analisados a partir de dados químicos para as profundidades de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm e de 10 a 20 cm. Os resultados de conteúdo de carbono e balanço de nutrientes revelaram que nos primeiros 10 centímetros, o plantio direto de longo prazo com rotação e cobertura permanente do solo atinge maiores níveis de carbono que o plantio direto de curto prazo. Além disso, o preparo mínimo de longo prazo não apresentou diferenças significativas em relação à média dos plantios diretos. Na profundidade de 10 a 20 cm os teores de carbono foram menores e houve diferenças significativas em favor do plantio direto de longo prazo com rotação de culturas e preparo mínimo com escarificação anual.

Palavras-chave - sustentabilidade, plantio direto, análise química, carbono orgânico.

### **Abstract**

Six family farming enterprises practicing different types of no-tillage of grain crops were studied by chemical analysis 0 to 5 cm, 5 to 10 cm and 10 to 20 cm of depth. Results of organic carbon content and balance of nutrients revealed that in the first 10 centimeters the long term no-tillage system with crop rotation and permanent soil cover reached significantly higher carbon content than short term no-tillage, and that long term minimum tillage was not significantly different of average no-till. From 10 to 20 cm of depth there were lower levels of carbon and significant differences among treatments in favor of long term no till with crop rotation and annual chisel plowing.

Key words- sustainability, no-tillage, chemical analysis, organic carbon.

## 6.1. Introdução

O sistema de plantio direto (PD) de grãos é considerado sustentável por sua eficiência no controle da erosão, na construção da fertilidade química, física e biológica, na redução de custos em combustíveis e máquinas, na menor demanda de trabalho e na melhoria da rentabilidade (Hobbs, 2007; Bolliger et al., 2006; Casão et al., 2006; McGarry, 2003).

Algum tempo depois da implantação do sistema de PD com cobertura permanente, a camada superficial do solo sofre uma diferenciação positiva em relação ao sistema convencional (Muzilli, 1983; Parra, 1986; Sidiras e Pavan, 1986; Eltz et al, 1989; Klepker e Anghinoni, 1995; Bayer e Mielniczuc, 1997; Rheinheimer et al., 1998; Falleiro et al., 2003; Calegari, 2006). Isso porquê os resíduos vegetais da superfície adicionam carbono orgânico ao solo (Sidiras e Pavan, 1986; Roth et al., 1987; Machado e Gerbazek; Bayer, 1996; Bayer e Mielniczuc, 1997; Freitas et al., 2000; Sá, 2001; Sá et al., 2001; Amado et al., 2001; Machado, Sohi e Gaunt, 2003; Calegari, 2006) e propiciam melhores condições de agregação, com agregados maiores e mais estáveis (Tisdall e Oades, 1982; Castro Filho et al, 1998; Castro Filho et al, 2002; Calegari, 2006) e com maior população e mais atividade microbiana (Sá et al., 2001; Andrade, Colozzi Filho e Giller, 2003), criando condições capazes de aumentar a CTC dependente de pH (Pavan, 1997), diminuir efeitos nocivos do alumínio trocável (Oliveira e Pavan, 1996), diminuir a fixação do fósforo e reciclar o potássio (Rosolem et al., 2006).

A ausência de revolvimento e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo em PD, definem uma distribuição diferente, não só da matéria orgânica, mas também dos nutrientes no perfil do solo, em relação ao preparo convencional. Três estudos realizados por Muzilli (1983), Machado e Gerzabek (1993) e Oliveira, Diehl e Gonçalves (2007) sobre o mesmo experimento em Londrina (PR) aos 5, 15 e 20 anos relataram valores superiores de pH em PD em relação ao PC.

A matéria orgânica é responsável por 70% da CTC dependente de pH nos solos da região de estudo (Pavan, Bingham e Pratt, 1985). O PD, ao diminuir a oxidação da matéria orgânica, promove o aumento da CTC, beneficiando a adsorção de cátions trocáveis (Ca, Mg, K) mediante trocas com o H<sup>+</sup> dos grupos

funcionais orgânicos. Dessa forma o PD promove aumento nos teores de Ca, Mg, K e também de P (Muzilli, 1983; Calegari et al., 1992; Pavan, 1997; Muzilli, 2002; Oliveira, Diehl e Gonçalves, 2007).

Os nutrientes provenientes das adubações no sistema de PD, principalmente os de menor mobilidade como o fósforo, tendem a concentrar-se na camada mais superficial, criando gradientes de concentração (Muzilli, 1983; Klepker e Anghinoni, 1995; Falleiro, 2003; Calegari, 2006). O mesmo ocorre com o calcáreo cuja aplicação superficial demanda tempo para correção de acidez em camadas inferiores (Oliveira e Pavan, 1996). A rotação de culturas com aveia tem-se demonstrado eficiente na reciclagem e na diminuição de gradientes. A presença de palha na superfície diminui a lixiviação do potássio, sendo a própria palha uma importante fonte desse nutriente para as culturas subseqüentes, permitindo racionalizar as adubações (Rosolem et al., 2006). Diferenças na fertilidade química são esperadas com a evolução do sistema no tempo, dependendo da estratégia de manejo de nutrientes com relação à reposição das quantidades extraídas pelas colheitas (Uri, 1999; Gareau et al., 2004).

A presente avaliação objetiva verificar como se comportam os indicadores de fertilidade química em relação aos diferentes tipos e tempos de manejo de solo em PD, de forma a inferir sobre sua sustentabilidade nas condições de produtores familiares em Latossolo Vermelho distroférico típico do norte do Paraná.

## **6.2. Material e métodos**

O Projeto Redes de Referências para a Agricultura Familiar desenvolvido pelo IAPAR, EMATER e de produtores colaboradores, monitorou durante seis anos cerca de 60 estabelecimentos agropecuários no Norte do Paraná, nas regiões de Londrina, Cornélio Procópio e Apucarana (Carvalho et al., 2001). Treze deles, que tem na produção mecanizada de grãos em plantio direto uma de suas atividades principais, foram classificados por tipo de plantio direto e estudados quanto à sustentabilidade econômica por meio das margens brutas obtidas e dos custos variáveis por hectare-ano ao longo de seis anos (1998/99 a 2003/04). Seis

desses treze estabelecimentos, três de maior e três de menor rentabilidade (Tabela 6.1.), foram monitorados com relação ao conteúdo de carbono e características químicas do solo.

Os seis estabelecimentos estudados localizam-se em municípios do Médio Vale do Paranapanema do Estado do Paraná, situados entre as coordenadas 50° 10' e 51° 30' W e 22° 40' e 23° 30' N, cuja cidade-pólo é Londrina. As altitudes variam entre 350 e 700m sobre o nível do mar e o solo predominante nas parcelas é o Latossolo Vermelho distroférico argiloso, (EMBRAPA, 1999), Typic Haplorthox pela classificação americana ou Rhodic Ferralsol pela classificação da FAO, cujos teores de argila são da ordem de 550 a 700 g.kg<sup>-3</sup>. A precipitação pluviométrica média na região varia de 1350 a 1650 mm anuais com expressiva variação interanual (Carvalho et al., 2001; Fuentes Llanillo et al., 2006a).

O monitoramento químico foi realizado em seis amostras por perfil, duas para cada uma das três profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm, em dois perfis por estabelecimento, totalizando doze perfis, representando tipos e tempos de adoção do PD. Como referência de comparação, análises químicas dos mesmos talhões foram utilizadas, datadas de 1998 a 2000 (Tabela 6.2).

Os conteúdos de C, P, K, pH, H+Al, Ca, Mg, S, T e V% foram analisados segundo metodologia descrita em Pavan et al. (1992). Os resultados foram submetidos a análise de variância pelo sistema SISVAR, UFLA (Ferrera, 2000) e comparados pelo teste de Scott e Knott a 10 % (Scott e Knott, 1974). Para os dados de carbono foi feito também contraste de médias com teste f a 5% utilizando metodologia de Banzato e Kronka (1989).

### **6.3. Resultados e Discussão**

As análises iniciais de solo evidenciam uma alta fertilidade em todos os estabelecimentos, com CTC variando de 12.3 a 18.2 cmol. dm<sup>-3</sup>, V% acima de 60% e teores de carbono variando de 12,3 a 21,2 g.kg<sup>-1</sup> (tabela 6.2). A matéria orgânica do solo é o núcleo da discussão sobre aspectos químicos e físicos do solo sob PD (Parra, 1986; Sidiras e Pavan, 1986; Roth et al., 1987; Bayer e Mielniczuk, 1997; Freitas et al., 2000; Sá et al., 2001; Machado, 2003; Calegari, 2006).

**Tabela 6.1. - Caracterização das áreas de estudo na região de Londrina (PR)**

estabele- cimento	perfis	legenda	Tipo de PD em 2006	Rotação ao longo dos anos						Semead	Colheiteira	Produtividade Média			CVM <sup>1</sup>	MBM <sup>1</sup>	
				Verão		Inverno		Triticale	Kg/ha (n° de safras observadas)								
				Soja	Milho Trigo	Milho Safrinha	Aveia Branca		Aveia Preta			P / A <sup>2</sup>	Soja	Milho Trigo			Milho Safrinha
2	1 e 2	PD12	PD 12 anos, com rotação	Soja	Milho Trigo	Milho Safrinha	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	P / A <sup>2</sup>	P	3398 <sup>(6)</sup>	7116 <sup>(4)</sup>	2403 <sup>(5)</sup>	3549 <sup>(4)</sup>	1246 a	1911 a
4	3 e 4	PD9	PD 9 anos, com rotação	Soja	Milho Trigo	Milho Safrinha	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	P / A <sup>2</sup>	P	2298 <sup>(6)</sup>	4893 <sup>(4)</sup>	1202 <sup>(5)</sup>		813 b	1117 b
6	5 e 6	PD11ESC	PD 11 anos, sem rotação, escarificação de 4 em 4 anos.	Soja	Milho Trigo	Milho Safrinha	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	P	P	3390 <sup>(6)</sup>			4826 <sup>(6)</sup>	1418 a	2200 a
12	7 e 8	PD6	PD 6 anos, sem rotação, semeadeiras alugadas	Soja	Milho Trigo	Milho Safrinha	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	A	A	2624 <sup>(6)</sup>			1850 <sup>(4)</sup>	1119 b	785 b
11	9 e 10	PD4	PD 4 anos, sem rotação, semeadeiras alugadas	Soja	Milho Trigo	Milho Safrinha	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	A	A	2610 <sup>(6)</sup>		2171 <sup>(4)</sup>		1259 a	918 b
7	11 e 12	PMDS9	Preparo Mínimo com Semeadura Direta 9 anos, rotação incipiente	Soja	Milho Trigo	Milho Safrinha	Aveia Branca	Aveia Preta	Triticale	P	A	3099 <sup>(6)</sup>		3533 <sup>(3)</sup>	3815 <sup>(6)</sup>	1562 a	1675 a

<sup>1</sup> CVM Custo Variável Médio e MBM Margem Bruta Média de seis anos 1998/99 a 2003/04 em R\$/ha/ano corrigidos para julho de 2006 onde valores seguidos por uma mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste

de Scott-Knott a 1%

2

P- própria A-alugada

**Tabela 6.2.** - Análises químicas iniciais de solos dos estabelecimentos nos talhões estudados

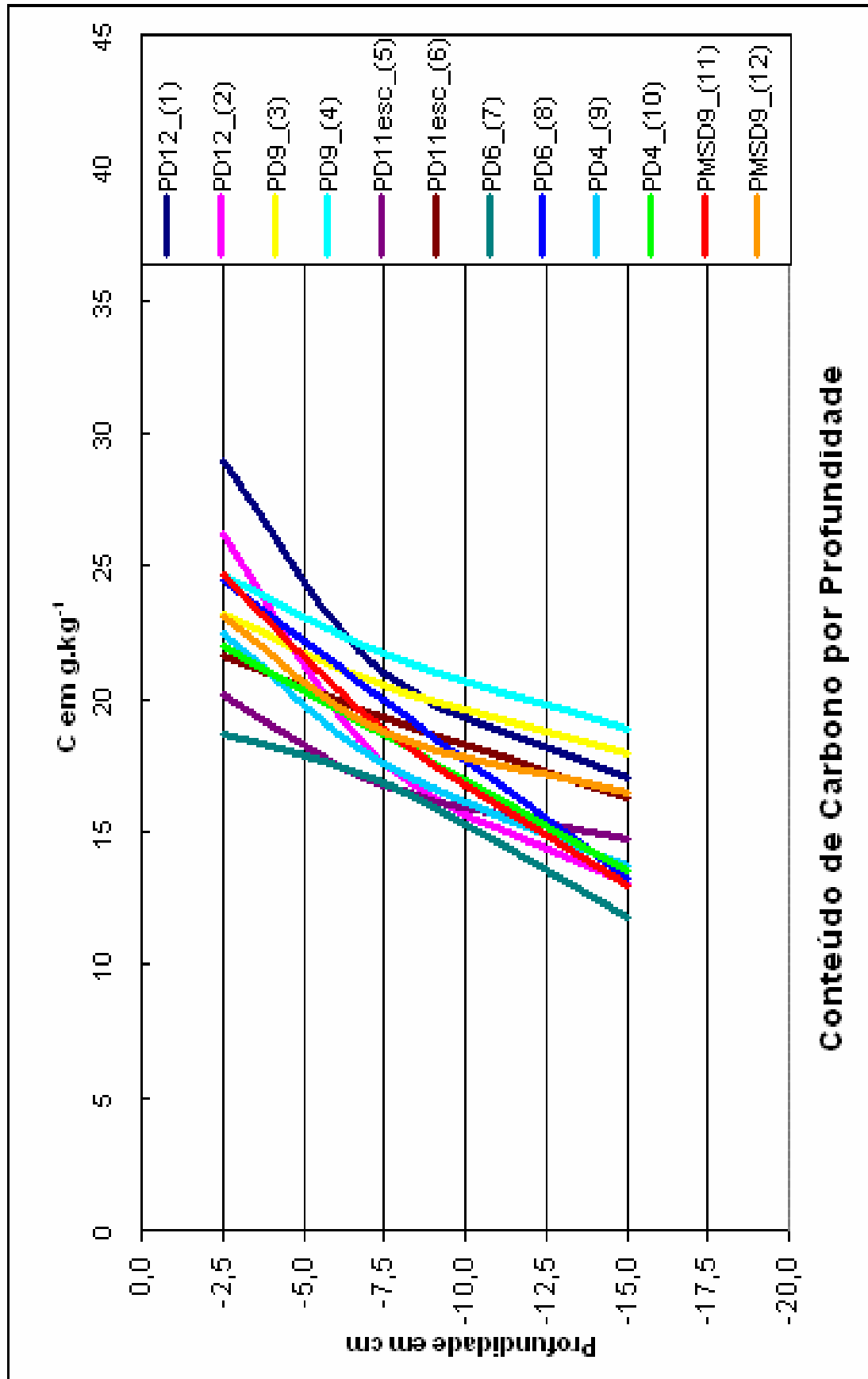
est	epoca	proff(em)	g.kg <sup>-1</sup>		CaCl <sub>2</sub>		mg.dm <sup>-3</sup>		cmol. dm <sup>-3</sup>		%				
			C	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	T	V		
2	ago/99	0_20	21,2	5,3	4,8	0,38	5,7	3,1	0,0	5,3	9,1	14,5	63,1		
2	ago/99	0_20	20,5	5,2	7,2	0,33	5,6	2,5	0,0	5,3	8,5	13,8	61,3		
2	set/00	0_10	21,2	5,8	8,9	0,56	5,4	3,5	0,0	3,7	9,5	13,2	72,1		
2	set/00	10_20	18,1	5,2	4,3	0,33	4,5	2,8	0,0	5,0	7,6	12,6	60,6		
4	out/99	0_10	19,5	5,8	10,3	0,18	6,0	3,0	0,0	3,8	9,2	13,0	70,7		
4	out/99	0_10	21,1	5,2	6,9	0,53	6,3	2,2	0,0	5,3	9,0	14,4	62,8		
4	out/99	10_20	17,5	5,5	4,9	0,14	5,2	2,7	0,0	5,3	8,0	12,3	65,3		
4	out/99	10_20	17,9	5,1	2,5	0,27	5,8	2,1	0,0	5,3	8,2	13,6	60,6		
6	mai/99	0_20	14,7	5,5	16,6	0,59	8,3	2,1	0,0	4,3	11,0	15,3	72,0		
6	mai/99	0_20	14,3	5,6	15,0	0,41	8,2	2,2	0,0	4,0	10,9	14,8	73,2		
12	ago/00	0_20	17,1	5,5	1,0	0,38	6,6	1,9	0,0	3,5	8,9	12,4	71,8		
11	nov/98	0_10	15,4	5,6	16,3	0,56	7,4	2,5	0,0	4,0	10,4	14,4	72,4		
11	nov/98	0_10	15,6	5,6	13,9	0,53	7,4	1,9	0,0	4,0	9,8	13,8	67,5		
11	nov/98	10_20	13,4	5,5	5,6	0,41	6,5	2,0	0,0	4,3	8,9	13,1	71,2		
11	nov/98	10_20	12,3	5,5	7,3	0,38	6,8	1,6	0,0	4,0	8,8	12,8	68,9		
7	mai/99	0_20	18,4	4,9	14,7	1,08	8,4	2,0	0,0	6,7	11,5	18,2	63,3		
7	mai/99	0_20	16,9	5,6	13,3	1,65	9,1	2,8	0,0	4,6	13,5	18,1	74,5		

eu principal indicador é o teor de carbono, cujos valores obtidos segundo tipo de plantio direto e profundidades estão representados na Figura 6.1.

Segundo Oliveira et al. (1994) teores baixos de carbono são menores ou iguais a  $8 \text{ g.kg}^{-1}$ , médios entre 9 e  $14 \text{ g.kg}^{-1}$  e altos acima de  $14 \text{ g.kg}^{-1}$ . Na camada de 0 a 5 cm de profundidade todos os perfis apresentaram teores de carbono adequados para o processo de agregação, variando de 18,6 a  $29,0 \text{ g.kg}^{-1}$ , com média de  $23,5 \text{ g.kg}^{-1}$  (Castro Filho et al., 1998). Detalhes sobre esses números podem ser vistos no Anexo 4. Nessa profundidade pelo teste Scott e Knott a 10%, o PD 12 anos com rotação (perfil 1) distinguiu-se dos demais com o maior teor de carbono,  $29,0 \text{ g.kg}^{-1}$ . Um grupo de perfis, PD 12 anos com rotação (perfil 2), PD 9 anos com rotação (perfil 4), PMSD 9 anos rotação incipiente (perfil 11) e PD 6 anos sem rotação (perfil 8), ficou no segundo nível de carbono, entre 26,2 a  $24,4 \text{ g.kg}^{-1}$ . Os PD de longo prazo com rotação de culturas apresentaram os maiores valores de carbono em superfície. Num terceiro nível variando de 23,2 a  $21,7 \text{ g.kg}^{-1}$  estão o PD 9 anos com rotação (perfil 3), PMSD 9 anos rotação incipiente (perfil 12), PD 4 anos sem rotação (perfis 9 e 10) e PD 11 anos com escarificação e sem rotação (perfil 6). Num quarto e último nível ficaram o PD 11 anos com escarificação sem rotação (perfil 5) e PD 6 anos sem rotação (perfil 7) com 20,2 e  $18,6 \text{ g.kg}^{-1}$  respectivamente. Aos menores níveis de carbono corresponderam os PD de 4 e 6 anos e os sistemas com movimentação de solo como o PMSD 9 anos e o PD de 11 anos com escarificação eventual.

Na camada de 5 a 10 cm de profundidade com média geral de  $19,0 \text{ g.kg}^{-1}$  os valores de carbono foram mais próximos entre si, discriminando dois níveis diferentes pelo Scott e Knott a 10%. Num primeiro nível variando de 21,7 a  $20,0 \text{ g.kg}^{-1}$  estavam PD 12 anos com rotação (perfil 1), PD 9 anos com rotação (perfil 3 e 4), e PD 6 anos sem rotação (perfil 8). Num segundo nível variando de 19,3 a  $16,8 \text{ g.kg}^{-1}$  estão PD 11 anos com escarificação sem rotação (perfil 6), PMSD 9 anos com rotação incipiente (perfil 11e 12), PD 4 anos sem rotação (perfil 9 e 10), PD 12 anos com rotação (perfil 2), PD 11 anos com escarificação sem rotação (perfil 5) e PD 6 anos sem rotação (perfil 7). Novamente os plantios diretos de longo prazo com rotação de culturas apresentaram os maiores valores de carbono entre 5 e 10 cm.

**Figura 6.1.** - Conteúdo de carbono segundo tipo e tempo de manejo de 0 a 20 cm



Na camada de 10 a 20 cm de profundidade com média geral de 15,0

$\text{g.kg}^{-1}$  os valores de carbono discriminaram novamente dois níveis diferentes pelo Scott e Knott a 10%. Num primeiro nível variando de 18,9 a 16,3  $\text{g.kg}^{-1}$  estavam PD 12 anos com rotação (perfil 1), PD 9 anos com rotação (perfil 3) e (4), PD 11 anos com escarificação sem rotação (perfil 6), PMSD 9 anos com rotação incipiente (perfil 12). Num segundo nível variando de 14,7 a 11,8  $\text{g.kg}^{-1}$ . estão PD 11 anos com escarificação sem rotação (perfil 5), PD 4 anos sem rotação (perfis 9 e 10), PD 6 anos sem rotação (perfil 8), PD 12 anos com rotação (perfil 2), PMSD 9 anos com rotação incipiente (perfil 11), PD 6 anos sem rotação (perfil 7). Os plantios diretos de longo prazo com rotação de culturas e os sistemas com movimentação apresentaram os maiores valores de carbono entre 10 e 20 cm.

Esses resultados estão de acordo com as conclusões de Bayer e Mielniczuk (1997), Sá et al. (2001) e Calegari (2006) de que os sistemas que não revolvem o solo recuperam os teores de matéria orgânica inicialmente na camada superficial, mas com o passar do tempo esse incremento ocorre em camadas mais profundas.

Para buscar circunscrever melhor a influência dos manejos nos teores de carbono apresenta-se a análise de variância com contrastes ortogonais das médias das amostras dos pares de perfis representativos de cada tipo de manejo na tabela 5.3.

No contraste 1, todos os tipos de PD dos perfis 1 a 10 são contrapostos ao preparo mínimo PMSD dos perfis 11 e 12. Não houve diferenças nos teores de carbono entre o preparo mínimo com semeadura direta e a média de todos os tipos de PD em nenhuma das três profundidades. Esse resultado está de acordo com Calegari (2006) que concluiu que o preparo convencional executado adequadamente pode acumular carbono orgânico no solo, apesar de não superar o plantio direto em superfície (0 a 10 cm) e em termos totais, porém mais distribuído pelos primeiros 20 cm pela incorporação do preparo de solo.

No contraste 2, o PD de 12 e 9 anos com rotação de culturas dos perfis 1, 2, 3 e 4 foi confrontado com os demais PD sem rotação dos perfis 5, 6, 7, 8, 9 e 10. Nesse caso a diferença foi significativa nas três profundidades em favor do PD de 12 e 9 anos com rotação de culturas com 4,20  $\text{kg.kg}^{-1}$  de carbono a mais de 0 a 5 cm, 2,00  $\text{kg.kg}^{-1}$  a mais de 5 a 10 cm e 2,84  $\text{kg.kg}^{-1}$  a mais de 10 a 20 cm. Novamente em concordância com Bayer e Mielniczuk (1997), indicam que no longo

**Tabela 6.3.** - Análise de variância dos teores de carbono em  $\text{g.kg}^{-1}$  com desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos em contrastes ortogonais

contraste	perfis a	perfis b	0-5cm		5-10cm		10-20cm	
			dif. média	Pr > t	dif. média	Pr > t	dif. média	Pr > t
1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	11,12	-0,66	0,366 <sub>ns</sub>	0,14	0,833 <sub>ns</sub>	0,30	0,807 <sub>ns</sub>
2	1,2,3,4	5,6,7,8,9,10	4,20	0,000 <sub>S</sub>	2,00	0,003 <sub>S</sub>	2,84	0,014 <sub>S</sub>
3	1,2	3,4	3,68	0,002 <sub>S</sub>	-1,88	0,042 <sub>S</sub>	-3,35	0,048 <sub>S</sub>
4	5,6	7,8,9,10	-0,95	0,250 <sub>ns</sub>	-0,21	0,771 <sub>ns</sub>	2,46	0,087 <sub>ns</sub>
5	7,8	9,10	-0,65	0,488 <sub>ns</sub>	0,28	0,744 <sub>ns</sub>	-1,08	0,494 <sub>ns</sub>
6	1	2	2,70	0,057 <sub>ns</sub>	3,40	0,013 <sub>S</sub>	4,00	0,088 <sub>ns</sub>
7	3	4	-1,55	0,251 <sub>ns</sub>	-1,25	0,304 <sub>ns</sub>	-0,90	0,684 <sub>ns</sub>
8	5	6	-1,45	0,281 <sub>ns</sub>	-2,50	0,053 <sub>ns</sub>	-1,65	0,459 <sub>ns</sub>
9	7	8	-5,80	0,001 <sub>S</sub>	-3,10	0,021 <sub>S</sub>	-1,55	0,486 <sub>ns</sub>
10	9	10	0,50	0,704 <sub>ns</sub>	-1,05	0,385 <sub>ns</sub>	0,20	0,928 <sub>ns</sub>
11	11	12	1,60	0,236 <sub>ns</sub>	0,10	0,933 <sub>ns</sub>	-3,55	0,126 <sub>ns</sub>

prazo o processo de acumulação de carbono em PD atinge maiores profundidades.

No contraste 3 foram comparados entre si os dois PD de 12 e 9 anos dos perfis 1 e 2 contra os perfis 3 e 4. Nesse caso houve diferenças significativas onde o PD 12 anos superou o PD 9 anos em  $3,68 \text{ kg.kg}^{-1}$  de 0 a 5 cm, mas o PD 9 anos superou o PD 12 anos em  $1,88$  e  $3,35 \text{ kg.kg}^{-1}$ .

No contraste 4 foram comparados o PD 11 anos com escarificação cada 4 anos sem rotação de culturas dos perfis 5 e 6 contra os PD de 6 e 4 anos sem rotação de culturas dos perfis 7, 8, 9 e 10. Não houve diferenças significativas entre eles nas três profundidades, sugerindo que a escarificação eventual faz retroceder o processo de acumulação de carbono, devolvendo o sistema a patamares inferiores de concentração (Mahoubi, Lal e Faussey, 1993; Beare, Hendrix e Coleman, 1994; Bayer, Martin Neto e Saab, 2003; Araújo et al., 2004).

No contraste 5 foram comparados o PD 6 anos sem rotação dos perfis 7 e 8 com o PD 4 anos sem rotação dos perfis 9 e 10. Não houve diferenças significativas nesse caso em nenhuma das três profundidades, resultado compatível com o tempo de manejo em plantio direto dos dois sistemas.

Os contrastes de 6 a 11 são confrontos individuais dentro dos pares de perfis de cada tipo de manejo visando avaliar sua homogeneidade. Os perfis 1 e 2 apresentam diferenças significativas entre si nos teores de carbono na profundidade de 5 a 10 cm, enquanto nas de 0 a 5 cm e 10 a 20 cm não foram significativas, mas estiveram próximos de sê-lo com significância de 5,7 e 8,8% respectivamente. O perfil 1 apresentou  $2,70$ ,  $3,20$  e  $4,00 \text{ kg.kg}^{-1}$  a mais de carbono nas três profundidades respectivamente que o perfil 2, que aparentava maior ação de intemperismo, levando em conta também sua posição no relevo de maior declividade. Os perfis 7 e 8 também apresentaram diferenças significativas entre si nas profundidades 0 a 5 cm e 5 a 10 cm, com o perfil 8 apresentando  $5,80$  e  $3,10 \text{ kg.kg}^{-1}$  mais respectivamente que o perfil 7. Nitidamente a área onde se encontrava o perfil 8 contava com maior cobertura de resíduos vegetais, o que se refletiu em maior conteúdo de carbono na camada superficial de 0 a 10 cm.

O resultado geral dos contrastes confirmou evidências da bibliografia do significativo acúmulo de carbono provido pelo sistema de PD em superfície (Parra, 1984; Sidiras e Pavan, 1986; Roth et al., 1986; Bayer e Mielniczuk, 1997; Sá et al., 2001; Machado, 2003; Calegari, 2006), que no longo prazo se amplia para camadas imediatamente inferiores do solo (Bayer e Mielniczuk, 1997; Sá et al.,

2001; Calegari, 2006). Também se inferiu que sistemas com preparo mínimo de solo com escarificação anual ou eventual quando bem executados podem seqüestrar e acumular carbono (Calegari, 2006), mas que a movimentação do solo abre espaço para a oxidação do elemento, diminuindo seus teores (Mahoubi, Lal e Faussey, 1993; Beare, Hendrix e Coleman, 1994; Bayer, Martin Neto e Saab, 2003; Araújo et al., 2004).

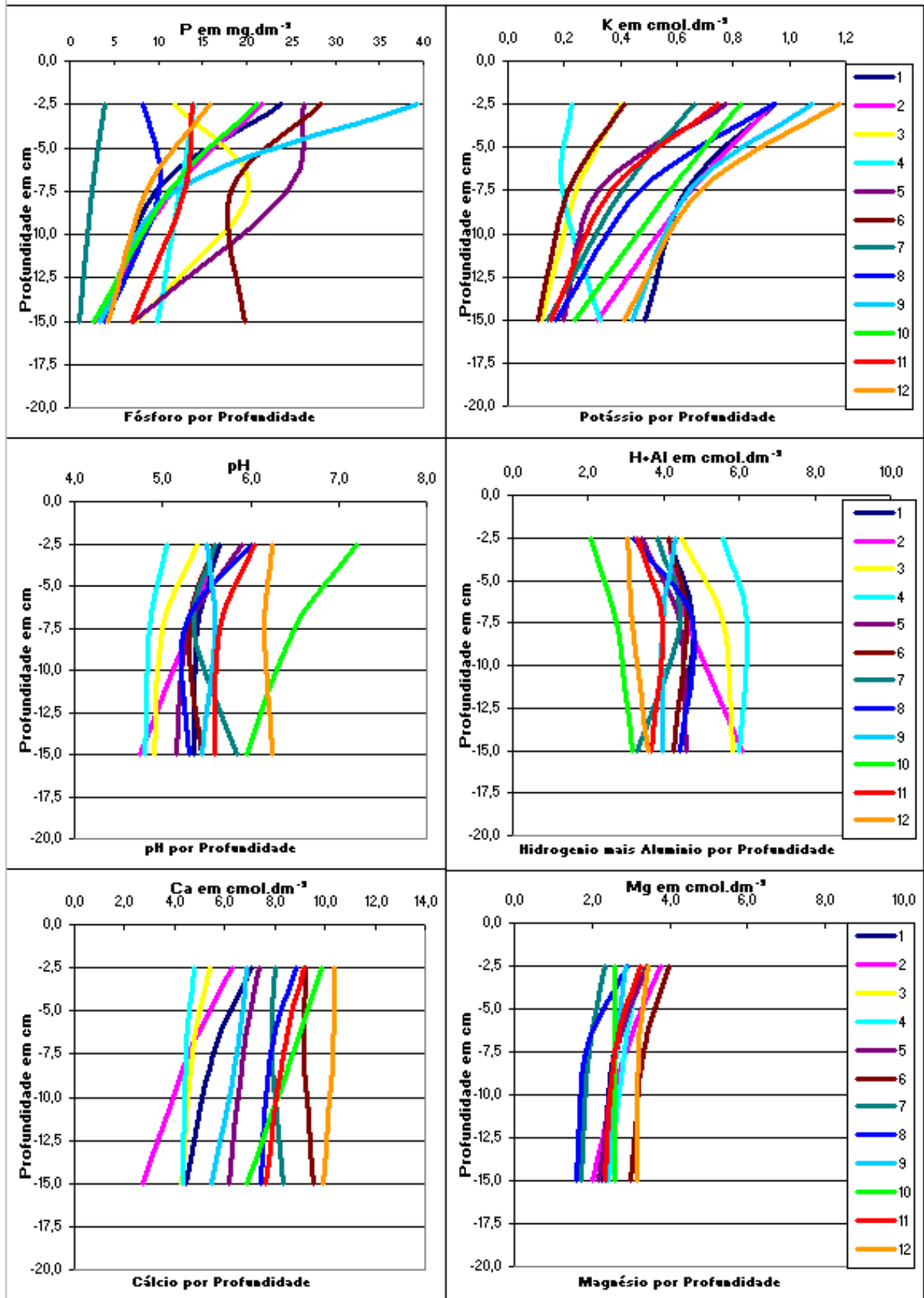
Na Figura 6.2. apresenta-se os resultados de fósforo, potássio, pH, hidrogênio mais alumínio, cálcio e magnésio nos doze perfis estudados nas profundidades 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 20 cm. Maiores detalhes sobre os valores podem ser vistos no Anexo 4. Segundo Oliveira et al. (1994) teores médios e altos para P são de 3 a 7 e mais de 7  $\text{mg.dm}^{-3}$ , para K de 0,11 a 0,30 e de 0,31 a 0,60  $\text{cmol.dm}^{-3}$  respectivamente.

O fósforo apresentou maiores concentrações entre 0 e 5 cm com média de 19,1  $\text{mg.dm}^{-3}$  e predomínio de valores altos entre 12 e 30  $\text{mg.dm}^{-3}$ . Nessa profundidade pelo teste Scott e Knott a 10%, o PD 4 anos sem rotação (perfil 9) distinguiu-se dos demais com o maior teor de P de 39,4  $\text{mg.dm}^{-3}$ . Um grupo de perfis ficou no segundo nível de fósforo entre 21,8 a 28,4  $\text{mg.dm}^{-3}$  que foram PD 11 anos com escarificação e sem rotação (perfis 5 e 6), PD 12 anos com rotação (perfis 1 e 2) e PD 4 anos sem rotação (perfil 10). Num terceiro nível variando de 3,9 a 15,9  $\text{mg.dm}^{-3}$  estão PMSD 9 anos rotação incipiente (perfis 11 e 12), PD 12 anos com rotação (perfis 3 e 4) e PD 6 anos sem rotação (perfis 7 e 8).

Na camada de 5 a 10 cm com média geral de 12,8  $\text{mg.dm}^{-3}$ , os valores de fósforo foram mais próximos entre si, compondo uma única categoria pelo Scott e Knott a 10%. escarificação sem rotação (perfis 5 e 6) e PD 9 anos com rotação (perfil 3). E um valor mais baixo de 2,6  $\text{mg.dm}^{-3}$  foi para PD 6 anos sem rotação (perfil 7)

Na camada de 10 a 20 cm com média geral de 6,2  $\text{mg.dm}^{-3}$  os valores de fósforo discriminaram três níveis significativamente diferentes pelo Scott e Knott a 10%. Num primeiro nível apenas PD 11 anos com escarificação sem rotação (perfil 6) com 19,9  $\text{mg.dm}^{-3}$ . Num segundo nível variando de 7,0 a 10,0  $\text{mg.dm}^{-3}$  estão PD 12 anos com rotação (perfis 3 e 4), PD 11 anos com escarificação sem rotação (perfil 5) e PMSD 9 anos com rotação incipiente (perfil 12). Um terceiro nível apresentou teores baixos de fósforo de 1,1 a 4,3  $\text{mg.dm}^{-3}$  nos perfis PMSD 9 anos com rotação incipiente (perfil 11), PD 12 anos com rotação (perfis 1 e 2),

**Figura 6.2.-**Teores de P em  $\text{mg.dm}^{-3}$ , K, H+Al, Ca, Mg em  $\text{cmol.dm}^{-3}$  e pH



PD 4 anos sem rotação (perfis 9 e 10) e PD 6 anos sem rotação (perfis 7 e 8).

Os resultados não permitem relacionar os teores de P com o tipo e tempo de PD. Existe em geral uma maior concentração de P nos primeiros 10 cm e isso está de acordo com o gradiente encontrado por Muzilli (1983), Oliveira, Diehl e Gonçalves (2007) e Portella et al. (2005). Os sistemas com mais mobilização e um PD de longo prazo com rotação apresentaram os menores gradientes.

Quanto ao potássio (Figura 6.2.), observa-se também um processo de maior concentração superficial na camada de 0 a 5 cm, com média de  $0,76 \text{ cmol.dm}^{-3}$  e predomínio de valores muito altos entre 0,60 e  $1,20 \text{ cmol.dm}^{-3}$ . Nessa profundidade pelo teste Scott e Knott a 10%, o PMSD 9 anos com rotação incipiente (perfil 12), PD4 anos sem rotação (perfil 9), PD 12 anos com rotação (perfis 1 e 2), PD4 anos (perfil 10) PD6 anos sem rotação (perfil 8) distinguiram-se com os maiores teores de potássio acima de  $0,95 \text{ cmol.dm}^{-3}$ . Um grupo de perfis ficou no segundo nível de potássio, também muito alto, de 0,66 a  $0,83 \text{ cmol.dm}^{-3}$ , contemplando PD4 anos sem rotação (perfil 10), PD 11 anos com escarificação e sem rotação (perfil 5), PMSD 9 anos rotação incipiente (perfil 11) e PD 6 anos sem rotação (perfil 7). Um terceiro nível entre 0,20 a  $0,40 \text{ cmol.dm}^{-3}$  era constituído pelo PD 11 anos com escarificação e sem rotação (perfil 6) e PD 9 anos com rotação (perfis 3 e 4).

De 5 a 10 cm o teor médio de potássio era de  $0,45 \text{ cmol.dm}^{-3}$  predominando valores médios a altos, entre 0,30 e  $0,60 \text{ cmol.dm}^{-3}$ . Nessa profundidade, pelo teste Scott e Knott a 10%, o PMSD 9 anos com rotação incipiente (perfil 12), PD4 anos sem rotação (perfil 9), PD 12 anos com rotação (perfis 1 e 2), PD4 anos sem rotação (perfil 10) e PD6 anos sem rotação (perfil 8) distinguiram-se com altos teores de potássio, acima de 0,47 a  $0,69 \text{ cmol.dm}^{-3}$ . Um grupo de perfis ficou no segundo nível de potássio, de 0,41 a  $0,33 \text{ cmol.dm}^{-3}$  que foram PD 6 anos sem rotação (perfil 7), PMSD 9 anos rotação incipiente (perfil 11) e PD 11 anos com escarificação e sem rotação (perfil 5). Um terceiro nível entre 0,25 a  $0,19 \text{ cmol.dm}^{-3}$  dos PD 11 anos com escarificação e sem rotação (perfil 6) e PD 9 anos com rotação (perfil 3) e (4).

De 10 a 20 cm, o teor médio de potássio foi de  $0,26 \text{ cmol.dm}^{-3}$  e predomínio de valores médios de 0,11 a  $0,49 \text{ cmol.dm}^{-3}$  nessa profundidade pelo teste Scott e Knott a 10%, destacou-se o PD 12 anos com rotação (perfil 1), PD4 anos sem rotação (perfil 9) PMSD 9 anos com rotação incipiente (perfil 12), PD12 anos com rotação (2), PD 9 anos com rotação (perfil 4) distinguiram-se com o

maiores teores de potássio 0,32 a 0,49  $\text{cmol.dm}^{-3}$ . Um grupo de perfis ficou no segundo nível de teores médios de potássio de 0,11 a 0,24  $\text{cmol.dm}^{-3}$  que foram PD4 anos sem rotação (perfil 10), PD 11 anos com escarificação e sem rotação (perfil 5), PMSD 9 anos rotação incipiente (perfil 11), PD 6 anos sem rotação (perfil 7) , PD 9 anos com rotação (perfil 3) e PD 11 anos com escarificação e sem rotação (perfil 6).

Também para o potássio houve um processo de acumulação superficial tanto em PD como em preparo mínimo, entretanto com menor gradiente que para o fósforo, já que até os 20 cm todos os perfis dispunham de teores médios a altos. Essa concentração superficial está de acordo com Muzilli (1983), Eltz, Peixoto e Jaster (1989), Klepker e Anghinoni (1995), Falleiro et al. (2003), Portella et al. (2005) e Oliveira, Diehl e Gonçalves (2007). Adicionalmente Rosolem (2006) evidenciou o efeito da cobertura de palha no solo como fonte de potássio e também na diminuição de sua lixiviação. Na reciclagem do potássio em PD reside uma importante oportunidade de racionalizar as adubações na produção de grãos.

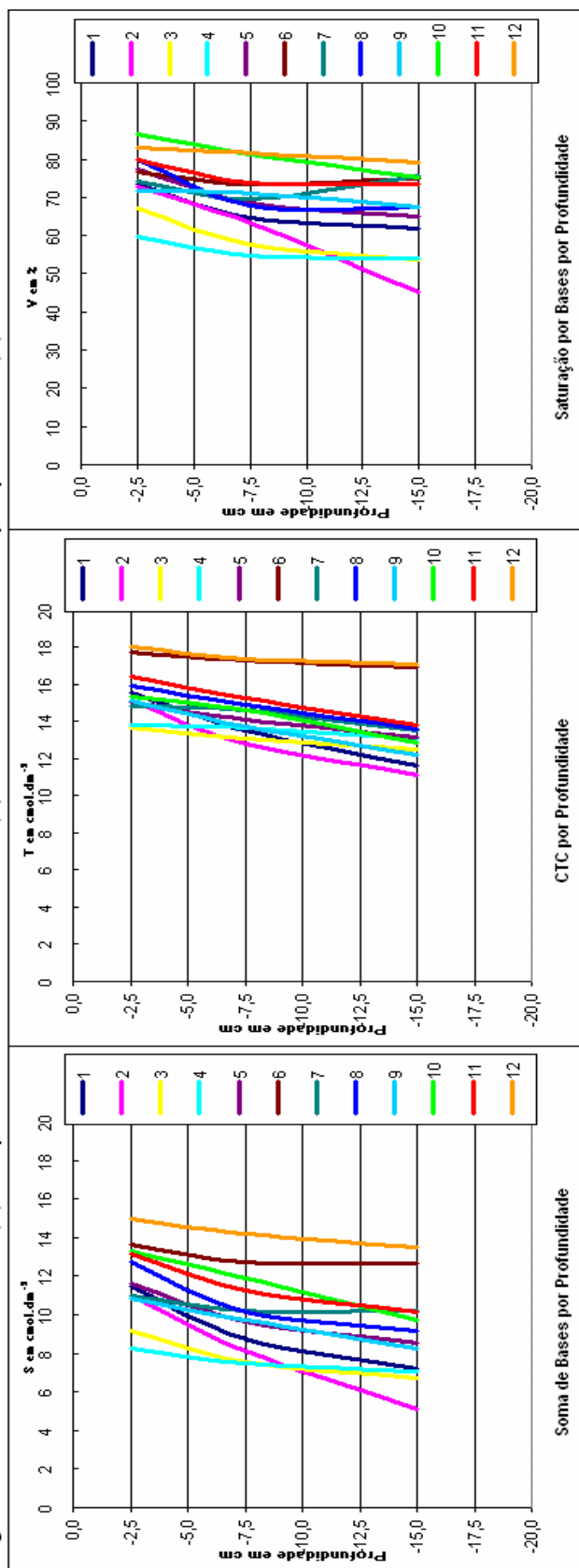
Na Figura 6.2. são apresentados conjuntamente pH, H+Al, Ca e Mg que são indicadores relacionados das características de acidez e com a saturação por bases. De acordo com Oliveira et al. (1994) valores médios e altos para pH são 5,1 a 5,5 e de 5,6 a 6,0, para H+Al de 3,0 a 4,5 e mais de 4,5  $\text{cmol.dm}^{-3}$  , para Ca de 2,1 a 4,0 e mais de 4,0  $\text{cmol.dm}^{-3}$  e para Mg de 0,5 a 0,8 e mais de 0,8  $\text{cmol.dm}^{-3}$ .

Nos estabelecimentos estudados o pH médio foi 5,8, 5,5 e 5,4, a soma H+Al média foi 3,8, 4,5 e 4,5  $\text{cmol.dm}^{-3}$ , o Ca médio foi 7,8, 7,1 e 6,5  $\text{cmol.dm}^{-3}$  e o Mg médio foi 3,2, 2,6 e 2,3  $\text{cmol.dm}^{-3}$ , nas três profundidades de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente (Anexo 4).

Por força do posicionamento geográfico com relação à altitude e ao grau de intemperismo dos solos, os perfis 1, 2, 3 e 4, que representam o PD de longo prazo com rotação de culturas, são os que apresentam menores pHs, maiores teores de H+Al e menores teores de Ca. Isso nada tem a ver com o efeito do manejo e sim com as características dos solos. Os perfis 1 e 2 são os que apresentam maior efeito de calagem na alteração desses atributos químicos, juntamente com os perfis 3, 4, 8 e 10 em menor escala. Os perfis 12 e 10 apresentam as condições de acidez menos restritivas e os perfis 12 e 6 apresentam os maiores conteúdos de Ca e Mg.

Na Figura 6.3. são apresentados os dados de soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (T) e saturação de bases (V%). A S média foi de 11,8,

**Figura 6.3 - Soma de bases (S) e capacidade de troca catiônica (T) em  $\text{cmol.dm}^{-3}$  e saturação por bases (V) em %**



10,2 e 9,0  $\text{cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$ , a T média foi de 15,6, 14,6 e 13,5  $\text{cmol}\cdot\text{dm}^{-3}$  e a V% média foi de 75,2, 69,0 e 66,1 % (Anexo 4). Pela bibliografia valores médios e altos de V% são de 51 a 70 e de 71 a 90% (Oliveira et al, 1994). Os perfis 1, 2, 3 e 4 são aqueles de menor fertilidade natural com menores valores de S, T e V%. Os perfis 1 e 2 foram aqueles com maior crescimento da CTC dependente de pH caracterizando correção de acidez através de calagem em superfície (Oliveira e Pavan, 1996; Pavan, 1997). Os perfis 12 e 6 apresentam as maiores fertilidades em termos de S e T, mas os perfis 12 e 10 apresentaram as maiores saturações por bases.

Após analisados esses atributos químicos, observa-se que de forma geral não há limitação de fertilidade em nenhum dos perfis até os 20 cm de profundidade. Isso, no entanto, nos remete a uma discussão com base nos dados da Tabela 6.1 deste artigo. Dos seis estabelecimentos estudados, três obtinham rentabilidades mais altas e três mais baixas. As margens brutas estão, nesses casos de produção mecanizada de grãos, intimamente ligadas às produtividades obtidas e aos custos de produção.

Como pode ser observado naquela tabela, as três maiores margens brutas médias de 6 anos correspondem a três diferentes estratégias: PD de 12 anos com rotação de culturas (perfis 1 e 2) com R\$ 1911/ ha.ano, PD de 11 anos com escarificação de 4 em 4 anos sem rotação de culturas (perfis 5 e 6) com R\$ 2200/ ha.ano e Preparo Mínimo com Semeadura Direta de 9 anos com rotação de culturas incipiente (perfis 11 e 12) com R\$ 1675/ ha.ano.

Os custos variáveis, todos na faixa superior da análise de variância, foram de R\$ 1246, 1418 e 1562/ ha.ano respectivamente, este último relativamente mais alto pelos custos do preparo de solo. Tais rentabilidades foram construídas com elevadas produtividades médias (6 anos) de soja de 3398, 3390 e 3099 kg/ha respectivamente. No caso do PD 11 anos com escarificação (perfis 5 e 6) atingiu a maior margem bruta de R\$ 2200/ ha.ano com uma combinação de 3390 kg/ha de soja e 4826 kg/ha de milho safrinha todos os anos, sem realizar rotação de culturas, mas com muita eficiência. No caso do PD 12 anos com rotação de culturas (perfis 1 e 2) os R\$ 1911/ ha.ano foram conseguidos através de 3398 kg/ha de soja, 7116 kg/ha de milho safra, 2403 kg/ha de trigo e 3549 kg/ha de milho safrinha. Já o caso do PSMD de 9 anos com rotação de culturas incipiente (perfis 11 e 12), os R\$ 1675/ ha.ano foram conseguidos com 3099 kg/ha de soja, uma alta produtividade de trigo de 3533 kg/ha e 3815/ha de milho safrinha.

Voltando à fertilidade, pelas análises não há grandes diferenças na química de solo dos primeiros 20 cm dos estabelecimentos com maiores rentabilidades daqueles com menores rentabilidades (Figuras 2 e 3). Os perfis 6 e 12 são os de maior fertilidade natural (T, S, Ca e Mg) e os perfis 1 e 2 indicam ações de correção de acidez para integrar uma situação intermediária.

Ainda pela análise da Tabela 6.1. verifica-se a condição totalmente distinta das três significativamente menores margens brutas: PD 9 anos com rotação de culturas (perfis 3 e 4) com R\$ 1117/ ha.ano, PD 6 anos com semeadeiras alugadas sem rotação de culturas (perfis 7 e 8) com R\$ 785/ ha.ano e o PD 4 anos com semeadeiras alugadas sem rotação de culturas (perfis 9 e 10) com R\$ 918/ ha.ano. Os custos variáveis foram R\$ 813, 1119 e 1259/ ha.ano respectivamente. Estatisticamente os dois primeiros estão numa faixa de menores custos (b) e o terceiro na faixa de maiores custos. O PD 9 anos com rotação de culturas (perfis 3 e 4) desempenha uma típica estratégia de minimização de custos, principalmente em manejo de pragas mas também em adubações mais modestas, que se traduzem em menores produtividades, como 2298 kg/ha de soja, 4893 kg/ha de milho safrinha, 1202 kg/ha de trigo. O PD 6 anos com semeadeiras alugadas sem rotação de culturas (perfis 7 e 8) também tem uma estratégia de minimização de custos, principalmente no milho safrinha, com produtividades de 2624 kg/ha de soja e de 1850 kg/ha no milho safrinha. O PD 4 anos com semeadeiras alugadas sem rotação de culturas (perfis 9 e 10) que está na faixa de custos mais altos, obtém produtividades de 2610 kg/ha para soja e 2171 kg/ha para trigo.

Essa inferioridade de margens brutas não tem explicação pela fertilidade química dos 20 primeiros centímetros de solo dos perfis 3, 4, 7, 8, 9 e 10 (Figuras 6.2. e 6.3.). Alguns indícios de baixo fósforo para os perfis 7 e 8 e de baixo potássio e pouca correção de acidez nos perfis 3 e 4 poderiam estar dando conta de um regime nutricional mais modesto, mas não nos perfis 9 e 10 com teores adequados para todos os atributos. No primeiro caso, dos perfis 3 e 4, existe uma estratégia deliberada de baixo custo e uso de insumos que determinou menores produtividades, já que o estabelecimento conta com maquinário próprio e seus solos são os de melhor condição física e morfológica. Já nos casos dos perfis 7, 8, 9 e 10, a falta de autonomia proveniente da não realização da operação de plantio nos momentos mais propícios e a compactação de operações realizadas com umidade

inadequada parecem determinar mais as baixas produtividades que os fatores de fertilidade química.

Em geral, o regime de adubação e manejo da fertilidade é administrado com excesso de nutrientes, quase que independentemente do sistema de manejo de solo, ou seja, a química de solos recebe cuidados especiais em todos os sistemas de manejo de solo. Existem estratégias de racionalizar custos na adubação, mas que normalmente são exercitadas apenas em anos com perspectivas ruins de rentabilidade.

#### **6.4. Conclusões**

Os solos do tipo Latossolo Vermelho Distroférico argiloso da região têm alta CTC e, por receberem adubações intensas, têm elevadas saturações de bases superficiais. Algumas características são específicas das condições locais, como H+Al, Ca, Mg, S e T, que diferenciaram os perfis 1, 2, 3 e 4 dos demais, independentemente do tipo e tempo de PD. De uma forma geral, não há limitação de fertilidade em nenhum dos perfis até os 20 cm de profundidade.

Houve acúmulo de carbono em superfície pelo uso contínuo do sistema de PD, fenômeno que no longo prazo se amplia em profundidade. Os maiores conteúdos de carbono em superfície foram do PD de longo prazo com rotação de culturas. Os sistemas com preparo mínimo de solo com escarificação anual ou eventual podem manter ou acumular carbono, mas o revolvimento limita esse efeito.

A concentração superficial de P e K foi verificada de forma geral em PD e também no preparo mínimo anual ou eventual. De 10 a 20 cm foram encontrados teores de médios e altos de P e K adequados ao desenvolvimento radicular. O sistema radicular das gramíneas, principalmente o milho no verão, é essencial para proporcionar reciclagem de nutrientes dentro da rotação de culturas.

Exceto com relação à acumulação de carbono, com os dados disponíveis não foi evidente o efeito dos diferentes tipos de PD sobre a fertilidade química do solo, em virtude das diferentes situações locais e estratégias de manejo de nutrientes.

## 7 CONCLUSÕES GERAIS

O sistema familiar de produção mecanizada de grãos em plantio direto no norte do Paraná é sustentável com relação aos indicadores de rentabilidade, de morfologia, de física e de química de solo, principalmente quando o sistema é integralmente adotado com o uso de rotação de culturas.

A rotação de culturas é realizada apenas por uma parte dos produtores. É feita com um número restrito de espécies comerciais sem incluir adubos verdes e plantas de cobertura e está associada às maiores rentabilidades. A cobertura do solo é mantida pela palha remanescente das culturas de milho, trigo e aveia. As gramíneas atuam de forma eficaz na reciclagem dos nutrientes da superfície e na formação de agregados, cuja ação dos sistemas radiculares tem importante influência na estruturação adequada do solo e na consolidação do PD.

Foi possível identificar uma estratégia de PD de longo prazo com rotação de culturas, com minimização de custos pela menor utilização de insumos, através de manejo de pragas e doenças, práticas de controle biológico e racionalização de adubações. Foi a situação com melhores estruturas e características físicas de todos os perfis. Aparentemente esse manejo criou um ambiente mais propício ao desenvolvimento radicular, à atividade biológica em geral e foi o sistema com maior conteúdo de carbono em profundidade.

Produtores especializados em grãos obtêm as melhores margens brutas, mas produtores diversificados podem auferir resultados semelhantes, desde que possuam plantadeiras e semeadeiras próprias ou serviços terceirizados de boa qualidade e pontualidade. Às piores margens brutas e produtividades está associado o uso de semeadeiras e plantadeiras alugadas, onde o PD não superou o preparo convencional de referência.

O PD consolidado de longo prazo com rotação de culturas, mostrou-se sustentável em relação aos aspectos de morfologia de solos, sem ocorrência de compactação, tendendo a ampliar, através da atividade biológica, os volumes fragmentados no perfil. O uso contínuo do sistema de plantio direto permitiu acúmulo de carbono em superfície, principalmente com rotação de culturas. Os sistemas com preparo mínimo de solo com escarificação anual ou eventual podem manter ou acumular carbono, mas o revolvimento limita esse efeito.

O plantio direto de longo prazo com escarificação eventual apresentou boas condições de livre pela prática da escarificação, mas apresentou adensamento mais rápido e mais extenso em relação ao plantio direto de longo prazo sem nenhum revolvimento.

O sistema de preparo mínimo de solo foi o que apresentou as maiores densidades e valores de resistência à penetração superficiais, aproximando-se de valores críticos para a sustentabilidade.

A compactação, principalmente nas áreas sob ação do rodado, pode ser uma ameaça à sustentabilidade do sistema, ainda mais quando os produtores dependem de semeadeiras e colhedoras alugadas, com menos autonomia para decidir os momentos ótimos para realização das operações. Os primeiros anos do plantio direto são os mais críticos quando o sistema pode evoluir para a consolidação ou desvirtuar-se em compactação.

Nesse particular devem ser estimuladas políticas públicas de compra e acesso às semeadeiras por pequenos grupos de agricultores familiares, para remover os problemas de autonomia que provocam menores rentabilidades. Um aperfeiçoamento nos contratos de prestação de serviços de plantio com cláusulas de pontualidade e qualidade seria desejável para a melhoria da qualidade dos serviços prestados, já que a terceirização dessas operações é uma lógica na condução de pequenas áreas de lavoura.

Outras pesquisas devem ser conduzidas para dotar os produtores de mais alternativas viáveis de rotação de culturas assim como promover estudos sobre atitudes de minimização de riscos no contexto do PD.

Os aspectos biológicos devem ser mais bem estudados, pois têm significado fundamental na explicação de muitos processos, tendo sido a principal lacuna do presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABRÃO, P.U.R.; GOEPFERT, C.F.; GUERRA, M.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **R. Bras. Ci. Solo**, 3: 169-172, 1979.
- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 28: 519-531, 2004.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Ci. Rural**, 24: 275-280, 1994.
- ALFSEN, K.H.; DE FRANCO, M.A.; GLOMSROD, S; JOHNSEN, T. The cost of soil erosion in Nicaragua. **Ecol. Econ.**, 16:129-145, 1996.
- ALLMARAS, R.R.; BLACK, A.L.; RICKMAN, R.W. Tillage, soil environment and root growth. In **Procedures**. The Nation Conservation Tillage Conference. Des Moines, p.28-30. 1973.
- ALVEAR, M.; ROSAS, A.; ROUANET, J. L.; BORIE, F. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in na Ultisol from southern Chile. **Soil & Till. Res.**, 82:195-202, 2005.
- ALVIM, M. I. S. A.; VALLE, S. M. L. R.; LIMA, E.; SILVA, O. M. Análise da competitividade da produção de soja nos sistemas de plantio direto e plantio convencional na região do Cerrado Brasileiro. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**. 42(2):223-242, 2004
- ALVIM, M. I. S. A.; OLIVEIRA JUNIOR, L. B. Análise da competitividade da produção de soja no sistemas de plantio direto no Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**. 43(3):505-528, 2005
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUCK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 23:679-686, 1999.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no sistema plantio direto e a conseqüente melhoria da qualidade ambiental. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:189-197, 2001..

ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A.; GILLER, K. E. The Soil Microbial Community and Soil Tillage. In: El Titi, A. (org.) **Soil Tillage Agroecosystems**, CRC Press, 2003, p 51-81.

ARAUJO, A. G.; CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R. Tipificação e diagnóstico de sistemas de produção familiares. **Relatório de Atividade**, Área de Engenharia Agrícola, IAPAR. Londrina (PR), Brasil. 13p. 2001.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata. et al., **R. Bras. Ci. Solo**, 28: 337-345, 2004.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; INOUE, T.T.; COSTA, A.C.S. Efeitos de uma escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **R. Bras. Ci. Solo**, 28: 495-504, 2004.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Standards**. ASAE, St. Joseph, MI, USA, 32nd ed. (S313.2).1986.

AZOOZ, R.H., ARSHAD, M.A., FRANZLÜEBBERS, A.J., Pore size distribution and hydraulic conductivity affected by tillage in northwestern Canada. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 60: 1197–1201, 1996.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). MCR – Manual de Crédito Rural. Brasília: Ideal, 2004.

BANZATO, A.B.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 247p, 1989.

BAYER, C. 1996. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 240p. Tese de Doutorado.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, 21: 105-112, 1997.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; SAAB, S. C. Diminuição da humificação da matéria orgânica de um Cambissolo Húmico em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:537-544, 2003.

BEARE, M. H.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:777-786, 1994.

BELTRAME, L.F.S.; GONDIM, L.A.P.; TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 5: 145-149, 1981.

BENITES, J.; DUDAL R.; KOOHAFKAN, P. Land, the platform for local food security and global environmental protection. In: FAO. Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean. **Proceedings** of the IFAD/FAO Expert Consultation. Rome 15 April 1999. p. 37-42.

BENITES, J. Conservation agriculture benefits on water holding, Carbon mitigation and reducing soil losses. II WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, Foz do Iguaçu (PR), Brazil. **Proceedings**. Foz do Iguaçu (PR), Brazil: FEBRAPDP/CAAPAS, p.16-18, 2003.

BERDEGUÉ, J. A. Farming Systems Research and Extension in Latin America. In: Collinson, M. (org.) **A History of Farming Systems Research**. FAO and CABI Publishing, p. 261-266, 2000.

BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; SIQUEIRA NETO, M.; METAY, A.; PERRIN, A.; SCOPEL, E.; RAZAFIMBELO, T.; BLAVET, D.; PICCOLO, M. C.; PAVEI, M.; MILNE, E., Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**, 26, 8 p., 2006.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28: 155-163, 2004

BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN; AMARAL, A. J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:133-142, 2007.

BOLLIGER A.; MAGRID, J., AMADO T. J. C.; SKÓRA NETO, F.; RIBEIRO M. F. S.; CALEGARI A., DE NEERGARD, A. Taking stock of the brazilian “zero-till revolution”: a review of landmark research and farmers’ practice. **Advances in Agronomy**. Volume 91, p. 47-110, 2006.

BORGES, G. O. **Nonô Pereira: 25 anos plantando na palha**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 170p., 2003

BORGES, A.L.; KIEHL, J.; SOUZA, L.S. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um Latossolo Amarelo álico após cultivo com fruteiras perenes e mandioca, **R. Bras. Ci. Solo**, 23: 1019-1025, 1999.

BOT, A.J.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; BENITES, J. 2001. Conservation agriculture as a tool to reduce emission of greenhouse gasses: A case from southern Brazil. In: Garcia-Torres, L.; Benites, J.; Martínez-Vilela, A. (eds.) Conservation Agriculture - A Worldwide Challenge

CALEGARI, A.; FERRO, M.; GRZESIUK, F.; JACINTO JR., L. **Plantio direto e rotação de culturas. Experiência em Latossolo Roxo**. IAPAR/COCAMAR/ZENECA, Fazenda Sto. Antonio, Floresta (PR), 1985-1992 (Relatório mimeografado).

CALEGARI, A.; DAROLT, M.; FERRO, M. Towards sustainable agriculture with a no-tillage system. **Adv. Geo. Ecol.**, 31:1205-1209, 1998.

CALEGARI, A. 2006. **Seqüestro de carbono, atributos físicos e químicos em diferentes sistemas de manejo em um latossolo argiloso do sul do Brasil**. Londrina, Universidade Estadual de Londrina, 190p. Tese de Doutorado.

CALZAVARA, O. **Processos Emergenciais de Sustentabilidade na Dinâmica Agrária do Norte do Paraná**. 2003. 125p. Tese (Doutorado em Agronomia) Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina. Londrina (PR), Brasil.

CAMINO, R.; MÜLLER, S. **Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores**. San José: IICA, 1993. 134p. (Série Documentos de Programas IICA, 38).

CAMPANHOLA, C. ; LUIZ, A. J. B. ; LUCHIARI JUNIOR, A. . O problema ambiental no Brasil: agricultura. In: Ademair Ribeiro Romeiro; Bastiaan Philip Reydon; Maria Lucia Azevedo Leonardi. (Org.). **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais**. 1 ed. Campinas: UNICAMP.IE, 1997, v. 1, p. 265-281.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, 19: 121-126, 1995.

CANARACHE, A. PENETR – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Till. Res.**, 16:51-70, 1990.

CARNEIRO, S. L. 2005. **Estudo prospectivo da implantação da reserva legal em propriedades rurais familiares representativas de sistemas de produção de grãos na região de Londrina, estado do Paraná**. 142p. Dissertação (Mestrado em Administração/Concentração em Gestão de Negócios). Universidade Estadual de Londrina. Londrina (PR), Brasil.

CARVALHO, A.; SOARES JÚNIOR, D.; LIRA, M. P.; FIGUEIREDO, R.; FUENTES LLANILLO, R.; CARNEIRO, S. L. **Sistemas de Produção Familiares do Norte do Paraná** . 1ª Edição. Londrina (PR), Brasil: IAPAR/EMATER, 56p, 2001.

CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Livro. IAPAR: Londrina (PR); ITAIPU Binacional: Foz do Iguaçu (PR), Brasil. 200 p., 2006.

CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (Zea mays L.)**. 1995. 174 p. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Piracicaba, ESALQ-USP.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, 22: 527-538, 1998.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil & Till. Res.**, 65:45-51, 2002.

CGIAR – CONSULTATIVE GROUP FOR INTERNATIONAL AGRICULTURE RESEARCH CENTERS-. **Sustainable agricultural production: implications for agricultural research**. Rome. FAO, 1989.

CHAPMAN, V. J.; COX, H. W.; CHUDLEIGH, F. C. Integrating crop modeling and economic analysis in a farming systems project: Overcoming the challenges in central Queensland. **Proceedings** of FIRST AUSTRALIAN FARMING SYSTEMS CONFERENCE. Toowoomba, Queensland, 2003.

CONWAY, G. R., Sustainability in Agricultural Development: Trade-Offs Between Productivity, Stability, and Equitability. **Journal for Farming Systems Research-Extension**, 4(2): p.1-14, 1994.

COLE, C.V. Intergovernmental Panel on Climate Change. 1995. **Agricultural Options for mitigation of greenhouse gas emissions**. IPCC Workgroup II Chapter 23, Washington D.C., 1996.

CORRECHEL, V.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Resistência de um Latossolo Roxo em dois sistemas de preparo do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26. **Anais** Rio de Janeiro. p.20, 1997.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e na macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesq. Agropec. Bras.** , 34(2): 289-298, fev. 1999.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 527-535, 2003.

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 1105-1112, 2003.

DALAL, R. C. Long-term effects of no-tillage, crop residue, and nitrogen application properties on vertisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 53:1511-1515, 1989.

DAROLT, M. **Plantio Direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: IAPAR, 255p. 1998.

DAROLT, M. 2000. **As Dimensões da Sustentabilidade: Um estudo da Agricultura Orgânica na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), Brasil.

DERPSCH, R.; ROTH, C.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle de erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo.** Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 272p. 1991.

DERPSCH, R. Historical review of zero tillage cultivation on crops. In: Conservation tillage for Sustainable Agriculture. **Proceedings** of the International Workshop, Harare, Zimbabwe, 22-27 June, 1998. Annexes III: Background Papers (International) (J. Benites, E. Chuma, R. Fowler, J. Kienzle, K. Molapong, I. Manu, K. Nyagumbo, K. Steiner and R. van Veenhuizen, Eds.), p.205-218. GTZ, Eschborn, 1998.

DERPSCH, R The extent of Conservation Agriculture adoption worldwide: Implications and Impact. III WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, Nairobi, 3 – 7 October 2005. **Proceedings on CD.** Nairobi, Kenya, 2005.

DIXON, J. Economic Aspects of Conservation Agriculture: a global review of the profitability, risks and dynamics from the farmers' perspective, II WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, Foz do Iguaçu (PR), Brazil. **Proceedings.** Foz do Iguaçu (PR), Brazil: FEBRAPDP/CAAPAS, p.3-15, 2003.

DICK, W. A. Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentration and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47:102-107, 1983.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma.** São Paulo: Livros da Terra Editora, 178p, 1996.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo de solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **R. Bras. Ci. Solo** 13: 259-267, 1989.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos.** EMBRAPA, Centro Nacional de Ciência do Solo. Rio de Janeiro, Brasil. 2ª ed., 212p, 1997.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília (DF): Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro (RJ), Brasil: Embrapa Solos, 412p, 1999.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 1097-1104, 2003.

FAO- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. **Agricultura de Conservación: Estudio de casos en América Latina y África**, Boletín de Suelos de la FAO, Roma, Italia, n.78. p.4, 2002.

FEBRAPDP - FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. Área de Plantio Direto no Brasil. (on-line) <http://www.febrapdp.org.br> Citado em 24/maio/2007.

FERNANDES, B.; GALLOWAY, H. M.; BRONSON, R. D. Efeito de três sistemas de preparo de solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição dos poros em dois solos. **R. Bras. Ci. Solo**, 7: 329-333, 1983.

FERRERA, D.F. Análises estatísticas por meio do sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais**. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, p.255-258, 2000.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesq. Agropec. Bras.** , 38(8): 947-953, 2003

FRANZLÜEBBERS, A. J.; HONS, F. M. Soil profile distribution of primary and secondary plant-available nutrients under conventional and no-tillage. **Soil & Till. Res.** 39:229-239, 1996.

FREITAS, P.L.; CASTRO, A.F. Estimativas das perdas de solo e nutrientes por erosão no Estado do Paraná. **B. Inf. SBCS**, 8:43-52, 1983

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E. ; LARRÉ-LARROUY, M-C. ; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. agropec. bras.**, 35: 157-170, 2000.

FREGONESI, G. A. F.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C. Modificações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:1017-1027, 2001.

FUENTES LLANILLO, R.; MACHADO, M. L. S.; FERNANDES, F. F. Desenvolvimento rural e sustentabilidade: um estudo de caso na microbacia hidrográfica Água Grande e Córrego do Pensamento, Mamborê, Paraná, Brasil. Paraná: IAPAR, 1993. 40p. **Documento**. Taller Regional sobre Sostenibilidad – IICA Area Sur, agosto 1993, Londrina.

FUENTES LLANILLO, R.; DEL GROSSI, M. E.; SANTOS, F. O.; MUNHOS, P. D.; GUIMARÃES, M. F. Regionalização da agricultura do estado do Paraná. **Ciência Rural**, 36(1):121-127, 2006a.

FUENTES LLANILLO, R.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, abr./jun. 2006b.

FUENTES LLANILLO, R.; SOARES JÚNIOR, D.; CARNEIRO, S. L.; GUIMARÃES, M. F. Aspectos socioeconômicos do sistema de plantio direto. In: 10º ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Resumos**. Uberaba (MG), Brasil: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, p.30-33, 2006c.

GANG, L.U.; SAKAGAMI, K.; TANAKA, H.; HAMADA, R. Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soils under different types of land use. **Soil Sci. Plant Nutr.**, 44: 147-155, 1998.

GAREAU, S. E. Analysis of plant nutrient management strategies: Conventional and alternative approaches. **Agriculture and Human Values**, 21: p. 347-353, 2004.

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

GENRO JUNIOR, S.A. **Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturas no sistema plantio direto**. 2002. 90p. (Tese de mestrado) Santa Maria, Universidade Estadual de Santa Maria.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, 28: 477-484, 2004.

HARRINGTON, L.; JONES, P.; WINOGRAD, M. Operacionalización del concepto de sostenibilidad: un método basado en la productividad total. ENCUENTRO INTERNACIONAL DE RIMISP, 6., (1994: Campinas). **Anais...** Campinas: ECOFORÇA. 1994. 30 p.

HENIN, S.; FEODOROFF, A.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Le profil cultural: Principes de physique du sol**. Paris, Masson, 320 p., 1960.

HOBBS, P. R. Conservation Agriculture: what is it and why is it important for future sustainable food production? **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.145, pp.127-137, 2007.

IMHOFF, S.C. 2002. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 104p., Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). ESALQ/USP, Piracicaba (SP), Brasil.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R. L.; FRYE, W. W. Long term no-tillage effects on soil properties and continuous crop yield **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:193-198, 1994.

IUCN (INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES); UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME); WWF (WORLD WILDLIFE FUND). World conservation strategy living resource conservation for sustainable development. Gland, Switzerland and Nairobi, Kenya: IUCN, UNEP, WWF, 1980

JUO, A. S. R.; DABIRI, A.; FRANZLÜEBBERS, K. Acidification of a kaolinitic alfisol under continuous cropping with nitrogen fertilization in west Africa. **Plant and Soil**, 171:245-253

KAY, B.D.; VANDENBYGAART, A.J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil & Till. Res.** 66: 107-118, 2002.

KIDD, C.V. The evolution of sustainability. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, 5(1):1-26, 1992.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **R. Bras. Ci. Solo**, 19:395-401, 1995.

KOOLEN, A. J.; KUIPERS, H. **Agricultural soil mechanics**. Germany, Springer-Verlag, 242 p., 1983.

LAL, R., MAHUOBI, A.A., FAUSEY, P. G. Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 58: 517–522, 1994.

LAL, R.; KIMBEL, J. M.; FOLLET, R. F.; COLE, C. V. **The potential of U.S. Cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect**. Ann Arbor Press, MI, 1988.

LAL, R. Global carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use. In: FAO. Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean. **Proceedings** of the IFAD/FAO Expert Consultation. Rome 15. p. 45-52, April 1999.

LANDERS, J. N. O plantio direto na agricultura: o caso do Cerrado. In: LOPES, I. V.; BASTOS FILHO, G. S.; BILLER, D.; BALE, M. (orgs.). **Gestão Ambiental no Brasil**. Rio de Janeiro, p.4-24, 1996.

LANDERS, J. Zero tillage development in tropical Brazil. In: Conservation tillage for Sustainable Agriculture. **Proceedings** of the International Workshop, Harare, Zimbabwe, 22-27 June, 1998. Annexes III: Background Papers (International) (J. Benites, E. Chuma, R. Fowler, J. Kienzle, K. Molapong, I. Manu, K. Nyagumbo, K. Steiner and R. van Veenhuizen, Eds.), p.205-218. GTZ, Eschborn, 1998.

LANDERS, J. N. How and Why the Brazilian Zero-Tillage explosion occurred. In: Sustaining the Global Farm. **Selected papers** 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA Soil Erosion Laboratory, p.29-39, 2001.

LAURENTI, A. C.; FUENTES LLANILLO, R.. Avaliação de custos, rentabilidade e risco in: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio Direto no Estado do Paraná**. Londrina (PR), Brasil: IAPAR, 1981. (Circular n 23), p.215-237.

LEAL, A. J. F.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M. A. A.; SÁ, M. E.; GOMES JÚNIOR. Viabilidade econômica da rotação de culturas e adubos verdes antecedendo o cultivo de milho em sistema de plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.3, p.298-307, 2005.

LU, Y. C.; WATKINS, K. B.; TEASDALE, J. R.; ABDUL-BAKI, A. A. Cover crops in sustainable food production. **Food Reviews International**, 16(2):121-157, 2000.

MANICHON, H. **Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morfologique**. Tese de doutorado. INAPG, Paris, 214p. , 1982.

McGARRY, D. Soil Compaction in Long-Term No-Tillage. II WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, Foz do Iguçu (PR), Brazil. **Proceedings**. Foz do Iguçu (PR), Brazil: FEBRAPDP/CAAPAS, p.87-90, 2003.

MACHADO, P. L. O. A.; GERBAZEK, M. H. Tillage and crop rotation interactions on humic substances of a Typic Haplortox from southern Brazil. **Soil & Till. Res.**, 26:227-236, 1993.

MACHADO, P. L. O. A.; SOHI, S. P.; GAUNT, J. L. Effect of no-tillage on turnover of organic matter in a Rhodic Ferralsol. **Soil Use and Management**. 19:250-256, 2003.

MAHBOUBI, A.A.; LAL, R. ; FAUSSEY, N.R. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 57:506-512, 1993.

MANUAL OPERATIVO DO PROJETO PARANÁ 12 MESES. Governo do Estado do Paraná. Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral/ Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Curitiba, 232p. 1999.

MARCATTO, C. Agricultura Sustentável: conceitos e princípios. 14p., 2000  
Acessado no dia 14/09/2006 [www.redeambiente.org.br/Artigos.asp?id\\_dir=6](http://www.redeambiente.org.br/Artigos.asp?id_dir=6)

MARQUES, J. F. Custos da erosão do solo em razão dos efeitos internos e externos à área de produção agrícola. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 36(1): 57-83, 1998.

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RAMOS, M.C. The cost of soil erosion in vineyard fields of the Penedès – Anoia Region (NE Spain). EUROSOIL, 2004, Freiburg. **Abstracts**. Freiburg, CD-ROOM , 2004.

MATERECHERA, S.A.; MKHABELA, T.S. Influence of land-use of a ferralitic soil under low external input farming in southeastern Swaziland. **Soil & Till. Res**, 62: 15-25, 2001.

MEDEIROS, G. B.; CALEGARI, A. Rotação de culturas. In: CASÃO JÚNIOR, R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y. R.; PASSINI, J. J. **Sistema plantio direto com qualidade**. Livro. IAPAR: Londrina (PR); ITAIPU Binacional: Foz do Iguaçu (PR), Brasil. Cap.9, p. 135-142, 2006.

MOREIRA, R. J. Agricultura familiar e sustentabilidade: valorização e desvalorização econômica e cultural das técnicas. Rio de Janeiro: CPDA/UFRJ. **Estudos Sociedade e Agricultura**, n. 8, abr. 1997.

<http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/brasil/cpda/estudos/oito/moreira8.htm>  
acessado em 30 de outubro de 2007

MÜLLER, S. Como medir la sostenibilidad: una propuesta para el area de la agricultura y los recursos naturales. **Serie Documentos de discusión sobre agricultura sostenible y recursos naturales**. San José, Costa Rica: IICA-GTZ, 56 p., 1996.

MUZILLI, O. Influência do plantio direto comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.7, p.95-102, 1983.

MUZILLI, O. A fertilidade do solo no contexto da agricultura sustentável. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 12., Águas de Lindóia (SP), 1996. **Anais...** Comissão de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, 1996.

MUZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema plantio direto: A experiência do estado do Paraná. POTAFOS: Piracicaba (SP). **Informações Agronômicas**, n.100, p.6-10, 2002.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the Cropping Profile Method in clayey Oxisols in Brazil. **Soil & Till. Res.**, 71:109-119, 2003.

NJIKAMP, P.; SOETEMAN, F.J.; VAN DEN BERGH, J.C.J.M. Regional sustainable development and natural resource use. World Bank Annual Conference on Development Economics. **Proceedings**. Washington, USA: World Bank, 1991.

OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). **Environmental Indicators for Agriculture**. Paris, France: OECD, 1997, 62 p.

OLIVEIRA, E.L.; COSTA, A.; PARRA, M. S.; CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M.A. Recomendações de adubação e calagem para as principais culturas do Estado do Paraná. In: PARANARURAL, Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Manual Técnico do Subprograma de Manejo e Conservação de Solos**. Curitiba, 2<sup>a</sup> edição: p.85-104, 1994.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Till. Res.**, 38:47-57, 1996.

OLIVEIRA, E. L.; DIEHL, R. C.; GONÇALVES, P. B. Alterações químicas em um latossolo após vinte anos de cultivo com diferentes sistemas de plantio e sucessão de culturas. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais**. 2007.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, 38(2): 291-299, 2003.

PARRA, M. S. 1986. **Dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes num Latossolo Roxo distrófico submetido aos sistemas de plantio direto e convencional em diferentes sucessões de culturas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa - UFV. 94p. Dissertação de Mestrado.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the state of Paraná, Brazil. **Turrialba**, v.35, p.131-139, 1985.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKY, H.C.; ZEMPULSKY, F.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C.V. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992 (IAPAR, Circular Técnica 76, 39p.).

PAVAN, M.A. Ciclagem de nutrientes e mobilidade de íons no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Setembro /Outubro 1997. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora Ltda., 1997.

PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH R.; FONSECA, I. C. B. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Rev. Bras. Eng<sup>a</sup> Agrícola e Ambiental**. 32:115-125, 2007.

PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; McNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R. & BLAIR, R. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Sci.**, 267:1.117-1.123, 1995.

PORTELLA, C.M.R.; GUIMARÃES, M.F.; FELLER, C.; BRITO, O. R. Avaliação das propriedades químicas de um latossolo vermelho distroférico submetido a diferentes sistemas de manejo, 2005 (dados não publicados).

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, p.1273-1279. 1994.

RALISCH, R. **Efeito de três sistemas de manejo no estado estrutural de um Latossolo Roxo**. 1995. 65p. (Tese de mestrado) Botucatu, UNESP.

RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C. Utilisation du profil cultural pour l'étude de la compactation des sols ferralitiques de l'État du Paraná (Brésil). In : **Réunion du Groupe Thématique 'Structure et Fertilité des Sols Tropicaux'**, v. 2, ORSTOM, Montpellier, France, pp.57-72, 1995.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p.29-48, jul/dez 2003.

REICOSKY, D. Conservation Agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. In: Garcia-Torres, L.; Benites, J.; Martínez-Vilela, A. (eds.) **Conservation Agriculture - A Worldwide Challenge**. p.3-12, 2001.

REINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações de atributos químicos de solo arenoso sob sistema de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:713-721, 1998.

RIBEIRO, M. F. S.; BENASSI, D. A.; TRIOMPHE, B.; HUBER, H. Incorporation of Zero tillage principles into family farmers' practices at Irati region, South Brazil. **Paper** presented at the III WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, Nairobi, October 3-7, 2005.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J. Models for the estimation of the physical quality of a Yellow Red Latosol (Oxisol) under pasture. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 47(1): 25-31, 2004.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FUENTES LLANILLO, R.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul./set. 2005.

RIMISP (Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción). **Evaluación de la sustentabilidad ambiental de los sistemas agrícolas en el Cono Sur de América Latina**. Santiago: Comisión Europea/Rimisp. 10 p. 1996. (Mimeo).

RODRIGUES, W. Avaliação econômica dos impactos econômicos da produção agrícola nos Cerrados brasileiros. XXXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL. **Anais**. 1999.

RODRIGUES, W. Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em região de Cerrados. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**. 43(1):135-153, 2005

ROLIM, G.S., SENTELHAS, P. C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria (RS), Brasil, v. 6, n.1, p.133-137, 1998.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 911-923, 2003.

ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:813-819, 2006.

ROTH, C; VIEIRA, M. J.; DERPSCH, R.; MEYER, B.; FREDE H-G. Infiltrability of an oxisol in Paraná, Brazil as influenced by different crop rotations. **Journal of Agronomy and Crop Science** 159, 186-191, 1987.

SÁ, J.C.M. 2001. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo convencional e plantio direto**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 141p. Tese de Doutorado.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic Matter Dynamics and Carbon Sequestration Rates for a Tillage Chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Sci. Am. J.** 65:1486-1499, 2001.

SALDANHA, A. N. K. **Análise da evolução e dos determinantes da margem bruta de estabelecimentos agropecuários familiares, localizados no norte do estado do Paraná, no período 1998/99 a 2002/03.** 2005. 192p. Dissertação (Mestrado em Administração/Concentração em Gestão de Negócios). Universidade Estadual de Londrina, Londrina (PR), Brasil.

SAMAHA, M.; GUERREIRO, E.; SANTOS FILHO, J. I. A economia do plantio direto. In: DAROLT, M. (org.) **Plantio Direto: pequena propriedade sustentável.** Londrina: IAPAR, p.191-221, 1998

SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; SERRANO, A.; HERNANZ, J. L.; NAVARRETE, L. Economic assessment of three long-term tillage systems for rainfed cereal and legume production in semiarid central Spain. **Soil & Till. Res.**, n.78, p.35-44, 2004.

SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N. **O meio ambiente e o plantio direto.** Goiânia: EMBRAPA, 116p. 1997.

SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J.A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, 138:335-356, 2000.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometric**, 30:507-512, 1974.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois latossolos e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas.** 2003. 110p. (Tese de Doutorado), Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria.

SENE, M.; VEPRASKAS, M. J.; NADERMAN, G. C.; DENTON, H. P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Scientific American Journal**, 49:422-427, 1985.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do manejo do solo no nível de fertilidade. **R. Bras. Ci. Solo**, 10:249-254, 1986.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa, MG, 24: 239-249, 2000a.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, 30(5): 795-801, 2000b.

SILVA, V.R. **Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração, intervalo hídrico ótimo e parâmetros físico-hídricos influenciando a produção de culturas anuais**. 2003. 180p. (Tese de Doutorado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: método de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal, Funep, pp. 1-18, 2002.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. IN: SUMNER, M.E. (Ed.) **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 271-298p., 2000.

SOARES JÚNIOR, D.; SALDANHA, A. N. K.. Indicadores econômicos propostos para a análise dos sistemas de produção e propriedades agropecuárias trabalhadas nas Redes de Referências para a Agricultura Familiar. In: **Anais I SEMINÁRIO SULBRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO RURAL**, 2000, Itajaí. Administração Rural no Terceiro Milênio. Itajaí (SC), Brasil: Associação Brasileira de Administração Rural, 2000.

SOARES JÚNIOR, D. **A organização de redes de unidades produtivas como instrumento de apoio ao desenvolvimento territorial rural**. 2006. 142p. Dissertação (Mestrado em Administração/Concentração em Gestão de Negócios). Universidade Estadual de Londrina, Londrina (PR), Brasil.

SORRENSON, W. J., MONTOYA, L. J. Implicações econômicas da erosão do solo e de práticas conservacionistas no Paraná. Londrina: IAPAR/GTZ, 231p., 1984.

SORRENSON, W. J.; LÓPEZ PORTILLO; J.; NÚÑEZ, M. Aspectos económicos de la siembra directa y la rotación de cultivos: implicancias en la política y la inversión. **Informe 97/075 ISP/PAR/FAO**, Programa de Apoyo a la Inversión, Proyecto Conservación de Suelos MAG/GTZ: Asunción, Paraguay, 1997.

SORRENSON, W. J.; DUARTE, C.; LOPEZ PORTILLO, J. Economics of no-till compared to conventional cultivation systems on small farms in Paraguay: policy and investment implications. **Report**. Soil Conservation Project MAG-GTZ, San Lorenzo, Paraguay, 1998.

SORRENSON, W.J.; LOPEZ PORTILLO, J.; NUÑEZ, M. Economics of no-till and crop rotations: policy and investment implications. **Report**. Soil Conservation Project MAG-GTZ, San Lorenzo, Paraguay, 1999.

SOUZA, Z. M.; ALVES M. C. Movimento de água e resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 7(1): 18-23, 2003.

STRECK, C.A. **Compactação do solo e seus efeitos no desenvolvimento e produtividade do feijoeiro e da soja**. 2003. 105p. (Tese de Mestrado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, 23: 393-399, 1999.

TAVARES FILHO, J; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em Latossolo Roxo. **R. Bras. Ci. Solo**, 25: 725-730, 2001.

TAYLOR, H. M.; GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture and strength of soil. **Soil Sci.**, 96: 153-156, 1963.

TEBRÜGGE, F. No-tillage visions: protection of soil, water and climate and influence on management and farm income. In: Garcia-Torres, L.; Benites, J.; Martínez-Vilela, A. (eds.) **Conservation Agriculture - A Worldwide Challenge**. p. 303-316, 2001.

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

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 20: 333-339, 1996.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização e avaliação do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo. **R. Bras. Ci. Solo**, 22: 573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Scientia Agrícola**, 59(4): 795-801 2002.

TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D.; COOK, F.J.; KIRBY, J.M.; CARTER, M.R. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R. (Ed.) **Soil quality for crop production and ecosystem health**, Amsterdam, Elsevier Science, 21-58., 1997.

TURNES, V. A. **Sistema Delos: indicadores para processos de desenvolvimento local sustentável**. 2004. 237p. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), Brasil.

UNITED NATIONS. Report of the United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, 1993.

URI, N. D. The economic benefits and costs of conservation tillage. **Journal of Sustainable Agriculture**, 15(1), p.5-27, 1999.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 256p. 2005.

VAN GESSEL ET AL., M. J.; FORNEY, D. R.; CONNER, M.; SANKULA, S.; SCOTT, B. A sustainable agriculture project at Chesapeake Farms: a six-year summary of weed management aspects, yield and economic return. **Weed Science**, n.52, p.886-896, 2004.

VIEIRA, M. J.; COGO, N. P.; CASSOL, E. A. Perdas por erosão em diferentes preparos de solo para a cultura de soja em condições de chuva simulada. **R. Bras. Ci. Solo**, 2(3): 209-214, 1978.

WCED (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT). Our common future. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987.

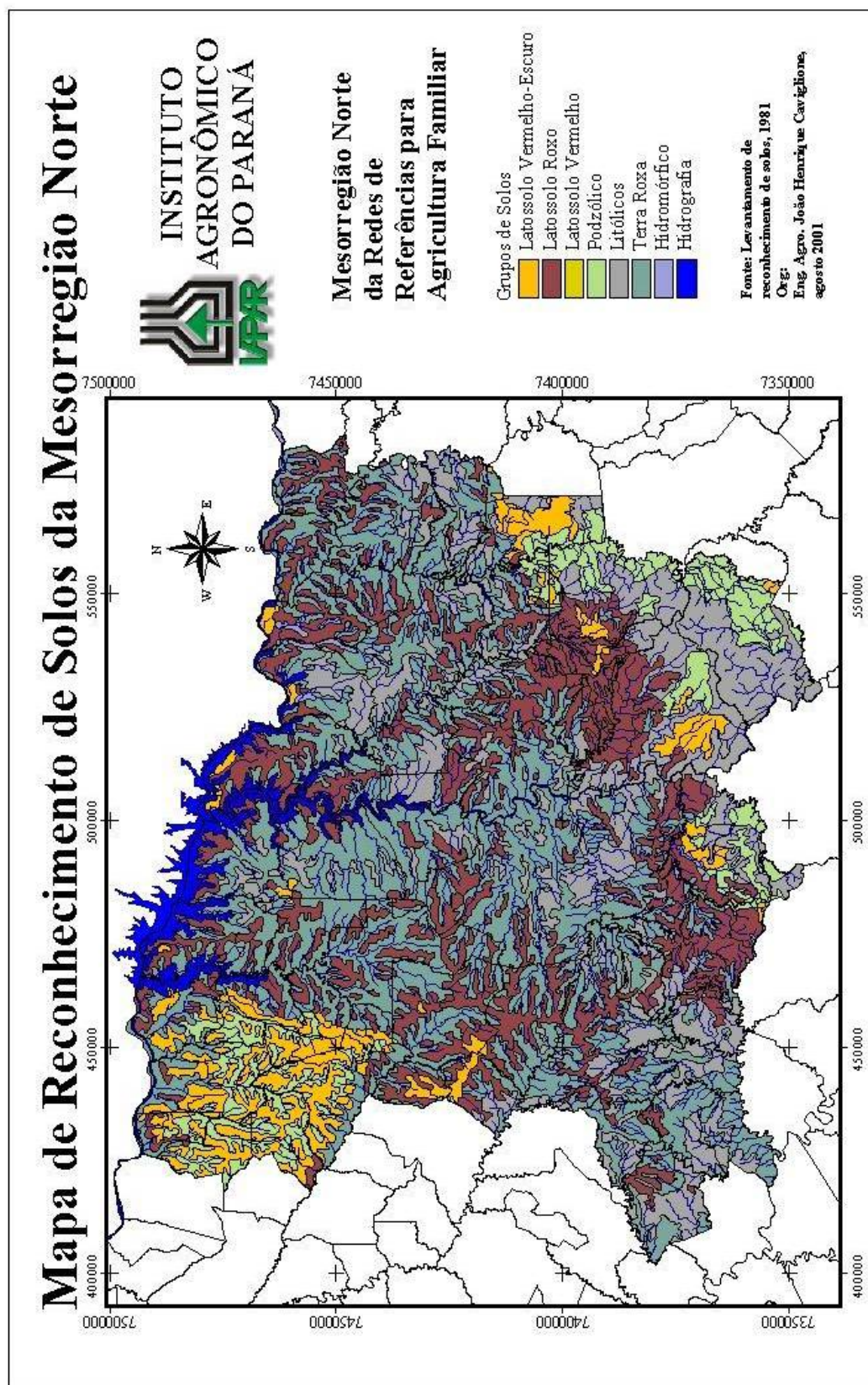
WINOGRAD, M. **Indicadores ambientales para Latinoamérica y el Caribe: hacia la sustentabilidad en el uso de tierras**. Proyecto IICA/GTZ, Organización de los Estados Americanos, Instituto de Recursos Mundiales. San José, C.R.: IICA, 1995. 84 p.

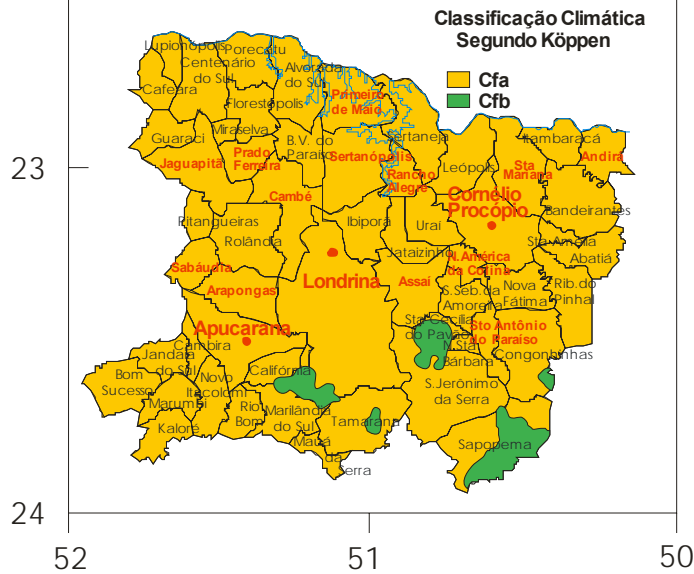
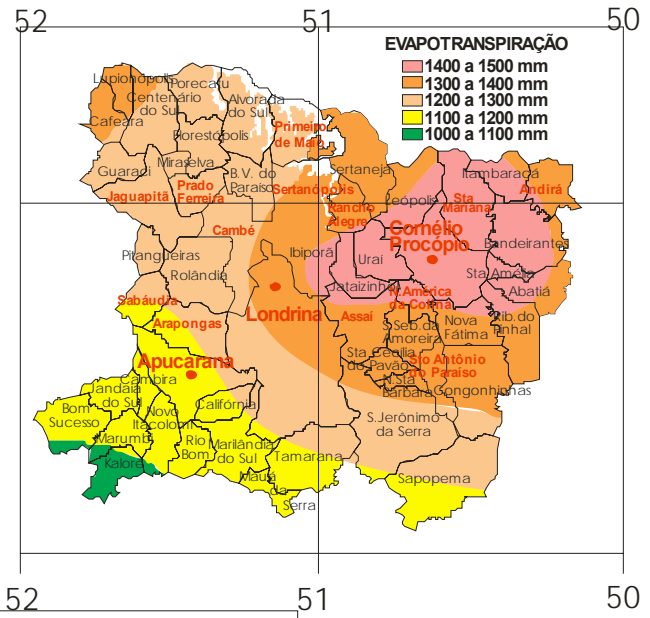
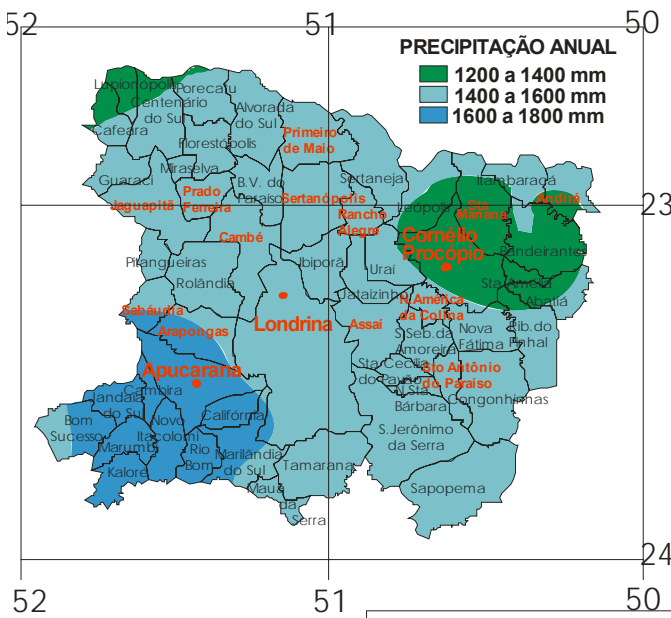
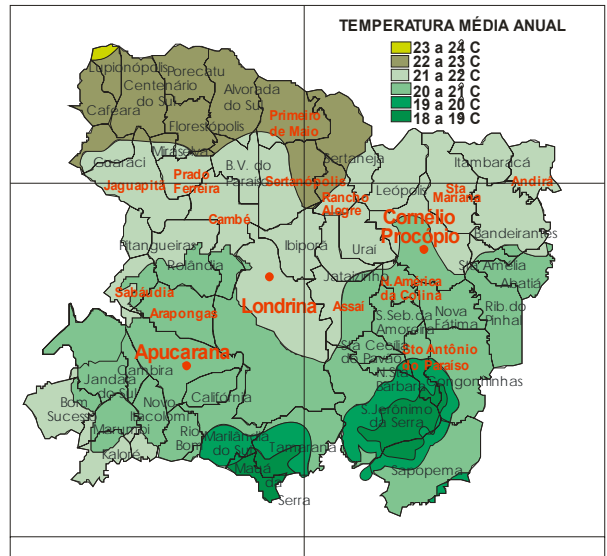
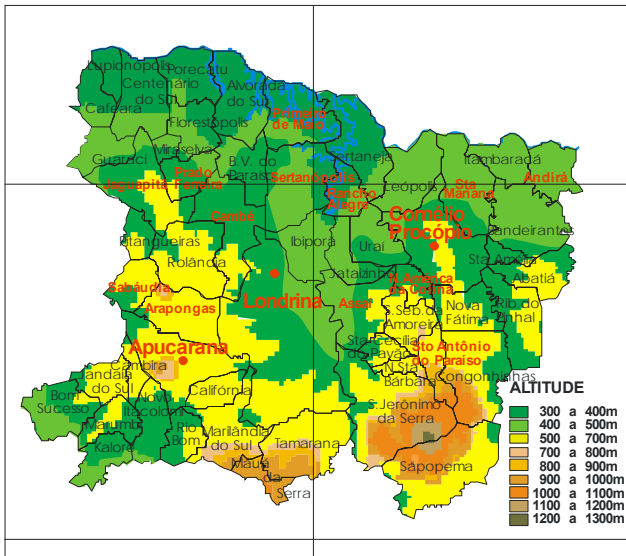
YANG, X.M.; KAY, B.D. Impacts of tillage practices on total, loose- and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. **Can. J. Soil Sci.** 81: 149–156, 2001.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS:**  
**CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

## ANEXO 1 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO





**ANEXO 2**  
**PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS:**  
**ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA**

## ANEXO 2 – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA

### ENTREVISTA SEMI-ESTRUTURADA SOBRE PLANTIO DIRETO / FORMULÁRIO

Produtor: Produtor 2, Arapongas, (PR).

#### a) TEMPO DE PLANTIO DIRETO E DETALHAMENTO DO CROQUI

Começou o Plantio Direto em 1994/95 em área total e nunca mais mexeu. Existe uma lógica de utilização da parte mecanizada do lote (19alq - 2/3 e 1/3).

#### b) USO DA TERRA NOS ÚLTIMOS ANOS

O uso da terra em anos recentes aparece abaixo:

Existe uma lógica de rotação de culturas junto onde é feito 2/3 de soja e 1/3 de milho no verão e no inverno 1/3 de milho safrinha na área de milho de verão e 2/3 que podem ser de trigo, aveia preta, aveia branca ou até triticales dependendo das condições de mercado.

Atividade	SAFRA 1998/1999		SAFRA 1999/2000		SAFRA 2000/01	
	Área / ha	Kg / ha	Área / ha	Kg / ha	Área / ha	Kg / ha
Soja	47,2	3.140	35,1	3.539	29,0	3.223
Milho			12,1	4.835	18,2	7.438
Trigo	33,9	2.231	35,0	600	12,1	2.479
Milho Safrinha			12,1	2.975	16,6	5.217
Aveia					17,1	2.101
Atividade	SAFRA 2001/02		SAFRA 2002/03		SAFRA 2003/04	
	Área / ha	Kg / ha	Área / ha	Kg / ha	Área / ha	Kg / ha
Soja	29,0	3.874	46,0	3.510	24,2	3.099
Milho	16,9	7.169			21,8	8.603
Trigo			46,0	3.372	24,2	3.332
Milho Safrinha	30,0	1.280				
Aveia branca					21,8	2.101
Atividade	SAFRA 2004/05					
	Área / ha	Kg / ha				
Soja	21,8	3.074				
Milho	24,2	7.537				
Trigo	21,8	3.306				
Milho Safrinha	16,0	4.725				
Aveia Branca	3,6	2.222				
Triticale	5,0	3.480				

c) MÁQUINAS SEMEADORAS, OUTROS EQUIPAMENTOS E TRÁFEGO.

Plantadeira PST2 Tatu, ano 1994 com facão para soja e milho

Semeadora Semeato TDAX 2500, ano 2000 só disco.

Colhedora

Pulverizador 2000 litros Columbia

SOJA

1. dessecação
2. PLANTIO
3. Herbicida folha larga
4. Herbicida folha estreita + inseticida lagarta
5. Inseticida lagarta + percevejo + fungicida ferrugem
6. Inseticida lagarta + percevejo + fungicida ferrugem
7. Inseticida percevejo (opcional na granação)
8. COLHEITA

MILHO

1. dessecação
2. PLANTIO
3. inseticida percevejo + lagarta
4. inseticida lagarta + herbicida
5. uréia em cobertura (lely)
6. Inseticida lagarta
7. COLHEITA

TRIGO

1. dessecação
2. PLANTIO
3. inseticida percevejo + lagarta
4. herbicida folha larga (aly) + inseticida lagarta
5. fungicida
6. fungicida + inseticida lagarta (match)
7. COLHEITA

AVEIA BRANCA

1. dessecação
2. PLANTIO
3. inseticida percevejo + lagarta
4. herbicida folha larga (aly) + inseticida lagarta
5. fungicida + inseticida lagarta (match)
6. COLHEITA

AVEIA PRETA

7. dessecação
8. PLANTIO
9. inseticida percevejo + lagarta
10. herbicida folha larga (aly)
11. inseticida lagarta (match)
12. COLHEITA

## MILHO SAFRINHA

1. dessecação
2. PLANTIO
3. inseticida percevejo + lagarta
4. inseticida lagarta + herbicida
5. uréia em cobertura (lely)
6. inseticida lagarta
7. COLHEITA

### d) TIPO DE PLANTIO DIRETO

Plantio Direto Contínuo por 11 anos com 2/3 de soja e 1/3 de milho no verão e no inverno 1/3 de milho safrinha na área de milho de verão se houver tempo e 2/3 com cereais de inverno sempre para grãos, sem plantas de cobertura. Eventualmente no inverno toda a área pode ser ocupada por trigo ou aveia para grãos.

### e) OUTRAS OBSERVAÇÕES

O milho é que forma boa palhada.

Mais pragas tem atacado as lavouras como percevejos e diversas lagartas, além da ferrugem asiática da soja.

Solo parece não ter diferenças na pendente, só na divisa entre as três propriedades que originaram o sítio por causa da erosão.

**ANEXO 3**  
**INDICADORES ECONÔMICOS**

## ANEXO 3 – INDICADORES ECONÔMICOS

Tabela 1 - Receitas Brutas / ha nos treze estabelecimentos estudados no Artigo A em R\$ de julho 2006

estab	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	media	desv pad	coef var %	US\$ jul06
1	2300,83	2632,13	2688,81	4675,02	5060,32	4128,56	3580,94	1184,93	33,09	1636
2	2546,07	2193,57	2603,53	3529,10	4466,27	3605,10	3157,27	855,71	27,10	1442
3	2515,38	1333,48	2060,12	3187,34	3277,54	3230,20	2600,68	787,89	30,30	1188
4	1543,05	1237,68	2165,05	2556,08	2240,97	1835,30	1929,69	486,20	25,20	882
5	2353,85	1711,84	2486,16	2872,22	2764,36	3144,62	2555,51	499,65	19,55	1167
6	3451,64	2639,99	2744,97	4846,61	4255,92	3768,92	3618,01	858,55	23,73	1653
7	3128,94	2068,22	2725,69	4729,42	4065,45	2701,92	3236,61	983,78	30,40	1479
8	2640,77	1888,53	2724,46	3485,95	4572,23	3787,10	3183,17	955,68	30,02	1454
9	2699,98	1701,59	2736,19	2812,65	3876,65	3685,95	2918,84	784,87	26,89	1333
10	2076,10	715,14	1105,51	1683,84	1459,36	3542,79	1763,79	989,39	56,09	806
11	2296,65	891,07	1937,83	1965,54	2999,38	2968,06	2176,42	783,83	36,01	994
12	2253,29	979,32	1084,86	1229,46	2745,13	3133,03	1904,18	929,63	48,82	870
13	2491,24	629,14	2216,89	2411,63	3664,51	2210,47	2270,65	970,82	42,76	1037
media	2484,44	1586,28	2252,31	3075,76	3496,01	3210,92	2684,29			
desv pad	467,17	685,43	585,61	1162,43	1030,30	658,20	644,62			
coef var	18,8	43,2	26,0	37,8	29,5	20,5	24,0			

Tabela 2 - Custos Variáveis / ha nos treze estabelecimentos estudados no Artigo A em R\$ de julho 2006

estab	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	media	desv pad	coef var %	US\$ jul06
1	1150,38	1516,63	1149,48	1510,22	1393,23	1773,56	1415,59	240,40	17,0	647
2	1090,33	1238,54	1055,11	1302,87	1113,69	1676,46	1246,17	230,98	18,5	569
3	1019,92	937,87	778,56	895,63	635,27	1138,43	900,95	177,49	19,7	412
4	770,41	610,75	799,99	636,19	990,42	1070,55	813,05	185,45	22,8	371
5	1355,85	1361,84	1108,50	1411,68	1923,32	1909,02	1511,70	330,64	21,9	691
6	1329,34	1341,27	1160,64	1575,82	1490,77	1607,25	1417,51	170,88	12,1	648
7	1312,38	1271,42	1283,89	1854,52	2024,03	1625,41	1561,94	324,70	20,8	714
8	1240,43	1221,23	1387,08	1639,44	1969,26	1880,48	1556,32	323,49	20,8	711
9	1106,15	820,27	1109,85	1267,16	1693,77	1824,32	1303,59	383,37	29,4	596
10	1146,87	398,69	786,74	666,38	510,36	1384,21	815,54	380,30	46,6	373
11	1031,13	717,04	1083,43	1015,79	2000,56	1703,83	1258,63	486,50	38,7	575
12	1181,86	686,84	821,64	846,95	1254,12	1922,90	1119,05	451,15	40,3	511
13	1254,59	535,76	1352,49	1289,81	1609,08	1644,71	1281,07	400,30	31,2	585
media	1153,05	973,70	1067,49	1224,03	1431,38	1627,78	1246,24			
desv pad	158,52	368,30	212,87	384,41	509,97	275,09	264,18			
coef var	13,7	37,8	19,9	31,4	35,6	16,9	21,2			

Tabela 3 - Receita Bruta / ha nos treze estabelecimentos estudados no Artigo A em R\$ de julho 2006

estab	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	media	des pad	coef var	US\$ jul06
1	1150,44	1115,50	1539,32	3164,80	3667,08	2355,00	2165,36	1078,35	49,8	989
2	1455,74	955,03	1548,42	2226,24	3352,58	1928,63	1911,11	828,30	43,3	873
3	1495,46	395,61	1281,55	2291,70	2642,28	2091,76	1699,73	813,61	47,9	776
4	772,64	626,93	1365,06	1919,89	1250,55	764,74	1116,64	491,29	44,0	510
5	998,00	349,99	1377,66	1460,54	841,04	1235,61	1043,81	411,46	39,4	477
6	2122,30	1298,73	1584,33	3270,79	2765,15	2161,67	2200,49	730,05	33,2	1005
7	1816,55	796,80	1441,80	2874,90	2041,42	1076,50	1674,66	745,37	44,5	765
8	1400,34	667,30	1337,38	1846,51	2602,97	1906,62	1626,85	653,48	40,2	743
9	1593,83	881,32	1626,34	1545,50	2182,88	1861,63	1615,25	430,58	26,7	738
10	929,23	316,45	318,77	1017,46	949,00	2158,58	948,25	673,12	71,0	433
11	1265,52	174,03	854,40	949,75	998,82	1264,23	917,79	401,43	43,7	419
12	1071,43	292,49	263,21	382,51	1491,01	1210,13	785,13	536,29	68,3	359
13	1236,64	93,37	864,40	1121,83	2055,43	565,75	989,57	665,29	67,2	452
media	1331,39	612,58	1184,82	1851,72	2064,63	1583,14	1438,05			
desv pad	373,68	378,42	464,76	893,08	923,08	587,72	493,49			
coef var	40,2	38,7	39,0	64,5	74,6	81,8	34,3			

**Margens brutas superiores**

estab	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	media	des pad	coef var	US\$
1	1150,44	1115,50	1539,32	3164,80	3667,08	2355,00	2165,36	1078,35	49,8	989
2	1455,74	955,03	1548,42	2226,24	3352,58	1928,63	1911,11	828,30	43,3	873
3	1495,46	395,61	1281,55	2291,70	2642,28	2091,76	1699,73	813,61	47,9	776
6	2122,30	1298,73	1584,33	3270,79	2765,15	2161,67	2200,49	730,05	33,2	1005
7	1816,55	796,80	1441,80	2874,90	2041,42	1076,50	1674,66	745,37	44,5	765
8	1400,34	667,30	1337,38	1846,51	2602,97	1906,62	1626,85	653,48	40,2	743
9	1593,83	881,32	1626,34	1545,50	2182,88	1861,63	1615,25	430,58	26,7	738
<b>média</b>	1576,38	872,90	1479,88	2460,06	2750,62	1911,69	1841,92	754,25	40,79	841,44

**Margens brutas inferiores**

estab	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	03/04	media	des pad	coef var	US\$
4	772,64	626,93	1365,06	1919,89	1250,55	764,74	1116,64	491,29	44,0	510
5	998,00	349,99	1377,66	1460,54	841,04	1235,61	1043,81	411,46	39,4	477
10	929,23	316,45	318,77	1017,46	949,00	2158,58	948,25	673,12	71,0	433
11	1265,52	174,03	854,40	949,75	998,82	1264,23	917,79	401,43	43,7	419
12	1071,43	292,49	263,21	382,51	1491,01	1210,13	785,13	536,29	68,3	359
13	1236,64	93,37	864,40	1121,83	2055,43	565,75	989,57	665,29	67,2	452
<b>média</b>	1045,58	308,88	840,58	1142,00	1264,31	1199,84	966,86	529,81	55,61	441,69

**ANEXO 4**  
**INDICADORES DE QUÍMICA DE SOLO**

## ANEXO 4 – INDICADORES DE QUÍMICA DE SOLO

**Análise de variância das análises químicas de solo dos 12 perfis em profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm com teste de médias de Scott-Knott a 10%**

		<i>C</i>	<i>pH</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>H+Al</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>V%</i>
<b>MEDIA</b>	0-5cm	23.4	5.8	19.1	0.76	7.8	3.2	0.0	3.8	11.8	15.6	75.2
	5-10cm	19.0	5.5	12.8	0.45	7.1	2.6	0.0	4.5	10.2	14.6	69.0
	10-20cm	15.0	5.4	6.2	0.26	6.5	2.3	0.1	4.5	9.0	13.5	66.1
1	0-5cm	29.0 a	5.7 c	24.0 b	0.95 a	7.1 d	3.5 a	0.0 a	4.1 b	11.5 c	15.6 c	73.6 c
	5-10cm	21.0 a	5.4 b	9.8 a	0.64 a	5.5 d	2.6 b	0.0 b	4.8 b	8.8 d	13.5 c	64.7 c
	10-20cm	17.0 a	5.4 c	4.3 c	0.49 a	4.5 d	2.2 a	0.0 a	4.4 b	7.2 c	11.6 b	61.8 b
2	0-5cm	26.2 b	5.6 c	21.8 b	0.95 a	6.3 d	3.8 a	0.0 a	4.1 b	11.0 c	15.1 c	72.7 c
	5-10cm	17.6 b	5.3 b	11.6 a	0.65 a	4.6 d	2.9 b	0.0 b	4.7 b	8.1 d	12.8 c	63.2 c
	10-20cm	13.1 b	4.8 d	2.9 c	0.32 a	2.8 e	2.0 a	0.5 a	6.1 a	5.1 c	11.2 b	45.3 b
3	0-5cm	23.2 c	5.4 c	11.9 c	0.40 c	5.4 e	3.4 a	0.0 a	4.5 b	9.2 d	13.6 d	67.2 c
	5-10cm	20.5 a	5.0 b	20.2 a	0.25 c	4.7 d	2.6 b	0.1 a	5.6 a	7.5 d	13.1 c	57.5 d
	10-20cm	18.0 a	4.9 d	7.6 b	0.12 b	4.2 d	2.4 a	0.1 a	5.8 a	6.7 c	12.5 b	53.6 b
4	0-5cm	24.7 b	5.1 c	14.1 c	0.23 c	4.8 e	3.2 a	0.1 a	5.6 a	8.2 d	13.8 d	59.6 d
	5-10cm	21.7 a	4.9 b	12.4 a	0.19 c	4.5 d	2.8 b	0.1 a	6.2 a	7.5 d	13.7 c	54.6 d
	10-20cm	18.9 a	4.8 d	10.0 b	0.33 a	4.3 d	2.4 a	0.2 a	6.0 a	7.1 c	13.1 b	54.0 b
5	0-5cm	20.2 d	5.9 b	26.5 b	0.78 b	7.4 d	3.4 a	0.0 a	3.4 c	11.6 c	15.0 c	77.2 b
	5-10cm	16.8 b	5.3 b	24.6 a	0.33 b	6.7 c	2.6 b	0.0 b	4.4 b	9.7 c	14.1 c	68.6 b
	10-20cm	14.7 b	5.2 c	7.1 b	0.20 b	6.2 c	2.2 a	0.0 a	4.6 b	8.6 c	13.2 b	64.9 a
6	0-5cm	21.7 c	5.6 c	28.4 b	0.42 c	9.2 b	4.0 a	0.0 a	4.1 b	13.6 b	17.8 a	76.8 b
	5-10cm	19.3 b	5.3 b	18.3 a	0.22 c	9.2 a	3.3 a	0.0 b	4.6 b	12.7 b	17.3 a	73.4 b
	10-20cm	16.3 a	5.5 c	19.9 a	0.11 b	9.6 a	3.0 a	0.0 a	4.3 b	12.7 a	17.0 a	74.8 a
7	0-5cm	18.6 d	5.6 c	3.9 c	0.66 b	8.0 c	2.3 b	0.0 a	3.8 b	11.0 c	14.8 c	74.2 c
	5-10cm	16.8 b	5.4 b	2.6 a	0.41 b	7.9 b	1.9 c	0.0 b	4.4 b	10.2 c	14.7 b	69.7 b
	10-20cm	11.8 b	5.9 b	1.1 c	0.14 b	8.3 b	1.7 a	0.0 a	3.3 b	10.2 b	13.5 b	75.5 a
8	0-5cm	24.4 b	6.0 b	8.2 c	0.95 a	8.9 b	2.9 b	0.0 a	3.2 c	12.7 b	15.9 c	79.7 b
	5-10cm	20.0 a	5.3 b	10.0 a	0.47 a	7.8 b	1.8 c	0.0 b	4.8 b	10.1 c	14.9 b	67.7 b
	10-20cm	13.3 b	5.3 c	4.0 c	0.17 b	7.4 b	1.6 a	0.0 a	4.4 b	9.2 b	13.6 b	67.4 a
9	0-5cm	22.5 c	5.5 c	39.4 a	1.08 a	6.9 d	2.9 b	0.0 a	4.3 b	10.8 c	15.1 c	71.6 c
	5-10cm	17.6 b	5.6 b	11.9 a	0.65 a	6.5 c	2.6 b	0.0 b	4.0 c	9.7 c	13.7 c	71.1 b
	10-20cm	13.7 b	5.5 c	3.4 c	0.44 a	5.4 c	2.4 a	0.0 a	4.0 b	8.2 c	12.2 b	67.5 a
10	0-5cm	22.0 c	7.2 a	21.3 b	0.83 b	9.9 a	2.6 b	0.0 a	2.1 d	13.3 b	15.4 c	86.7 a
	5-10cm	18.7 b	6.5 a	11.2 a	0.58 a	8.7 b	2.6 b	0.0 b	2.8 d	11.9 b	14.6 b	81.1 a
	10-20cm	13.5 b	6.0 b	2.7 c	0.24 b	6.9 b	2.6 a	0.0 a	3.2 b	9.7 b	12.9 b	75.3 a
11	0-5cm	24.7 b	6.1 b	13.9 c	0.75 b	9.2 b	3.2 a	0.0 a	3.3 c	13.1 b	16.4 b	79.9 b
	5-10cm	18.9 b	5.7 b	13.0 a	0.37 b	8.3 b	2.6 b	0.0 b	4.0 c	11.3 b	15.2 b	73.9 b
	10-20cm	12.9 b	5.6 b	7.0 b	0.15 b	7.7 b	2.3 a	0.0 a	3.7 b	10.2 b	13.8 b	73.4 a
12	0-5cm	23.1 c	6.3 b	15.9 c	1.18 a	10.4 a	3.5 a	0.0 a	3.1 c	15.0 a	18.0 a	83.1 a
	5-10cm	18.8 b	6.2 a	8.7 a	0.69 a	10.3 a	3.2 a	0.0 b	3.2 d	14.2 a	17.4 a	81.7 a
	10-20cm	16.5 a	6.3 a	4.3 c	0.42 a	9.9 a	3.2 a	0.0 a	3.6 b	13.5 a	17.1 a	79.2 a