



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

AMANDA LETÍCIA PIT NUNES

**ESTRATÉGIAS PARA A QUALIFICAÇÃO DO SISTEMA
PLANTIO DIRETO EM GLEBAS DO OESTE DO ESTADO DO
PARANÁ**

Londrina
2017

AMANDA LETÍCIA PIT NUNES

**ESTRATÉGIAS PARA A QUALIFICAÇÃO DO SISTEMA
PLANTIO DIRETO EM GLEBAS DO OESTE DO ESTADO DO
PARANÁ**

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

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ralisch.

Londrina
2017

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

Nunes, Amanda Letícia Pit.

Estratégias para a qualificação do Sistema Plantio Direto em glebas do Oeste do Estado do Paraná / Amanda Letícia Pit Nunes. - Londrina, 2017.
105 f.

Orientador: Ricardo Ralisch.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2017.

Inclui bibliografia.

1. Fertilidade do solo - Tese. 2. Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto - Tese. 3. Avaliação rápida da estrutura do solo - Tese. 4. Qualidade do manejo - Tese. I. Ralisch, Ricardo. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

AMANDA LETÍCIA PIT NUNES

**ESTRATÉGIAS PARA A QUALIFICAÇÃO DO SISTEMA PLANTIO
DIRETO EM GLEBAS DO OESTE DO ESTADO DO PARANÁ**

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

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ralisch
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen
Universidade de São Paulo - USP

Prof. Dr. Glaucio Roloff
Universidade Federal de Integração Latino-
Americana - UNILA

Londrina, 20 de fevereiro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor Ricardo Ralisch, pela oportunidade e orientação do mestrado e conhecimento compartilhado, mas ademais por todo apoio e amizade de longa data.

Aos meus familiares e aos poucos e verdadeiros amigos pela formação de meu caráter e apoio incondicional.

Aos colegas Ana Carolina Polinarski Coqueiro, Maely Kawana dos Santos, Beatriz Larissa de Souza, Marcio Praxedes, João Machado, Tatiane Gorte, Caroline Laurini Tonetti, Alessandra Santos, Guilherme B. X. Cardoso, Herlon Nadolny, Jeankleber Bortoluzzi, Cassio A. R. Wandscheer pela ajuda e apoio no trabalho de campo e laboratorial.

Aos amigos que me motivaram e compartilharam momentos bons (e outros nem tanto) durante todo o mestrado, Geovanna Cristina Zaro, Juliandra Rodrigues Rosisca, Gabriela Machineski, Alessandra Koltun, Glassys Louise de Souza Cortez Freitas, e ao meu primo, Caio Victor Lourenço Rodrigues por todo incentivo.

Aos professores que colaboraram com o trabalho, mas também com o crescimento profissional e pessoal, Marie Luise Carolina Bartz, Adriana Pereira da Silva, Otavio Jorge Grigoli Abi-Saab, Maria de Fátima Guimarães, Eli Carlos de Oliveira, Inês Cristina de Batista Fonseca, João Tavares Filho, Osmar Rodrigues Brito, e aos demais professores da UEL por todo apoio.

À Universidade Estadual de Londrina, seu corpo técnico e estrutura por tornar possível a realização deste trabalho.

À ITAIPU Binacional e à Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (FEBRAPDP) pela oportunidade e auxílio financeiro por meio do “Programa de Estímulo da Qualidade do Sistema Plantio Direto na Palha na Bacia do Paraná 3” (PEQSPDP), assim como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Projeto associado Universal CNPq 461484- 2014/15.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro e concessão de bolsa.

Muito obrigada!

*“Mas logo depois atentei que, enquanto queria pensar assim que tudo era falso, era necessariamente preciso que eu, que o pensava, fosse alguma coisa; notando que esta verdade - **je pense, donc je suis** – era tão firme e tão certa que todas as mais extravagantes suposições dos cétricos não eram capazes de a abalar.”*

(René Descartes)

Pit Nunes, Amanda Letícia. **Estratégias para a Qualificação do Sistema Plantio Direto em glebas do Oeste do Estado do Paraná.** 2017. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

RESUMO

A fertilidade do solo é resultante da interação de seus atributos físicos e químicos, que proporcionam a componente biológica da fertilidade. O Sistema Plantio Direto (SPD) é mundialmente reconhecido como técnica de agricultura conservacionista e fundamental para se alcançar a sustentabilidade agrícola pela preservação da fertilidade do solo. Entretanto, frequentemente a adoção de seus fundamentos é menosprezada, por isso atualmente fala-se de “qualidade” do SPD. O Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto (IQP) é uma ferramenta que qualifica e monitora a qualidade do SPD, sendo uma metodologia participativa, envolvendo os agricultores. Dada a importância desses temas, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do manejo realizado de glebas cultivadas sob Sistema Plantio Direto na região Oeste do Paraná (Bacia Hidrográfica do Paraná 3). Os objetivos específicos foram avaliar e correlacionar variáveis físicas, químicas e biológicas de glebas cultivadas sob SPD e compará-las com mata nativa de referência, além de ampliar a validação do IQP, bem como propor uma avaliação rápida da estrutura do solo. Foram avaliados atributos químicos (matéria orgânica, pH em CaCl₂, macro e micronutrientes), físicos (resistência mecânica do solo à penetração, umidade gravimétrica, grau de dispersão de argila e estrutura do solo) e biológicos (C e N da biomassa microbiana e quociente microbiano) assim como o histórico do manejo realizado. As coletas foram realizadas na Bacia do Paraná 3; compreendendo as cidades de Entre Rios do Oeste, Itaipulândia, Marechal Cândido Rondon, Mercedes, Santa Helena e Toledo. Foram avaliadas 40 glebas submetidas ao SPD e seis matas nativas como referência; em cada uma dessas áreas foram amostrados cinco pontos, formando um transepto. Foi considerado bom o manejo realizado nas glebas avaliadas. A rotação de culturas foi o principal fator de recuperação dos teores de MOS, em contrapartida a sua redução se deu pelo preparo do solo. Foi observado aumento da RP em profundidade, nas glebas sob SPD e nas matas. Não foi observada camada subsuperficial compactada, por meio da penetrometria, nas 40 glebas sob SPD. Entretanto, o presente trabalho sugere o uso dessa ferramenta no mapeamento e monitoramento das áreas, identificando pontos em que análises mais aprofundadas devam ser realizadas. Destaca-se a importância da realização de manejo químico adequado e do uso de rotação de culturas com o intuito de preservar a fertilidade do solo, reduzir a dispersão da argila e seus consequentes riscos. Foi possível consolidar a validação do IQP, por meio da correlação com seus componentes, bem como pela concordância com as outras metodologias usadas no estudo. A avaliação superficial da estrutura do solo contribuiu na avaliação do manejo e pode ser utilizada no monitoramento das áreas. A qualidade estrutural, avaliada pela metodologia proposta no presente estudo e os atributos microbiológicos foram concordantes com a metodologia do IQP e permitiram a compreensão da qualidade do manejo adotado.

Palavras-chave: Fertilidade do solo. IQP. Avaliação rápida da estrutura do solo. Qualidade do manejo. Agricultura conservacionista.

Pit Nunes, Amanda Letícia. **Strategies to No-till System Qualification in areas of the West of Paraná State.** 2017. 105 p. Master thesis (Master of Science in Agronomy) – Londrina State University, Londrina, 2017.

ABSTRACT

Soil fertility results from the interaction of its physical and chemical attributes, which provide the biological component of fertility. The No-till System (NTS) is recognized worldwide as a technique of conservation agriculture and fundamental for achieving agricultural sustainability by preserving soil fertility. However, adoption of its fundamentals is often the adoption of its foundations is neglected, so the “quality” of the NTS is currently being talked about. The Participative Quality Index for the No-till System (IQP) is a tool that qualifies and monitors the quality of the NTS, being a participative methodology, involving farmers. Due the importance of these themes, the aim of this study was to evaluate the quality of the management of areas cultivated under No-till System in the western region of Paraná (Paraná Hydrographic Basin 3). The specific objectives were to evaluate and correlate physical, chemical and biological variables of cultivated areas under NTS and to compare them with native reference forest, as well as to expand the validation of the Participative Quality Index for the No-till System, and to propose a fast assessment of soil structure. Were evaluated: chemical attributes (organic matter, pH in CaCl₂, macro and micronutrients), physical (soil mechanical resistance to penetration, water content, degree of clay dispersion and soil structure) and biological (C and N of microbial biomass and microbial quotient) as well as the history of the management. Samples were collected in the Paraná Basin 3; comprising the cities of Entre Rios do Oeste, Itaipulândia, Marechal Cândido Rondon, Mercedes, Santa Helena and Toledo. It was assessed 40 areas under No-till System and six native forests as their reference. In each of these areas were sampled five points, in a transept. It was considered good the management performed in the evaluated areas. The crop rotation was the main factor for the recovery of the MOS contents, in contrast to its reduction was due to the preparation of the soil. There was observed an increase in PR in depth, in the areas under NTS and in the forests. No compacted subsurface layer was observed, by means of penetrometry, on the 40 plots under NTS. However, the present work suggests the use of this tool in the mapping and monitoring of the areas, identifying points where further analysis should be performed. It is important to carry out adequate chemical management and the use of crop rotation in order to preserve soil fertility, reduce the dispersion of the clay and its consequent risks. It was possible to consolidate validation the IQP, through correlation with its components, as well as the agreement with the other methodologies used in the study. The superficial evaluation of the soil structure contributed to the evaluation of the management and can be used to monitor the areas. The structural quality evaluated by the methodology proposed in the present study and the microbiological attributes were in agreement with the IQP methodology and allowed the understanding of the quality of the management adopted.

Keywords: Soil fertility. IQP. Fast assessment of soil structure. Management quality. Conservation agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Bacia do Paraná 3 e as microbacias trabalhadas pelo Programa da Qualidade do Plantio Direto na Palha na região Oeste do Paraná28
- Figura 2** – Avaliação da Estrutura do Solo (Es), camada de 0 a 0,25 m, realizado em área de mata nativa na Bacia do Paraná 3, em junho e julho de 2015.....46
- Figura 3** – Avaliação da Estrutura do Solo (Es), camada de 0 a 0,25 m, realizado em gleba cultivada sob SPD na Bacia do Paraná 3, em junho e julho de 2015.....47
- Figura 4** – Coeficientes padronizados da influência dos atributos químicos no grau de dispersão da argila para as glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, junho e julho de 201574
- Figura 5** – Agrupamento de cluster das áreas sob SPD (NTS) de acordo com o IQP; glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, Oeste do Paraná, em junho e julho de 201579
- Figura 6** – Imagem da gleba NTS20 registrada na ocasião da coleta (junho e julho, 2015), avaliada em Marechal Cândido Rondon, na Bacia do Paraná 3, mostrando o preparo de solo realizado que não constava no histórico de manejo.....83
- Figura 7** – Imagem aproximada da gleba NTS20 registrada na ocasião da coleta (junho e julho, 2015), avaliada em Marechal Cândido Rondon, na Bacia do Paraná 3, mostrando detalhes do resultado do preparo de solo realizado que não constava no histórico de manejo84
- Figura 8** – Agrupamento de cluster das áreas sob SPD (NTS) de acordo com a metodologia proposta Es; glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, Oeste do Paraná, em junho e julho de 201584

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo	18
Tabela 2 – Indicadores (<i>li</i>) e os respectivos fatores de ponderação (<i>fi</i>) que compõem o IQP	28
Tabela 3 – Classificação das áreas sob SPD de acordo com o Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP)	29
Tabela 4 – Descrição dos Indicadores que compõem o IQP	30
Tabela 5 – Histórico das áreas: Mata nativa de referência, tempo de adoção do SPD (anos), operações em nível, número de transbordamentos do terraço, preparo do solo (se sim, periodicidade e motivo), plantas cultivadas antes da coleta (junho e julho de 2015).....	51
Tabela 6 – IQP I e II das glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, e discriminação dos indicadores que compõem o IQP II.....	53
Tabela 7 – Descrição das matas nativas e áreas correlacionadas avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015.....	55
Tabela 8 – Interpretação da Avaliação da Estrutura do Solo (Es)	48
Tabela 9 – Atributos químicos das seis matas nativas avaliadas na Bacia do Paraná 3, de 0 – 0,2 m de profundidade, junho e julho de 2015	55
Tabela 10 – Atributos químicos das 40 glebas cultivadas sob SPD avaliadas na Bacia do Paraná 3, de 0 – 0,2 m de profundidade, em junho e julho de 2015.....	56
Tabela 11 – Nota de avaliação da estrutura superficial do solo por gleba cultivada sob SPD avaliada na Bacia do Paraná 3, quantidade de raízes, % de cobertura vegetal, tipo de cobertura e demais observações (junho e julho de 2015)	58
Tabela 12 – Teores de matéria orgânica (%), pH em CaCl ₂ e saturação por bases (%) das glebas cultivadas sob SPD (NTS) e matas nativas de referência (NF) avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015, de 0 a 0,20 m	61

Tabela 13 – Resistência à Penetração (RP) de 0 a 0,60 m, em camadas de 0,10 m, das 40 glebas sob SPD, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015	63
Tabela 14 – Resistência à Penetração (RP) de 0 a 0,60 m, por camadas de 0,10 m, das seis matas nativas de referência, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015.....	64
Tabela 15 – Resistência à Penetração (RP) média de 0 a 0,60 m das matas nativas de referência, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015	65
Tabela 16 – Resistência à Penetração (RP) média de 0 a 0,60 m e IQP das 40 glebas sob SPD, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015.....	67
Tabela 17 – Resistência à Penetração (RP) de 0 a 0,60 m, em camadas de 0,10 m, da 40 glebas sob SPD, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015	70
Tabela 18 – Grau de dispersão de argila (GD) e composição granulométrica e química das glebas cultivadas sob SPD (NTS) e mata nativa de referência (NF) dentro dos municípios avaliados na Bacia do Paraná 3, de 0 a 0,20 m de profundidade, junho e julho de 2015	72
Tabela 19 – Agrupamento das glebas sob SPD (NTS) da Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, nas classes do IQP propostas pela FEBRAPDP (2011).....	77
Tabela 20 – Interpretação do Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP) proposta pela análise de cluster a partir dos dados das glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, junho e julho de 2015	79
Tabela 21 – Coeficiente de Spearman para correlações entre os valores de IQP I e II (2012 e 2015) das glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, e Matéria Orgânica do Solo (MOS), Saturação por Bases (V%), Grau de Dispersão de argila (GD), Resistência à Penetração (RP), Qualidade Estrutural (Es), tempo de implantação do SPD (t SPD), e os índices que compõem o IQP	80

Tabela 22 – Agrupamento das glebas sob SPD (NTS) da Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, junho e julho de 2015, nas classes de qualidade estrutural propostas pela Avaliação da Estrutura do Solo (Es)	81
Tabela 23 – Matéria orgânica do solo (MOS), Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana (CBM e NBM), quociente microbiano (q_{Mic}), IQP e Qualidade estrutural (Es) de glebas sob SPD (NTS) e mata nativa de referência (NF) avaliadas na Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, de 0 a 0,20 m, junho e julho de 2015	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Agricultura Conservacionista
AC	Avaliação da Conservação (índice do IQP)
BM	Biomassa Microbiana
CBM	Carbono da Biomassa Microbiana
COT	Carbono Orgânico Total
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DR	Diversidade da Rotação
Es	Avaliação da Estrutura do Solo
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FEBRAPDP	Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação
FP	Frequência do Preparo
GD	Grau de dispersão de argila
HC	Histórico de comprometimento do produtor
IQP	Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto
IR	Intensidade da Rotação
MOS	Matéria Orgânica do Solo
NBM	Nitrogênio da Biomassa Microbiana
NE	Nutrição Equilibrada
NF	Native Forest
NTS	No-till System
PCZ	Ponto de Carga Zero
PR	Persistência dos Resíduos
RP	Resistência do Solo à Penetração
SPD	Sistema Plantio Direto
qMIC	Quociente Microbiano
QS	Qualidade do Solo
TC	Terraceamento Correto
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
VESS	Visual Evaluation of Soil Structure
VSA	Visual Soil Assessment

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	QUALIDADE DO SOLO	17
3.1.1	Estrutura do Solo.....	20
3.1.2	Avaliação da Estrutura do Solo	22
3.2	SISTEMA PLANTIO DIRETO	24
3.2.1	Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto	26
3.3	COMPACTAÇÃO DO SOLO.....	32
3.3.1	Compactação do Solo em Sistema Plantio Direto	34
3.4	ATRIBUTOS FÍSICOS NA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO SOLO	37
3.4.1	Resistência à Penetração.....	36
3.4.2	Grau de Dispersão de Argila	37
3.5	ATRIBUTOS QUÍMICOS NA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO SOLO.....	38
3.6	ATRIBUTOS BIOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO SOLO	40
4	MATERIAL E MÉTODOS	42
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	42
4.2	ANÁLISES QUÍMICAS.....	42
4.3	ANÁLISES FÍSICAS	43
4.4	ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO	44
4.5	AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO.....	45
4.6	ANÁLISES BIOLÓGICAS	49
4.7	CONSIDERAÇÕES	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1	ATRIBUTOS QUÍMICOS	60
5.2	ATRIBUTOS FÍSICOS	63
5.2.1	Resistência à Penetração.....	63
5.2.2	Grau de Dispersão de Argila	71

5.3	ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO	77
5.4	AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO.....	81
5.5	ATRIBUTOS BIOLÓGICOS.....	85
6	CONSIDERAÇÕES GERAIS	89
7	CONCLUSÕES	93
	REFERÊNCIAS.....	94

1 INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo e sua gestão são de grande importância para a continuidade da produção agrícola, sendo a base da sustentabilidade desta atividade. Quando o tema fertilidade é abordado, geralmente usa-se como referência seus atributos químicos e sua capacidade em fornecer nutrientes em quantidade e proporção adequadas às plantas cultivadas. Entretanto, esta abordagem é limitada e errônea, pois a fertilidade do solo é representada pelo equilíbrio dinâmico de suas características químicas e físicas que permitem adequada atividade biológica. Este equilíbrio é propiciado pela atividade biológica existente e que imprime a dinâmica de reciclagens e renovações de estoques de nutrientes no meio. Portanto, a fertilidade do solo é essencialmente biológica, sendo esta afetada pelos aspectos físicos e químicos do solo.

A estrutura, principal componente físico do solo que afeta sua fertilidade, é determinada pela constituição, distribuição e arranjo dos constituintes do solo e é responsável pela formação dos agregados, que por sua vez influenciam a porosidade. Nos poros encontram-se a água e o ar que serão utilizados para o desenvolvimento da atividade biológica, assim como para o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas que, por sua vez, reestruturam o solo e fornecem energia e alimento à sua atividade biológica, convertidos pela fotossíntese. Portanto, as plantas são essenciais na composição da fertilidade do solo, o que leva a consideração de que a fertilidade é do meio e não apenas do solo. Nesta abordagem, a estrutura é um fator fundamental da fertilidade e é diretamente afetada pelo manejo ou pelos sistemas de produção adotados.

A compactação do solo é um dos processos de degradação de sua estrutura, capaz de reduzir a produção agrícola. Há uma grande oportunidade no desenvolvimento de pesquisas a fim de melhor compreender as causas da degradação da estrutura do solo, visando propor ao setor de produção agropecuária as melhores estratégias de manejo para preservar ou recuperar a fertilidade. Geralmente, o diagnóstico da degradação da estrutura, como a compactação, é feito avaliando-se seus efeitos em algum parâmetro indireto, comparando com valores tabelados, publicados como sendo limitantes ao desenvolvimento das raízes ou das plantas. Contudo, o solo e seus processos devem ser melhor analisados e conhecidos para que se consiga observar e concluir se a sua estrutura está sendo

um fator limitante ao crescimento das plantas, e não somente inferir a seu respeito a partir de comparações com valores pré-estabelecidos.

Com a implementação do Sistema Plantio Direto (SPD) no Brasil a partir dos anos 1970, aumentou-se a preocupação com os atributos físicos e biológicos do solo; ganhando importância, também, sua conservação. Inicialmente, o SPD surgiu como alternativa para reduzir a erosão dos solos agrícolas, porém seu conceito foi se ampliando e atualmente se consolidou como estratégia para favorecer a biodiversidade do solo, preservando e recuperando sua fertilidade, base do manejo conservacionista do solo, da água e do meio ambiente e do conceito de Agricultura Conservacionista proposto pela FAO.

A conversão do sistema convencional de produção, com preparo do solo, para o SPD é lenta (SÁ et al., 2014) e se estabiliza ao reaproximar as características da estrutura do solo cultivado das observadas em áreas não antropizadas (RALISCH et al., 2008). As propostas simplificadoras como a adotada pela FAO, acabam por induzir os produtores a adotarem apenas parte do conceito, o que dificulta a recuperação da estrutura do solo e de sua fertilidade; e a adotarem práticas inadequadas, como a escarificação periódica, por exemplo.

Como há grande dificuldade em mensurar a adequação e a qualidade do SPD, a Federação Brasileira do Plantio Direto e Irrigação (FEBRAPDP), em conjunto com a Itaipu Binacional, propôs uma metodologia participativa, o Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto (IQP), com a finalidade de avaliar a qualidade do SPD. O IQP é composto de uma série de indicadores que têm como objetivo prever impactos potenciais de cenários futuros, de modo qualitativo ou demonstrativo de tendências (ROLOFF et al., 2011).

Um piloto do IQP foi realizado na região Oeste do Paraná, na Bacia Hidrográfica do Paraná 3 em 2012 (IQP I). Após a adequação dos critérios do indicadores, foi realizado o IQP II, em 2015, concomitantemente e no mesmo local em que foram realizadas as coletas para o presente estudo. Posteriormente, a proposta da equipe do projeto é que o IQP seja adaptado e difundido às diferentes realidades de cada região.

Espera-se, a partir das informações da qualificação do SPD pelo IQP, estabelecer relações com os atributos do solo e propor formas práticas de monitorar o manejo adotado e seus efeitos na estrutura.

2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O trabalho tem como objetivo geral avaliar a qualidade do manejo realizado de áreas cultivadas sob Sistema Plantio Direto na região Oeste do Paraná (Bacia Hidrográfica do Paraná 3), a partir da compreensão de que a fertilidade do solo é resultante da interação de seus atributos físicos e químicos, que proporcionam a componente biológica da fertilidade.

Os objetivos específicos foram: 1) avaliar e correlacionar variáveis físicas, químicas e biológicas de áreas cultivadas sob SPD e compará-las com mata nativa de referência, identificando grupos de qualidade de manejo; 2) validar o Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto (IQP) e; 3) propor uma metodologia de avaliação rápida da estrutura do solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

“O solo é fundamental para a vida na Terra”, e a gestão desse recurso natural é elemento essencial da sustentabilidade da agricultura, além de sua importância como pilar da regulação climática e como caminho da preservação das funções do ecossistema e da biodiversidade. As funções específicas realizadas pelo solo são regidas principalmente pelo conjunto de suas características físicas, químicas e biológicas. O conhecimento do estado atual dessas propriedades, de seu papel nas funções do solo, e as consequências de sua alteração – seja natural ou antrópica, são essenciais para alcançar a sustentabilidade (FAO, 2015).

O solo é um dos mais importantes fatores ambientais e é considerado a principal fonte provedora de nutrientes essenciais, reservatório de água e substrato para o desenvolvimento das plantas. O uso do solo para fins agrícolas e o manejo através de práticas inadequadas têm acarretado degradação da qualidade do solo (GHAEMI et al., 2014).

Em contrapartida, a manutenção ou o acréscimo do teor de matéria orgânica do solo e da atividade biológica, da estrutura do solo, e correspondente porosidade, são fatores críticos para a sustentabilidade da produção e outras funções do ecossistema (KASSAM; FRIEDRICH, 2011).

3.1 QUALIDADE DO SOLO

A qualidade do solo (QS) é sua capacidade em funcionar dentro do ecossistema, com o objetivo de sustentar a produtividade, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas, dos animais e dos seres humanos (DORAN, 1997), passível de avaliação através de indicadores físicos, químicos e biológicos (Tabela 1). Indicadores são atributos capazes de quantificar ou refletir o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). QS é a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o permite exercer plenamente suas funções (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Vezzani e Mielniczuk (2009) ressaltam a relação entre QS e sustentabilidade agrícola. A QS é fundamental para que o solo continue realizando suas funções, também em relação à produtividade agrícola, ao longo do tempo. De

acordo com Doran e Zeiss (2000), a QS e seu monitoramento são ferramentas para que o manejo dos sistemas agrícolas seja realizado em concordância com os princípios da sustentabilidade.

Tabela 1 – Indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

Indicadores	Relação com a Qualidade do Solo
Matéria Orgânica do Solo	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo
<u>FÍSICOS</u>	
Estrutura do solo	Retenção e transporte de água e nutrientes
Infiltração e densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo
Capacidade de retenção de umidade	Armazenamento e disponibilidade de água
<u>QUÍMICOS</u>	
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes
Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana
Conteúdo de N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas
<u>BIOLÓGICOS</u>	
Biomassa microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes
Mineralização de nutrientes (N, P e S)	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes
Respiração do solo	Atividade microbiana
Fixação Biológica de N (FBN)	Potencial de suprimento de N para as plantas
Atividade enzimática do solo	Atividade microbiana e catalítica do solo

Fonte: ARAÚJO; MONTEIRO, 2007.

Segundo o USDA (2016), o solo tem cinco funções essenciais: i) regular o fluxo da água; ii) sustentar a vida vegetal e animal; iii) filtragem e tamponamento de potenciais poluentes; iv) ciclagem de nutrientes e; v) estabilidade física e suporte – para as plantas e para a vida. “Manejar a matéria orgânica do solo é a chave para a QS, do ar e da água”, pois a matéria orgânica do solo (MOS) aumenta a capacidade de retenção de água e de nutrientes, melhora a estrutura do solo, pode aumentar a produtividade e a qualidade ambiental. Além disso, a MOS pode reduzir os níveis de CO₂ atmosférico, contribuindo na mitigação das mudanças

climáticas. A gestão da QS, que pode melhorar a capacidade do solo em realizar suas funções essenciais, é possível pela manutenção de habitat adequado à microbiota do solo. Para isso deve-se perturbar o solo tão pouco quanto possível, cultivando o maior número de espécies vegetais praticável, mantendo plantas vivas no solo sempre que possível e mantendo sempre o solo coberto (USDA-NRCS, 2016). Shukla et al. (2006) afirmaram que a MOS foi eficiente no monitoramento das mudanças da QS ao longo do tempo.

A QS é, conceitualmente, o principal elo entre as estratégias de manejo conservacionista e o alcance dos principais objetivos da agricultura sustentável (PARR et al., 1992). Um dos maiores obstáculos para o manejo sustentável dos ecossistemas do solo está na grande dificuldade de avaliá-lo (NURIA et al., 2011). Sojka et al. (2003) sugerem que os esforços sejam direcionados à qualidade do manejo do solo, ao invés da gestão profissional e científica da QS apenas. A avaliação da QS, não somente em sua visão científica, é estratégia fundamental no planejamento agrícola, permite o reconhecimento e adequação de sistemas de manejo com alta produtividade e preservação ambiental (AMADO et al., 2007).

A determinação da QS é ferramenta de monitoramento da sustentabilidade do sistema de produção, visto que, além de caracterizar o cenário atual, prevê situações e riscos futuros. Ao usar adequadamente essa ferramenta, pode-se avaliar o manejo realizado e sugerir a adoção de práticas conservacionistas quando necessário (CANDIDO et al., 2015).

Alterações da QS e da produtividade agrícola podem ser reflexo de degradação e transformação do ambiente, pois o solo tem como função fornecer nutrientes e água às plantas, assim como filtrar possíveis poluentes químicos. A quantificação da modificação da QS pode ser muito difícil, exceto quando as avaliações são realizadas em solos de propriedades específicas. Parte do desafio é a especificidade do local, em que um único atributo ou subconjunto de propriedades pode ser desproporcionalmente importante, enquanto em outras áreas outras propriedades podem ser mais relevantes. Outro desafio é causado pela complexidade das alterações resultantes do manejo agrícola, que afeta as características físicas, químicas e biológicas do sistema solo (BHARDWAJ et al., 2011).

A avaliação da QS deve, idealmente, envolver as três componentes, entretanto, nem todas as propriedades do solo são afetadas na mesma proporção, ou mesmo na mesma direção de resposta. A integração de múltiplos parâmetros do solo, representantes de sua biologia, fornecimento e ciclagem de nutrientes, assim como a adequação de suas condições físicas, representam a QS para a produção agrícola (BHARDWAJ et al., 2011).

A tendência, em relação ao conceito e avaliação da QS, é o uso de indicadores biológicos, parte por sua resposta rápida às alterações do ambiente. As recomendações de manejo visam beneficiar o desenvolvimento e a manutenção da biota do solo, responsável pelas grandes transformações físicas e químicas, que permitem seu funcionamento adequado (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

3.1.1 Estrutura do Solo

A estrutura do solo possui grande importância para o setor agrícola, pois é ela que suporta e permite, ou restringe, o desenvolvimento das plantas. A estrutura influencia a retenção e o movimento da água, assim como a formação de crostas, a erosão, a reciclagem de nutrientes, a penetração das raízes e o crescimento das plantas. O tamanho, a forma e o arranjo dos sólidos e vazios constituem a chamada estrutura do solo, assim como a continuidade de poros e vazios, a capacidade de reter e transmitir substâncias e fluidos. A estrutura do solo também suporta o crescimento e o desenvolvimento das raízes (BRONICK; LAL, 2005).

Em 1980, Hillel afirmou que o solo ideal deve possuir volume e dimensão de poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para suprir às necessidades das culturas. A presença de uma rede ideal de poros, com variação de diâmetros, é fator fundamental na fertilidade do solo, que, por sua vez, interferirá na produtividade agrícola. A porosidade é capaz de alterar as relações entre drenagem, teor de água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura (REZENDE, 1997).

Portanto, a distribuição dos poros no solo é fundamental nas relações entre suas fases líquida, física e gasosa; determinando a evolução espacial e temporal dos processos que envolvem o movimento da água no solo. O comportamento físico-hídrico do solo é condicionado pela distribuição dos poros por

seus tamanhos, o que influencia na potencialidade agrícola (RIBEIRO et al., 2007). O comportamento físico do solo relaciona-se com as características de seu espaço poroso, a distribuição do tamanho dos poros, sua continuidade no perfil e sua estabilidade no tempo (BRAIDA et al., 2011).

Sem a intervenção humana, o solo organiza-se em uma estrutura bem definida por sua composição granulométrica, química e biológica, sofrendo influência das condições ambientais do meio. A partir da inserção do cultivo agrícola convencional, esse solo sofre alterações na estabilidade, revelada pela redução da matéria orgânica e de agregados mais complexos, estes que são estáveis em água. Entretanto, o cultivo agrícola exercido através de práticas conservacionistas, com manejo adequado, como o cultivo por meio do Sistema Plantio Direto, pode prevenir a degradação da matéria orgânica (BAYER et al., 2006).

Para a manutenção do potencial agrícola das terras cultivadas é fundamental a consciência da importância da estrutura do solo e de sua conservação. A QS está estritamente relacionada com sua estrutura, e a maior parte do dano ambiental encontrado em áreas cultivadas, como a erosão, a desertificação e a suscetibilidade à compactação do solo, originam-se a partir de sua degradação (PAGLIAI et al., 2004).

O manejo está diretamente relacionado à estrutura do solo. Os diferentes sistemas de manejo são responsáveis por modificar a estrutura, resultando em maior ou menor compactação, o que pode interferir em alguns atributos como a densidade do solo, a porosidade, a infiltração de água e o desenvolvimento radicular das plantas (DE MARIA et al., 1999; TAVARES FILHO et al., 2001).

O manejo do solo é realizado com a finalidade de proporcionar condições favoráveis à germinação das sementes e ao desenvolvimento radicular dos cultivos agrícolas. Contudo, é importante salientar que as condições de umidade no momento do preparo, o teor de argila e de MOS, a profundidade da mobilização realizada no solo e o tipo de implemento usado podem acarretar modificações na estrutura, originando restrições ao desenvolvimento das raízes (DE MARIA et al., 1999).

O manejo realizado em condições desfavoráveis para o preparo do solo, principalmente umidade inadequada, e o uso de implementos agrícolas cada vez maiores e mais pesados pode modificar sua estrutura. Esse manejo inapropriado

pode reduzir a produtividade agrícola (DE MARIA et al., 1999; TAVARES FILHO; TESSIER, 1998).

Solos agrícolas de boa qualidade física têm estrutura estável e resistência apropriada à erosão e à compactação. Essas características proporcionam condições favoráveis para o desenvolvimento e crescimento das plantas, a proliferação de raízes e de microrganismos (REYNOLDS et al., 2002).

A rotação de culturas e o uso de plantas de cobertura são favoráveis ao manejo físico e estrutural do solo. Formam poros de diversos tamanhos, contribuem para a formação e estabilidade da estrutura, refletindo positivamente na QS e em sua sustentabilidade. A rotação de culturas mantém a estrutura na classe de friabilidade muito friável estabilizada temporalmente, proporcionando a manutenção da qualidade física (TORMENA et al., 2008).

3.1.2 Avaliação da Estrutura do Solo

Métodos de avaliação da estrutura a campo são úteis para determinar a sensibilidade do solo a diferentes sistemas de manejo, entretanto, essa verificação do efeito do uso e manejo dos solos em sua morfologia *in loco* é um desafio (SILVA et al., 2014).

Métodos de avaliação visual foram propostos. O Perfil Cultural (HÉNIN et al., 1960; HÉNIN et al., 1969) inicialmente foi proposto para avaliar e analisar o efeito de máquinas e implementos agrícolas e então, como ferramenta pedagógica, permitindo a análise qualitativa do perfil de uma trincheira, pela observação da organização e da morfologia das estruturas do solo. A metodologia foi adaptada por Gautronneau e Manichon (1987), que passaram a avaliar a interação clima, solo e planta. Posteriormente a metodologia foi adaptada para solos tropicais por Tavares Filho et al. (1999). O Perfil Cultural permite a identificação de volumes de solo alterados pela intervenção do uso de implementos agrícolas, pelo comportamento do sistema radicular das plantas associado aos fatores naturais sobre a estrutura do solo a campo.

A determinação dos horizontes antropizados é efetiva para analisar e diagnosticar a origem do estado observado, ao comparar com dados históricos, por meio de critérios morfológicos definidos previamente. Permitindo também o mapeamento da área a fim de selecionar os pontos para coleta de amostras para

análises físicas, químicas e biológicas; e auxiliando no estudo do sistema radicular (TAVARES FILHO et al., 1999).

Alguns dos critérios usados pela metodologia na identificação de distintos volumes antropizados são: forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais; presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes; forma e dureza de agregados e torrões. E no caso de solos tropicais, dá-se maior importância ao modo de organização do que ao estado interno dos torrões (TAVARES FILHO et al., 1999).

Na França, a partir do trabalho de Hénin et al. (1969), agrônomos e cientistas do solo estudaram os efeitos do manejo na estrutura. A principal preocupação era considerar e explicar a grande variação temporal e espacial da estrutura do solo observada nas áreas agrícolas. Essa variação espacial da estrutura dificulta a determinação da estratégia de amostragem, principalmente quando pretende-se usar os dados físicos para caracterizar o comportamento do solo. As alterações da estrutura com o tempo resultam dos efeitos das operações agrícolas, da compactação resultante do tráfego e dos efeitos de processos naturais como clima, desenvolvimento radicular e atividade da fauna (ROGER-ESTRADE et al., 2004).

Metodologias mais rápidas e em menor escala também foram propostas, como o VESS, Visual Evaluation of Soil Structure (BALL et al., 2007) e o VSA, Visual Soil Assessment (SHEPHERD, 2009), permitindo avaliações seguras, objetivas e de baixo custo para inferir sobre a QS, e que podem ser utilizadas por agricultores e outros profissionais do setor agrícola. O VESS e o VSA consistem na retirada de um monólito de, aproximadamente, 15 cm X 20 cm, retirado cuidadosamente com uma pá de corte. Compara-se os agregados resultantes da manipulação da amostra com a sequência de figuras disponíveis em Guimarães et al. (2011), para o VESS e para o VSA de acordo com a metodologia descrita por Sheperd (2009), atribuindo o escore da amostra. Após obtenção do escore é possível identificar, para cada condição de uso do solo, a necessidade de interferência no manejo (PENNING et al., 2015).

A estrutura é determinada pela forma como os grânulos individuais do solo se agrupam e como os agregados estão ligados. As metodologias VESS e VSA consideram que, com agregados maiores, há condições mais pobres para o crescimento das plantas como resultado da redução da porosidade (GUIMARÃES et

al., 2011; SHEPHERD, 2009). A porosidade visível a olho nu dentro dos agregados também pode ser usada como um critério adicional para avaliar a estrutura (ROGER-ESTRADE et al., 2004).

Avaliações visuais podem ser usadas para monitorar a QS, para detectar erosão e compactação em áreas cultivadas ou ainda para respaldar decisões de manejo. Esse tipo de avaliação engloba diversas características e processos de degradação, é realizada no campo, não requer treinamento prolongado ou equipamentos específicos, e o resultado é rápido e prontamente disponível. Entretanto, são considerados subjetivos e não abordam propriedades físicas específicas. A falta de precisão é um problema comumente mencionado não somente no caso de avaliações visuais, mas também nas determinações físicas dos solos (JOHANNES et al., 2016).

3.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO

No Brasil, o plantio direto surgiu nos anos 1970, com o objetivo de controlar a erosão na região Sul do país, especialmente no Paraná (BOLLINGER et al., 2006). Estima-se que, durante os anos 1980, dois terços das terras cultivadas no Sul do Brasil apresentavam alguma intensidade de degradação do solo, muitas vezes manifestada pela baixa MOS, baixa infiltração das precipitações, degradação estrutural e compactação (CASSOL, 1984). Inicialmente foram realizados ensaios em instituições de pesquisa (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Não-Me-Toque, Rio Grande do Sul; Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária Meridional/Ministério da Agricultura, em Londrina e Ponta Grossa, Paraná); mas quase simultaneamente a técnica foi testada por agricultores (BOLLINGER et al., 2006).

O Sistema Plantio Direto (SPD) tem como seus três pilares o mínimo revolvimento do solo, a rotação de culturas e a cobertura permanente do solo, seja pela palha ou por plantas vivas (BOLLINGER et al., 2006; CASÃO JUNIOR, 2012). A FAO trata como sinônimos SPD e agricultura conservacionista, caracterizados por seus três princípios interligados: i) contínua mínima perturbação mecânica do solo, ii) cobertura orgânica permanente e, iii) diversificação das espécies cultivadas em sequências e/ou associações (FAO, 2016).

A cobertura permanente protege o solo do impacto das gotas de chuva; e, quando em quantidade adequada, reduz o escoamento superficial excessivo e a erosão das camadas superficiais. O uso adequado da cobertura proporciona outros benefícios: reduz a perda de umidade do solo para a atmosfera; reduz a amplitude térmica do solo; serve como amortecedor ao peso de maquinários e animais, possuindo efeito tampão à compactação; dificulta a germinação de plantas invasoras; proporciona ambiente favorável ao desenvolvimento da fauna e flora do solo; aporta matéria orgânica e nutrientes ao solo (BOLLINGER et al., 2006; CALEGARI et al., 2006).

A rotação de culturas, com o uso de cobertura verde ou associação de culturas, além de produzir biomassa e cobertura para o solo, pode proporcionar diversos benefícios como: fixação biológica de nitrogênio; captura e reciclagem de nutrientes facilmente lixiviáveis; melhoria da estrutura do solo através do desenvolvimento radicular e do depósito de matéria orgânica; facilidade no manejo de plantas invasoras, pela competitividade criada; quebra do ciclo de determinadas pragas e doenças que se instalam mais facilmente em monocultivos (BOLLINGER et al., 2006).

Não revolver o solo diminui a redução de macroagregados em microagregados estáveis, capazes de ocluir e proteger a MOS da atividade microbiana. O não-revolvimento reduz o estímulo à atividade microbiana de curto prazo, e reduz a liberação de CO₂ para a atmosfera; assim como reduz o aporte de resíduos para camadas mais profundas do solo, onde seriam decompostos mais rapidamente (BOLLINGER et al., 2006; KASSAM; FRIEDRICH, 2011).

O SPD requer menor força de trabalho e energia de origem fóssil, estimula processos de agregação do solo, reduz a velocidade de mineralização da MOS, minimiza a erosão e favorece o manejo integrado de pragas, doenças e plantas invasoras, reduzindo o uso de produtos fitossanitários. Isso faz com que a adoção adequada do SPD proporcione um agroecossistema com menor grau de perturbação que em sistemas onde há revolvimento intenso do solo. O sistema proporciona maior capacidade de auto-reorganização do agroecossistema, facilitando o equilíbrio dinâmico do solo, da água e da biodiversidade (FEBRAPDP, 2011).

A agricultura conservacionista (AC), e dentro dela o SPD, facilita a sustentabilidade e a intensificação da produção agrícola, pois a otimização das

condições biológicas do solo são constantes, tornando-se desnecessárias as pausas anteriormente realizadas periodicamente para sua recuperação (o que é essencial em sistemas com revolvimento do solo). Um critério fundamental no uso de sistemas de produção sustentáveis para o ecossistema é a manutenção do ambiente na região do solo onde ocorre o desenvolvimento radicular; o que otimiza a biota, permite o crescimento das raízes em profundidade e as torna saudáveis funcionalmente (KASSAM; FRIEDRICH, 2011).

A AC reconhece a importância dos 20 cm superficiais do solo, por ser a camada mais ativa, mas também a mais vulnerável à erosão e à degradação. A maior parte das funções e serviços essenciais para a manutenção da vida terrestre na Terra se concentram na micro, meso e macrofauna e flora que vivem e interagem nessa camada. É também nessa camada em que as atividades humanas de gestão da terra são mais capazes de causar fortes impactos imediatos. Ao preservar e proteger essa camada crítica, asseguram-se a saúde, vitalidade e sustentabilidade da vida no planeta (DUMANSKI; PEIRETTI, 2013).

O SPD promove a integridade ambiental do sistema solo e a manutenção de suas funções no ecossistema. Promove o sequestro de carbono atmosférico, contribuindo na mitigação das mudanças climáticas. Os estoques de carbono dos solos são aumentados, devido aos rendimentos mais elevados e incremento de biomassa, assim como pela redução da perda de MOS causada pela erosão. O consumo de combustíveis e as horas de uso de maquinários são reduzidos em mais de 75%, refletindo na redução da emissão de gases causadores do efeito estufa. Outros benefícios ambientais resultantes da adoção do SPD são a redução do assoreamento, da eutrofização e da contaminação das águas com produtos fitossanitários (DUMANSKI; PEIRETTI, 2013).

3.2.1 Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto

O Índice de Qualidade Participativo do Sistema Plantio Direto (IQP) foi proposto com o objetivo de avaliar a qualidade do SPD na Bacia do Paraná 3. O IQP é composto por uma série de indicadores que têm como objetivo prever os impactos de cenários futuros, de modo qualitativo ou demonstrativo de tendências (ROLOFF et al., 2011).

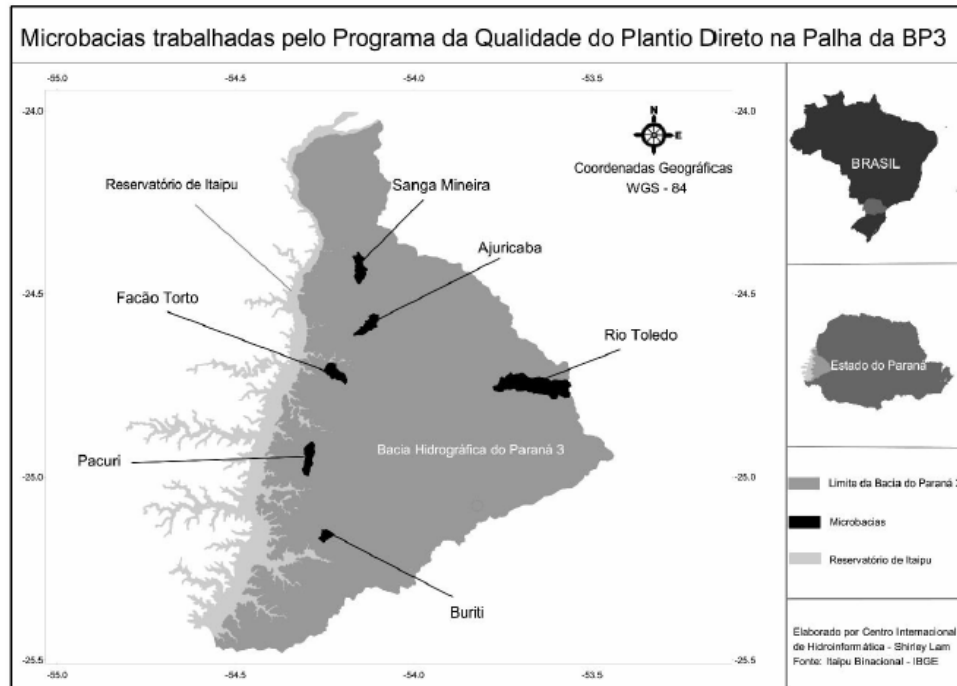
O propósito do desenvolvimento da metodologia foi de melhorar a qualidade do plantio direto na palha na Bacia do Paraná 3, procurando inicialmente restabelecer os critérios técnicos que fundamentam os conceitos e processos empregados nas tecnologias conservacionistas, como práticas mecânicas e práticas culturais como rotação de culturas com plantas de cobertura. A metodologia estimulou também a procura por alternativas econômicas que incentivassem a adoção de rotações mais diversificadas e a produção de energia a partir de biomassa. O projeto tem como fundamento um ciclo de melhoria contínua, propondo de forma participativa a auto avaliação do agricultor em relação a uma base conservacionista e produtiva (FEBRAPDP, 2011).

A região da Bacia do Paraná 3 foi caracterizada e decomposta em suas microbacias (Figura 1). Os agricultores se voluntariaram para participar do projeto e foram submetidos a um questionário. Para cada microbacia foram definidos os indicadores que seriam usados posteriormente no sistema de pontuação e “ranqueamento” do IQP. A metodologia é participativa, com ações através de sensibilizações, capacitações, contato permanente com o agricultor e assistência técnica agrônômica (FEBRAPDP, 2011).

O IQP é calculado pela somatória dos indicadores multiplicados pelos respectivos pesos, de modo a gerar valores de 0 a 10, grandezas de fácil entendimento pelos produtores. O IQP é calculado por meio do produto entre os indicadores que o compõem (I_i) e seus respectivos fatores de ponderação (f_i), mostrados na Tabela 2.

Os indicadores que compõem o IQP foram agrupados por relação com (1) a rotação de culturas, (2) o revolvimento do solo, (3) a conservação do solo e da água, (4) a nutrição das plantas e (5) o comprometimento do agricultor com o SPD. Os fatores de ponderação foram regionalizados e decididos através de uma análise subjetiva da importância relativa de cada indicador para o SPD regional. As funções para a estimativa do valor do indicador é sempre uma proporção, tendo por denominador ou base um número considerado ideal ou benchmark, exceto para a avaliação do terraceamento (FEBRAPDP, 2011).

Figura 1 – Bacia do Paraná 3 e as microbacias trabalhadas pelo Programa da Qualidade do Plantio Direto na Palha na região Oeste do Paraná.



Fonte: Itaipu Binacional – IBGE.

Tabela 2 – Indicadores (*I*) e os respectivos fatores de ponderação (*f_i*) que compõem o IQP.

Indicador (<i>I</i>)	Abreviatura	Fator de ponderação (<i>f_i</i>)
Intensidade da Rotação	IR	1,5
Diversidade da Rotação	DR	1,5
Persistência dos Resíduos	PR	1,5
Frequência do Preparo	FP	1,5
Terraceamento Correto	TC	1,0
Avaliação da Conservação	AC	1,0
Nutrição Equilibrada	NE	1,0
Histórico de Comprometimento do Produtor	HC	1,0

Fonte: FEBRAPDP (2011, p.70).

Os indicadores também foram associados à valores considerados ideais, usados como objetivos a serem atingidos, e à valores considerados críticos, usados para priorizar e direcionar as ações corretivas. Estes valores foram estabelecidos subjetivamente, especialmente os críticos, e deverão ser reavaliados

periodicamente conforme o SPD de qualidade evoluir em determinada região. A descrição dos indicadores que compõem o IQP está na Tabela 4. A soma das notas dos indicadores compõe o IQP, passível de ranquear os agricultores de determinada região. As áreas são classificadas em quatro categorias conforme a nota recebida: baixo, regular, bom e muito bom (Tabela 3).

Tabela 3 – Classificação das áreas sob SPD de acordo com o Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP).

Classificação	Nota do IQP
Muito bom	> 8.51
Bom	6.51 a 8.50
Ruim	4.51 a 6.50
Baixo	< 4.50

Fonte: FEBRAPDP (2011).

Tabela 4 – Descrição dos Indicadores que compõem o IQP.

ROTAÇÃO DE CULTURAS						
Parâmetro	Sigla	Dado de Entrada	Base	Fórmula	Crítico	Ideal
Intensidade	IR	NC= número de culturas em 3 anos (exceto pousio)	9= número de culturas possíveis em 3 anos	IR=NC/9	NC=5 IR=0,56	NC=9 IR=1,0
Diversificação	DR	CD= espécies diferentes que ocorrem na rotação	4= n° de espécies ideal em 3 anos	DR= CD/4	CD=2 DR=0,5	CD=3 DR=1,0
Persistência da palha	PR	GR= n° de gramíneas na rotação (exceto gramíneas para fenação ou silagem)	6= n° ideal de gramíneas em 3 anos	PR= GR/6	GR=3 PR=0,5	GR=6 PR=1,0
PREPARO DO SOLO						
Parâmetro	Sigla	Dado de Entrada	Base	Fórmula	Crítico	Ideal
Frequência	FP	IEP= intervalo entre preparos (anos) Sem preparo: IEP= Base Preparo apenas cabeceira: IEP= Base x 0,8 (suposição: 80% da área sem preparo)	6= n° de anos para quase estabilização do sistema	FP= IEP/6	0,5	1,0
CONSERVAÇÃO DO SOLO						
Parâmetro	Sigla	Frequência do transbordamento em 5 anos			Crítico	Ideal
Terraceamento correto	TC	< 2 vezes TC= 1 2 a 3 vezes: TC=0,5 > 3 vezes : TC=0			0,5	1,0
Parâmetro	Sigla	Dado de Entrada	Base	Fórmula	Crítico	Ideal
Avaliação da Conservação	AC	ICi = indicador da conservação i Ausente: ICi = 0 Presente: ICi = 1 Operações em nível; Ausência de sinais visíveis de erosão; Cabeceiras não compactadas; Lavoura não compactada.	4 = número de indicadores possíveis	AC = $\frac{\sum ICi}{4}$	0,5	1,0

Continuação...**Tabela 4** – Descrição dos Indicadores que compõem o IQP.

HISTÓRICO DA ÁREA						
Parâmetro	Sigla	Dado de Entrada	Base	Fórmula	Crítico	Ideal
Histórico do Produtor	HC	T= Tempo praticando PD (anos)	22= tempo praticando PD mais longo identificado regionalmente	HC= T/22	0,3	0,6
NUTRIÇÃO DO SOLO E PLANTA						
Parâmetro	Sigla	Dado de Entrada	Base	Fórmula	Crítico	Ideal
Nutrição equilibrada	NE	INi = indicador nutrição i Ausente: INi = 0 Presente: INi = 1 Uso de esterco Manejo da Fertilidade Balanço de nutrientes	3 = n° de indicadores possível	NE=ΣINi/3	0,3	1,0

Fonte: ITAIPU e FEBRAPDP, 2011

3.3 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Compactação é o processo pelo qual as partículas do solo e seus agregados são rearranjados. A forma e tamanho dos agregados também são alterados. Esse rearranjo provoca o decréscimo do espaço poroso e aumento da densidade do solo (GREACEN; SANDS, 1980; HAMZA; ANDERSON, 2005). No solo compactado a resistência é aumentada e a porosidade total é reduzida. Assim, o teor de água em um mesmo volume de solo é aumentado, enquanto o conteúdo de ar e a taxa de infiltração de água são reduzidos. A densidade do solo pode ser usada como índice de compactação relativa, mas ela não mede a força do solo, e é essa força que determina a resistência à compactação (GREACEN; SANDS, 1980).

Segundo Curi et al. (1993), a compactação do solo é resultante da ação antrópica, enquanto o adensamento é um fenômeno natural. Para os autores, compactação é a diminuição do volume do solo causada por compressão, acarretando redução da porosidade e rearranjo das partículas do solo, tornando-o mais denso, enquanto adensamento é a redução natural da porosidade do solo, com conseqüente aumento da densidade de camadas ou horizontes por dessecação, iluviação ou precipitação química.

A qualidade física do solo é negativamente afetada pela compactação, particularmente no que se refere ao armazenamento e abastecimento de água e nutrientes, através do aumento da densidade do solo, da redução da porosidade, aumento da resistência/força do solo, redução da infiltração de água e capacidade de sua retenção (HAMZA; ANDERSON, 2005).

A compactação gera um ciclo prejudicial em que ocorre um crescimento reduzido das plantas, fornecendo menor aporte de matéria orgânica fresca ao solo. A reciclagem de nutrientes e a mineralização são reduzidos, assim como a atividade microbiológica do solo, o que aumenta a necessidade de intervenção humana no manejo, causando maior degradação do solo pelo uso de implementos agrícolas (HAMZA; ANDERSON, 2005).

As principais modificações físicas resultantes da compactação do solo são o aumento da densidade, o aumento da resistência à penetração das raízes, a redução da macroporosidade que, por sua vez, diminui a condutividade e o acúmulo de água, comprometendo a infiltração de água e a penetração das raízes no perfil. O solo, por sua vez, torna-se mais suscetível à erosão (RICHART et al.,

2005).

O tráfego de animais, veículos ou pessoas e o crescimento do sistema radicular das plantas, que aproximam as partículas do solo durante seu desenvolvimento, são causadores externos da compactação. Os ciclos de umedecimento e secagem, congelamento e degelo e expansão e contração do solo são os causadores internos (CAMARGO; ALLEONI, 1997). A compactação do solo é causada pelo manejo inadequado, através do uso de máquinas e implementos ou ainda por animais. O adensamento, por sua vez, é o rearranjo de agregados e partículas com conseqüente aumento da densidade devido a causas naturais no processo de formação do solo, como em horizontes B texturais, fragipans e duripans (SÁ; SANTOS JUNIOR, 2005). Em solos cultivados, geralmente a compactação é resultante do tráfego de máquinas agrícolas em condições de alta umidade (RICHART et al., 2005).

A densidade do solo, sua porosidade total e a resistência à penetração são atributos normalmente usados para determinar o estado ou o grau de compactação. A resistência à penetração (RP) é frequentemente usada para avaliar a compactação correlacionada com o crescimento radicular das plantas e a estrutura do solo (LIPIEC; HATANO, 2003).

A compactação tem muitas conseqüências para a produção agrícola. Quando um solo apresenta nível crítico de compactação, esta intervém nas relações físicas, químicas e biológicas, o que afeta o desenvolvimento das plantas. Ocorre a redução da produtividade e um aumento da suscetibilidade à erosão (SÁ; SANTOS JUNIOR, 2005).

A combinação de práticas é sugerida para minimizar ou retardar o processo de compactação do solo. Estão entre elas: a não-mobilização do solo (ou a mínima possível); o tráfego controlado; a combinação de mais de uma operação agrícola simultaneamente, reduzindo a passagem de máquinas na área; redução da intensidade do pastejo e/ou redução do número de animais por área; manter sempre cobertura vegetal; rotação de culturas que inclua plantas com sistema radicular capazes de penetrar em solos relativamente compactos; máquinas com baixa carga por eixo e pneus com elevada área de contato, para minimizar a pressão exercida por estes. São ainda práticas recomendadas para reduzir a compactação: o aumento da MOS, que também reduz sua densidade; as operações agrícolas devem ser realizadas quando o solo apresentar baixa ou muito baixa umidade (HAMZA;

ANDERSON, 2005).

3.3.1 Compactação do Solo em Sistema Plantio Direto

A compactação do solo tem sido constatada na camada superficial em SPD (ALVES; SUZUKI, 2004). Essa compactação é explicada pelo não revolvimento do solo e pelo tráfego de máquinas na área. A camada de maior impedimento ao desenvolvimento radicular em SPD está entre 8 e 15 cm (GENRO JUNIOR et al., 2004; SECCO et al., 2009; SUZUKI et al., 2008). Em áreas de plantio convencional, uma camada mais compacta é encontrada em profundidade, devido ao “pé-de-grade”, causado pelo trabalho do implemento de preparo do solo a uma mesma profundidade e agravado quando o preparo é realizado em umidade inadequada (ALVES; SUZUKI, 2004).

Segundo Gubiani et al. (2015), o manejo realizado no SPD mesmo que caracterizado pela baixa intervenção mecânica do solo, restrita normalmente à ação dos dispositivos de posicionamento de sementes e fertilizantes, mas com sucessivos tráfegos de implementos agrícolas (semeadura, aplicação de fertilizantes e defensivos, colheita e transporte) indicam que a compactação do solo no SPD deve ser um problema maior do que no sistema convencional de cultivo. Entretanto, a compactação que o tráfego de máquinas causa em SPD não inviabiliza a produção agrícola, revelando mecanismos intrínsecos que promovem a reversão da compactação. Alves e Suzuki (2004) também afirmam que o SPD tem sido mais promissor na recuperação das propriedades físicas do solo na sua camada superficial.

O SPD pode preservar, e mesmo recuperar, a estrutura do solo, mantendo a produtividade do sistema agrícola. Essa característica é devido à redução do tráfego de máquinas e implementos agrícolas, em comparação ao sistema convencional, assim como devido à redução do revolvimento do solo e ao uso de plantas de cobertura. O mínimo revolvimento do solo não rompe as estruturas físicas formadas e desfavorece a perda de elementos químicos e de MOS, favorecendo a conservação da QS (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

O cultivo de plantas de cobertura aumenta o aporte de energia e matéria no ecossistema, através das raízes e da parte aérea da planta que permanecem no solo ao final do ciclo vegetativo. A partir dessa biomassa vegetal a

biota do solo pode se desenvolver, e essa interação plantas X organismos constrói e mantém a estrutura do solo, que será mais complexa conforme a quantidade e diversidade da biomassa aportada ao sistema. Por esse motivo, sistemas agrícolas que cultivam diferentes espécies no espaço e no tempo aumentam a capacidade do sistema solo em se organizar em estruturas físicas e químicas mais complexas e com diversidade crescente, permitindo que o solo exerça sua função na natureza, criando e suportando a vida (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Consequência da condução adequada do SPD, a presença de palhada na superfície do solo dissipa a energia da compactação pelo tráfego de máquinas, atuando como agente amortecedor (BRAIDA et al., 2006).

Um possível mecanismo de recuperação da estrutura do solo é a contração e expansão, avaliadas principalmente em laboratórios. A contração e expansão do solo afetam a formação de agregados, assim como alteram a distribuição dos tamanhos dos poros e suas funções, como permeabilidade da água e de gases (GEBHARDT et al., 2012). Chinn e Pillai (2008) afirmam que repetidos ciclos de contração e expansão promovem a recuperação estrutural do solo. Gubiani et al. (2005) também afirmam que a repetição desses ciclos podem diminuir gradativamente a densidade do solo, retroceder o processo de compactação e recuperar a estrutura de solos compactados.

O mecanismo de contração e expansão é, então, de grande importância para a agricultura, sendo que em áreas compactadas em SPD, a formação de fraturas como resultado desse mecanismo pode aumentar a capacidade de infiltração do solo (GEBHARDT et al., 2012) e possibilita novos caminhos de menor resistência ao crescimento de raízes (BENGOUGH et al., 2011). Esses bioporos são uma das justificativas para que a compactação percebida pelas plantas seja menor que a verificada através do uso de indicadores físicos do solo (GUBIANI et al., 2015).

Nas camadas mais superficiais do solo ocorrem as maiores variações de conteúdo de água em curtos espaços de tempo, isso acarreta uma maior eficácia da recuperação da estrutura pelo mecanismo de contração e expansão. Em camadas mais profundas, a eficiência da recuperação pelo mesmo mecanismo é reduzida, podendo acontecer somente em períodos de estiagens e secas, com variações expressivas do conteúdo de água do solo. Por essa diferença existente entre as profundidades, no caso do SPD, em que a presença de camadas

compactadas é verificada logo abaixo da superfície (entre 0,08 e 0,15 m) (GENRO JUNIOR et al., 2004; SECCO et al., 2009; SUZUKI et al., 2008), presume-se que os processos de contração e expansão estejam revertendo parte da compactação dos solos (GUBIANI et al., 2015).

3.4 ATRIBUTOS FÍSICOS NA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO SOLO

3.4.1 Resistência à Penetração

Alguns atributos físicos do solo têm sido utilizados para avaliar sua compactação, como a densidade e a resistência mecânica à penetração, com a finalidade de recomendação de manejo (DE MARIA et al., 1999; RALISCH et al., 2008). Segundo Ralisch et al. (2008), a RP, apesar de ser uma indicação indireta da compactação, permite avaliar comparativamente a variabilidade estrutural em diferentes sistemas de manejo usados em uma mesma classe de solo. A RP é frequentemente usada para avaliar a compactação do solo e sua estrutura (LIPIEC; HATANO, 2003).

A RP é um dos principais métodos para se avaliar a compactação (MORAES et al., 2012). Os resultados de penetrometria podem ser de difícil interpretação, principalmente por causa de sua relação com a umidade do solo. Entretanto, é uma técnica quantitativa muito utilizada por sua facilidade, rapidez e por possibilitar a obtenção de várias repetições facilmente (SILVEIRA et al., 2010). Bengough et al. (2011) também confirmam a facilidade e rapidez de se obter dados a partir da penetrometria, possibilitando a identificação de camadas compactadas em diferentes profundidades e sua alta correlação com o crescimento do sistema radicular das plantas.

O acompanhamento periódico do estado de compactação através da RP é uma avaliação prática dos efeitos dos diferentes sistemas de manejo na estrutura do solo e no desenvolvimento radicular das plantas, o que permite um método de avaliação na propriedade rural (TAVARES FILHO; RIBON, 2008).

Roboredo et al. (2010) afirmam que a compactação é resultante do manejo e do preparo do solo e que, geralmente está associada à variação e ao aumento da RP em profundidade.

A penetrometria fornece valores possíveis de serem correlacionados

com a resistência oferecida ao sistema radicular das plantas pelo solo. Contudo, as raízes são capazes de se desenvolverem nos poros ou em fendas, enquanto os penetrômetros somente rompem o solo (SÁ; SANTOS JUNIOR, 2005).

A RP é influenciada por várias propriedades do solo como densidade, potencial de água, agregação, cimentação, MOS (TAVARES FILHO et al., 2012), conteúdo de água (MORAES et al., 2012; TAVARES FILHO et al., 2012) e textura (MOLIN et al., 2012; TAVARES FILHO et al., 2012).

Na literatura encontram-se muitos valores tabelados que afirmam reduzir e até restringir o desenvolvimento radicular das culturas. Muitos pesquisadores utilizam o valor de 2 MPa como limite crítico, na umidade equivalente à capacidade de campo, conforme determinado por Taylor et al. (1966). Suzuki et al. (2007) propuseram a faixa entre 2,0 a 4,0 MPa como crítica ao crescimento radicular de culturas anuais. Contudo, Carvalho et al. (2012) afirmam que em solos não revolvidos anualmente, valores de RP de até 4 MPa são toleráveis, devido à permanência e continuidade de poros, atividade biológica mais ativa e maior estabilidade de agregados. Tavares Filho et al. (2001) mostraram que valores de RP expostos na literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular (1 a 3,5 MPa), não tiveram esse efeito no sistema radicular do milho.

A resistência real exercida pelo solo à penetração das raízes é normalmente menor do que a encontrada pelo penetrômetro (GUBIANI et al., 2015; VEEN; BOONE, 1990). Mesmo que valores de RP mencionados pela literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular sejam observados, se no solo existirem estruturas que permitam condições químicas e de umidade ideais para o desenvolvimento das raízes, estas encontrarão pontos de menor resistência para crescerem, mesmo que sofram deformações morfológicas (TAVARES FILHO et al., 2001).

3.4.2 Grau de Dispersão de Argila

A argila dispersa é a fração da argila dispersível em água de forma espontânea, com alto potencial de mobilidade, que pode ser atribuída ao resultado da desagregação do solo (AZEVEDO; BUNAMÁ, 2004). O grau de dispersão de argila (GD) é influenciado pelo balanço de cargas do solo, regido pelas forças atrativas e repulsivas da dupla camada elétrica na superfície das argilas

(NGUETNKAM; DULTZ, 2011). O GD permite avaliar o comportamento de solos com diferentes teores de argila total simplificando a comparação (PAES et al., 2013). Além de outros atributos do solo, este parâmetro é utilizado para prever os processos erosivos, uma vez que proporciona o entupimento dos poros dos solos e conseqüentemente reduz a aeração (IGWE; UDEGBUNAM, 2008; NGUETNKAM; DULTZ, 2014).

A dispersão de argila altera física e quimicamente as propriedades do solo. Alterações nas propriedades apresentam impacto negativo sobre a fertilidade, sustentabilidade agrícola e na QS (GAJIĆ, 2013; NGUETNKAM; DULTZ, 2011). Modificações no pH, nos tipos de íons presentes e na força iônica da solução podem dispersar ou flocular as argilas, e assim interferir diretamente na agregação das partículas do solo (SETA; KARATHANASIS, 1996).

O monitoramento da argila dispersa em água é importante uma vez que seu aumento proporciona a formação de camadas compactadas no solo, pois após o escoamento superficial observa-se a translocação de poluentes, de partículas de solo e de nutrientes (AZEVEDO; BONUMÁ, 2004). Neste contexto, é de suma importância acompanhar as alterações nos atributos físicos em função do sistema de manejo adotado para evitar degradações dos solos e assegurar a produtividade e a sustentabilidade agrícola.

3.5 ATRIBUTOS QUÍMICOS NA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO SOLO

A MOS é considerada um dos principais e mais importantes indicadores da QS. Seu teor e composição são fortemente afetados pelo uso e cobertura da terra (MAIA; PARRON, 2015). Primavesi (2006) afirma que para manter a produtividade de solos tropicais, à exceção de solos sob matas, é fundamental a produção dirigida e periódica de substâncias agregantes intermediárias da decomposição completa da matéria orgânica. A abordagem de Ronquim (2010) é enfática ao tratar a MOS como não, essencialmente, um adubo orgânico, mas como condicionador biofísico que recupera sua porosidade; além de reduzir a densidade aparente do solo, devido sua menor densidade relativa aos minerais.

A matéria orgânica humificada proporciona ainda o aumento da capacidade de troca catiônica dos solos, bem como seu poder tampão. Apesar da diversidade de substâncias orgânicas, apenas o húmus influencia as propriedades

químicas do solo, embora a palhada, ao se decompor, possua maior influência sobre as propriedades físicas (ROQUIM, 2010).

Algumas importantes funções da MOS são: formação de agregados estáveis no solo, proteção da superfície, manutenção de diversas funções biológicas, incluindo imobilização e disponibilização de nutrientes, provisão da capacidade de troca catiônica e sequestro de C atmosférico (CRASWELL; LEFROY, 2001).

O uso agrícola e prolongado dos solos tropicais, associado ao revolvimento do solo e à incorporação de resíduos vegetais, proporciona condições favoráveis à degradação da MOS e, por conseguinte, destruição da bioestrutura, o que reduz drasticamente o potencial produtivo do solo. A adoção de práticas conservacionistas, notadamente o SPD, em solos tropicais favorece a reversão do processo de degradação física, química e biológica dos solos, principalmente devido à mais importante consequência de seu uso adequado, o incremento de MOS (ROQUIM, 2010).

O acúmulo de MOS não ocorre nos primeiros anos de adoção do SPD, mas somente, após 6 ou 7 anos da implantação do sistema. Na região Sul do Brasil, têm-se verificado um aumento do teor de MOS de 0,5 a 1,5% na camada de 0 a 0,10 m após 10 anos de SPD (LOPES et al., 2014).

Em solos agrícolas a acidez é o principal fator de degradação química do solo. A disponibilidade de nutrientes relaciona-se com o pH do solo. Em solos com $\text{pH} < 5,5$, a disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo é reduzida (NOLLA; ANGHINONI, 2004). O pH fornece indícios das condições químicas gerais do solo. Em solos cultivados, a acidez pode ser acentuada pela absorção de cátions básicos pelas plantas, que são exportados na colheita. Outros fatores que favorecem a acidificação de solos agrícolas são: o manejo inadequado, que pode causar erosão e expor horizontes subsuperficiais mais ácidos; o uso de fertilizantes amoniacais, devido à nitrificação do amônio; e a oxidação da MOS e do S (SOUSA et al., 2007).

Segundo Rajj (1986) as vantagens em se avaliar o pH em CaCl_2 são a) o pH medido é pouco afetado pela relação solo:solução; b) a quantidade de sal adicionada é suficiente para nivelar o efeito dos sais existentes no solo; c) como a solução do solo é floculada, os erros de potencial de junção líquida podem ser minimizados pela medida de pH em líquido sobrenadante límpido.

Segundo Ronquim (2010), a saturação por bases (V%) é excelente indicativo das condições gerais da fertilidade do solo, sendo inclusive utilizada como complemento na nomenclatura dos solos. Essa especificação na nomenclatura dá-se pelo uso dos termos eutrófico (solos férteis; $V\% \geq 50\%$) e distrófico (pouco férteis; $V\% < 50\%$). Ainda de acordo com Ronquim (2010), grande parte das culturas comerciais apresenta boa produtividade quando o solo possui V% entre 50 e 80%.

Nolla e Anghinoni (2004) relatam que no Paraná, recomenda-se que a amostragem de solos cultivados sob SPD seja realizada na camada de 0-20 cm para a determinação da necessidade de calagem, a fim de aumentar a saturação por bases a 65%. A mesma V% é recomendada por Caires e outros autores (2000) para o Paraná, sendo ainda referência o pH CaCl_2 5,6.

3.6 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO SOLO

Alterações na estrutura do solo afetam diretamente o habitat de microrganismos, considerados componentes críticos dos ecossistemas naturais ou antropizados, por regularem a decomposição do material orgânico e os ciclos biogeoquímicos, com efeito direto na fertilidade e na estrutura do solo (BARROS et al., 2007; CUI; HOLDEN, 2014; SILVA et al., 2014). Neste sentido, parâmetros microbiológicos e bioquímicos têm sido utilizados com sucesso como bioindicadores de qualidade do solo, por serem rápidos e sensíveis aos efeitos provocados pelo manejo.

Estudos recentes demonstram que a avaliação de microrganismos do solo são capazes de revelar as mudanças na QS antes que ocorram alterações nos parâmetros físicos e químicos (BABUJIA et al., 2010; BABUJIA et al., 2014; HUNGRIA et al., 2009; KASCHUK et al., 2010)

A Biomassa Microbiana (BM) é a parte viva da MOS, composta por todos microrganismos menores que $5.10^{-3} \mu\text{m}^3$, englobando fungos, bactérias, actinomicetos, leveduras e outros (GAMA-RODRIGUES, 1999). Sua importância dá-se pela capacidade de atuar como reserva, dreno ou como catalisador da degradação da MOS, em função das condições edafoclimáticas do ecossistema (PAUL; CLARK, 1989).

A biomassa do solo desempenha papel importante na ciclagem de nutrientes, supressão de plantas patogênicas, decomposição de resíduos e degradação de poluentes, por isso é considerada um bom indicador da QS

(KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010). O incremento da BM aumenta as imobilizações de C e N que são liberados lentamente de acordo com as necessidades das plantas (FRANCHINI et al., 2007).

Devido à sua sensibilidade, a BM tem sido utilizada em estudos como um indicador de mudanças provocadas pelo manejo do solo e das culturas e nos trópicos (BABUJIA et al., 2010; FRANCHINI et al., 2007; HUNGRIA et al., 2009).

Em solos tropicais a degradação da MOS e da BM acontecem mais rapidamente que em regiões temperadas, sendo importante o uso de práticas de manejo que minimizem a perturbação do solo, que causa efeitos drásticos em sua biota (HUNGRIA et al., 2009).

O quociente microbiano (q_{Mic}) é a relação entre o carbono da BM e o carbono orgânico total, expressando quanto do carbono orgânico do solo está imobilizado na BM. O q_{Mic} tem sido utilizado como indicador da qualidade da MOS, demonstrando a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos. O valor de q_{Mic} apresenta tendência inversamente proporcional à intensidade do manejo do solo. Baixos valores de q_{Mic} sugerem provável condição de estresse para a microbiota do solo (SILVA et al., 2010) enquanto altos índices indicam que a MOS é ativa e está sujeita a ser decomposta pela microbiota (DADALTO et al., 2015).

Valores de q_{Mic} usados como referência de condição de equilíbrio do solo foram descritos por Anderson e Domsch (1989) e Colozzi Filho et al. (1999) como 2,3 para monoculturas e 4,4 para rotação de culturas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A Bacia Hidrográfica do Paraná 3 está localizada na mesorregião Oeste do Paraná, entre as latitudes 24° 01' S e 25° 35' S e as longitudes 53° 26' O e 54° 37' O e se estende em 28 municípios.

As coletas foram realizadas em junho e julho de 2015, nos municípios de Entre Rios do Oeste, Itaipulândia, Marechal Cândido Rondon, Mercedes, Santa Helena e Toledo, todas localizadas na Bacia do Paraná 3. A altitude média é de 420 m. A classe predominante de solo nas áreas avaliadas é de Latossolo Vermelho Férrico, seguido de Nitossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2013). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa (subtropical úmido com temperaturas médias anuais variando entre 17 e 19 °C e precipitações totais entre 1200 e 2000 mm bem distribuídos durante o ano e verões quentes).

Foram selecionadas 40 glebas cultivadas submetidas ao Sistema Plantio Direto (NTS) e seis matas nativas (NF) como referência. O histórico das áreas cultivadas encontra-se descrito na Tabelas 5 (p. 46 e 47), e a descrição das matas na Tabela 7 (p. 50). As glebas avaliadas fazem parte do projeto “Metodologia Participativa para Avaliação de Qualidade do Sistema Plantio Direto”, resultado de convênio entre a Itaipu Binacional e a Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação (<http://febrapdp.org.br/peq3/>). Em cada uma das 46 áreas foram amostrados cinco pontos, distanciados a 30 m entre si, dispostos num transepto, metodologia proposta por Anderson; Ingram (1997) denominado Tropical Soil Biology and Fertility Method e adaptado por Bartz et al. (2013).

4.2 ANÁLISES QUÍMICAS

As amostras de solo para análise química foram coletadas de 0 a 0,20 m de profundidade, posteriormente secas ao ar, moídas e peneiradas em malha de 2 mm de diâmetro (TFSA). Foram determinados COT, MOS, pH em CaCl₂, macro e micronutrientes, Al⁺³, Al⁺³+H⁺, soma de bases, CTC total e efetiva, saturação por bases e saturação por alumínio. As análises foram realizadas de acordo com o

Manual de análise química do solo e controle de qualidade (PAVAN et al., 1992).

Os dados de MOS, pH e a V% foram comparados pelo Teste de Scott-Knott (a 5% de probabilidade), com o intuito de caracterizar grupos semelhantes para essas variáveis. As variáveis foram correlacionadas por meio do coeficiente de Pearson, a 5% de probabilidade.

4.3 ANÁLISES FÍSICAS

As amostras de solo para análise granulométrica e grau de argila dispersa também foram coletadas de 0 a 0,20 m de profundidade, sendo posteriormente, secas ao ar, moídas e peneiradas em malha de 2 mm de diâmetro (TFSA). A determinação da granulometria foi realizada pelo método da pipeta com agitação lenta (EMBRAPA, 1997) com a utilização da solução de hidróxido de sódio (NaOH 1N) como dispersante químico, areia como dispersante físico e agitação por 16 horas (180 rpm). Para a argila dispersa em água utilizou-se o mesmo procedimento da determinação da granulometria, sem utilização do NaOH e da areia. O grau de dispersão de argila (GD) foi calculado pela equação: $GD (g\ kg^{-1}) = ((argila\ dispersa / argila\ total) \times 100)$.

A fim de verificar as relações entre os atributos químicos e a dispersão de argila, realizou-se análise de correlação pelos coeficientes lineares de Pearson, a 5% de probabilidade. Determinou-se, então o modelo de regressão linear múltipla e os coeficientes foram padronizados de acordo com a fórmula: $\beta^k = \beta_k * S_{xk} / S_y$, em que β^k é o coeficiente normalizado do atributo explicativo K, β_k é o coeficiente métrico do atributo explicativo K, S_{xk} é o desvio padrão dos atributos explicativo K e S_y é o desvio padrão da resposta do atributo. Com os coeficientes padronizados, as contribuições dos atributos explicativos foram hierarquizados e comparados de acordo com os intervalos de confiança (95%). Realizou-se a comparação de médias do Grau de Dispersão das glebas sob SPD dentro de cada microbacia a 5% de probabilidade. Os testes utilizados foram: T (duas glebas), Tukey (3 a 10 glebas) e Scott-Knott (mais de 10 glebas comparadas).

Em todos os pontos avaliou-se a resistência do solo à penetração de 0 a 0,60 metro, em intervalos de 1 cm, por meio de penetrógrafo eletrônico digital, Penetrologger da EIJKELKAMP, equipado com ponta em forma de cone com ângulo de vértice de 60° e base de 1cm², com a velocidade de penetração de 2 cm.s⁻¹. Os

resultados médios de penetrometria foram submetidos ao Teste de Scott-Knott para comparação e agrupamento das glebas sob SPD e, separadamente, para as matas nativas de referência, a 5% de probabilidade.

No ponto central foi analisada a umidade gravimétrica de 0,0 a 0,10, 0,10 a 0,20, 0,20 a 0,30, 0,30 a 0,50 e 0,50 a 0,70 metro, segundo EMBRAPA, 2011. As amostras foram extraídas com o auxílio do trado holandês e devidamente embaladas para que não perdessem a umidade original. Foi realizada a correlação de Pearson entre RP e umidade gravimétrica do solo das glebas cultivadas e, separadamente das matas nativas.

4.4 ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO

A obtenção da nota do IQP foi realizada pela equipe da Itaipu Binacional e FEBRAPDP, segundo metodologia descrita pela FEBRAPDP (2011). As glebas do presente estudo foram classificadas de acordo com a classificação das áreas sob SPD de acordo com o IQP (Tabela 3), e buscou-se identificar semelhanças entre os manejos realizados. Para os dados do IQP, foi realizada análise de cluster usando o método de ligação de Ward, distância quadrada Euclidiana e com padronização; com o objetivo de validar as classes propostas pela metodologia.

Houve uma evolução da metodologia do IQP, a primeira versão (IQP I) foi aplicada em 2012 e, após algumas adaptações, foi aplicada a segunda versão (IQP II) em 2015, no mesmo período da realização das coletas do presente estudo.

No intuito de validar a metodologia, foram determinados os coeficientes de correlação de Spearman entre os dados do IQP I e II; e com as seguintes variáveis: MOS, V%, GD, RP, tempo de implantação do SPD, qualidade estrutural avaliada pela metodologia proposta no presente trabalho (Es), assim como com os indicadores que compuseram o IQP II, a saber, IR: Intensidade de rotação, DR: Diversidade de rotação, PR: Persistência de resíduos, FP: Frequência de preparo, TC: Terraceamento correto, AC: Avaliação da conservação, NE: Fertilização equilibrada, HC: Histórico de comprometimento do produtor.

4.5 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO

Com o intuito de avaliar a estrutura do solo, e após verificada a dificuldade em abrir 230 trincheiras para aplicar a metodologia do Perfil Cultural (HÉNIN et al., 1960; TAVARES FILHO et al., 1999) nas glebas de 40 agricultores e nas seis matas, sendo 5 repetições por gleba; realizou-se avaliação da camada superficial do solo (0 a 0,25 m) de acordo com os parâmetros empregados na metodologia do Perfil Cultural, visando propor método rápido adequado para solos tropicais, para relacionar com as notas obtidas pelo IQP. As metodologias VESS (BALL et al., 2007) e VSA (SHEPHERD, 2009) não foram utilizadas pelas seguintes razões: a) foram desenvolvidas em regiões temperadas, não sendo adaptadas às condições de solos tropicais; b) consideram melhor a qualidade estrutural quanto menor o tamanho do agregado.

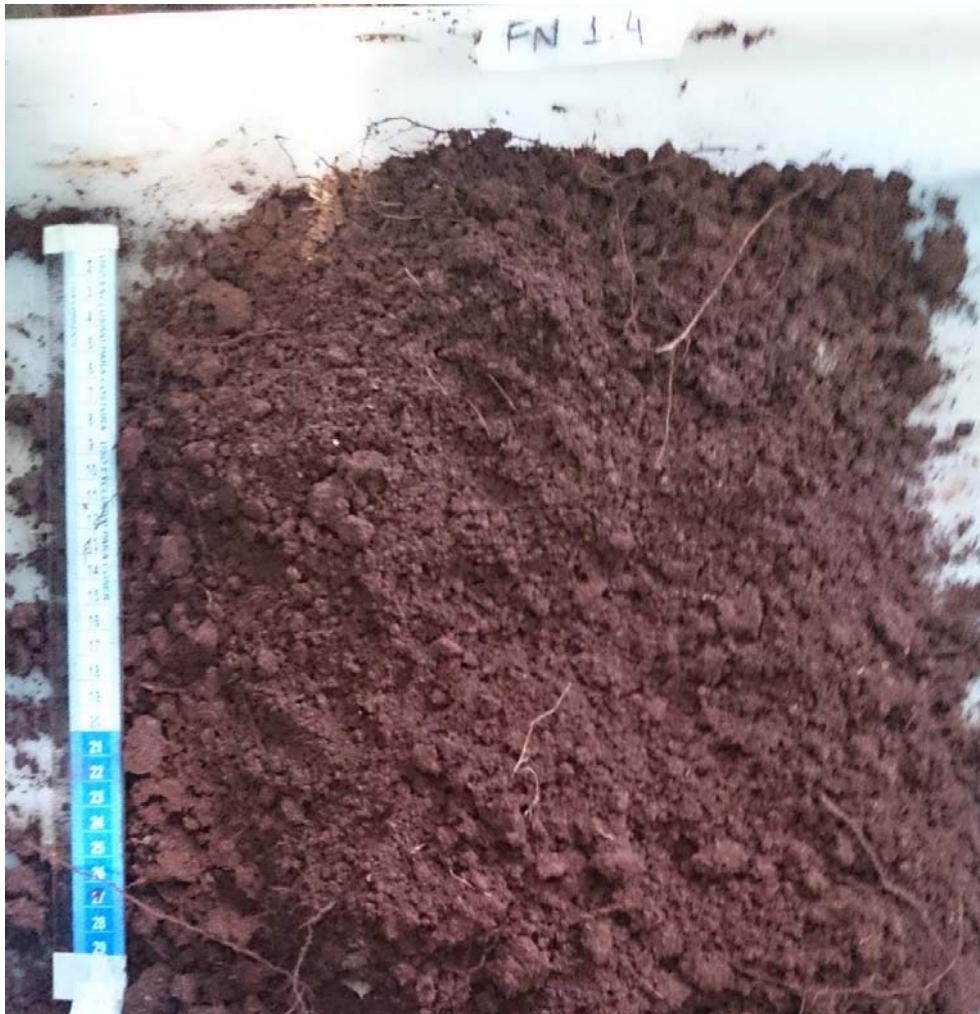
O Perfil Cultural foi adaptado às condições tropicais por Tavares Filho et al. (1999) e considera tamanho desejado de agregados entre 1 e 4 cm, entretanto, agregados menores que 1 cm são considerados resultantes da desagregação do solo, consequência da degradação, sendo indesejados e, muitas vezes, mais agravantes da deterioração da QS que agregados considerados grandes, difíceis de serem explorados pelo sistema radicular das plantas e microrganismos, devido à baixa porosidade e compactação. Ainda segundo a metodologia do Perfil Cultural, a terra fina (agregados menores que 1 cm) é passível de transporte pela água, podendo reduzir a porosidade e causar camada compactada em subsuperfície, agravando o risco de erosão.

A Avaliação da Estrutura do Solo (Es) foi realizada por meio da retirada de amostra com pá reta, monólito de dimensões de 0,20 x 0,10 x 0,25m (largura x espessura x profundidade), em pequena trincheira, colocada cuidadosamente em bandeja plástica, onde foi manipulada, separada em camadas (quando verificada camadas diferenciáveis visualmente) e identificada quanto ao tamanho dos torrões, indícios de compactação e presença de raízes. A partir da nota atribuída por camada, calculou-se, através de média ponderada, a nota da amostra, e então a média por área avaliada, que permitiu qualificar a estrutura do solo.

Após manipulação inicial de cada amostra, sempre realizada no sentido horizontal, a fim de não misturar estruturas provenientes de diferentes profundidades, utilizou-se uma régua para identificar a profundidade e, quando

passível de diferenciação visual, foram delimitadas camadas com diferentes características (Figuras 2 e 3). A nota, atribuída por camada, varia entre 6 e 1, sendo a maior nota reflexo de boa qualidade estrutural, em que a estrutura do solo se assemelha aquela de solo nativo, não cultivado; e a menor nota refletindo péssima qualidade estrutural e a necessidade de diagnóstico e adequação do manejo realizado na área.

Figura 2 – Avaliação da Estrutura do Solo (Es), camada de 0 a 0,25 m, realizado em área de mata nativa na Bacia do Paraná 3, em junho e julho de 2015.



Fonte: O autor, 2017.

Os critérios adotados para determinação da qualidade da estrutura foram: tamanho dos agregados, porosidade visível a olho nu, angulação de ruptura de agregados, resistência à ruptura, limitação ao desenvolvimento de raízes. Inicialmente identificou-se a existência ou não de indícios de compactação (raízes achatadas e/ou que se desenvolviam preferencialmente em rupturas, espelhamento na

ruptura de agregados, agregados angulosos, baixa porosidade visível a olho nu, presença de terra fina).

Figura 3 – Avaliação da Estrutura do Solo (Es), camada de 0 a 0,25 m, realizado em gleba cultivada sob SPD na Bacia do Paraná 3, em junho e julho de 2015.



Fonte: O autor, 2017.

A nota, atribuída por camada, segue as seguintes condições: 1, 2 ou 3, quando da existência de indícios de compactação; e, 4, 5 e 6, quando na ausência desses indícios. A nota 6 foi atribuída quando verificou-se a predominância de agregados entre 1 e 4 cm, as notas 5 e 4 foram concedidas à camadas sem indício de compactação, mas com menor incidência de agregados de tamanho considerado desejável. A nota 1 foi atribuída quando verificou-se predominância de agregados maiores que 7 cm (considerados grandes e de difícil evolução positiva pelo meio) e/ou de terra fina (até 1 cm), e as notas 2 e 3 foram conferidas às camadas que apresentaram indício de compactação, mas com menor incidência de agregados considerados indesejados.

O presente estudo propõe também, uma tabela de interpretação das notas obtidas na avaliação da estrutura do solo por meio da Es (Tabela 8). A tabela classifica a qualidade estrutural da amostra em: Excelente, Muito boa, Boa, Ruim ou Péssima, e apresenta recomendações de avaliação aprofundada e manejo para a área. O ideal é que a ferramenta Es seja utilizada no monitoramento da qualidade estrutural da área, mais do que um simples diagnóstico, pois permite o acompanhamento da evolução da estrutura, de acordo com o uso do solo e manejo realizado.

A amostragem para a Es foi realizada em local representativo e seguindo os mesmos cuidados da amostragem de solos das outras análises, evitando-se linhas de tráfego ou de concentração de animais, terraços, sulcos de erosão, cupinzeiros, formigueiros, pontos de acúmulo de MOS, entre outros.

Tabela 8 – Interpretação da Avaliação da Estrutura do Solo (Es).

Es	Qualidade estrutural	Recomendação
5,0-6,0	Excelente	Manter o manejo realizado.
4,0-4,9	Muito boa	Verificar e monitorar a qualidade da adoção de sistemas conservacionistas, avaliar e intensificar a rotação de culturas e o aporte de matéria orgânica.
3,0-3,9	Boa	Melhorar a qualidade de sistemas conservacionistas, adoção de rotação de culturas e minimizar revolvimento do solo (se realizado), além de realizar controle de tráfego.
2,0-2,9	Ruim	Realizar avaliações complementares na área para identificação de problemas e medidas a serem seguidas para melhoria da qualidade estrutural. Focalizar a recuperação do solo por meio do uso de plantas. Adotar manejo conservacionista.
1,0-1,9	Péssima	Realizar avaliações complementares na área para identificação de problemas e medidas a serem seguidas para melhoria da qualidade estrutural. Focalizar a recuperação do solo por meio do uso de plantas. Adotar manejo conservacionista.

Fonte: O autor, 2017.

As glebas avaliadas foram agrupadas nas classes propostas pela metodologia, com o intuito de identificar semelhanças entre elas. Realizou-se análise

de cluster usando o método de ligação de Ward, distância quadrada Euclidiana e com padronização; com o intuito de validar as classes propostas anteriormente.

4.6 ANÁLISES BIOLÓGICAS

Foram selecionadas 13 glebas cultivadas contrastantes (NTS) e sua mata nativa (NF6) para análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM) e do quociente microbiano (q_{Mic}), com o intuito de diferenciar os manejos a partir desses atributos. As amostras foram coletadas na profundidade de 0 a 0,20 m.

Utilizou-se o método de fumigação-extração modificado de Vance; Brookes e Jenkinson (1987) para a análise do CBM, e o método proposto por Brookes et al. (1985) para análise do NBM, adaptado conforme descrito em Babujia et al. (2010).

As análises foram realizadas em solo úmido com a capacidade de campo previamente ajustada para 40% de umidade da amostra. Quatro repetições de cada tratamento foram usadas para análise do CBM e NBM. Pesaram-se 20 g de solo para amostras não fumigadas e fumigadas. Para a determinação da umidade foram pesados 10 g de solo e colocados em estufa por um período de 16 h a 105°C. As amostras fumigadas foram colocadas dentro de uma caixa de vácuo contendo 50 mL de clorofórmio em cada vértice do interior da caixa, onde permaneceram por 16 h. Assim, como as amostras fumigadas, as amostras não fumigadas permaneceram na ausência de luz por 16 h. Após esse período, as amostras foram submetidas a vácuo por três vezes para eliminação do clorofórmio e suspensas em 50 mL da solução extratora (K_2SO_4 0,5 M).

As concentrações de CBM nos extratos foram determinadas através de oxidação com Mn^{3+} e, estimada colorimetricamente no comprimento de onda de 495 nm segundo Bartlett e Ross (1988). O teor de CBM nos extratos foi calculado pela diferença entre as amostras fumigadas e não fumigadas, utilizando fator de correção (K_{CE}) de 0,41 como recomendado para solos tropicais (FEIGL et al., 1995; OLIVEIRA; MENDES; VIVALDI, 2001).

As concentrações de NBM foram determinadas pela adição de 0,5 g de catalisador $CuSO_4 : K_2SO_4$ (10:1) e 1,5 mL de H_2SO_4 concentrado em 20 mL de extrato. As amostras permaneceram em estufa a 105°C por 16 h para redução do

volume, e foram digeridas por um período de aproximadamente 3 h a 350°C. Após a digestão, o resíduo foi diluído com água destilada e o nitrogênio determinado colorimetricamente no comprimento de onda de 630 nm, usando o método do azul de indofenol (FEIJE; ANGER, 1972). O teor de NBM nos extratos foi calculado pela diferença entre as amostras fumigadas e não fumigadas, utilizando fator de correção (K_{NE}) de 0,54 (BROOKES et al., 1985). Os valores de BM obtidos foram expressos em mg de CBM ou mg de NBM por kg^{-1} de solo seco.

Os dados de CBM, NBM e q_{Mic} foram avaliados pelo Teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, com o propósito de agrupar manejos semelhantes.

4.7 CONSIDERAÇÕES

Para todos os dados os pressupostos de normalidade e homogeneidade da variância dos resíduos foram avaliados através dos testes de Shapiro-Wilk e de Hartley, respectivamente, não havendo a necessidade de transformação dos dados.

As análises estatísticas foram realizadas nos softwares R (R Development Core Team, 2014) e BioEstat 5.0 (AYRES et al., 2007).

A fim de facilitar a padronização e a posterior publicação dos resultados deste estudo, as siglas usadas foram: NF (Native Forest) para mata nativa e NTS (No-till System) para glebas cultivadas sob Sistema Plantio Direto, conforme observado em diversos trabalhos internacionais.

Tabela 5 – Histórico das áreas: Mata nativa de referência, tempo de adoção do SPD (anos), operações em nível, número de transbordamentos do terraço, preparo do solo (se sim, periodicidade e motivo), plantas cultivadas antes da coleta (junho e julho de 2015).

Gleba	Mata Nativa	Microbacia	Município	Anos sob SPD	Operações em nível	Nº de transbord. do terraço	Preparo do solo	Plantas cultivadas antes coleta		
								1º Safra Set/Jan	2º Safra Jan/Jun	3º Safra Jun/Set
NTS1	NF1	Sanga Mineira	Mercedes	19	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS2	NF1	Sanga Mineira	Mercedes	12	Sim	0	A cada 2 anos Incorporação aveia	Soja	Milho	Aveia
NTS4	NF2	Toledo	Toledo	22	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS5	NF2	Toledo	Toledo	26	Sim	0	Não	Soja	Milho	Aveia
NTS6	NF2	Toledo	Toledo	19	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS7	NF2	Toledo	Toledo	24	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS8	NF2	Toledo	Toledo	21	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS9	NF2	Toledo	Toledo	26	Não	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS10	NF2	Toledo	Toledo	20	Não	0	Não	Soja	Soja	Trigo
NTS23	NF3	Buriti	Itaipulândia	20	Sim	2	A cada 6 anos Silagem	Soja	Milho (silagem)	Aveia
NTS24	NF3	Buriti	Itaipulândia	20	Sim	1	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS25	NF3	Buriti	Itaipulândia	22	Sim	0	Não	Soja	Milho	Aveia
NTS26	NF4	Pacuri	Santa Helena	18	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS27	NF4	Pacuri	Santa Helena	22	Sim	1	A cada 3 anos Manutenção terraços	Soja	Milho	Pousio
NTS28	NF4	Pacuri	Santa Helena	18	Sim	0	6 anos Devido compactação	Soja	Milho	Pousio
NTS30	NF5	Facão Torto	Entre Rios do Oeste	15	Não	0	Não	Soja	Soja	Trigo
NTS31	NF5	Facão Torto	Entre Rios do Oeste	12	Sim	0	A cada 2 anos Somente cabeceiras	Soja	Milho	Pousio
NTS32	NF5	Facão Torto	Entre Rios do Oeste	Convencional	Sim	Não possui	A cada 2 anos Controle de invasoras	Mandioca Pastagem	Mandioca Pastagem	Mandioca Pastagem
NTS33	NF5	Facão Torto	Entre Rios do Oeste	19	Sim	0	A cada 5 anos Manutenção terraços	Soja	Milho	Pousio

Continuação... **Tabela 5** – Histórico das áreas: Mata nativa de referência, tempo de adoção do SPD (anos), operações em nível, número de transbordamentos do terraço, preparo do solo (se sim, periodicidade e motivo), plantas cultivadas antes da coleta (junho e julho de 2015).

Gleba	Mata Nativa	Microbacia	Município	Anos sob SPD	Operações em nível	Nº de transbord. do terraço	Preparo do solo	Plantas cultivadas antes coleta		
								1º Safra Set/Jan	2º Safra Jan/Jun	3º Safra Jun/Set
NTS3	NF6	Ajuricaba	MCR	12	Sim	3	A cada 3 anos Silagem	Soja	Milho (silagem)	Pousio
NTS11	NF6	Arroio Fundo	MCR	24	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS12	NF6	Ajuricaba	MCR	24	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS13	NF6	Ajuricaba	MCR	25	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS14	NF6	Ajuricaba	MCR	24	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS15	NF6	Ajuricaba	MCR	24	Sim	0	Anual Incorporação aveia	Soja	Milho	Aveia
NTS16	NF6	Ajuricaba	MCR	19	Sim	1	Anual Incorporação aveia	Soja	Milho	Aveia
NTS17	NF6	Ajuricaba	MCR	9	Não	1	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS18	NF6	Ajuricaba	MCR	7	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS19	NF6	Ajuricaba	MCR	Convencional	Sim	0	Anual Controle de invasoras	Soja Mandioca	Milho Mandioca	Pousio Mandioca
NTS20	NF6	Ajuricaba	MCR	19	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS21	NF6	Ajuricaba	MCR	15	Sim	1	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS22	NF6	Ajuricaba	MCR	12	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS29	NF6	Arroio Fundo	MCR	18	Não	1	A cada 4 anos Silagem	Soja	Milho (silagem)	Pousio
NTS34	NF6	Curvado	MCR	24	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS35	NF6	Curvado	MCR	19	Sim	3	Anual Silagem	Soja	Milho (silagem)	Aveia
NTS36	NF6	Arroio Fundo	MCR	Convencional	Sim	1	A cada 2 anos Implantação mandioca	Mandioca	Mandioca	Mandioca
NTS37	NF6	Arroio Fundo	MCR	19	Sim	0	Não	Soja	Milho (silagem)	Aveia
NTS38	NF6	Arroio Fundo	MCR	14	Sim	0	Não	Soja	Milho	Pousio
NTS39	NF6	Arroio Fundo	MCR	13	Sim	1	A cada 6 anos Implantação mandioca	Soja	Milho	Pousio
NTS40	NF6	Arroio Fundo	MCR	Convencional	Não	1	Anual Controle de invasoras	Soja	Milho	Pousio

Tabela 6 – IQP I e II das glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, e discriminação dos indicadores que compõem o IQP II.

Gleba	Mata Nativa	Microbacia	Município	Anos sob SPD	IQP I	IQP II	Discriminação IQP II							
							IR	DR	PR	FP	TC	AC	NE	HC
NTS1	NF1	Sanga Mineira	Mercedes	19	6.5	7.5	0.8	0.7	0.6	1.0	1.0	0.4	1.0	1.0
NTS2	NF1	Sanga Mineira	Mercedes	12	7.2	8.0	0.8	0.7	0.5	1.0	1.0	0.7	1.0	0.4
NTS4	NF2	Toledo	Toledo	22	5.5	5.3	0.8	0.7	0.0	0.3	0.5	0.4	0.8	1.0
NTS5	NF2	Toledo	Toledo	26	8.1	8.3	0.9	0.7	0.8	1.0	1.0	0.7	0.6	1.0
NTS6	NF2	Toledo	Toledo	19	8.8	8.6	1.0	0.7	0.8	1.0	1.0	0.7	0.8	1.0
NTS7	NF2	Toledo	Toledo	24	8.3	8.4	0.9	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0
NTS8	NF2	Toledo	Toledo	21	8.9	8.6	0.9	0.7	0.8	1.0	1.0	0.9	0.5	1.0
NTS9	NF2	Toledo	Toledo	26	7.3	7.6	0.8	0.7	0.5	1.0	1.0	0.7	0.8	0.8
NTS10	NF2	Toledo	Toledo	20	6.3	7.8	0.8	0.7	0.5	1.0	0.5	0.8	1.0	1.0
NTS23	NF3	Buriti	Itaipulândia	20	6.5	5.6	1.0	0.3	0.5	0.0	1.0	0.5	0.8	0.6
NTS24	NF3	Buriti	Itaipulândia	20	7.9	7.8	0.8	0.7	0.7	1.0	1.0	0.5	0.8	0.8
NTS25	NF3	Buriti	Itaipulândia	22	8.4	8.4	0.9	0.7	0.8	1.0	1.0	0.8	0.8	0.7
NTS26	NF4	Pacuri	Santa Helena	18	5.3	5.5	0.7	0.7	0.0	0.0	1.0	0.9	0.8	0.8
NTS27	NF4	Pacuri	Santa Helena	22	8.5	8.5	1.0	0.7	1.0	1.0	0.5	0.8	0.8	1.0
NTS28	NF4	Pacuri	Santa Helena	18	6.9	7.3	0.8	0.7	0.5	1.0	0.5	0.8	0.8	0.8
NTS30	NF5	Facão Torto	Entre Rios do Oeste	15	6.5	3.3	0.7	0.3	0.2	0.0	0.5	0.2	0.3	0.6
NTS31	NF5	Facão Torto	Entre Rios do Oeste	12	7.1	6.9	0.8	0.7	0.5	0.8	0.5	0.7	0.8	0.8
NTS32	NF5	Facão Torto	Entre Rios do Oeste	Convencional	5.0	4.1	0.9	0.3	0.0	0.0	1.0	1.0	0.3	0.0
NTS33	NF5	Facão Torto	Entre Rios do Oeste	19	6.1	6.1	0.8	0.7	0.5	0.3	1.0	0.4	1.0	0.4

IR: Intensidade de rotação; DR: Diversidade de rotação; PR: Persistência de resíduos; FP: Frequência de preparo; TC: Terraceamento correto; AC: Avaliação da conservação; NE: Fertilização equilibrada; HC: Histórico de comprometimento do produtor.

Fonte: Itaipu e FEBRAPDP, 2015.

Continuação... **Tabela 6** – IQP I e II das glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, e discriminação dos indicadores que compõem o IQP II.

Gleba	Mata Nativa	Microbacia	Município	Anos sob SPD	IQP I	IQP II	Discriminação IQP II							
							IR	DR	PR	FP	TC	AC	NE	HC
NTS3	NF6	Ajuricaba	MCR	12	4.9	5.0	0.8	0.7	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
NTS11	NF6	Arroio Fundo	MCR	24	8.2	7.8	1.0	0.3	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0
NTS12	NF6	Ajuricaba	MCR	24	7.2	7.2	0.9	0.7	0.8	0.8	1.0	0.4	0.6	0.6
NTS13	NF6	Ajuricaba	MCR	25	5.5	5.8	0.8	0.7	0.0	0.0	1.0	1.0	0.5	1.0
NTS14	NF6	Ajuricaba	MCR	24	8.7	8.3	0.9	0.7	1.0	0.8	1.0	0.7	0.8	0.8
NTS15	NF6	Ajuricaba	MCR	24	7.5	7.5	1.0	0.7	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8	1.0
NTS16	NF6	Ajuricaba	MCR	19	6.6	6.8	0.8	0.3	1.0	0.8	0.5	0.5	0.8	0.7
NTS17	NF6	Ajuricaba	MCR	9	7.2	6.4	0.8	0.7	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8	0.3
NTS18	NF6	Ajuricaba	MCR	7	6.4	7.0	0.8	0.5	0.8	0.9	1.0	0.5	0.8	0.4
NTS19	NF6	Ajuricaba	MCR	Convencional	7.5	7.4	0.9	0.3	1.0	0.8	1.0	0.5	0.8	0.6
NTS20	NF6	Ajuricaba	MCR	19	8.0	7.8	0.9	0.7	0.7	1.0	0.5	0.9	0.5	1.0
NTS21	NF6	Ajuricaba	MCR	15	4.6	4.4	0.8	0.7	0.0	0.3	0.5	0.3	0.5	0.6
NTS22	NF6	Ajuricaba	MCR	12	6.8	7.0	0.8	0.7	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0	0.2
NTS29	NF6	Arroio Fundo	MCR	18	6.5	7.4	0.8	0.7	0.5	1.0	1.0	0.8	0.5	0.7
NTS34	NF6	Curvado	MCR	24	6.7	6.3	0.8	0.7	0.5	0.3	1.0	0.7	0.8	0.6
NTS35	NF6	Curvado	MCR	19	5.9	7.1	0.8	0.7	0.5	1.0	0.5	0.8	0.5	0.8
NTS36	NF6	Arroio Fundo	MCR	Convencional	5.9	5.7	0.9	0.3	0.8	0.0	1.0	0.5	0.3	0.8
NTS37	NF6	Arroio Fundo	MCR	19	7.1	6.3	1.0	0.7	0.0	0.3	1.0	1.0	0.8	0.7
NTS38	NF6	Arroio Fundo	MCR	14	6.1	6.6	0.8	0.7	0.5	1.0	0.5	0.4	0.8	0.4
NTS39	NF6	Arroio Fundo	MCR	13	5.0	5.4	0.8	0.7	0.5	0.0	0.5	0.8	0.8	0.5
NTS40	NF6	Arroio Fundo	MCR	Convencional	4.1	4.0	1.0	0.7	0.0	0.0	0.5	0.8	0.0	0.2

IR: Intensidade de rotação; DR: Diversidade de rotação; PR: Persistência de resíduos; FP: Frequência de preparo; TC: Terraceamento correto; AC: Avaliação da conservação; NE: Fertilização equilibrada; HC: Histórico de comprometimento do produtor.

Fonte: Itaipu e FEBRAPDP, 2015.

Tabela 7 – Descrição das matas nativas e áreas correlacionadas avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015.

Mata	Microbacia	Município	Descrição	Áreas cultivadas correlacionadas
NF1	Sanga Mineira	Mercedes	Remanescente de floresta secundária	PD1 e PD2
NF2	Toledo	Toledo	Remanescente de floresta secundária	PD4, PD5, PD6, PD7, PD8, PD9 e PD10
NF3	Buriti	Itaipulândia	Pedregosidade*	PD23, PD24 e PD25
NF4	Pacuri	Santa Helena	Alta declividade*	PD26, PD27 e PD28
NF5	Facção Torto	Entre Rios do Oeste	Remanescente de floresta secundária	PD30, PD31, PD32 e PD33
NF6	Ajuricaba, Arroio Fundo e Curvado	MCR	Alta declividade*	PD3, PD11, PD12, PD13, PD14, PD15, PD16, PD17, PD18, PD19, PD20, PD21, PD22, PD29, PD34, PD35, PD36, PD37, PD38, PD39 e PD40

*Mantidas por sua inaptidão ao uso agrícola.

Fonte: O autor, 2017.

Tabela 9 – Atributos químicos das seis matas nativas avaliadas na Bacia do Paraná 3, de 0 – 0,2 m de profundidade, junho e julho de 2015.

Áreas	Carbono %	Matéria Orgânica %	pH CaCl ₂	Fósforo (mg/dm ³)	Potássio	Cálcio	Magnésio	Alumínio	Al + H	Soma de Bases	CTC total	CTC efetiva	V %	m%
NF1	2.2	3.8	5.9	2.7	0.6	10.8	1.4	0.0	3.0	12.8	15.8	12.8	80.3	2.6
NF2	2.5	4.4	4.3	2.4	0.2	4.0	1.8	1.1	9.2	6.0	15.2	7.1	38.6	14.7
NF3	3.2	5.4	6.1	16.6	0.6	20.2	4.7	0.0	3.4	25.5	28.9	25.6	88.5	4.2
NF4	1.8	3.0	6.3	1.5	0.7	13.7	1.7	0.0	2.6	16.1	18.7	16.2	86.0	2.8
NF5	2.0	3.4	6.1	2.7	0.7	11.1	2.2	0.0	2.7	13.9	16.7	13.9	82.9	2.6
NF6	2.2	3.7	5.9	3.1	0.4	19.2	5.3	0.0	3.6	24.9	28.4	24.9	87.0	2.7

CTC: capacidade de troca de cátions; V saturação por bases; m: saturação por alumínio.

Fonte: O autor, 2017.

Tabela 10 – Atributos químicos das 40 glebas cultivadas sob SPD avaliadas na Bacia do Paraná 3, de 0 – 0,2 m de profundidade, em junho e julho de 2015.

Gleba	Carbono %	Matéria Orgânica %	pH CaCl ₂	Fósforo (mg/dm ³)	Potássio	Cálcio	Magnésio	Alumínio	Al + H	Soma de Bases	CTC total	CTC efetiva	V %	m%
NTS1	1.2	2.1	5.3	7.5	0.6	7.8	1.6	0.1	3.7	10.1	13.8	10.2	73.5	0.5
NTS2	1.1	1.9	5.6	5.0	0.3	9.4	2.0	0.0	3.2	11.7	14.9	11.7	78.2	0.2
NTS3	1.5	2.7	4.9	9.0	0.4	9.1	2.0	0.1	5.1	11.6	16.7	11.7	69.6	0.6
NTS4	1.5	2.6	5.6	19.7	0.5	5.9	1.5	0.0	3.9	7.9	11.8	8.0	67.2	0.5
NTS5	1.9	3.2	5.3	9.3	0.5	5.9	1.4	0.1	5.1	7.8	13.0	7.9	60.3	1.1
NTS6	1.7	2.9	5.7	22.2	0.4	6.4	1.6	0.0	3.7	8.4	12.1	8.4	69.4	0.3
NTS7	1.9	3.2	5.2	8.3	0.5	5.3	2.0	0.7	5.5	7.7	13.2	8.4	58.5	8.2
NTS8	1.3	2.2	5.0	18.7	0.5	4.3	1.5	0.2	4.7	6.4	11.1	6.5	57.4	2.6
NTS9	1.4	2.5	4.7	18.2	0.4	3.6	1.2	0.3	6.2	5.2	11.4	5.5	45.4	5.5
NTS10	1.8	3.0	5.2	22.1	0.5	6.0	1.9	0.2	5.5	8.4	13.9	8.6	60.6	2.3
NTS11	1.7	2.9	4.6	25.4	0.2	5.1	1.7	0.4	6.4	7.1	13.5	7.4	52.4	5.0
NTS12	1.4	2.4	5.3	5.3	0.4	8.1	2.2	0.0	3.9	10.7	14.6	10.7	73.4	0.3
NTS13	1.4	2.4	5.3	5.6	0.5	8.0	1.7	0.0	4.1	10.2	14.3	10.3	71.3	0.4
NTS14	1.2	2.1	5.4	10.1	0.8	7.0	1.8	0.0	3.8	9.6	13.4	9.6	71.8	0.5
NTS15	1.0	1.7	5.7	15.7	0.5	5.2	1.8	0.1	3.5	7.5	10.9	7.6	68.2	1.8
NTS16	1.0	1.7	4.5	42.9	0.6	3.2	1.8	0.3	6.3	5.6	11.9	5.9	46.8	5.4
NTS17	1.3	2.2	5.1	25.5	0.6	4.9	1.5	0.1	4.3	7.0	11.4	7.1	61.9	1.2
NTS18	0.8	1.4	4.6	6.0	0.7	3.3	1.4	0.3	5.1	5.4	10.4	5.7	51.4	5.7
NTS19	1.1	1.8	4.7	25.0	0.5	4.7	1.6	0.4	5.3	6.9	12.1	7.3	56.5	5.5
NTS20	1.4	2.5	5.4	19.6	0.9	8.9	0.9	0.0	4.1	10.7	14.8	10.7	72.3	0.4

CTC: capacidade de troca de cátions; V saturação por bases; m: saturação por alumínio.

Fonte: O autor, 2017.

Continuação...**Tabela 10** – Atributos químicos das 40 glebas cultivadas sob SPD avaliadas na Bacia do Paraná 3, de 0 – 0,2 m de profundidade, em junho e julho de 2015.

Gleba	Carbono %	Matéria Orgânica %	pH CaCl ₂	Fósforo (mg/dm ³)	Potássio	Cálcio	Magnésio	Alumínio	Al + H	Soma de Bases	CTC total	CTC efetiva	V %	m%
NTS21	1.3	2.2	4.6	8.5	0.5	4.9	1.2	0.2	4.7	6.6	11.3	6.7	58.2	2.6
NTS22	1.2	2.0	4.0	33.6	0.5	3.9	2.3	0.8	8.8	6.7	15.5	7.5	43.1	10.3
NTS23	1.0	1.7	5.1	16.3	0.6	5.9	1.9	0.2	4.0	8.4	12.4	8.6	67.9	1.9
NTS24	1.5	2.5	5.2	23.0	0.8	5.9	1.9	0.1	4.4	8.6	13.0	8.7	66.0	0.7
NTS25	1.9	3.3	5.4	12.5	0.7	6.5	1.8	0.2	3.4	9.1	12.6	9.3	72.6	1.8
NTS26	1.1	1.9	5.3	26.9	0.6	5.9	2.4	0.0	3.9	8.8	12.7	8.9	69.2	0.4
NTS27	1.3	2.2	5.1	9.2	0.7	5.6	1.8	0.2	4.7	8.0	12.7	8.2	63.2	2.4
NTS28	1.0	1.8	5.1	23.2	0.4	6.3	1.8	0.1	3.9	8.5	12.5	8.6	68.5	0.7
NTS29	1.5	2.6	4.9	3.9	0.5	7.3	1.2	0.1	4.6	9.0	13.6	9.0	65.8	0.7
NTS30	1.1	2.0	5.4	12.0	0.6	6.7	1.8	0.0	3.6	9.1	12.7	9.1	71.4	0.2
NTS31	1.5	2.6	6.1	26.0	0.7	7.8	2.9	0.0	2.8	11.4	14.2	11.4	80.2	0.2
NTS32	0.9	1.6	4.6	26.4	0.8	4.4	1.6	0.1	6.1	6.8	12.9	6.9	52.4	2.1
NTS33	1.0	1.7	5.5	18.8	0.6	6.1	1.6	0.4	3.2	8.3	11.6	8.7	72.0	4.1
NTS34	1.1	1.9	5.5	14.9	0.9	7.9	2.3	0.0	3.8	11.0	14.9	11.1	74.3	0.3
NTS35	1.4	2.4	5.5	22.0	1.0	6.3	2.1	0.0	3.6	9.4	13.0	9.4	72.0	0.4
NTS36	0.9	1.6	4.9	2.7	0.1	6.0	2.1	0.0	4.4	8.2	12.6	8.2	64.9	0.5
NTS37	1.6	2.7	5.2	28.8	0.5	6.8	2.4	0.0	3.9	9.6	13.5	9.6	71.2	0.3
NTS38	1.2	2.1	5.2	14.7	0.4	5.9	1.9	0.1	3.7	8.1	11.9	8.2	68.5	0.8
NTS39	1.2	2.1	5.0	8.5	0.5	5.6	2.7	0.2	4.8	8.7	13.5	8.9	64.7	2.1
NTS40	1.5	2.6	5.9	3.0	0.7	14.6	2.6	0.0	3.2	17.9	21.1	17.9	84.7	0.2

CTC: capacidade de troca de cátions; V saturação por bases; m: saturação por alumínio.

Fonte: O autor, 2017.

Tabela 11 – Nota de avaliação da estrutura superficial do solo por gleba cultivada sob SPD avaliada na Bacia do Paraná 3, quantidade de raízes, % de cobertura vegetal, tipo de cobertura e demais observações (junho e julho de 2015).

Gleba	Mata Nativa	Microbacia	Município	Es	Raízes	Cobertura vegetal %	Tipo cobertura	Observações
NTS1	NF1	Sanga Mineira	Mercedes	3.6	2	50	palha	
NTS2	NF1	Sanga Mineira	Mercedes	3.6	2	25	palha	
NTS4	NF2	Toledo	Toledo	3.2	2	75	plantas daninhas	
NTS5	NF2	Toledo	Toledo	2.5	1	50	palha	
NTS6	NF2	Toledo	Toledo	2.7	2	50	plantas daninhas	
NTS7	NF2	Toledo	Toledo	3.4	2	50	plantas daninhas e palha	
NTS8	NF2	Toledo	Toledo	2.6	2	100	palha	solo desagregado - em recuperação
NTS9	NF2	Toledo	Toledo	3.1	1	50	plantas daninhas e palha	
NTS10	NF2	Toledo	Toledo	3.6	4	100	aveia	
NTS23	NF3	Buriti	Itaipulândia	3.2	1	75	palha e aveia	
NTS24	NF3	Buriti	Itaipulândia	3.6	1	25	palha	
NTS25	NF3	Buriti	Itaipulândia	4.3	1	100	palha	
NTS26	NF4	Pacuri	Santa Helena	4.5	1	75	plantas daninhas e palha	
NTS27	NF4	Pacuri	Santa Helena	4.3	1	75	plantas daninhas	
NTS28	NF4	Pacuri	Santa Helena	4.0	2	50	plantas daninhas	
NTS30	NF5	Facção Torto	Entre Rios do Oeste	4.0	1	75	palha	
NTS31	NF5	Facção Torto	Entre Rios do Oeste	4.0	2	100	trigo	
NTS32	NF5	Facção Torto	Entre Rios do Oeste	3.3	1	75	palha/rama e pasto	mandioca e pisoteio de animais
NTS33	NF5	Facção Torto	Entre Rios do Oeste	4.3	1	100	palha	Chuva

Es: Nota de avaliação da estrutura superficial do solo. Raízes: 1- muito poucas, 2 – poucas, 3 – médio, 4 – muitas. Cobertura vegetal avaliada visualmente: 0, 25, 50, 75 ou 100%.

Fonte: O autor, 2017.

Continuação... **Tabela 11** – Nota de avaliação da estrutura superficial do solo por gleba cultivada sob SPD avaliada na Bacia do Paraná 3, quantidade de raízes, % de cobertura vegetal, tipo de cobertura e demais observações (junho e julho de 2015).

Gleba	Mata Nativa	Microbacia	Município	Es	Raízes	Cobertura vegetal %	Tipo cobertura	Observações
NTS3	NF6	Ajuricaba	MCR	3.0	2	25	palha	afloramento rochoso
NTS11	NF6	Arroio Fundo	MCR	2.3	2	100	aveia	
NTS12	NF6	Ajuricaba	MCR	4.2	1	100	palha	
NTS13	NF6	Ajuricaba	MCR	4.0	2	100	plantas daninhas	Pousio
NTS14	NF6	Ajuricaba	MCR	4.0	1	75	palha e aveia	preparo primário
NTS15	NF6	Ajuricaba	MCR	2.5	1	75	palha	preparo primário
NTS16	NF6	Ajuricaba	MCR	3.9	1	100	plantas daninhas e palha	
NTS17	NF6	Ajuricaba	MCR	4.5	1	75	plantas daninhas	
NTS18	NF6	Ajuricaba	MCR	4.2	1	25	palha	
NTS19	NF6	Ajuricaba	MCR	1.2	2	75	aveia e palha	plantio convencional
NTS20	NF6	Ajuricaba	MCR	1.9	1	50	palha	preparo primário
NTS21	NF6	Ajuricaba	MCR	4.0	2	100	palha	
NTS22	NF6	Ajuricaba	MCR	4.1	2	100	palha	
NTS29	NF6	Arroio Fundo	MCR	4.0	1	75	plantas daninhas e palha	
NTS34	NF6	Curvado	MCR	4.0	2	100	palha	Chuva
NTS35	NF6	Curvado	MCR	4.0	1	75	plantas daninhas e palha	
NTS36	NF6	Arroio Fundo	MCR	1.7	2	50	aveia e plantas daninhas	preparo primário
NTS37	NF6	Arroio Fundo	MCR	3.6	1	75	aveia	área de silagem
NTS38	NF6	Arroio Fundo	MCR	3.8	1	75	plantas daninhas e palha	
NTS39	NF6	Arroio Fundo	MCR	3.9	1	50	plantas daninhas e palha	
NTS40	NF6	Arroio Fundo	MCR	2.0	1	100	plantas daninhas	preparo primário e chuva

Es: Nota de avaliação da estrutura superficial do solo. Raízes: 1- muito poucas, 2 – poucas, 3 – médio, 4 – muitas. Cobertura vegetal avaliada visualmente: 0, 25, 50, 75 ou 100%.

Fonte: O autor, 2017.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS

Os valores dos atributos químicos avaliados neste estudo estão descritos na Tabela 9 (p.50), para as matas nativas, e na Tabela 10 (p.51 e 52), para as glebas cultivadas. Os dados de MOS, pH e V% foram agrupados pelo Teste de Scott-Knott, quatro diferentes grupos em relação à MOS e V%, e em cinco grupos para a variável pH (Tabela 12). Apesar da distinção em grupos, de acordo com a variação do teor de MOS, as matas apresentaram maior MOS, com exceção da NF4, que foi superada por três áreas agrícolas (NTS25, NTS5 e NTS7).

Em relação às três glebas mencionadas (NTS25, NTS5 e NTS7), além do teor de MOS ser considerado relativamente alto em áreas cultivadas (3,3; 3,2 e 3,2 %), os valores de pH são intermediários (5,4; 5,3 e 5,2). Alguns autores afirmam que em solos cultivados sob SPD os valores de necessidade de calcário têm sido superestimados, justificando por meio do rendimento adequado das culturas mesmo em pH inferior a 6,0 (ANGHINONI; SALET, 2000; POTTKER; BEN, 1998; WIETHOLTER, 2002). A adoção do SPD nas glebas NTS25, NTS5 e NTS7 data de 22, 26 e 24 anos, respectivamente, não há revolvimento de solo, o manejo é realizado em nível e não houve transbordamento de terraços nas áreas. Guareschi et al. (2014) verificaram que o SPD promoveu aumento dos teores de C ao longo do tempo, sendo o sistema considerado uma alternativa capaz de reverter a degradação dos solos. Essas glebas também apresentaram IQP classificado como bom (8,4; 8,3 e 8,4), estando próximas do limite para ser classificado como ótimo (<8,5), o que reflete a qualidade do sistema produtivo conduzido pelos agricultores.

Os teores de MOS das áreas agrícolas estão abaixo dos teores verificados nas matas, demonstrando que com as práticas e pelo tempo adotados, ainda não foram suficientes para recuperar este parâmetro. Considerando as três situações exemplificadas acima, percebe-se que o parâmetro comum que poderia elevar as notas do IQP é a DR - Diversidade da rotação, ou seja, a rotação adotada está aquém do preconizado. Portanto, o tempo de adoção do SPD, sem que haja a rotação adequada de culturas, não é suficiente para recuperar a MOS aos níveis iniciais.

Tabela 12 – Teores de matéria orgânica (%), pH em CaCl₂ e saturação por bases (%) das glebas cultivadas sob SPD (NTS) e matas nativas de referência (NF) avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015, de 0 a 0,20 m.

Glebas	Matéria Orgânica %	pH CaCl ₂	V %
NF1	3.8 c	5.9 a	80.3 a
NF2	4.4 b	4.3 e	38.6 d
NF3	5.4 a	6.1 a	88.5 a
NF4	3.0 c	6.3 a	86.0 a
NF5	3.4 c	6.1 a	82.9 a
NF6	3.7 c	5.9 a	87.0 a
NTS1	2.1 d	5.3 b	73.5 b
NTS2	1.9 d	5.6 b	78.2 a
NTS3	2.7 d	4.9 c	69.6 b
NTS4	2.6 d	5.6 b	67.2 b
NTS5	3.2 c	5.3 b	60.3 c
NTS6	2.9 c	5.7 b	69.4 b
NTS7	3.2 c	5.2 b	58.5 c
NTS8	2.2 d	5.0 c	57.4 c
NTS9	2.5 d	4.7 d	45.4 d
NTS10	3.0 c	5.2 b	60.6 c
NTS11	2.9 c	4.6 d	52.4 c
NTS12	2.4 d	5.3 b	73.4 b
NTS13	2.4 d	5.3 b	71.3 b
NTS14	2.1 d	5.4 b	71.8 b
NTS15	1.7 d	5.7 b	68.2 b
NTS16	1.7 d	4.5 d	46.8 d
NTS17	2.2 d	5.1 c	61.9 c
NTS18	1.4 d	4.6 d	51.4 c
NTS19	1.8 d	4.7 d	56.5 c
NTS20	2.5 d	5.4 b	72.3 b
NTS21	2.2 d	4.6 d	58.2 c
NTS22	2.0 d	4.0 e	43.1 d
NTS23	1.7 d	5.1 c	67.9 b
NTS24	2.5 d	5.2 c	66.0 b
NTS25	3.3 c	5.4 b	72.6 b
NTS26	1.9 d	5.3 b	69.2 b
NTS27	2.2 d	5.1 c	63.2 b
NTS28	1.8 d	5.1 c	68.5 b
NTS29	2.6 d	4.9 c	65.8 b
NTS30	2.0 d	5.4 b	71.4 b
NTS31	2.6 d	6.1 a	80.2 a
NTS32	1.6 d	4.6 d	52.4 c
NTS33	1.7 d	5.5 b	72.0 b
NTS34	1.9 d	5.5 b	74.3 b
NTS35	2.4 d	5.5 b	72.0 b
NTS36	1.6 d	4.9 c	64.9 b
NTS37	2.7 d	5.2 b	71.2 b
NTS38	2.1 d	5.2 b	68.5 b
NTS39	2.1 d	5.0 c	64.7 b
NTS40	2.6 d	5.9 a	84.7 a

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (Scott-Knott a 5% de probabilidade).

Fonte: O autor (2017).

As três glebas com menor teor de MOS (NTS18, NTS36 e NTS32) refletem a importância da implantação e consolidação do SPD. O SPD da gleba NTS18 foi implantado há 7 anos; o manejo realizado nas glebas NTS36 e NTS32 é considerado convencional pois realiza-se revolvimento do solo a cada dois anos para controle de plantas invasoras, nas duas glebas realiza-se o cultivo de mandioca, o que também justifica a menor MOS, pelo revolvimento necessário. O IQP das áreas também é considerado ruim, 5,7 e 4,1 respectivamente, demonstrando o menor comprometimento com o conceito do SPD. No caso da gleba 18, o IQP da área foi 7,0 – devendo ser revisto.

Os valores de V% foram inferiores a 60% somente em 11 glebas, dentre as quais estão as glebas NTS18 e NTS32 mencionadas anteriormente. O comportamento da saturação por bases foi semelhante ao do teor de MOS, em que, exceto a NF2, as matas apresentaram V% elevada, e, no geral, as áreas com baixo V% também apresentaram baixa MOS.

A correlação de Pearson foi alta entre pH e V% ($r=0,86$), entretanto, entre MOS e pH e MOS e V% foram consideradas baixas ($r=0,30$ e $r=0,24$, respectivamente).

As práticas agrícolas melhoradas possuem elevado potencial para aumentar o estoque de C nos solos cultivados (BERNARDI et al., 2007). Esse aumento do estoque de C é resultado da redução do revolvimento do solo, que diminui a taxa de decomposição da MOS, favorecendo seu acúmulo (GREEN et al., 2007; RESCK et al., 2000). Em áreas de SPD de longa duração, Calegari et al. (2008) constataram sequestro de C 29,4% maior que em áreas convencionais de 0 a 0,20 m de profundidade; e, considerando somente os primeiros 0,10 m de profundidade, o SPD proporcionou sequestro 64,6% maior. O sequestro medido foi de $1,24 \text{ Mg ha}^{-1}$ por ano na produção de cereais de inverno associado ao SPD.

Os teores de MOS observados nesse estudo apresentaram-se entre médios e muito altos, segundo critérios de interpretação de Serrat et al. (2006). Corroborando com os resultados de Kraemer e outros autores (2014), em que, após longo período de adoção de SPD resultou na manutenção de teores médios e altos de MOS.

5.2 ATRIBUTOS FÍSICOS

5.2.1 Resistência à Penetração

A avaliação da RP foi adotada por sua capacidade de mapear áreas, podendo ser empregada para monitoramento e direcionar avaliações mais específicas.

Na Tabela 13 pode-se verificar a diferenciação das camadas em profundidade, Lima et al. (2013) também encontraram variação da RP entre as camadas do solo. Também foi possível observar o aumento significativo da RP em profundidade, explicado pela variação pedológica e pela ação do manejo. Roboredo et al. (2010) alegam que o aumento da RP em profundidade deve-se à compactação causada pelo manejo e preparo do solo. Os valores superiores verificados em profundidade estão em concordância com outros autores (PEREIRA et al., 2013; SOUZA et al., 2005).

O aumento da RP em profundidade pode ser devido ao efeito do preparo abaixo da profundidade e neste caso causado pela desagregação causada pela haste e a consequente reorganização das partículas do solo, demonstrando que os efeitos da escarificação são efêmeros (NUNES et al., 2014; SILVEIRA et al., 2012). A escarificação ainda pode promover compactação em profundidade e não a recuperação estrutural que se intenciona ao realizar a operação, confirmados em avaliações realizadas através do Perfil Cultural (SILVA et al., 2014).

Tabela 13 – Resistência à Penetração (RP) de 0 a 0,60 m, em camadas de 0,10 m, das 40 glebas sob SPD, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015.

Profundidade (m)	RP (MPa)
0,0 - 0,1	0.957 e
0,1 - 0,2	1.970 d
0,2 - 0,3	2.217 c
0,3 - 0,4	2.207 c
0,4 - 0,5	2.424 b
0,5 - 0,6	2.791 a

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2017).

Nas camadas superficiais do solo (0 - 0,30 m) há maior influência do manejo, e mesmo que as áreas estejam cultivadas sob Sistema Plantio Direto, a presença de raízes, matéria orgânica e atividade microbiológica acontecem majoritariamente nessas camadas e são favoráveis aos menores valores de RP observados.

Por meio da média das 40 glebas avaliadas, não foi possível identificar uma camada subsuperficial (entre 0,08 e 0,15 m) mais compactada em SPD, conforme relatado por outros estudos (GENRO JUNIOR et al., 2004; SECCO et al., 2009; SUZUKI et al., 2008). Ralisch et al. (2008) afirmam que os dados de RP devem ser sempre empregados comparativamente e não como indicadores de compactação e é desta forma que se pretendeu empregar a metodologia neste estudo.

Maiores RP em profundidade também foram observadas nas matas nativas de referência (Tabela 14), assim os valores superiores encontrados podem ser atribuídos à variação pedológica natural. Interessante observar que nos primeiros 0,20 m, a RP observada nas matas nativas é bem inferior às glebas cultivadas (53,4% inferior para a camada de 0 a 0,10 m e 54,2% inferior para a camada de 0,10 a 0,20 m), isso deve-se à presença de liteira, maiores teores de MOS e atividade biológica.

Tabela 14 – Resistência à Penetração (RP) de 0 a 0,60 m, por camadas de 0,10 m, das seis matas nativas de referência, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015.

Profundidade (m)	RP (MPa)
0,0 - 0,1	0.511 d
0,1 - 0,2	1.068 c
0,2 - 0,3	1.296 b
0,3 - 0,4	1.345 b
0,4 - 0,5	1.599 a
0,5 - 0,6	1.898 a

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2017).

Dentre as matas nativas de referência, somente a NF3 teve média inferior às demais (Tabela 15), fato esse decorrente da pedregosidade observada na mata. A pedregosidade foi perceptível ao realizar a penetrometria e confirmada nos dados obtidos a partir de 0,23 m de profundidade, logo os valores a partir dessa

profundidade foram influenciadas negativamente pela não obtenção dos dados em profundidade. As outras matas foram semelhantes entre si e apresentaram valores de RP inferiores à 1,8 MPa.

Tabela 15 – Resistência à Penetração (RP) média de 0 a 0,60 m das matas nativas de referência, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015.

Mata nativa	RP (MPa)
NF1	1.318 a
NF2	0.937 a
NF3	0.646 b
NF4	1.792 a
NF5	1.548 a
NF6	1.475 a

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2017).

A penetrometria permitiu a diferenciação das glebas avaliadas em 5 grupos (Tabela 16), isolando a gleba NTS39 com o maior valor. A gleba NTS39 apresentou IQP considerado Ruim, apresenta revolvimento de solo esporádico, bem como permanece em pousio no decorrer do ciclo anual, fatores que podem ter contribuído para os maiores valores observados.

O segundo grupo com os maiores valores de RP observados foi composto pelas glebas NTS28, NTS33, NTS34 e NTS40. NTS28 apresentou IQP considerado Bom, entretanto, no histórico de manejo consta que o agricultor realiza o revolvimento do solo esporádica devido à compactação observada. NTS33 e NTS34 apresentaram IQP Ruim, e assim como NTS28, o pousio faz parte da sucessão anual. A gleba NTS40 é considerada convencional, pois realiza o controle de plantas invasoras por meio de revolvimento anual do solo; o pousio também está presente na sucessão e o IQP enquadra-se na pior classe da metodologia, sendo classificado como Baixo.

O terceiro grupo, em que a média da RP varia entre 2,263 e 2,559 MPa, é composto pelas glebas NTS2, NTS12, NTS21, NTS23, NTS25, NTS27, NTS29, NTS35, NTS36, NTS37. Dessas, NTS36 é considerada convencional; cinco são revolvidas esporadicamente e somente quatro nunca são revolvidas, entretanto, das quatro que não são revolvidas, duas possuem pousio na sucessão anual.

Os outros dois grupos, com menores valores de RP, variaram entre

1,475 e 2,158 MPa, valores não considerados limitantes ao desenvolvimento das plantas cultivadas. São 25 glebas que compõem esses parâmetros, sendo que 19 delas não realizam revolvimento do solo, apesar disso, das 19 somente três não possuem o pousio no ciclo de sucessão anual.

Tabela 16 – Resistência à Penetração (RP) média de 0 a 0,60 m e IQP das 40 glebas sob SPD, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015.

Gleba	RP (MPa)	IQP
NTS1	1.838 d	7.5
NTS2	2.354 c	8.0
NTS3	1.927 d	5.3
NTS4	1.699 e	8.3
NTS5	1.825 d	8.6
NTS6	1.601 e	8.4
NTS7	1.475 e	8.6
NTS8	1.951 d	7.6
NTS9	1.860 d	7.8
NTS10	1.763 d	5.6
NTS11	2.068 d	7.8
NTS12	2.297 c	8.4
NTS13	1.787 e	5.5
NTS14	2.037 d	8.5
NTS15	1.985 d	7.3
NTS16	1.637 e	3.3
NTS17	1.938 d	6.9
NTS18	1.878 d	4.1
NTS19	1.734 e	6.1
NTS20	1.934 d	5.0
NTS21	2.321 c	7.8
NTS22	1.990 d	7.2
NTS23	2.263 c	5.8
NTS24	1.680 e	8.3
NTS25	2.559 c	7.5
NTS26	1.789 e	6.8
NTS27	2.385 c	6.4
NTS28	2.747 b	7.0
NTS29	2.267 c	7.4
NTS30	2.123 d	7.8
NTS31	1.482 e	4.4
NTS32	1.868 d	7.0
NTS33	2.731 b	7.4
NTS34	2.803 b	6.3
NTS35	2.356 c	7.1
NTS36	2.306 c	5.7
NTS37	2.496 c	6.3
NTS38	2.158 d	6.6
NTS39	3.203 a	5.4
NTS40	2.659 b	4.0

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: O autor (2017).

Ao analisar a RP das glebas cultivadas por camadas de 0,10 m em 0,10 m, a camada mais superficial (0 a 0,10 m) foi inferior às demais (Tabela 17). Em 28 glebas, houve pequena diferenciação entre a RP das camadas dentro da mesma área. Nos outros casos, a diferenciação entre camadas pode ser justificada pelo histórico de manejo.

NTS21, apresentou camada superficial do solo desagregada e presença de agregados de diâmetro superior a 0,07m; e, apesar da RP não ser muito elevada em camadas mais profundas (0,40 a 0,60 m), pôde-se observar camada mais compactada de 0,10 a 0,20 m. Esses dados concordam com estudos mencionados anteriormente (GENRO JUNIOR et al., 2004; SECCO et al., 2009; SUZUKI et al., 2008), que identificaram camada mais compactada em área cultivadas sob SPD.

Nas glebas NTS36 e NTS40 foi observado, no momento da coleta, preparo primário do solo, pelo uso de grade, refletido na menor RP nas camadas superficiais (0 a 0,20 m) pela desagregação do solo. A avaliação da gleba NTS34 sofreu influência de leve precipitação no momento da coleta; faz parte dessa mesma explicação a gleba NTS33. A NTS32, considerada como convencional devido ao revolvimento do solo, teve como últimos três cultivos mandioca/pastagem, o cultivo da mandioca, associado ao pastoreio e ao revolvimento que pode justificar os baixos valores superficiais e o aumento em profundidade da RP.

Foi observada variação pedológica em NTS30, além do que, quanto aos índices componentes do IQP, a gleba recebeu notas muito baixas nos que se referem à rotação de culturas (Intensidade, Diversidade e Persistência dos resíduos), ressaltando a importância da rotação de culturas e da cobertura na estruturação do solo.

Nas glebas NTS27 e NTS28 foram observados agregados de diâmetro superior à 0,07 m, os valores de RP obtidos a partir de 0,30 m podem ser considerados altos, principalmente em maiores profundidades, provavelmente resultado pedológico. A nota do IQP dessas áreas é considerada Boa, mas ainda existe revolvimento periódico do solo.

Em comum, NTS31, NTS38 e NTS39, as últimas três glebas que se diferenciam das demais, possuem elevado teor de argila (75%, 73,98% e 79,42%, respectivamente), teor de água semelhante (19,15, 18,67 e 19,23%), e tiveram nas

últimas três safras anteriores à coleta de dados: soja, milho e pousio. Esse último fator também corrobora com a importância da rotação de culturas para a estruturação do solo.

Tabela 17 – Resistência à Penetração (RP) de 0 a 0,60 m, em camadas de 0,10 m, da 40 glebas sob SPD, avaliadas na Bacia do Paraná 3 em junho e julho de 2015.

Gleba	Profundidade (m)					
	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6
NTS1	0.653 bB	2.322 bA	2.387 aA	1.976 cA	1.958 dA	2.126 eA
NTS2	0.476 bC	2.180 cB	2.363 aB	2.629 bB	2.811 cB	3.489 cA
NTS3	1.518 aB	1.876 cB	1.805 bB	1.972 cB	2.423 cA	2.814 dA
NTS4	0.786 bB	1.542 dA	2.022 bA	1.949 cA	2.051 dA	2.290 eA
NTS5	0.815 bC	1.895 cB	2.052 bB	2.121 cB	2.655 cA	3.166 dA
NTS6	0.770 bC	1.769 cB	1.822 bB	1.929 cB	2.428 cA	3.022 dA
NTS7	0.661 bB	1.810 cA	1.813 bA	1.592 cA	1.725 dA	2.287 eA
NTS8	0.741 bB	1.946 cA	2.327 aA	2.044 cA	2.071 dA	2.639 dA
NTS9	1.025 aB	1.973 cA	2.099 bA	1.890 cA	1.953 dA	2.153 eA
NTS10	0.882 aB	2.086 cA	1.993 bA	1.693 cA	1.631 dA	2.015 eA
NTS11	1.400 aC	2.920 bA	2.647 aA	2.310 cB	2.164 dB	2.072 eB
NTS12	1.123 aB	2.616 bA	2.350 aA	1.965 cA	2.187 dA	2.576 dA
NTS13	0.611 bC	2.041 cB	2.659 aA	2.502 bA	2.683 cA	2.994 dA
NTS14	1.222 aB	2.463 bA	2.443 aA	2.162 cA	2.035 dA	2.341 eA
NTS15	0.927 aC	2.846 bA	2.452 aA	1.859 cB	1.810 dB	1.884 eB
NTS16	1.322 aB	2.284 bA	2.200 bA	1.937 cA	1.602 dB	1.540 eB
NTS17	0.956 aB	2.213 cA	2.320 aA	1.822 cA	1.654 dA	2.069 eA
NTS18	1.104 aB	2.193 cA	2.361 aA	2.029 cA	1.760 dA	1.777 eA
NTS19	0.717 bB	1.835 cA	1.950 bA	2.216 cA	2.046 dA	1.777 eA
NTS20	0.880 aB	2.352 bA	2.542 aA	1.981 cA	1.943 dA	2.231 eA
NTS21	1.243 aD	3.842 aA	2.962 aB	2.272 cC	2.314 cC	2.376 eC
NTS22	0.604 bB	2.199 cA	2.624 aA	2.142 cA	1.973 dA	2.281 eA
NTS23	0.941 aB	2.293 bA	2.516 aA	2.332 cA	2.306 cA	2.420 eA
NTS24	1.098 aC	2.692 bA	2.107 bB	1.765 cB	1.843 dB	1.991 eB
NTS25	0.917 aB	2.509 bA	2.761 aA	2.502 bA	2.566 cA	2.792 dA
NTS26	0.564 bB	2.120 cA	2.481 aA	2.545 bA	2.784 cA	3.028 dA
NTS27	0.419 bE	1.505 dD	2.347 aC	2.741 bC	3.210 bB	3.971 cA
NTS28	0.574 bE	1.820 cD	2.395 aC	2.785 bC	4.117 aB	5.344 aA
NTS29	0.439 bC	2.159 cB	3.138 aA	3.319 aA	3.160 bA	3.479 cA
NTS30	0.626 bD	1.836 cC	2.534 aB	2.735 bB	3.290 bA	3.696 cA
NTS31	0.542 bD	1.349 dC	1.775 bB	1.756 cB	2.086 dB	2.499 dA
NTS32	0.528 bD	1.381 dC	1.796 bB	1.889 cB	2.188 dB	2.858 dA
NTS33	0.543 bD	1.955 cC	2.757 aB	3.185 aB	4.121 aA	3.754 cA
NTS34	0.538 bE	1.816 cD	2.551 aC	2.859 bC	3.604 bB	4.413 bA
NTS35	0.678 bB	2.072 cA	2.554 aA	2.628 bA	2.693 cA	2.947 dA
NTS36	0.454 bF	1.351 dE	2.366 aD	2.990 aC	3.825 aB	4.516 bA
NTS37	0.922 aC	2.446 bB	2.646 aB	2.685 bB	2.875 cB	3.689 cA
NTS38	0.631 bD	1.902 cC	2.472 aB	2.659 bB	3.073 bB	3.689 cA
NTS39	1.031 aD	2.566 bC	2.962 aC	3.210 aC	4.256 aB	5.193 aA
NTS40	0.259 bF	1.252 dE	2.460 aD	3.142 aC	4.086 aB	4.839 bA

Médias seguidas pelas mesmas letras, em cada nível, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam as áreas, dentro de cada camada. Letras maiúsculas comparam as camadas, dentro de cada área.

Fonte: O autor (2017).

Os resultados de RP devem ser avaliados cuidadosamente ao serem utilizados para considerar uma área como compactada ou não, 21 das 40 glebas avaliadas não apresentaram média de RP superior ao limite crítico de 2,0 MPa determinado por Taylor (1966). Entretanto, a resistência real exercida pelo solo à penetração das raízes é normalmente menor do que a resistência encontrada pelo penetrômetro (GUBIANI et al., 2015), outro fator que pode superestimar a RP medida por meio de penetrômetros e penetrógrafos, é de que as raízes são capazes de se desenvolverem nos poros ou em fendas, enquanto os penetrômetros somente rompem o solo (SÁ; SANTOS JUNIOR, 2005).

Outros autores ainda propuseram outros valores de RP como sendo críticos ao desenvolvimento radicular, Suzuki et al. (2007) relatam a faixa entre 2,0 e 4,0 MPa para culturas anuais; e, Carvalho et al. (2012) afirmam que em solos não revolvidos anualmente, valores de RP de até 4 MPa são toleráveis, devido à permanência e continuidade de poros, atividade biológica mais ativa e maior estabilidade de agregados.

A RP é uma ferramenta de fácil utilização, que permite maior número de repetições em menor tempo, entretanto, sua interpretação é mais complexa. Deve ser priorizada como ferramenta para monitorar alterações ocorridas em uma mesma área e ainda, para mapear uma área e identificar pontos em que análises mais aprofundadas, como a do Perfil Cultural, devam ser realizadas.

A correlação entre RP e umidade gravimétrica, foi considerada alta para dados das matas nativas de referência ($r=0,97$), no entanto, em relação às glebas cultivadas, foi considerada moderada ($r=0,33$). A variação de umidade foi semelhante dentro das glebas sob SPD (de 15 a 23%) e dentro das matas (de 14 a 23%), entretanto a variação dos valores de RP foi maior entre as glebas sob SPD.

5.2.2 Grau de Dispersão de Argila

De todas as amostras avaliadas, somente em Santa Helena o GD foi superior à média das glebas cultivadas (Tabela 18). Dentre as matas avaliadas, NF3, NF2 e NF6 apresentaram menores GD em relação às glebas sob SPD. Destaca-se que os menores GD nas áreas de mata nativa, podem ser explicados em função do alto teor de $H+Al^{3+}$ ($9,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e de COT ($25,30 \text{ g kg}^{-1}$) na NF2, no entanto, em NF3 e NF6 observam-se também altos valores de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ ($\sim 23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Observa-se redução nos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ nas glebas manejadas em todas as microbacias, quando comparadas às áreas de referência. No entanto, esta diferença não é tão expressiva dentro de cada microbacia, exceto em NF5 e NF6.

O GD das glebas avaliadas foram diferentes significativamente, dentro de cada município, para NF1, NF5 e NF6 em função dos teores de atributos químicos. Em contrapartida, em NF2, NF3 e NF4 não se observa diferença significativa no GD.

Tabela 18 – Grau de dispersão de argila (GD) e composição granulométrica e química das glebas cultivadas sob SPD (NTS) e mata nativa de referência (NF) dentro dos municípios avaliados na Bacia do Paraná 3, de 0 a 0,20 m de profundidade, junho e julho de 2015.

Gleba	Microbacia	Município	Granulometria (g kg ⁻¹)			GD ⁽¹⁾ (%)	COT ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	pH	H+Al ³⁺ (cmol _c dm ³)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (cmol _c dm ³)	K
			Argila	Silte	Areia						
NF1	Sanga Mineira	Merc.	745.0	110.0	145.0	78	22.00	5.9	2.97	12.22	0.71
NTS1	Sanga Mineira	Merc.	680.0	97.5	222.5	87 a	11.80	5.4	3.42	9.50	0.70
NTS2	Sanga Mineira	Merc.	790.0	117.5	92.5	73 b	12.59	5.5	3.42	11.31	0.28
NF2	Toledo	Toledo	792.5	82.5	125.0	53	25.30	4.3	9.23	6.93	0.18
NTS4	Toledo	Toledo	780.0	122.5	92.5	79 a	15.74	5.6	3.68	7.34	0.50
NTS5	Toledo	Toledo	812.5	132.5	55.0	78 a	13.38	5.4	4.96	7.81	0.51
NTS6	Toledo	Toledo	777.5	102.5	120.0	72 a	17.31	5.7	3.97	7.87	0.42
NTS7	Toledo	Toledo	770.0	100.0	130.0	84 a	16.53	5.2	4.96	7.52	0.39
NTS8	Toledo	Toledo	797.5	92.5	110.0	77 a	22.04	5.1	4.61	5.98	0.50
NTS9	Toledo	Toledo	700.0	115.0	185.0	78 a	12.59	4.6	6.21	4.89	0.35
NTS10	Toledo	Toledo	870.0	60.0	70.0	73 a	14.17	5.2	5.35	8.14	0.55
NF3	Buriti	Itaip.	532.5	182.5	285.0	46	31.50	6.1	3.35	24.90	0.59
NTS23	Buriti	Itaip.	682.5	150.0	167.5	86 a	9.44	5.1	3.68	7.49	0.67
NTS24	Buriti	Itaip.	730.0	162.5	107.5	79 a	14.95	5.1	4.61	7.33	0.83
NTS25	Buriti	Itaip.	732.5	145.0	122.5	77 a	19.67	5.3	3.42	8.62	0.78
NF4	Pacuri	SH	727.5	152.5	120.0	83	17.60	6.3	2.59	15.41	0.90
NTS26	Pacuri	SH	752.5	177.5	70.0	80 a	9.44	5.2	3.97	8.30	0.56
NTS27	Pacuri	SH	825.0	120.0	55.0	85 a	13.38	5.2	4.28	7.73	0.71
NTS28	Pacuri	SH	817.5	115.0	67.5	82 a	10.23	5.1	3.97	7.76	0.37

(1)COT – Carbono orgânico total e (2)GD – Grau de dispersão. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade. Merc. – Mercedes; Itaip. – Itaipulândia; SH – Santa Helena; ERO – Entre Rios do Oeste; MCR – Marechal Cândido Rondon.

Fonte: O autor, 2017.

Continuação...**Tabela 18** – Grau de dispersão de argila (GD) e composição granulométrica e química das glebas cultivadas sob SPD (NTS) e mata nativa de referência (NF) dentro dos municípios avaliados na Bacia do Paraná 3, de 0 a 0,20 m de profundidade, junho e julho de 2015.

Gleba	Microbacia	Município	Granulometria (g kg ⁻¹)			GD ⁽¹⁾ (%)	COT ⁽²⁾ (g kg ⁻¹)	pH	H+Al ³⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (cmol _c dm ³)	K
			Argila	Silte	Areia						
NF5	Facção Torto	ERO	757.5	152.5	100.0	81	19.70	6.1	2.74	13.25	0.67
NTS30	Facção Torto	ERO	727.5	190.0	82.5	80ab	12.59	5.4	3.68	8.70	0.56
NTS31	Facção Torto	ERO	770.0	137.5	92.5	78 b	16.53	6.0	2.74	10.59	0.71
NTS32	Facção Torto	ERO	677.5	102.5	220.0	88 a	8.66	4.7	6.21	6.20	0.83
NTS33	Facção Torto	ERO	807.5	50.0	142.5	84ab	10.23	5.9	3.18	8.23	0.58
NF6	Arroio Fundo	MCR	560.0	197.5	242.5	58	21.60	5.9	3.56	24.51	0.37
NTS3	Ajuricaba	MCR	592.5	157.5	250.0	80 b	15.74	4.9	4.96	10.16	0.35
NTS12	Ajuricaba	MCR	777.5	127.5	95.0	78 b	13.38	5.3	3.97	9.94	0.37
NTS13	Ajuricaba	MCR	787.5	132.5	80.0	70 d	12.59	5.3	3.97	9.91	0.52
NTS14	Ajuricaba	MCR	755.0	230.0	125.0	73 c	11.80	5.30	3.68	8.72	0.70
NTS15	Ajuricaba	MCR	765.0	130.0	105.0	78 b	10.23	5.6	3.42	7.51	0.48
NTS16	Ajuricaba	MCR	730.0	122.5	147.5	78 b	9.44	4.6	5.76	4.73	0.56
NTS17	Ajuricaba	MCR	732.5	122.5	145.0	81 a	12.59	5.1	4.28	6.19	0.56
NTS18	Ajuricaba	MCR	812.5	130.0	57.5	76 c	8.66	4.6	5.35	4.29	0.65
NTS19	Ajuricaba	MCR	812.5	130.0	57.5	69 d	10.23	4.7	4.96	6.60	0.43
NTS20	Ajuricaba	MCR	672.5	142.5	185.0	81 a	15.74	5.4	3.97	10.15	0.89
NTS21	Ajuricaba	MCR	742.5	117.5	140.0	78 b	13.38	4.7	4.96	5.96	0.62
NTS22	Ajuricaba	MCR	685.0	160.0	155.0	73 c	12.59	4.0	9.00	6.26	0.57
NTS34	Curvado	MCR	785.0	82.5	132.5	78 b	11.80	5.5	3.97	10.55	0.89
NTS35	Curvado	MCR	735.5	120.0	145.0	84 a	14.17	5.4	3.68	8.57	0.99
NTS11	Arroio Fundo	MCR	832.5	87.5	80.0	65 d	16.53	4.7	5.76	6.59	0.21
NTS29	Arroio Fundo	MCR	765.0	125.0	110.0	76 b	16.53	5.1	4.28	8.52	0.50
NTS36	Arroio Fundo	MCR	680.0	130.0	190.0	82 a	8.66	4.8	4.28	8.00	0.06
NTS37	Arroio Fundo	MCR	797.5	112.5	90.0	76 c	15.74	5.3	3.68	9.01	0.44
NTS38	Arroio Fundo	MCR	715.0	97.5	187.5	89 a	14.17	5.3	3.42	7.65	0.43
NTS39	Arroio Fundo	MCR	772.5	82.5	145.0	84 a	11.80	4.9	3.97	7.35	0.51
NTS40	Arroio Fundo	MCR	672.5	142.5	185.0	83 a	15.74	5.9	3.42	16.91	0.64

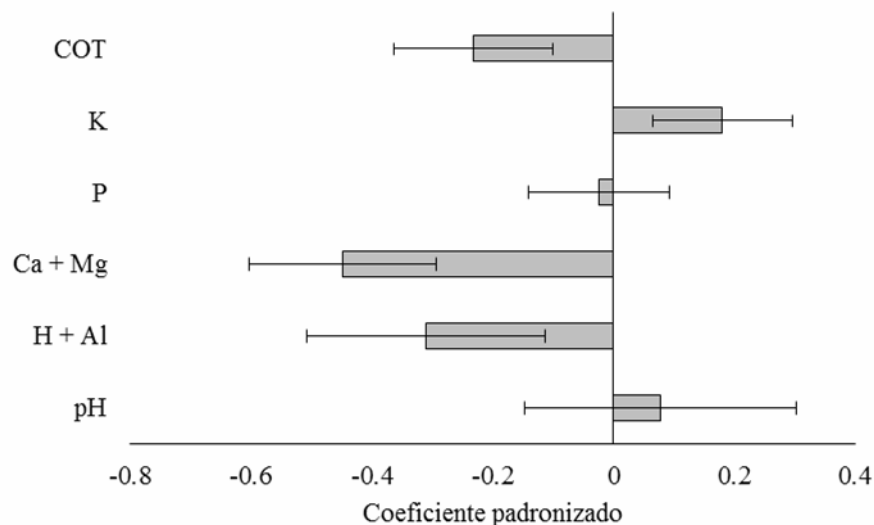
(1)COT – Carbono orgânico total e (2)GD – Grau de dispersão. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade. Merc. – Mercedes; Itaip. – Itaipulândia; SH – Santa Helena; ERO – Entre Rios do Oeste; MCR – Marechal Cândido Rondon.

Fonte: O autor, 2017.

No intuito de identificar os atributos químicos que influenciaram no GD, realizou-se regressão linear múltipla entre GD e os atributos químicos (pH, K⁺, P, COT, Ca²⁺+Mg²⁺ e H+Al³⁺). Elaborou-se um gráfico de barras para visualizar a contribuição de cada variável no GD. Observa-se, na Figura 4, que o aumento do K⁺ e do pH se correlacionaram positivamente com o GD; e negativamente, os

decréscimos nos teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, $\text{H} + \text{Al}^{3+}$, COT e P ($p \leq 0,05$). Destaca-se que os teores de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ foram os que mais influenciaram no GD para as glebas do estudo, seguidos de $\text{H} + \text{Al}^{3+}$; COT; K e pH. Finalmente, o P apresentou menor contribuição na dispersão da argila.

Figura 4 – Coeficientes padronizados da influência dos atributos químicos no grau de dispersão da argila para as glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, junho e julho de 2015.



Fonte: O autor, 2017.

Os resultados demonstraram que as glebas cultivadas com maiores teores de $\text{H} + \text{Al}^{3+}$ apresentaram menores GD. Sendo estes considerados os principais agentes floculantes do solo, e redutores do GD (CHOROM; RENGASAMY, 1996; MORELLI; FERREIRA, 1987). O Al^{3+} por ser trivalente, possibilita a redução na espessura da dupla camada difusa das argilas do solo, aumentando a atração eletrostática das partículas, e, conseqüentemente, proporciona menor GD (ALMEIDA NETO et al., 2009; CHAVES et al., 2001; SETA; KARATHANASIS, 1996). Nguetnkam e Dultz (2014) também observaram menor GD em Latossolo Vermelho que apresentou maior teor de Al^{3+} solúvel, conforme observado nas glebas avaliadas. Altos teores de alumínio não são desejados em áreas agrícolas, entretanto, a neutralização do Al trocável, íon que estabiliza a estrutura do solo, tem ação dispersante (JUCKSCH, 1987; PAVAN; ROTH, 1992).

Menores GD foram verificados nas glebas cultivadas com maiores teores de COT, visto que a MOS contribui significativamente na agregação dos solos

(NGUETNKAM; DULTZ, 2011). Maiores teores de MOS e de Ca, associados à presença de outros cátions no solo, podem promover a floculação e agregação das partículas de argila carregadas negativamente (COSTA et al., 2004; TAVARES FILHO et al., 2010) e assim reduzir o GD em solos com carga variável, efeito observado nas áreas do presente estudo.

O uso agrícola reduz a MOS, em relação à condição natural, no entanto, a adoção SPD baseado nas premissas básicas do sistema, possibilita aumentá-la, quando comparado a sistemas convencionais. A MOS reduziu significativamente nos primeiros 0,20 m, em função de seu uso; florestas apresentaram maior teor de MO (~22%) quando comparadas com pastagens, plantio direto e convencional (GAJIC, 2013). O menor teor de COT nos solos pode ser decorrente do baixo nível de adoção de rotação de culturas. Os sistemas de manejo de solos que incorporam MOS alteram a dispersão de argila, e, conseqüentemente, apresentam elevada taxa de degradação dos solos (IGWE; UDEGBUNAM, 2008).

Observou-se menores GD em glebas com menores pH. O pH tem influência na floculação e na dispersão da argila. A floculação ocorre quando o pH se aproxima do ponto de carga zero (PCZ), em que o número de cargas positivas é igual ao de negativas (FERREIRA et al., 2010), ou seja, os menores valores de pH proporcionaram melhores condições para floculação das argilas. O pH afeta diretamente as cargas de superfície, os óxidos de Fe e a interação dos cátions nas argilas do solo (NGUETNKAM; DULTZ, 2011), e a capacidade do GD torna-se insignificante quando o pH do solo é próximo do PCZ. A correlação positiva de GD e pH encontrada corrobora com os dados observados por Igwe e Udegbunam (2008).

Glebas sob SPD com maiores teores de K, apresentaram maiores GD. A correlação positiva entre K e GD também foi observada por Nguetnkam e Dultz (2014). O aumento de cátions monovalentes nas superfícies do solo favorece a dispersão de argila. Paradelo et al. (2013) observaram que o aumento na dispersão de argila foi em função do aumento do K nas parcelas avaliadas, sugerindo assim que o K afeta negativamente a estrutura do solo, fato este que tem recebido pouca atenção.

Vasconcelos et al. (2010), observaram que o íon K^+ tem comportamento inverso aos cátions bivalentes, ou seja, possui a capacidade de dispersar o solo, no entanto, em algumas situações o efeito do K não foi suficiente para inibir o efeito favorável dos cátions bivalentes e da MOS. Segundo Chorom e

Rengasamy (1996) o poder flocculante aumenta na seguinte ordem: $Li < Na < K < Mg < Ca < Al$, portanto, Li, K e Na podem se dispersar da argila espontaneamente, ao contrário de Mg, Ca e Al.

Os resultados encontrados no presente estudo corroboram com Igwe e Udegbumam (2008) que observaram que o pH, Ca^{2+} e $H^+ + Al^{3+}$ são os fatores que mais influenciam o GD. Áreas com baixo pH e maiores teores de $H^+ + Al^{3+}$ contribuíram para menor GD, porém, são considerados fatores negativos para a fertilidade do solo, por isso as correções químicas devem ser planejadas e realizadas racionalmente. Algumas glebas avaliadas têm como agravante o revolvimento do solo, refletido no menor teor de COT e conseqüente menor agregação do solo, uma vez que favorece a decomposição de resíduos orgânicos e proporciona degradação dos atributos físicos do solo (MATIAS et al., 2012). Ressalta-se a importância da rotação de culturas para a manutenção e incremento de MOS. Cabe ainda destacar, que o manejo químico das áreas agrícolas deve ser monitorado, para não alterar negativamente a química da solução do solo, como com a aplicação de potássio em excesso. Neste aspecto que se constata a importância da adequada gestão de fertilizantes na atividade e fato que o indicador Nutrição Equilibrada (NE) do IQP considera de forma pertinente.

Apesar dos benefícios resultantes dos manejos conservacionistas, devem-se monitorar todos os fatores capazes de interferir na dispersão da argila. Pois, quanto maior o GD, maiores são os riscos relativos aos processos erosivos, uma vez que a argila dispersa tende a se deslocar no perfil do solo, proporcionando o preenchimento dos poros, outro processo de formação de camadas compactadas, raramente considerado e avaliado. A dispersão de argila, ainda favorece o escoamento superficial de nutrientes e de contaminantes, o que pode gerar danos na QS e na sustentabilidade agrícola (NGUETNKAM; DULTZ, 2014).

Com o intuito de assegurar a sustentabilidade agrícola deve-se implantar práticas conservacionistas, como o SPD, para manutenção e incremento da MOS por meio da rotação de culturas e do mínimo revolvimento do solo, possibilitando melhorias nos atributos físicos, notadamente na estrutura, principal atributo físico responsável pela fertilidade.

5.3 ÍNDICE DE QUALIDADE PARTICIPATIVO PARA O SISTEMA PLANTIO DIRETO

Os dados do Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto (IQP) resultantes dos questionários e avaliações aplicados pela equipe da FEBRAPDP e Itaipu Binacional estão descritos na Tabela 6 (p.48 e 49). As glebas cultivadas sob SPD da Bacia do Paraná 3 avaliadas no presente estudo foram agrupadas nas classes do IQP propostas pela metodologia (Tabela 19).

Somente as glebas NTS6 e NTS8 apresentaram IQP muito bom, ambas localizadas na microbacia e no município Toledo, tendo como mata nativa de referência a NF2. A adoção do SPD ocorreu, respectivamente, há 19 e 21 anos, e apresentam histórico de manejo semelhante, com a realização das operações em nível, sem transbordamento dos terraços, sem revolvimento do solo e os três últimos cultivos semelhantes (soja, milho e pousio). Na avaliação do IQP, ambos os produtores rurais obtiveram nota máxima no item “Histórico de Comprometimento do Produtor”, refletindo a importância da adoção completa do SPD pelo agricultor, assim como comprometimento com o sistema.

Tabela 19 – Agrupamento das glebas sob SPD (NTS) da Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, nas classes do IQP propostas pela FEBRAPDP (2011).

Classificação	Nota do IQP	NTS
Muito bom	> 8.51	6 e 8
Bom	6.51 a 8.50	1, 2, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 35 e 38
Ruim	4.51 a 6.50	3, 4, 13, 17, 23, 26, 33, 34, 36, 37 e 39
Baixo	< 4.50	21, 30, 32 e 40

Fonte: O autor, 2017.

Dentre as glebas avaliadas, 23 obtiveram IQP bom, englobando os seis municípios do estudo. O tempo de adoção do SPD varia entre 7 e 26 anos, sendo o tempo médio de 18,5 anos. Três das glebas (NTS9, NTS10 e NTS29) não realizam operações em nível. Dentre as 23 glebas, 14 não revolvem o solo, cinco revolvem periodicamente (entre 2 e 6 anos de intervalo) e quatro revolvem anualmente. Uma das glebas, NTS19, é considerada convencional, pois realiza-se o cultivo de mandioca e o controle anual de plantas invasoras por meio do

revolvimento do solo.

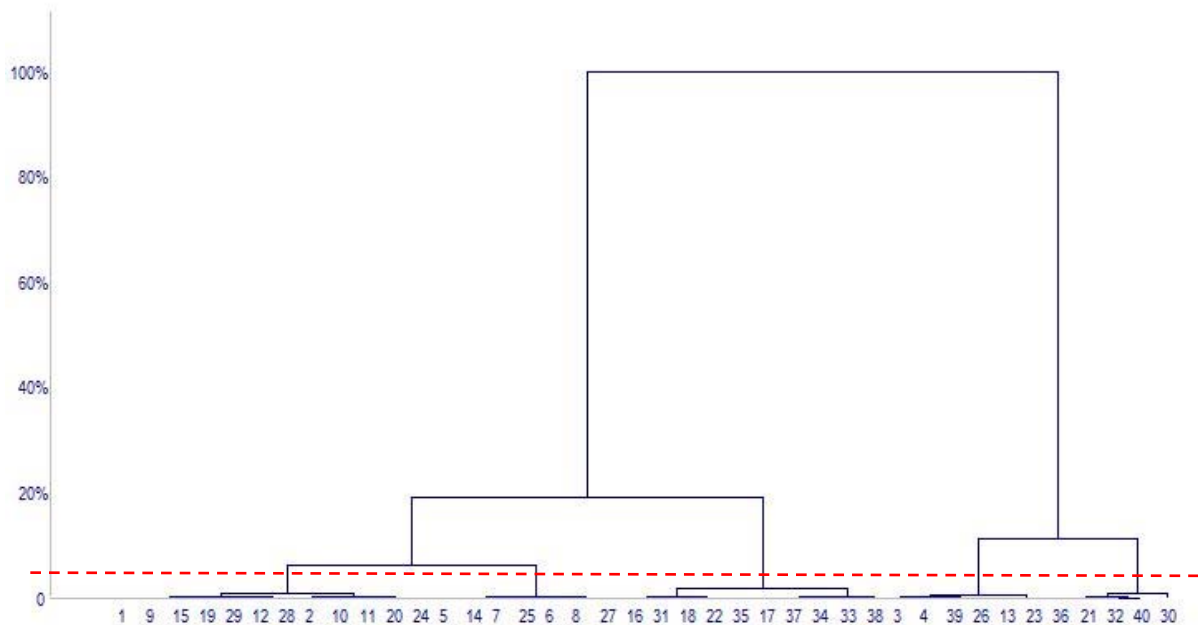
Foram classificadas como ruins, de acordo com a classificação do IQP, 11 glebas avaliadas. A média do tempo de adoção do SPD foi de 16,5 anos, variando entre 9 e 25. Sendo uma áreas, NTS36, considerada convencional também pelo cultivo da mandioca e revolvimento do solo. Somente uma das glebas não realiza operações em nível, seis não revolvem o solo e cinco revolvem periodicamente (entre 2 e 6 anos de intervalo). Desses agricultores, somente dois receberam nota máxima no item “Histórico de Comprometimento do Produtor” (NTS4 e NTS13), entretanto esses mesmos agricultores, e a maioria dos outros nove, receberam notas baixas nos itens “Persistência dos Resíduos” e “Frequência do Preparo”. Nenhum desses agricultores atingiu nota máxima no item “Diversidade da Rotação”; todos esses fatores influenciaram negativamente na avaliação do IQP das áreas.

Somente quatro glebas (NTS21, NTS30, NTS32 e NTS40) apresentaram IQP baixo, duas localizadas no município de Entre Rios do Oeste (NF5) e duas em Marechal Cândido Rondon (NF6). Uma gleba em cada município é considerada convencional (NTS32 em Entre Rios do Oeste e NTS40 em Marechal Cândido Rondon), NTS32 devido ao cultivo de mandioca e revolvimento a cada 2 anos e NTS40 devido ao revolvimento anual justificado pelo agricultor para controle de plantas invasoras. As glebas NTS21 e NTS30 adotaram o SPD há 15 anos e não realizam o preparo do solo, entretanto são penalizadas, principalmente, pelos seguintes itens: “Persistência dos Resíduos”, “Frequência do Preparo”, “Nutrição Equilibrada”, “Avaliação da Conservação” e “Terraceamento Correto”.

Por meio da análise de cluster foi possível separar as glebas em cinco grandes grupos de acordo com as notas do IQP (Figura 5), em concordância com o histórico do manejo. Essa divisão demonstra a necessidade de subdividir as classes propostas pela metodologia. A partir da análise, as classes de interpretação do IQP poderiam ser conforme Tabela 20.

Após essa análise, sugere-se que exista maior diferenciação de classes do IQP, sendo que, todas as áreas consideradas convencionais deveriam se enquadrar em seu nível mais baixo. As classes “Bom” (6,51 a 8,50) e “Ruim” (4,51 a 6,50) poderiam ser subdivididas, o que permitiria melhor correlação entre as áreas de cada classe.

Figura 5 – Agrupamento de cluster das áreas sob SPD (NTS) de acordo com o IQP; glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, Oeste do Paraná, em junho e julho de 2015.



Fonte: O autor, 2017.

Tabela 20 – Interpretação do Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto (IQP) proposta pela análise de cluster a partir dos dados das glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, junho e julho de 2015.

Classificação	Nota do IQP
Muito bom	0
Bom	7.06 a 8.30
Médio	5.76 a 7.05
Ruim	4.36 a 5.75
Baixo	< 4.35

Fonte: O autor, 2017.

Correlacionou-se por meio do coeficiente de Spearman as notas do IQP das glebas avaliadas com as seguintes variáveis: MOS, V%, GD, RP, Es, tempo de implantação do SPD e os indicadores que compõem o IQP - IR: Intensidade de rotação; DR: Diversidade de rotação; PR: Persistência de resíduos; FP: Frequência de preparo; TC: Terraceamento correto; AC: Avaliação da conservação; NE: Nutrição equilibrada; HC: Histórico de comprometimento do produtor (Tabela 21).

Foram consideradas fortes as correlações com coeficientes

superiores a 0,50, sendo elas: IQP I e IQP II ($r=0,87$), revelando a concordância da aplicação das metodologias e de seus resultados; Frequência de preparo e IQP II ($r=0,84$), apesar da correlação demonstrar robustez da metodologia, foi verificado preparo em algumas glebas em que a operação não constava no histórico, logo não contribuíram no indicador; por isso, recomenda-se, além do questionário aplicado, que seja feita visita às glebas, evitando discordâncias dos dados. Ainda em relação à variável Frequência de preparo, correlacionou-se fortemente com Persistência de resíduos ($r=0,51$), pois quanto maior a nota de FP, menor foi a intervenção realizada pelo agricultor, favorecendo a PR.

Foi considerada forte ainda, a correlação entre Persistência dos resíduos e IQP II ($r=0,70$), tendo sido este um dos componentes que contribuíram para as maiores notas de IQP verificadas.

O Histórico de comprometimento do produtor também correlacionou-se positivamente com o IQP II ($r=0,56$), bem como com o tempo de implantação do SPD ($r=0,67$), mais uma vez reforçando a validação da metodologia.

Tabela 21 – Coeficiente de Spearman para correlações entre os valores de IQP I e II (2012 e 2015) das glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, e Matéria Orgânica do Solo (MOS), Saturação por Bases (V%), Grau de Dispersão de argila (GD), Resistência à Penetração (RP), Qualidade Estrutural (Es), tempo de implantação do SPD (t SPD), e os índices que compõem o IQP.

	V%	GD	RP	Es	t SPD	IQP I	IQP II	IR	DR	PR	FP	TC	AC	NE	HC
MOS	0.14	-0.29	-0.20	-0.16	0.39	0.28	0.36	0.20	0.48	-0.04	0.39	-0.02	0.29	-0.18	0.42
V%	x	0.16	0.32	0.15	-0.05	-0.16	-0.04	0.02	0.32	-0.15	0.01	-0.15	0.09	-0.06	0.03
GD		x	0.24	0.06	-0.28	-0.29	-0.18	-0.20	0.10	-0.02	0.05	-0.4	-0.01	-0.14	-0.10
RP			x	0.27	-0.22	-0.12	-0.10	0.11	0.04	-0.12	-0.03	-0.05	0.25	-0.01	-0.27
Es				x	-0.02	-0.12	-0.12	-0.50	0.26	-0.04	-0.04	-0.09	-0.08	0.32	0.30
t SPD					x	0.49	0.49	0.23	0.30	0.19	0.29	0.29	0.17	0.07	0.67
IQP I						x	0.87	-	-	-	-	-	-	-	-
IQP II							x	0.36	0.27	0.70	0.84	0.30	0.26	0.26	0.56
IR								x	-0.15	0.32	0.08	0.25	0.34	-0.23	0.25
DR									x	-0.12	0.33	-0.17	0.17	0.27	0.20
PR										x	0.51	0.24	-0.13	0.19	0.24
FP											x	0.04	0.13	0.28	0.39
TC												x	0.10	0.01	0.10
AC													x	-0.24	0.29
NE														x	-0.05

Em destaque os coeficientes significativos ($p<0.05$). IR: Intensidade de rotação; DR: Diversidade de rotação; PR: Persistência de resíduos; FP: Frequência de preparo; TC: Terraceamento correto; AC: Avaliação da conservação; NE: Fertilização equilibrada; HC: Histórico de comprometimento do produtor.

Fonte: O autor, 2017.

5.4 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO

Os valores definidos após avaliação da estrutura do solo (Es) para as glebas do presente estudo são descritas na Tabela 11 (p.53 e 54). A média dos valores de Es de cada gleba também foi utilizada para agrupar as áreas sob SPD avaliadas nas classes propostas (Tabela 22). Apesar da possibilidade de áreas agrícolas possuírem, segunda a metodologia, qualidade estrutural semelhante a de matas nativas e, de algumas áreas avaliadas serem muito bem conduzidas pelos agricultores, nenhuma delas obteve média estrutural entre 5 e 6 pelo Es.

Dezessete glebas foram classificadas com qualidade estrutural muito boa, sendo a recomendação nesses casos “Verificar e monitorar a qualidade da adoção de sistemas conservacionistas, avaliar e intensificar a rotação de culturas e o aporte de matéria orgânica”. A recomendação da metodologia é fortemente plausível, pois das 17, somente três das glebas não permaneceram em pousio em um dos três últimos cultivos antecedentes a avaliação. Dois cultivaram aveia e um trigo. Os agricultores serão recomendados a intensificar e diversificar as culturas usadas no sistema de rotação. Essas glebas representaram as matas de referência NF3, NF4, NF5 e NF6.

Tabela 22 – Agrupamento das glebas sob SPD (NTS) da Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, junho e julho de 2015, nas classes de qualidade estrutural propostas pela Avaliação da Estrutura do Solo (Es).

Es	Qualidade estrutural	NTS
5,0-6,0	Excelente	-
4,0-4,9	Muito boa	12, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34 e 35
3,0-3,9	Boa	1, 2, 3, 4, 7, 9, 10, 16, 23, 24, 32, 37, 38 e 39
2,0-2,9	Ruim	5, 6, 8, 11, 15 e 40
1,0-1,9	Péssima	19, 20 e 36

Fonte: O autor, 2017.

A média do IQP das áreas classificadas com Es muito bom foi de 6,6, que se encaixaria na classe boa do IQP, entretanto os valores individuais variaram entre 3,3 e 8,5. Todas as 17 áreas foram penalizadas em algum item do IQP referente à rotação de culturas, seja em Intensidade da Rotação, Diversidade da

Rotação ou Persistência dos Resíduos, corroborando para a sincronia das metodologias no que se refere às recomendações que devem ser transmitidas ao produtor rural.

Foram classificadas com boa qualidade estrutural 14 das 40 glebas sob SPD avaliadas, englobando áreas das matas NF1, NF2, NF3, NF5 e NF6. As recomendações da metodologia nesse caso são: “Melhorar a qualidade de sistemas conservacionistas, adoção de rotação de culturas e minimizar revolvimento do solo (se realizado), além de realizar controle de tráfego”. A média do IQP dessas áreas também foi 6,6, enquadrando-se ainda na classe boa do IQP. Seis das glebas (NTS2, NTS3, NTS16, NTS23, NTS32 e NTS39) realizam algum preparo do solo, e a recomendação do Es deve ser adotada por esses produtores, seja na eliminação ou na redução do preparo. Dentre as outras oito glebas, seis (NTS1, NTS4, NTS7, NTS9, NTS24 e NTS38) deixaram a área em pousio em um dos três últimos cultivos, logo, a recomendação do Es também é adequada, ao sugerir a diversificação de espécies vegetais através da rotação de culturas; e uma, não realiza operações em nível e teve dois cultivos de soja (cabendo ainda a recomendação de diversificação de culturas). No caso da gleba NTS37, cultivou-se milho para silagem, o que pode ter afetado a qualidade estrutural do solo, podendo o agricultor atentar-se ao tráfego de máquinas.

Seis glebas apresentaram qualidade estrutural ruim, NTS5, NTS6, NTS8, NTS11, NTS15 e NTS40 referindo-se às matas NF2 e NF6. A recomendação da metodologia proposta pelo presente trabalho é: “Realizar avaliações complementares na área para identificação de problemas e medidas a serem seguidas para melhoria da qualidade estrutural. Focalizar a recuperação do solo por meio do uso de plantas. Adotar manejo conservacionista.”

Duas das glebas realizam o preparo anual do solo para controle de plantas invasoras, NTS15 e NTS40, sendo esta última considerada área convencional. Entretanto, as outras quatro glebas (NTS5, NTS6, NTS8 e NTS11) apresentaram IQP entre 7,8 e 8,6, sendo classificadas como boas e muito boas. As glebas avaliadas localizam-se numa região com predomínio de Latossolos Vermelhos Férricos, entretanto, o segundo tipo de solo predominante é Nitossolo Vermelho Distroférrico; no caso dessas quatro glebas, a falta de conhecimento prévio pedológico (e mesmo pelo pouco detalhamento dos mapas de solo disponíveis) pode ter provocado uma depreciação da nota da área. Ressalta-se a

importância do conhecimento prévio pedológico no momento da avaliação da estrutura do solo, principalmente em casos em que exista variação pedológica entre áreas próximas que serão avaliadas.

As glebas NTS19, NTS20 e NTS36 foram classificadas com péssima qualidade estrutural pela metodologia do Es, a recomendação é: “Realizar avaliações complementares na área para identificação de problemas e medidas a serem seguidas para melhoria da qualidade estrutural. Focalizar a recuperação do solo por meio do uso de plantas. Adotar manejo conservacionista.”

São consideradas convencionais as glebas NTS19 e NTS36, as duas com cultivo de mandioca e revolvimento do solo, o que reduziu a qualidade estrutural do solo. Na gleba NTS20, apesar de não constar preparo do solo no histórico de manejo (Tabela 5, p.46 e 47), foi constatado o uso de grade niveladora (Figuras 6 e 7), o que alterou e reduziu a qualidade estrutural, refletindo na menor nota de Es. Como abordado no tópico referente ao IQP, o indicador Frequência de preparo, componente da nota do IQP, deve ser reanalisado e averiguado com a finalidade de corresponder à realidade da área.

Figura 6 – Imagem da gleba NTS20 registrada na ocasião da coleta (junho e julho, 2015), avaliada em Marechal Cândido Rondon, na Bacia do Paraná 3, mostrando o preparo de solo realizado que não constava no histórico de manejo.



Fonte: O autor, 2015.

Figura 7 – Imagem aproximada da gleba NTS20 registrada na ocasião da coleta (junho e julho, 2015), avaliada em Marechal Cândido Rondon, na Bacia do Paraná 3, mostrando detalhes do resultado do preparo de solo realizado que não constava no histórico de manejo.



Fonte: O autor, 2015.

Realizou-se análise de cluster para os dados de Es, quatro grandes grupos foram diferenciados arbitrariamente, conforme ilustrado na Figura 8. Como nenhuma gleba cultivada foi avaliada com notas entre 5 e 6, confirmou-se a adequação das classes propostas para interpretação da qualidade estrutural avaliada pela metodologia.

Figura 8 – Agrupamento de cluster das áreas sob SPD (NTS) de acordo com a metodologia proposta Es; glebas avaliadas na Bacia do Paraná 3, Oeste do Paraná, em junho e julho de 2015.



Fonte: O autor, 2015.

Esta proposta se mostrou viável e pode ser empregada para monitorar os efeitos na estrutura da camada superficial do solo, do manejo adotado. Recomenda-se que esta metodologia, por ser rápida, seja empregada para mapear as estruturas, indicando os locais que devem ser avaliados com mais detalhes, por meio do Perfil Cultural e de avaliações analíticas.

5.5 ATRIBUTOS BIOLÓGICOS

Foram determinados o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM, respectivamente), bem como o quociente microbiano (qMic) da Mata Nativa 6 (NF6) e de 13 glebas cultivadas que a ela se referenciam (Tabela 23). As glebas avaliadas foram selecionadas de acordo com a disponibilidade de amostra de solo (em qualidade e quantidade necessárias) e por fazerem parte do maior grupo de áreas relativas a uma mesma mata nativa.

Tabela 23 – Matéria orgânica do solo (MOS), Carbono e Nitrogênio da Biomassa Microbiana (CBM e NBM), quociente microbiano (qMic), IQP e Qualidade estrutural (Es) de glebas sob SPD (NTS) e mata nativa de referência (NF) avaliadas na Bacia do Paraná 3, no Oeste do Paraná, de 0 a 0,20 m, junho e julho de 2015.

Área	MOS %	CBM (mg.kg ⁻¹)	NBM (mg.kg ⁻¹)	qMic %	IQP	Es
NF6	3.71 a	549.13 a	166.07 a	3.19 a	-	6.0
NTS11	2.87 a	255.43 c	141.55 a	1.60 b	7.8	2.3
NTS12	2.44 b	320.26 b	111.14 a	2.31 a	7.2	4.2
NTS13	2.38 b	323.76 b	111.81 a	2.44 a	5.8	4.0
NTS14	2.14 b	133.54 c	56.67 a	1.14 b	8.3	4.0
NTS15	1.68 b	336.94 b	148.41 a	3.56 a	7.5	2.5
NTS16	1.65 b	218.81 c	61.92 a	2.42 a	6.8	3.9
NTS17	2.25 b	341.19 b	56.32 a	2.67 a	6.4	4.5
NTS19	1.81 b	133.52 c	86.40 a	1.28 b	7.4	1.2
NTS20	2.46 b	180.20 c	81.31 a	1.48 b	7.8	1.9
NTS36	1.62 b	198.55 c	88.98 a	2.24 a	5.7	1.7
NTS37	2.68 b	165.92 c	136.37 a	1.03 b	6.3	3.6
NTS38	2.14 b	127.51 c	68.21 a	1.22 b	6.6	3.8
NTS39	2.06 b	177.73 c	165.83 a	1.65 b	5.4	3.9

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente (Scott-Knott a 5% de probabilidade).

Fonte: O autor, 2017.

A mata nativa apresentou os maiores valores de MOS, CBM, NBM e qMic, apresentando-se superior às glebas cultivadas, refletindo condição mais

favorável ao desenvolvimento da microbiota do solo. Os dados corroboram com resultados encontrados por Marcante et al. (2008) e Nogueira et al. (2016), em que ecossistemas naturais exibiram maiores valores de MOS e BM.

A gleba cultivada NTS11 apresentou MOS semelhante à mata nativa, sendo esta área classificada como boa em relação ao IQP. Nessa área o SPD foi implantado há 24 anos, não havendo revolvimento do solo durante os cultivos, além do que, a área também recebeu nota máxima no indicador do IQP “Intensidade de rotação”, o que pode estar colaborando com a manutenção da MOS. A cobertura observada no momento da coleta era densa (aveia); Marcante et al. (2008) também relatou o uso de plantas de cobertura como favorecedor do desenvolvimento da BM.

A mata nativa apresentou CBM isoladamente superior aos demais tratamentos ($549,13 \text{ mg.kg}^{-1}$), resultado que se deve a diversidade de espécies vegetais, ao acúmulo de liteira na superfície do solo e a maior disponibilidade de substratos orgânicos para a microbiota. Esses dados estão de acordo com os apresentados por Ferreira, Stone e Martin-Didonet, (2017), que verificaram que sistemas de cultivo provocam modificações nos atributos microbiológicos do solo em relação à áreas preservadas de mata.

Os maiores valores de CBM das áreas cultivadas foram observados nas glebas NTS12, NTS13, NTS15 e NTS17, que também apresentaram q_{Mic} estatisticamente iguais ao da NF6. Com exceção da NTS13, as outras três glebas apresentaram IQP classificado como bom, todos eles tendo recebido boas notas nos indicadores relativos à rotação de culturas, permitindo a concordância das metodologias de análises microbiológicas com a metodologia do IQP.

Ainda em relação às glebas NTS12, NTS13, NTS15 e NTS17, com exceção da NTS15, as outras três apresentaram qualidade estrutural muito boa de acordo com a metodologia proposta no presente estudo (Es), também convergindo os resultados das metodologias. No caso da NTS15, na ocasião das coletas foi verificado preparo primário realizado anteriormente à avaliação, o que depreciou a nota da Es.

Diversos trabalhos têm demonstrado que sistemas de manejo com menor grau de revolvimento do solo favorecem a formação e estabilização de macroagregados, que aliada à proteção do solo mediante cobertura, resulta em maior retenção de umidade, maior disponibilidade de MOS, melhores condições

químicas e físicas do solo, proporcionando maiores teores de MOS e BM (BABUJIA et al., 2010; SILVA et al., 2010; SILVA et al., 2014). Ademais, a utilização de sistemas de rotação de culturas promovem melhoria da estrutura do solo, com efeito em atributos físicos, químicos e microbiológicos (FRANCHINI et al., 2007).

As glebas NTS19 e NTS36 são consideradas convencionais pelo cultivo de mandioca e conseqüente revolvimento do solo, e apresentaram CBM 218,81 e 198,55 mg.kg⁻¹, respectivamente. Ainda assim, as glebas não foram as que apresentaram menores valores de CBM, sendo apenas 8% menores que a média das áreas cultivadas sob SPD, mas 62% inferiores à mata nativa de referência. Segundo Babujia et al. (2010), em áreas cultivadas sob SPD o CBM foi 62% maior que em áreas cultivadas convencionalmente, nos primeiros 0,30 m de profundidade, Franchini et al. (2007) verificaram a diferença de 80% entre SPD e plantio convencional (0 a 0,10 m), mostrando a importância dos sistemas conservacionistas. O revolvimento do solo pode acelerar a oxidação da MOS, favorecendo momentaneamente a microbiota do solo.

Considerando a sobreposição das metodologias, NTS19 e NTS36 apresentaram as piores notas da Es, sendo consideradas de péssima qualidade estrutural. O IQP da gleba NTS36 foi 5,7, considerado ruim e correspondente com a realidade do manejo realizado; entretanto, NTS19 foi avaliado com 7,4. O IQP desta gleba deve ser revisto, principalmente em relação ao indicador Frequência de preparo, que recebeu nota 0,8/1,0. O mesmo indicador foi mencionado anteriormente neste trabalho como possível causador de divergências na metodologia do IQP.

Em relação ao q_{Mic} , a gleba NTS15 apresentou valor superior à NF (3,56 e 3,19%, respectivamente), entretanto, segundo Jenkinson e Ladd (1981), 2,2% seria o nível no qual ocorreria equilíbrio em parcelas cultivadas. Logo, as glebas NTS12, NTS13, NTS15, NTS16, NTS17 e NTS36, todas as que foram estatisticamente semelhantes à mata, seriam áreas cultivadas com bom equilíbrio biológico. Outros autores mencionam valores diferentes de 2,2%, Anderson e Domsch (1989) e Colozzi Filho et al. (1999) mencionam os valores de 2,3 para monoculturas e 4,4 para rotação de culturas. Esses últimos valores diferenciariam melhor os manejos observados, uma vez que as glebas NTS19 e NTS36 são consideradas de manejo convencional e, apesar de apresentarem baixos valores de MOS e CBM, NTS36 apresentou q_{Mic} 2,24%, que se enquadraria, segundo

Jenkinson e Ladd (1981) em parcela cultivada em equilíbrio.

O menor valor de q_{Mic} foi observado na gleba NTS37 (1,03%), no momento da avaliação estava implantada a cultura de aveia, com aproximadamente 15 cm de altura; entretanto, o cultivo de milho para silagem precedeu a aveia, e era possível observar o distúrbio causado no solo, que pode justificar o resultado observado. Apesar de sua importância, não foi possível diferenciar as glebas pelo NBM, entretanto, o coeficiente de variação da análise estatística para essa variável foi de 72%.

Sensíveis às modificações do habitat, estudos recentes revelam que a microbiota do solo é capaz de revelar mudanças na qualidade do solo decorrentes do manejo do solo e das culturas nos trópicos (BABUJIA et al., 2010; FRANCHINI et al., 2007; HUNGRIA et al., 2009) antes de alterações nos atributos físicos e químicos serem perceptíveis (BABUJIA et al., 2010; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010).

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O solo é mais do que simples suporte físico para o desenvolvimento das plantas e para a vida humana; muito além do reservatório de água e nutrientes para as plantas cultivadas. O solo deve ser tratado como sistema complexo que é, com seus atributos físicos, químicos e biológicos interagindo constantemente, muitas vezes sendo desconhecidos os efeitos resultantes da ação antrópica sobre esse recurso recorrentemente negligenciado. Almeja-se aumento e estabilidade da produção agrícola, com o intuito de garantir a sobrevivência da humanidade e, apesar dos esforços constantes em melhoramento genético, desenvolvimento de novos produtos fertilizantes e fitossanitários, e em técnicas de comercialização, deve-se aumentar a conscientização acerca da importância da manutenção da qualidade dos solos, base da sustentabilidade da atividade agrícola.

Essa complexidade do sistema solo dificulta a interpretação dos dados obtidos e das situações observadas, exigindo que além de metodologias adequadas, se desenvolvam técnicos aptos a diferenciarem os resultados numéricos, facilmente analisados isoladamente, dos fatos observados quando se interagem as informações. As ferramentas são úteis, muitas possuem tabelas de interpretação disponíveis, entretanto, deve-se refletir holisticamente sobre o solo. Têm-se difundido o conceito mais completo da fertilidade do solo, que engloba seus atributos físicos, químicos e biológicos, ainda sem aprofundar-se em suas complexas interações. Entretanto, ainda existe desencontro de informações e de terminologias relacionadas ao tema solo, sua qualidade e sustentabilidade. Muitos erros continuam sendo cometidos no setor produtivo e na geração de ciência pela busca incessante da simplificação dos resultados e das ações. O solo é complexo, a agricultura também, não se deve tratá-los com abordagem simplista.

O presente trabalho propõe que a estrutura seja considerada o principal atributo físico do solo, por ser diretamente afetada pelo manejo e por estar diretamente associada à fertilidade do solo e ao desenvolvimento da sua microbiota.

A partir do momento em que o homem modifica o meio natural com objetivos específicos, produção de alimento, energia e fibra, funções da agropecuária, é inevitável a alteração dos atributos químicos, físicos e biológicos do sistema solo. Sabendo que essas modificações acontecem inevitavelmente, é fundamental a compreensão e conscientização sobre a sustentabilidade dos

agroecossistemas. Para isto, propõe-se a ampliação dos estudos da estrutura do solo e os efeitos da antropização nos sistemas agrícolas. Provavelmente, será através da ampliação deste conhecimento que se poderá solucionar a equação da necessidade de intensificação da atividade agropecuária com a preservação deste potencial produtivo, ou seja, da fertilidade.

O SPD é considerado a mais completa técnica de agricultura conservacionista e favorece a conservação de solo, da água e da vida no planeta, por seu papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas. No Brasil, o SPD é amplamente difundido e adotado - cerca de 31,8 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2012), mas não em sua integralidade. Atualmente o fundamento mais negligenciado do SPD no Brasil é a rotação de culturas; há gargalos logísticos a serem analisados, o mercado nem sempre está aberto e apto a absorver a diversidade de espécies que deveria ser usada no campo e a estrutura de financiamento da atividade dificultam as ações e planejamentos de médio e longo prazos. Apesar de sua característica e intenção conservacionista, o SPD também é uma modificação das condições naturais do meio, alterando atributos físicos, químicos e biológicos do solo, exigindo contínuos estudos.

Esta complexidade não impede que se desenvolvam ferramentas e metodologias de emprego rápido e eficiente, para agilizar a obtenção de informações preliminares e apoiar as tomadas de decisões. É neste contexto que o Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto (IQP) foi proposto, com a intenção de consolidar-se como ferramenta de apoio à gestão da atividade agrícola, e foi validado pelo presente estudo. Pretende-se com o presente estudo, e os demais que se desdobrarão deste, associar outras ferramentas de avaliação, como da estrutura do solo, que de forma rápida e de fácil aplicação, enriquece as avaliações e norteiam estudos mais aprofundados. Além de contribuir com esta abordagem, sugere-se que, de forma sistemática, sejam realizadas avaliações que considerem mais as interações entre as propriedades do solo e destas com os aspectos da planta e do clima, do que apenas dados isolados.

Embora análises químicas e físicas rotineiras tenham sido realizadas e interpretadas, resultando na verificação de inevitável alteração do solo, mesmo que em menores proporções devido ao geral bom manejo das áreas avaliadas; ressalta-se a relevância dos resultados observados na interpretação dos dados biológicos, do IQP e da estrutura do solo e a interação entre eles.

As metodologias IQP e Avaliação da Estrutura do Solo proporcionaram interpretação holística dos sistemas agrícolas avaliados, sendo concordantes entre si. Os resultados preliminares biológicos foram concordantes com as duas metodologias, corroborando para sua validação. As recomendações, que deverão ser repassadas aos produtores rurais, são de fácil compreensão, e a partir do comprometimento dos agricultores, em parceria com a assistência técnica prestada pela FEBRAPDP e pela Itaipu Binacional, será planejada e averiguada a evolução positiva dos resultados. Mais importante que a interpretação dos dados é o monitoramento das áreas, acompanhando a evolução das variáveis e adequando as práticas de manejo objetivando a melhoria e sustentabilidade do agroecossistema. Isto exige uma forma diferente de se fazer ciência, onde as informações obtidas sejam úteis e facilitem o alcance dos objetivos comuns.

A metodologia do IQP propõe o uso da ferramenta ciclo PDCA como melhoria contínua, através do diagnóstico individualizado, que disponibiliza a pontuação, o ranqueamento, os pontos fortes e os itens a serem melhorados para cada indicador (FEBRAPDP, 2011); entretanto, após o presente estudo sugere-se a elaboração de recomendações gerais, como as apresentadas pela metodologia da Avaliação da Estrutura do Solo, para facilitar a compreensão e validação da metodologia, além de facilitar o entendimento pelo agricultor. Sugere-se ainda, que as classes do IQP sejam mais diferenciadas, sendo que, todas as áreas consideradas convencionais deveriam enquadrar-se em seu nível mais baixo. As classes “Bom” (6,51 a 8,50) e “Ruim” (4,51 a 6,50) podem ser subdivididas, o que permitiria melhor correlação entre as áreas de cada classe. Deve ser revisto o indicador Frequência de preparo, com a intenção de aprimorar ainda mais a metodologia, fazendo com que ela reflita a realidade das áreas cultivadas. Apesar disso, o IQP pôde ser validado no decorrer deste trabalho, sendo ferramenta adequada para gestão e monitoramento pelo setor agropecuário.

O uso de metodologia de avaliação visual deveu-se à fácil aplicabilidade, possibilidade de monitoramento e comparação de áreas com situações distintas de manejo e seu efeito na estrutura do solo, além de ser adaptado às condições tropicais devido à fundamentação pelo Perfil Cultural (TAVARES FILHO et al., 1999). A Avaliação da Estrutura do Solo permite, e incentiva, a reflexão da relação causa-efeito nas modificações da estrutura

resultantes do manejo. Foi possível validar a metodologia e correlacioná-la com o IQP, devendo ser prontamente disponibilizada à extensão rural.

A compreensão da qualidade estrutural do solo e o acompanhamento de sua evolução decorrente do manejo permitem a assimilação do conceito sistema solo e de sua fertilidade, em que os atributos físicos e químicos e suas complexas interações permitem ou restringem o estabelecimento e desenvolvimento dos atributos biológicos, refletindo a fertilidade do sistema.

7 CONCLUSÕES

Considerou-se boa a qualidade do manejo das glebas cultivadas sob SPD monitoradas pelo “Programa de Estímulo da Qualidade do Sistema Plantio Direto na Palha na Bacia do Paraná 3”.

A rotação de culturas foi o principal fator de recuperação dos teores de matéria orgânica do solo, baseado em componentes do IQP.

A perda dos teores de matéria orgânica do solo se deu pelo preparo do solo, baseado nos componentes do IQP.

Foi observado aumento da resistência à penetração em profundidade, nas glebas sob Sistema Plantio Direto e nas matas. Ressaltando-se a importância do uso de uma referência para facilitar a tomada de decisão de manejo.

Não foi observada camada subsuperficial compactada, por meio da penetrometria, nas 40 glebas sob Sistema Plantio Direto. Entretanto, o presente trabalho sugere o uso dessa ferramenta no mapeamento e monitoramento das áreas, identificando pontos em que análises mais aprofundadas devam ser realizadas.

Destaca-se a importância da realização de manejo químico adequado e do uso de rotação de culturas com o intuito de preservar o solo, reduzir a dispersão da argila e seus consequentes riscos.

Foi possível expandir a validação do Índice de Qualidade Participativo para o Sistema Plantio Direto, por meio da correlação com seus componentes, bem como pela concordância com as outras metodologias usadas no estudo.

O presente estudo propõe a subdivisão das classes de interpretação do IQP, facilitando assim o acompanhamento da evolução da qualidade do manejo.

A avaliação superficial da estrutura do solo contribuiu na avaliação do manejo e pode ser utilizada no monitoramento das áreas, também permitindo a indicação de locais em que análises suplementares devam ser empreendidas.

A qualidade estrutural, avaliada pela metodologia proposta no presente estudo e os atributos microbiológicos foram concordantes com a metodologia do IQP e permitiram a compreensão da qualidade do manejo adotado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA NETO, O.B.; MATOS, A.T.; ABRAHÃO, W.A.P.; COSTA, L.M.; DUARTE, A. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p.1571-1581, 2009.
- ALVES, M.C.; SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, p. 27-34, 2004.
- AMADO, T. J. C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo "Soil Quality Kit Test" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 109-121, Feb. 2007.
- AMIR KASSAM, A.; FRIEDRICH, T. Conservation Agriculture: Principles, Sustainable Land Management and Ecosystem Services. IN: **Proceedings of the 40th National convention of the Italian Agronomy Society**, Teramo, Italy. 2011. Disponível em: < <http://www.fao.org/ag/ca/8.html>>. Acesso em: 05 de agosto 2016.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 1993. 171 p.
- ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. (Coord.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Núcleo Regional Sul, 2000. p. 41-59. (Boletim Técnico, 4).
- ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, Jul/Set. 2007.
- AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D.L.; SANTOS, A.A. **BIOESTAT – Aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas**. Ong Mamiraua. Belém, Pará. 2007.
- AZEVEDO A.C., BONUMÁ A.S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 609-617, 2004.
- BABUJIA, L. C. ; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BROOKES, P.C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, p. 1-8, 2010.
- BABUJIA, L. C.; SILVA, A.P.; NOGUEIRA, M.A.; HUNGRIA, M. Microbial diversity in an Oxisol under no-tillage and conventional tillage in southern Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v. 45, n. 5, p. 863-870, 2014.
- BALL, B.C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L.J. Field assessment of soil structural quality - a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 329–337, 2007.

BARROS, N., GALLEGO, M., FEIJÓ, S. Sensitivity of colorimetric indicators of soil microbial activity. **Thermochimica Acta**, v. 458, p.18–22, 2007.

BARTLETT, R.J.; ROSS, S.D. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p.1191-1192, 1988.

BARTZ, M.L.C.; PASINI, A.; BROWN, G.G. Earthworms as soil quality indicators in Brazilian no-tillage systems. **Applied Soil Ecology**, v. 69, p. 39– 48, 2013.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J. ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil & Tillage Research**, v. 91, p. 217-226, 2006.

BENGOUGH, A.G.; CAMPBELL, D.J.; O'SULLIVAN, M.F. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. In: SMITH, K.A. & MULLINS, C.E., eds. **Soil and environmental analysis**. 2.ed. New York, Marcel Dekker, p.377-403, 2001.

BERNARDI, A.C.C.; MACHADO, P.L.O.A.; MADARI, B.E.; TAVARES, S.R.L.; CAMPOS, D.V.; CRISÓSTOMO, L.A. Carbon and nitrogen stocks of an arenosol under irrigated fruit orchards in semiarid Brazil. **Scientia Agricola**, São Paulo, v.64, p.169-175, 2007.

BHARDWAJ, A.K.; JASROTIA, P.; HAMILTONA, S.K.; ROBERTSON, G.P. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 140, p.419-429. 2011.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T. J. C.; SKÓRA NETO, F.; SANTOS RIBEIRO, M. F.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking Stock of the Brazilian “Zero Till Revolution”: A Review of Landmark Research and Farmers’ Practice. **Advances in Agronomy**. v. 91, p. 47-110, 2006.

BRAIDA, J.A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O.K.et al.(Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. V.VII, p.222-227.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. da; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 605-614. Ago., 2006.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, 124:3-22, 2005.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.17, p.837-842, 1985.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p. 161-169, 2000.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D.S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M.F. Impact of Long-Term No-Tillage and Cropping System Management on Soil Organic Carbon in an Oxisol: A Model for Sustainability. **Agronomy Journal**, v. 100, e.4, 2008.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degaspari, 1997. 132p.

CANDIDO, B.M.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FREITAS, D.A.F. de; MINCATO, R.L.; FERREIRA, M.M. métodos de indexação de indicadores na avaliação da qualidade do solo em relação à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 589-59, Apr. 2015.

CARVALHO, A. P. V.; DIAS, H.C.T; PAIVA, H. N. de; TONELLO, K.C. Resistência mecânica do solo à penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1091-1098, 2012.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A.G.; LLANILO, R.F. **Plantio direto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 2012. 77 p.

CHAVES; L.H.G.; CHAVES, I.B.; LUNA, J.G. Alteração na taxa de percolação de um Neossolo Flúvico tratado com sulfatos de cálcio e alumínio e carbonato de cálcio. **Agropecuária Técnica**, v.22, p.13-19, 2001.

CHINN, C.; PILLAI, U. Self-repair of compacted Vertisols from Central Queensland, Australia. **Geoderma**. v. 144, p. 491-501, 2008.

CHOROM, M.; RENGASAMY, P. Effect of heating on swelling and dispersion of different cationic forms of a smectite. **Clays and Clay Minerals**. v. 44, p. 783-790; 1996.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J.A.; FONTOURA, S.M.V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 281-284, 2004.

CRASWELL, E.T.; LEFROY, R.D.B. The role and function of organic matter in tropical soils. **Nutrient Cycling and Agroecosystem**, v.61, p.7-18, 2001.

CUI, J.; HOLDEN, N.M. The relationship between soil microbial activity and microbial biomass, soil structure and grassland management. **Soil & Tillage Research**, v.146, p.32–38, 2014.

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KAMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário da Ciência do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 90p.

- DADALTO, J.P.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R.; MATOS, A.T. sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.3, p.506-513, maio/jun. 2015.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; SOUZA DIAS H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 703-709, 1999.
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.
- DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 3-11, 2000.
- DUMANSKI, J.; PEIRETTI, R. Modern concepts of soil conservation. **Internacional Soil and Water Conservation Research**, v. 1, n.1, p. 19-23, 2013.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2013. 353p.
- FAO and ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. 2015.
- FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. **Evolução da área cultivada no Sistema de Plantio Direto na Palha - Brasil**. Disponível em: <http://febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>. 2012. Acesso em: 12 de janeiro de 2017.
- FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. **Metodologia Participativa para Avaliação da Qualidade do Sistema Plantio Direto na Bacia do Paraná 3. Manual de Campo**. Ponta Grossa, PR. 99 p., 2011.
- FEIGL, B.J., SPARLING, G.P., ROSS, D.J., CERRI, C.C.. Soil microbial biomass in Amazonian soils: evaluation of methods and estimates of pool size. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 1467-1472, 1995.
- FEIJE, F., ANGER, V. Spot test in inorganic analysis. **Analytica Chimica Acta**, v. 149, p. 363 - 367, 1972.

FERREIRA, R.R.M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V.M.; RALISCH, R. Estabilidade física de solo sob diferentes manejos de pastagem extensiva em cambissolo. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, p. 531-538; 2010.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p. 22-31, Mar. 2017.

FRANCHINI, J.C., CRISPINO, C.C., SOUZA, R.A., TORRES, E., HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.92, p.18–29, 2007.

GAJIĆ B. Physical properties and organic matter of Fluvisols under forest, grassland, and 100 years of conventional tillage. **Geoderma**. 200–201:114–119; 2013.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-243.

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

GEBHARDT, S.; FLEIGE, H.; HORN, R. Anisotropic shrinkage of mineral and organic soils and its impact on soil hydraulic properties. **Soil & Tillage Research**. v. 125, p. 96-104, 2012.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 477-484, jun. 2004.

GHAEMI, M.; ASTARAEI, A.R.; EMAMI, H.; NASSIRI MAHALATI, M.; SANAEINEJAD, S.H. Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad- Iran. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 14 (4), p. 987-1004, 2014.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of Forest soils. A review. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, n.2, p.163-89, 1980.

GREEN, V.S.; STOTT, D.E.; CRUZ, J.C.; CURI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v.92, p.114-121, 2007.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Carbono, nitrogênio e abundância natural de $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ em uma cronosequência de agricultura sob plantio direto no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1135-1142, aug. 2014.

- GUBIANI, P. I.; LIER, Q. de J. V.; DRESCHER, M. S.; MEZZOMO, H. C.; VEIGA, C. M. C. Relação entre densidade do solo e conteúdo de água em repetidos ciclos de contração e expansão em um latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 100-108, 2015.
- GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use Manage**, v. 27, p. 395-403, 2011.
- HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, v.82, p.121-145, 2005.
- HENIN, S.; FEODOROFF, A.; GRAS, R. & MONNIER, G. **Le profil cultural : Principes de physique du sol**. Paris: Masson, 1960. 320p.
- HENIN, S.; GRAS, R. ; MONNIER, G. **Le profil cultural : L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques**. 2.ed. Paris, Masson, 1969. 322p.
- HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BRANDAO, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R.A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.
- IGWE, C.A.; UDEGBUNAM, O.N. Soil properties influencing water-dispersible clay and silt in an Ultisol in southern Nigeria. **Agrophysics**, v.22, p. 319-325, 2008.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.M. eds. **Soil biochemistry**, v.5. NewYork, Marcel Decker, p.415-471, 1981.
- JOHANNES, A.; WEISSKOPF, P.; SCHULIN, R.; BOIVIN, P. To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure? **Soil & Tillage Research**, *in press*. 2016.
- JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro [**Dissertação**]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 1987.
- KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2010.
- KRAMER, L. F. M.; MÜLLER, M. M. L.; TORMENA, C. A.; GENÚ, A. M.; MICHALOVICZ, L.; VICENSI, M. Atributos químicos do solo associados à produtividade do trigo em um talhão com diferentes potenciais produtivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1190-1199, aug. 2014.
- LIMA, R. P. de; LEÓN, M.J. de; SILVA, A.R. da. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.4, p. 577-581, jul/ago, 2013.

LIPIEC J.; HATANO R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v. 116, p. 107-136, 2003.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistemas plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo, 2004. 110 p.

MAIA, C.M.B. de F.; PARRON, L.M. Matéria orgânica como indicador da qualidade do solo e da prestação de serviços ambientais. IN: **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. PARRON, L.M., GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E.B.; BROWN, G.G.; PRADO, R.B. Embrapa, Brasília, 2015.

MATIAS, S.S.R.; CORREIA, M.A.R.; CAMARGO, L.A.; FARIAS, M.T.; CENTURION, J.F.; NÓBREGA, J.C.A. Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Belém, v. 7, p.414-420, 2012.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum, Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 4, p. 479-485, dez. 2008 .

MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. dos S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 5, p. 584-590, 2012.

MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da. Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1704-1713, 2012.

MORELLI, M.; FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.11, p.1-6, 1987.

NGUETNKAM, J.P.; DULTZ, S. Clay dispersion in typical soils of Norht Cameroon as a function of pH and electrolyte concentration. **Land Degradation & Development**, v.25, p. 153-162, 2014.

NGUETNKAM, J.P.; DULTZ, S. Soil degradation in Central North Cameroon: Water-dispersible clay in relation to surface charge in Oxisol A and B horizons. **Soil & Tillage Research**. v.113, p. 38–47, 2011.

NOGUEIRA, L. R.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; GAIA-GOMES, J. H.; SILVA, E. M. R. Biological Properties and Organic Matter Dynamics of Soil in Pasture and Natural Regeneration Areas in the Atlantic Forest Biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, e0150366, 2016.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 6, n 1, Jan/Jun 2004.

NUNES, M.R.; PAULETTO, E.A.; JOSÉ ELOIR DENARDIN, J.E.; ANTONIO FAGANELLO, A.; PINTO, L.F.S.; SCHEUNEMANN, T. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.7, p.531-539, jul. 2014.

NURIA, R.; JÉRÔME, M.; LÉONIDE, C.; CHRISTINE, R., GÉRARD, H.; ETIENNE, I.; PATRICK, L. IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macro-Invertebrate communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v.43, p.2032-2045, 2011.

OLIVEIRA, J.R.A., MENDES, I.C., VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 863-871, 2001.

PAES, J. L. DE A.; RUIZ, H.A.; FERNANDES, R.B.A.; FREIRE, M.B.G. DOS S.; BARROS, M. DE F.C.; ROCHA, G.C. Dispersão de argilas em solos afetados por sais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1135-1142, nov. 2013.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil & Tillage Research**, v.79; p.131–143, 2004.

PARADELO, R.; VAN OORT, F.; CHENU, C. Water-dispersible clay in bare fallow soils after 80 years of continuous fertilizer addition R. **Geoderma**. 200-201: 40–44; 2013.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, IAPAR, 1992. 40 p. IAPAR – Circular, 76.

PAVAN, M.A.; ROTH, C.H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian Oxisol. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.44, n.6, 391-394; 1992.

PARR, J.F., PAPENDICK, R.I., HORNICK, S.B., MEYER, R.E. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, p.5–11, 1992.

PENNING, L.H.; LIMA, C.L.R.; TUCHTENHAGEN, I.K.; SILVA, M.F.M.M.; PILLON, C.N.; NUNES, M.C.M. **Avaliação visual para o monitoramento da qualidade estrutural do solo: VESS e VSA**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 39 p. Embrapa Clima Temperado.

PEREIRA, R.S.; SILVESTRE, R.; NAPPO, M.E.; MIGUEL, E.P.; EMMERT, F. Qualidade da colheita e atributos físicos do solo: implicações no planejamento da reforma de povoamentos florestais. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.21, n.3, Maio /Jun 2013.

POTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem em solos sob plantio direto e em campos nativos do Rio Grande do Sul. In: NUERNBERG, N. J. **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: SBCS/NRS, p. 77-92, 1998.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. 18.ed. São Paulo: Nobel, 2006. 549 p.

RAIJ, B. van. Propriedades eletroquímicas de solos. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, **Anais.**, Campinas: Fundação Cargill, p. 9 39, Campinas, 1986.

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

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R Foundation for Statistical Computing**. Vienna: Austria, 2014.

RESCK, D.V.S.; VASCONCELLOS, C.A.; VILELA, L.; MACEDO, M.C.M. Impact of conversion of Brazilian cerrado to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; STEWART, B.A. (Ed.) **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: CRC Press, p.169-196, 2000.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**. 110, 131-146. 2002.

REZENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM

RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M.G.B.F.; SAMPAIO, F.M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, aug. 2007.

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

ROBOREDO D., MAIA J.C.S.M., OLIVEIRA O.J.; ROQUE C.G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um latossolo vermelho distrófico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, p. 307-314, 2010.

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

ROLOFF, G., LUTZ, R.A.T., MELLO, I. **Índice de Qualidade Participativo do Plantio Direto. Boletim Técnico. FEBRAPDP**. Ponta Grossa, PR. 27 p., 2011.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais** / Carlos Cesar Ronquim. – Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

SÁ, J.C.D.M., SÉGUY, L., TIVET, F., LAL, R., BOUZINAC, S., BORSZOWSKI, P.R., BRIEDIS, C., DOS SANTOS, J.B., DA CRUZ HARTMAN, D., BERTOLONI, C.G. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v.26, p.531-543, ago. 2013.

SÁ, M.A.C. de; SANTOS JUNIOR, J.D.G. dos. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina – DF. Embrapa Cerrados, 2005. 26 p.

SECCO D., REINERT D.J., REICHERT J.M., SILVA V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p.58-64, 2009.

SETA, A.K.; KARATHANASIS, A.D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersability from soil aggregates. **Geoderma**, v.74, p. 255–266, 1996.

SHEPHERD, T. G. **Visual Soil Assessment: Volume 1**. Field Guide for Pastoral Grazing and Cropping on Flat to Rolling Country. 2nd ed. Palmerston North: Horizons Regional Council, 2009. 119 p.

SHUKLA, M.K.; LAL, R. & EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil & Tillage Research**, v.87, p.194-204, 2006.

SILVA, A.P.; BABUJIA, L.C.; FRANCHINI, J.C.; RALISCH, R.; HUNGRIA, M.; GUIMARÃES, M.F. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil & Tillage Research**, v.142, p.42–53, 2014.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SILVEIRA, D.C.; MELO FILHO, J.F. DE; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.659-667, 2010.

SILVEIRA JUNIOR, S.D. da; SILVA, A.P. da; FIGUEIREDO, G.C.; TORMENA, C.A.; GIAROLA, N.F.B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1854-1867, 2012.

SOJKA, R.E.; UPCHURCH, D.R. & BORLAUG, N.E. Quality soil management or soil quality management: Performance versus semantics. **Advances in Agronomy**, v.79, p.1-68, 2003.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. IN: **Fertilidade do solo**. NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.L.C. SBCS, Viçosa, 2007. 1017 p.

SOUZA, Z.M.; BEUTLER, A.N.; MELO, V.P.; MELO, W.J. estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.117-123, 2005.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic as a sensitive indicator changes in matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.

SUZUKI, L.E.A.S, REINERT, D.J., REICHERT, J.M.; LIMA, C.L.R. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.963-973, 2008.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, p.1159-1167, 2007.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). **Étude Gestion Sols**, v.5, p. 61-71, 1998.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.; RIBON, A.A. Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p. 1527-1534, 2010.

TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA, J. F. de; ALMEIDA, E. de. Modelling of soil penetration resistance for an oxisol under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 89-95, 2012.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 393-399, jun.1999.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 487-494, 2008.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A.P. da. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 943-952, jun. 2008.

USDA-NRCS. **Soil Quality Institute, Ames, IA**. Disponível em: <<http://soils.usda.gov/sqi/>> Acesso em: 05 de agosto 2016.

VANCE, E.D.; BROOKES, P. C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.6, p.703-707, 1987.

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.B.; SILVA, A.J.N.; OLIVEIRA, V.S.; SILVA, Y.J.A.B. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p. 639-648, 2010.

VEEN, B.W.; BOONE, F.R. The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots of maize. **Soil & Tillage Research**, v.16, p. 219-226, 1990.

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

WIETHOLTER, S. Revisão das recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. IN: **REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO 4**, Resumos. CD-ROM, UFRGS, Porto Alegre, 2002.