

FESURV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DA
FERTILIDADE E FORMAS DE DETERMINAÇÃO DE CARBONO EM
SOLOS SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE GOIANO**

NELSON HENRIQUE DALL' ACQUA
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2008

NELSON HENRIQUE DALL' ACQUA

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DA
FERTILIDADE E FORMAS DE DETERMINAÇÃO DE CARBONO EM
SOLOS SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE GOIANO**

Dissertação apresentada à Fesurv - Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2008**

NELSON HENRIQUE DALL' ACQUA

**MÉTODOS DE AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DA
FERTILIDADE E FORMAS DE DETERMINAÇÃO DE CARBONO EM
SOLOS SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE GOIANO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Agronomia da
Fesurv - Universidade de Rio Verde, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção
Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de junho de 2008

Prof. Dr. Carlos César E. Menezes
(Co-orientador)

Dr. Vinícius de Melo Benites
(Co-orientador)

Prof. Dr. Renato Lara de Assis
(Membro da banca)

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro
(Membro da banca)

Prof. Dr. Gilson Pereira Silva
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas e Instituições participaram e colaboraram para que este trabalho fosse realizado, sendo difícil lembrar todos os envolvidos, a quem peço desculpas pela omissão.

Neste momento, entretanto, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Gilson Pereira Silva, pelos ensinamentos e estímulo para que este trabalho fosse realizado.

Faço um agradecimento especial ao meu co-orientador, Dr. Vinícius de Melo Benites, pesquisador da Embrapa Solos, que dedicou muitas horas de seu precioso tempo orientando-me nas tarefas e rotinas do laboratório de análise de solos. Agradeço também seu precioso auxílio nas análises estatísticas.

Ao Prof. Gustavo Simon pelo auxílio igualmente importante na elaboração das análises estatísticas.

Ao professor Dr. Renato Lara de Assis, pelo auxílio na busca de referências bibliográficas.

Ao Prof. Dr. Carlos César Evangelista de Menezes, pelo auxílio financeiro obtido junto à Cooperativa COMIGO, tornando possíveis os deslocamentos para a realização das amostragens de solo. E também ao seu empenho em conseguir que todas as análises de solos e plantas fossem realizadas no laboratório da COMIGO.

Ao Deputado Estadual paulista, senhor Roberto Massafera, pela amizade e confiança na minha capacidade de chegar ao fim desta longa e difícil jornada de estudos e pesquisa.

Ao estudante de agronomia e estagiário da EMBRAPA Solos, Carlos Eduardo Ferreira pela realização do mapa de localização dos pontos de coleta de solo.

À Fundação AGRISUS, pelo auxílio financeiro na forma de Bolsa de Estudos a mim concedido.

À todos os funcionários da FESURV, Universidade de Rio Verde, que auxiliaram na coleta e análise das informações utilizadas neste trabalho.

Finalmente, aos meus colegas de mestrado pelo agradável convívio durante estes anos de estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
RESUMO GERAL.....	vi
GENERAL ABSTRACT.....	vii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1	3
MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE SOLOS EM ÁREAS SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE GOIANO.....	3
RESUMO.....	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1. Amostragem do solo para fins de fertilidade.....	6
2.2. Amostragem de solo em áreas sob sistema plantio direto.....	8
2.3. Gradiente vertical em áreas cultivadas sob sistema plantio direto.....	9
2.4. Gradiente horizontal em áreas cultivadas sob sistema plantio direto.....	13
2.5. Equipamentos para amostragem de solo.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 Características químicas e físicas dos solos.....	21
4.2. Produtividade de grãos de soja das áreas amostradas.....	30
4.3 Influência do método de amostragem nos resultados de análises de solo.....	34
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
CAPÍTULO 2	56
ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE CARBONO EM SOLOS SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE GOIANO.....	56
RESUMO.....	56
ABSTRACT.....	57
1. INTRODUÇÃO.....	58
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	59
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
4. DISCUSSÃO.....	63
4.1. Relações entre os teores de carbono determinados pelos métodos em estudo.....	63
4.2. Relações entre os métodos de determinação de carbono e alguns atributos do solo..	73
5. CONCLUSÕES.....	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
ANEXOS.....	85

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Localização dos pontos de coleta de solo na região estudada.....	17
FIGURA 2	Representação esquemática de uma unidade amostral para retirada de amostras simples com os respectivos equipamentos, localizações e profundidades de amostragem de solo.....	18
FIGURA 3	Amostragem de solo sendo realizada com o auxílio do trado holandês.....	19
FIGURA 4	Furadeira elétrica e a base perfurada que é utilizada para coletar o solo	19
FIGURA 5	Teor médio de P no solo de todos os tratamentos em função do tempo de adoção do sistema plantio direto (SPD).....	23
FIGURA 6	Teor médio de matéria orgânica do solo (MOS) de todos os tratamentos em função do tempo de adoção do sistema plantio direto (SPD).....	24
FIGURA 7	Relação entre os teores de matéria orgânica e a CTC do solo (n = 144).....	26
FIGURA 8	Relação entre MO e textura do solo (n = 144).....	28
FIGURA 9	Relação entre CTC e textura do solo (n = 144).....	29
FIGURA 10	Presença de alumínio trocável em função do pH do solo (n = 144).....	30
FIGURA 11	Produtividade média de grãos de soja em função do tempo de adoção do sistema plantio direto (SPD).....	31
FIGURA 12	Relações entre os métodos de determinação de carbono orgânico (YB) e carbono total (CHN) com todas as amostras de solo (Figura 12 a), amostras de solo com mais de 35 % de argila (Figura 12 b) e amostras de solo com menos de 35 % argila (Figura 12 c).....	67
FIGURA 13	Relação entre a matéria orgânica estimada por calcinação (PPI) e textura do solo.....	69
FIGURA 14	Relações entre a matéria orgânica do solo estimada por calcinação (PPI) e o carbono total do solo (CHN) incluindo todas as amostras de solo (Figura 14 a), em amostras com mais de 35 % de argila (Figura 14 b) e com menos de 35 % de argila (Figura 14 c).....	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Coordenadas geográficas, variedades de soja e manejo da fertilidade das áreas estudadas.....	17
TABELA 2	Descrição dos tratamentos utilizados para realizar a amostragem de solo.....	18
TABELA 3	Análise exploratória dos resultados analíticos dos solos estudado e os teores considerados adequados de algumas variáveis analisadas.....	22
TABELA 4	Análise de variância dos resultados de análise de solo e produtividade da soja em função do tempo de adoção do sistema plantio direto nas áreas amostradas.....	25
TABELA 5	Correlações entre atributos químicos e físicos do solo.....	25
TABELA 6	Produtividade das áreas amostradas, tempo de cultivo e resultado das variáveis de solo analisadas.....	27
TABELA 7	Análise exploratória dos teores de nutrientes encontrados no tecido foliar da soja e os teores considerados adequados para a cultura.....	32
TABELA 8	Correlações entre os teores foliares de nutrientes na cultura da soja e os resultados de análise química e física do solo coletado antes da semeadura.....	33
TABELA 9	Produtividade média das áreas amostradas, tempo de cultivo e teor de nutrientes no tecido foliar da soja.....	35
TABELA 10	Análise de variância dos resultados das análises de solo em função de método utilizado para amostragem.....	35
TABELA 11	Média dos resultados das análises químicas do solo (n = 144) em função do equipamento, profundidade e posição utilizados para a coleta das amostras de solo.....	36
TABELA 12	Média dos resultados das análises químicas do solo em função do equipamento, profundidade, posição e período de adoção do sistema plantio direto.....	37
TABELA 13	Média dos parâmetros químicos do solo influenciados pela interação entre equipamento e profundidade usados na amostragem de solo.....	42
TABELA 14	Tratamento estatístico pelo teste de Tukey da variável influenciada pela interação entre posição e profundidade de amostragem do solo.....	44

TABELA 15	Teores médios de carbono orgânico (WB, COL, YB), carbono total (CHN), matéria orgânica (PPI) e carbono na forma de substâncias húmicas (SH) em função da textura do solo.....	63
TABELA 16	Teores médios, mínimos e máximos de carbono orgânico (WB, COL, YB), carbono total (CHN), carbono extraível (SH) e matéria orgânica (PPI) determinados por diferentes métodos, em amostras de solo sob plantio direto, agrupados de acordo com a textura dos solos.....	65
TABELA 17	Correlações entre os métodos de determinação de carbono considerando todas as amostras de solo, solos com menos de 35 % de argila e solos com mais de 35 % de argila.....	65
TABELA 18	Equações de regressão linear entre os métodos de determinação de carbono com seus respectivos intervalos de confiança (95 %) para os parâmetros intercepto (ICa) e declividade (ICb) e coeficientes de determinação (R^2) (n=144).....	73
TABELA 19	Valores dos atributos do solo estudados em relação aos métodos de determinação de Carbono do solo.....	74
TABELA 20	Correlações entre os métodos de determinação de carbono e alguns atributos do solo.....	75

RESUMO GERAL

Dall' Acqua, Nelson Henrique, M.S., FESURV – Universidade de Rio Verde, junho de 2008. **Métodos de amostragem para avaliação da fertilidade e formas de determinação de carbono em solos sob plantio direto no Sudoeste Goiano.** Orientador: Gilson Pereira Silva. Co-orientadores: Vinícius de Melo Benites e Carlos César Evangelista de Menezes

Solos são corpos heterogêneos e possuem a matéria orgânica como um dos principais constituintes da fração sólida. Muitas características físicas e químicas do solo são influenciadas pela presença da matéria orgânica, daí a importância do seu estudo. A análise de solo para fins de fertilidade tem início com a amostragem, sendo esta uma etapa crítica do processo. O objetivo deste trabalho foi testar diferentes métodos de determinação de carbono no solo e identificar a ocorrência de diferenças entre os resultados de análise química do solo em função do equipamento utilizado (trado holandês e furadeira elétrica), da posição (linha de plantio, $\frac{1}{4}$ distância da linha de plantio e $\frac{1}{2}$ da distância entre as linhas) e da profundidade (0 a 10 e 0 a 20 cm) de amostragem em áreas cultivadas sob o sistema plantio direto. Avaliaram-se também a produtividade e a fertilidade do solo em função do tempo de adoção do sistema plantio direto e as correlações entre os atributos do solo e conteúdo foliar de nutrientes na cultura da soja. Para tanto, foram coletadas 144 amostras de solo em 12 locais diferentes na região de Rio Verde, GO, cultivados sob o sistema plantio direto há 2, 5 e 10 anos. As áreas de coleta de solo foram georreferenciadas e a coleta de folhas ocorreu nos mesmos locais. Determinou-se o pH em CaCl_2 , os teores de matéria orgânica (MO), Ca, Mg, K e Al trocáveis; H + Al e os teores de P, Fe, Mn, Zn e Cu. Foram calculadas a capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva e a saturação por bases (V) e por Al (m). A avaliação dos diferentes métodos de quantificação do teor de carbono e de MO foi realizada utilizando as mesmas amostras de solo. O método de combustão via seca por analisador elementar (C-CHN) foi considerado padrão. Os teores de carbono orgânico obtidos pelo método Yeomans & Bremner (YB) apresentaram o maior coeficiente de correlação com carbono total (C-CHN), enquanto o método de Walkley - Black (WB) o menor. O método colorimétrico (COL) também apresentou um elevado coeficiente de correlação com o método CHN, mas superestimou o conteúdo de carbono orgânico, sugerindo a necessidade de ajustes na curva padrão. O método de perda de peso por ignição (PPI) apresentou correlações significativas com o C-CHN, porém não foi possível identificar as perdas de peso ocorridas na fase mineral e na fase orgânica. O método para determinação de carbono na forma de substâncias húmicas (SH) apresentou correlações significativas com os outros métodos de determinação de carbono, exceção feita para as determinações em solos arenosos. Devido à facilidade de execução e do maior coeficiente de correlação com o método padrão, recomenda-se o método de Yeomans & Bremner para a determinação de carbono em laboratórios que analisam amostras de solos da região estudada. Foi possível constatar que houve acúmulo de P, MO e aumento da produtividade de soja em áreas cultivadas há 10 anos sob o sistema plantio direto. Algumas variáveis como Ca, Mg, P, K, pH, CTC e V apresentaram gradiente de concentração em função do não revolvimento do solo, aplicações de calcário e adubações superficiais. As adubações na linha de plantio também provocaram concentração de P, K e S nestes locais, causando mudanças na faixa de interpretação dos elementos P e K. Outra fonte de variação que também influenciou os resultados de análise de solo, foi a furadeira elétrica que determinou teores mais elevados de nutrientes em relação ao trado holandês.

Palavras-chave: matéria orgânica, fertilidade do solo, análise de solo, adubação, soja.

ABSTRACT

Dall'Acqua, Nelson Henrique, M.S., FESURV – University of Rio Verde, June 2008.

Sampling methods for evaluation of fertility and ways for determination of carbon in soils under direct seeding in the southwest of Goiás. Tutor: Gilson Pereira Silva. Co-tutor: Vinícius de Melo Benites e Carlos César Evangelista de Menezes.

Soils are usually heterogeneous and one of the main components of the solid fractions is organic matter. Several physical and chemical soil characteristics are influenced by the presence of organic matter, which shows how important these studies are. The soil analysis with fertility purposes begins with the sampling, which is a crucial step in the analysis process. This study was aimed at evaluating different methods for determination of carbon in soil and at identifying the occurrence of differences in the results of chemical analysis in the soil due to the equipment that was used (Dutch auger and electric drill), sampling position (sow line, $\frac{1}{4}$ distant between sow lines and $\frac{1}{2}$ distant between sow lines) and depth (0 a 10 cm and 0 a 20 cm) in several areas under direct seeding system. The productivity and fertility of the soil also were assessed concerning the time of adoption of the direct seeding system and the correlations between the soils attributes and contents of leaf nutrients in the soy crops. For so, 144 samples of soil from 12 different places in Rio Verde-GO, cultivated under direct seeding system for 2, 5 and 10 years were collected. The areas of collection of soil were georeferenced and the collection of leaves occurred in the same locations. The pH in CaCl_2 , organic matter level, changeable Ca, Mg, K and Al; H +Al and the contents of P, Fe, Mn, Zn and Cu were determined. The effective capacity of cations exchange (CTE) and the base saturation (V) and Al saturation (m) were calculated. The assessment of the different methods for quantification of the content of carbon and of MO was accomplished using the same soil samples. The via-dry combustion method by elementary analyzer (C-CHN) was considered standard. The organic carbon contents obtained by the Yeomans & Bremner (YB) method showed the highest correlation coefficient with C-CHN, while the Walkley-Black method (WB) seemed to be more inaccurate in comparison with the standard method. The colorimeter method (COL) also showed a high correlation with the C-CHN method, but overestimated the organic carbon contents, which suggests the necessity to adjust the standard curve. The method of loss by ignition (PPI) showed significant correlations to the C-CHN, however a deeper study is necessary to differ the losses of weight occurred in the mineral and organic phases. The method for determination of carbon as humic substances (HS) showed significant correlation to the other methods of determination of carbon, except for the determinations accomplished in sandy soils. Due to the easiness of accomplishment and to the higher coefficient of correlation to the standard method, Yeomans & Bremner method is recommended for the determination of carbon in laboratories that analyze soil samples in the region studied. . It was possible to figure out that there was an accumulation of P, MO and an increase in the soy bean productivity in areas cultivated for ten years under the direct seeding system. Some variables such as Ca, Mg, P, K, pH, CTC and V showed concentration gradient due to plough soil, liming, and superficial fertilization. The local fertilization also led to P, K and S concentration in these places, causing changes in the interpretation of P and K. Another source of variation also influenced the results of soil analyses, for instance the electric drill case, which determined higher nutrients contents in comparison comparison to the Dutch auger.

Key words: organic matter, soil fertility, soil analysis, manuring, soy bean.

INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado ocupa cerca de 1,8 milhões de km², cerca de 20 % do território nacional, localizado, principalmente, na região Centro-Oeste. As interações que ocorreram entre o material de origem e o ambiente da região central do Brasil ao longo de 100 milhões, determinaram a formação característica dos solos desta região, cujas principais unidades são os Latossolos, ocupando cerca de 45,7% do total, seguindo-se de, aproximadamente, 15,2% de Neossolos Quartzarênicos e 15,1% de Argissolos. O restante da área é ocupado por Plintossolos, Gleissolos e Nitossolos (CORREIA et al., 2002).

Os solos sob vegetação de Cerrado, inicialmente, utilizados com culturas de subsistência e pastagens de *Brachiara* sp., passaram a ser cultivados com soja a partir da década de 70. A adoção de novas tecnologias, como o uso intensivo de calcário, fertilizantes e mais, recentemente, a adoção do sistema plantio direto, permitiram a rápida expansão da área cultivada com grãos potencialmente exportáveis.

O conhecimento das principais características e propriedades químicas da camada arável destes solos permite inferir quais são as principais limitações em termos de fertilidade, tendo em vista o uso dos mesmos para fins agrícolas.

O levantamento destas características é realizado através das amostragens de solo. Para tanto, deve ser levado em consideração o sistema de cultivo adotado, uma vez que sob o sistema plantio direto, a movimentação do solo é mínima, não havendo incorporação e homogeneização de corretivos e fertilizantes no perfil do solo.

A forma de amostragem adotada em áreas cultivadas sob o sistema convencional pode não representar, adequadamente, a fertilidade do solo sob o sistema plantio direto. A distribuição superficial de corretivos, a deposição localizada de fertilizantes e a manutenção da palhada sobre o solo alteram a dinâmica dos nutrientes ao longo dos anos de cultivo.

A cobertura morta que dá origem à matéria orgânica do solo é componente chave da fertilidade dos solos bastante intemperizados do Cerrado, uma vez que é fonte primária de nutrientes para as plantas. Atua sobre vários atributos, tais como: ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos, estruturação, além de ser responsável por uma grande parte da CTC dos solos tropicais. Dessa forma, o conhecimento de seus teores é fundamental em diversas áreas da Ciência do solo.

Com o objetivo de estudar as variações ocorridas nos resultados de análises químicas de solos cultivados em diferentes locais e períodos de adoção do sistema plantio direto na

região de Rio Verde-GO, foram testados diferentes métodos de amostragem de solo. Além disso, foram testados alguns métodos de determinação de carbono e matéria orgânica do solo, com o objetivo de avaliar o que mais se relaciona com o método padrão que determinou o carbono total (C-CHN).

CAPÍTULO 1

MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DE SOLOS EM ÁREAS SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE GOIANO

RESUMO

Solos são corpos heterogêneos, apresentando diferenças nas suas propriedades. A amostra de solo, que chega ao laboratório para ser analisada, é uma fração diminuta da área que representa, por menor que esta seja e, por esta razão, deve ser o mais representativa possível. Portanto, a amostragem de solos, para fins de fertilidade, é uma etapa crítica do processo de análise, devendo ser executada dentro das normas e considerações de ordem científica. Além das variações naturais, o sistema plantio direto promove modificações no solo devido à menor movimentação e conseqüente menor homogeneização deste em relação ao plantio convencional. Diante disto, este trabalho teve por objetivo identificar a ocorrência de diferenças entre os resultados de análise química do solo em função do método de amostragem. Amostras de solo foram retiradas em 12 diferentes propriedades agrícolas, que antes da amostragem estavam sendo cultivadas com soja, na região de Rio Verde (GO). As propriedades foram selecionadas em função do tempo de adoção do plantio direto (PD), sendo escolhidas áreas que vêm adotando o PD há 2, 5 e 10 anos. Em cada propriedade foram georreferenciadas e demarcadas as extremidades dos talhões de um hectare e as amostragens realizadas no interior destes limites. Para tanto, foram utilizados na coleta de solo o trado holandês, neste estudo considerado padrão, e a furadeira elétrica. Com estes equipamentos as amostragens foram realizadas na linha, a $\frac{1}{4}$ de distância da linha e a $\frac{1}{2}$ da distância entre as linhas de plantio. Em cada uma destas posições, as coletas de solo foram feitas nas profundidades de 0 a 10 e 0 a 20 cm. Nos talhões de coleta de solo, também, realizou-se amostragem de folhas no estágio R1 de desenvolvimento da soja. Foram escolhidas 10 plantas ao acaso para a retirada do terceiro trifólio completamente aberto, sendo coletados 30 trifólios de cada tratamento, totalizando doze amostras foliares. Avaliaram-se também a produtividade e a fertilidade do solo em função do tempo de adoção do sistema plantio direto e as correlações entre os atributos do solo e os teores de nutrientes foliares. Para a análise estatística dos resultados, considerou-se um delineamento inteiramente casualizado, sendo cada tratamento com 12 repetições. Determinou-se o pH em CaCl_2 , os teores de matéria orgânica; Ca, Mg, K e Al trocáveis; H + Al, e os teores de P, Fe, Mn, Zn e Cu disponíveis. Foram calculadas a capacidade de troca (T), a saturação por bases (V) e a saturação por Al (m). Constatou-se aumento no teor de P e da produtividade em áreas com 10 anos de plantio direto, em relação aos demais tempos de adoção do PD. Os elementos Ca, Mg, P, K, pH, CTC e V apresentaram gradiente de concentração em função do não revolvimento do solo, aplicações superficiais de calcário e adubações localizadas na linha de plantio, sendo que estas provocaram concentração de P, K e S na superfície, causando mudanças na faixa de interpretação dos elementos P e K. Os equipamentos de amostragem também influíram nos resultados de análise de solo. A furadeira elétrica, quando comparada ao trado holandês, coletou um volume maior de solo da camada superficial que apresenta um nível de fertilidade mais elevado. Em função disto, todos os macronutrientes, com exceção do S, e todos os micronutrientes tiveram valores mais elevados quando amostrados com a furadeira elétrica.

Palavras chave: fertilidade do solo, profundidade de amostragem, posição de amostragem, trado holandês, furadeira elétrica,

CHAPTER I

METHODS OF SOIL SAMPLING IN AREAS UNDER DIRECT SEEDING IN THE SOUTHWEST OF GOIÁS

ABSTRACT

Soils are usually heterogeneous portions with different properties. The soil sample that is in the laboratory to be analyzed is a small fraction from the area that it represents. This sample, the smaller it is, and due to this reason, must be the most representative as possible. Therefore, the soil sampling, for fertility purposes, is a crucial step of the analysis process and must be accomplished within the scientific rules and considerations. Besides the natural variations, the direct seeding system promotes soil modifications due to less soil preparation in comparison and consequently, lower homogenization in relation to the conventional tillage. Based on this, this assignment was aimed at identifying the differences in the results from the chemical analysis of the soil because of the soil sampling method. Soil samplings were collected from 12 different properties that, before the sampling, had been cultivated with soybean in the region of Rio Verde (GO). The properties were selected concerning the time of adoption of the direct seeding system, being the ones selected for 2, 5 and 10 years of its adoption. Hence, the Dutch auger (considered standard) and the electric drill were used to collect the soil. With these equipments, the soil sampling was done at sow line, $\frac{1}{4}$ distant and $\frac{1}{2}$ distant between sow lines, as well as in 0 a 10 e 0 a 20 cm depth. The soil sampling places were georeferenced and the leaves were collected in the same sites at R1 state of soy bean development. Ten plants were chosen by chance for the collection of the third leaf completely opened and 30 leaves were collected in each treatment, in a total of 12 leaves samples. The soil productivity and fertility of the soil have also been considered concerning the time of adoption of the direct seeding system and the correlation between the soil composition the leaf contents. For the statistical analysis of the results, a completely casual delineation was considered, being each treatment with 12 repetitions. the pH in CaCl_2 , organic matter contents, changeable Ca, Mg, K and Al; H + Al and P, Fe, Mn, Zn and Cu available were determined. The change capacity, bases saturation (V) e Al saturation (m) were calculated. It was possible to figure out an accumulation of P and an increase in the productivity in areas with 10 years under direct seeding system in comparison with the others areas. Some variables such as Ca, Mg, P, K, pH, CTC and V showed concentration gradient because of not revolving of the soil, superficial application of lime and fertilization localized in the sow line, for they caused concentrations of P, K and S at the surface, causing changes in the P and K interpretation. The sampling equipment also influenced in the results of the soil analysis. The electric drill, when compared to the Dutch auger, collected a higher volume of soil in the superficial surface, which shows a more elevated level of fertility. Because of this, all the macro and micronutrients showed higher values when sampled with the electric drill.

Key-words: soil fertility, sampling depth, sampling position, Dutch auger, electric drill.

1. INTRODUÇÃO

Solos são corpos muito heterogêneos, apresentando diferenças em suas propriedades. Mesmo áreas, aparentemente, uniformes, quanto as suas características visíveis no campo, como cor, topografia e vegetação, podem apresentar variações.

O solo, sob o ponto de vista agrônomo, pode ser definido como o principal meio para o crescimento das plantas, sendo constituído de uma camada de material biologicamente ativo, resultante de complexas transformações que envolvem o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes e a produção e decomposição de biomassa. A presença de nutrientes é um dos aspectos fundamentais que garantem a boa qualidade dos solos, principalmente, no caso de agroecossistemas.

A baixa fertilidade do solo é um fator que pode ter causas naturais e antrópicas. Como causas naturais, destacam-se a gênese do solo e o intemperismo, particularmente, em áreas extensas das regiões tropicais, onde a remoção de nutrientes do solo é mais acelerada em razão das condições de altas temperaturas e precipitações pluviais. A baixa fertilidade por causas antrópicas se refere à exaustão de nutrientes do solo causada pelas retiradas mais intensas de nutrientes pelas culturas do que fornecido pelas adubações. A erosão também é um fator de exaustão dos solos.

Um ponto importante a considerar quando se trata de baixa fertilidade provocada por causas naturais ou por exaustão do solo é que as deficiências podem ser corrigidas mediante reposição de nutrientes via adubação mineral ou orgânica, bastando para isso que seja feito o uso das análises de solo e foliar para diagnosticar possíveis problemas ligados à fertilidade (NOVAIS et al., 2007).

A amostragem de solo é a primeira e fundamental etapa de um programa de avaliação da fertilidade do solo, uma vez que as doses de corretivos e de fertilizantes são definidas a partir da interpretação dos resultados de análises químicas realizadas na amostra (CANTARUTTI et al., 1999). Portanto, as amostras de solo devem representar, adequadamente, a área que será corrigida e, ou, adubada, para obter aumento de produtividade e otimização do uso dos corretivos e fertilizantes.

Apesar das boas características físicas e de ocuparem uma região de relevo privilegiado, a maioria dos solos dos Cerrados apresentam limitação química para se tornarem, eficientemente, produtivos. Estes problemas só poderão ser avaliados com uma

amostragem, adequada e representativa, que possa identificar as limitações que necessitam ser corrigidas para as culturas implantadas neste agroecossistema.

As recomendações atuais de adubação e calagem baseiam-se em estudos de calibração onde as culturas foram semeadas em manejo sob preparo convencional (COMISSÃO..., 1989). Neste sistema ocorre o revolvimento do solo, homogeneizando-se a distribuição de corretivos e fertilizantes, enquanto no sistema de manejo sob plantio direto, onde o solo é, parcialmente, revolvido durante o plantio, os fertilizantes são incorporados apenas na linha de plantio e os corretivos são aplicados na superfície. Portanto, ocorre acúmulo na camada superficial dos corretivos e fertilizantes, bem como dos nutrientes provenientes da decomposição dos resíduos vegetais existentes sobre o solo (MUZILLI, 1985).

As amostras de solo representam uma pequena porção da camada arável. Acrescentando a este fato o problema da heterogeneidade natural do solo, ficará bem caracterizado que a amostragem de solos não é uma prática simples. Ela deve ser rigorosamente executada, seguindo instruções baseadas em considerações de ordem científica (COELHO, 2003).

A estimativa de atributos do solo, por meio de avaliações de laboratório, depende de técnicas e procedimentos de amostragem. Considerando a maior heterogeneidade devido ao manejo do solo sob o sistema plantio direto, torna-se necessário que se definam métodos de amostragem representativos quanto ao local de coleta, ao volume, à forma de coleta e ao número de sub-amostras necessárias para contemplar tal variabilidade, dentro de critérios de confiabilidade estatística (SCHLINDWEIN & ANGHINONI, 2000 a).

Diante disso, este trabalho teve por objetivo estudar as variações ocorridas nos resultados de análises químicas de solos cultivados em diferentes locais e períodos de adoção do sistema plantio direto na região de Rio Verde, GO, utilizando para isso, diferentes métodos de amostragem de solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Amostragem do solo para fins de fertilidade

A amostragem é a série de operações que permite extrair de um sistema porções, que combinadas e reduzidas a tamanho apropriado, dão uma parcela com características

representativas do sistema (CHITOLINA, 1982). Cada uma dessas porções é chamada de amostra simples, e a combinação delas de amostra composta (KLUTE, 1986).

ORLANDO FILHO & RODELLA (1983) afirmaram que 80 a 85 % dos erros totais nos resultados usados na recomendação de fertilizantes e corretivos podem ser atribuídos à amostragem no campo, enquanto JORGE (1986) estimou que até 98 % destes erros podem ser atribuídos à amostragem de solo.

Na maioria dos casos, a amostra do solo representa a camada arável de áreas que podem chegar a 10 hectares, o que corresponde a um volume de 20 milhões de dm^3 ou litros de terra, considerando o solo com densidade global unitária. Isso significa que, se for enviado cerca de 0,50 kg de solo para o laboratório, a amostra representará uma parte em 40 milhões da camada arável (COELHO, 2003).

Várias são as causas que levam à maior ou menor variabilidade dos nutrientes nos solos, podendo-se destacar, principalmente, o tipo e a intensidade de adubação, as características dos nutrientes e o sistema solo x planta x atmosfera. A variação dos nutrientes ocorre horizontalmente e em profundidade. No primeiro caso, ocorre, principalmente, em razão da forma de adubação e da planta, ao passo que no segundo, em decorrência das características dos elementos, do sistema de manejo e do sistema solo x planta x atmosfera (SILVA, 1999).

Além das causas citadas anteriormente, a variabilidade do solo é uma consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, sendo influenciado pelas práticas de manejo e pelas culturas. Áreas pedologicamente similares podem apresentar diferença na variabilidade, quando submetidas a diferentes práticas de manejo. E áreas pedologicamente diferentes, quando submetidas ao mesmo manejo, podem apresentar atributos semelhantes (CORÁ et al., 2004).

O conhecimento da fertilidade do solo permite a utilização de práticas mais confiáveis de manejo de corretivos e de fertilizantes. O estabelecimento e manutenção de um programa de adubação, geralmente, envolvem o uso dos resultados da análise de solo. Pelo fato dos solos serem corpos heterogêneos, com características diferentes em virtude dos fatores de formação e do manejo quando já trabalhados, estas devem ser consideradas na amostragem (SOUZA & LOBATO, 2002).

Caso as técnicas de amostragem do solo não sejam seguidas, o resultado da análise terá pouco valor, pois seu objetivo é avaliar o estado atual da disponibilidade de nutrientes do solo e orientar a correta aplicação de corretivos e fertilizantes para as culturas (SABBE & MARX, 1987).

Normalmente, existe grande variabilidade nas características químicas e físicas de um solo. Para que a amostragem do solo, para fins agrícolas, represente, adequadamente, a sua fertilidade, é necessário o conhecimento dessa variabilidade, pois só assim as recomendações de calagem e adubação não estariam comprometidas. Quanto mais heterogêneo for o solo, maior deve ser o número de amostras coletadas para representar bem suas características. O número de amostras para análise química que represente bem uma determinada área pode variar com o manejo do solo, cultura anterior e fertilização da área (SANTOS & VASCONCELOS, 1987).

Considerando fatores potenciais da variabilidade existentes no sistema plantio direto, torna-se necessário definir métodos de amostragem representativos quanto ao local de coleta, ao volume, à forma de coleta e ao número de amostras simples necessárias para contemplar tal variabilidade, dentro de critérios de confiabilidade estatística (SCHLINDWEIN & ANGHINONI, 2000 a).

2.2. Amostragem de solo em áreas sob sistema plantio direto

Quando se trata de amostras de solo para avaliação da fertilidade, há de se considerar o sistema de cultivo do solo, a forma de aplicação dos corretivos e fertilizantes e a intensidade de perdas de água e sedimentos, para poder definir o número de sub-amostras, assim como a profundidade de amostragem. No sistema plantio direto, no qual o solo não é revolvido, e os insumos são aplicados em superfície, há, inicialmente, maior concentração dos nutrientes. Por isso, para que haja maior representatividade dos elementos no solo, a amostragem deve ser criteriosa, principalmente, em relação ao local e à forma de coleta. A amostragem deve ser feita abrangendo a maior variabilidade espacial do solo na área em estudo (SILVA et al., 2003).

A variabilidade espacial dos índices de fertilidade do solo aumenta com a adoção do sistema plantio direto, tanto no sentido horizontal, pela distribuição irregular na superfície do solo (KLEPKER & ANGHINONI, 1995; COUTO, 1997), como no sentido vertical, pelas diferenças nos teores de nutrientes de uma camada mais superficial em relação à outra mais abaixo (ELTZ et al., 1989; AMARAL & ANGHINONI, 2001). Estas variações demandam a definição de novos procedimentos de amostragem para contemplar essas alterações. Neste sistema, os resíduos dos vegetais provocam alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, causando alterações no movimento e na redistribuição de compostos mais solúveis. As freqüentes adubações e calagens em superfície tendem a formar um gradiente de

concentração superficial, causando variabilidade dos índices de pH do solo e dos teores de nutrientes (ELTZ et al., 1989).

Contrariamente ao preparo convencional, em que o solo é revolvido e homogeneizado, o sistema plantio direto caracteriza-se pela semeadura realizada diretamente sobre restos culturais do cultivo anterior. Com o passar dos anos, ocorre um acúmulo de nutrientes e de matéria orgânica nos primeiros centímetros do solo, em razão, basicamente, da mobilidade dos íons no solo, da não incorporação de fertilizantes e corretivos por meio do revolvimento e do enriquecimento das camadas mais superficiais pela decomposição dos resíduos culturais (IAPAR, 1996).

A cobertura morta, formada pelo acúmulo de resíduos vegetais na camada superficial, entre outras alterações, diminui as oscilações de temperatura e umidade na superfície e contribui para a manutenção de temperaturas amenas e maior retenção de água no solo em períodos quentes e de estiagem prolongada, além de proteger o solo contra a erosão (COLOZZI-FILHO et al., 1999).

Essas características do plantio direto determinam profundas alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo que, por sua vez, refletem-se na fertilidade e na eficiência do uso de nutrientes pelas culturas. Uma das alterações mais significativas decorrentes do acúmulo de matéria orgânica em superfície é a complexação do Al tóxico pelos ácidos orgânicos solúveis presentes nos restos culturais. Em vista da ausência da incorporação de corretivos e do acúmulo de restos vegetais e de adubos em superfície, a semeadura direta pode interferir diretamente na disponibilidade de nutrientes (MUZILLI, 1983).

2.3. Gradiente vertical em áreas cultivadas sob sistema plantio direto

Uma das características inerentes ao sistema plantio direto é que a liberação dos nutrientes ocorre a partir da superfície do solo onde os adubos são aplicados. Disso resulta a formação de gradientes dos índices de fertilidade do solo, que se intensificam com o tempo de cultivo. A formação desses gradientes gera dificuldades para definir procedimentos de coleta de amostras de solo que reflitam o estado de fertilidade do mesmo (ANGHINONI & SALET, 1998).

SILVEIRA & STONE (2002) afirmaram que as áreas cultivadas sob o sistema plantio direto, em virtude do não revolvimento do solo, adquirem características que, numa amostragem convencional, poderão trazer problemas para a interpretação e recomendação de

fertilizantes e corretivos. Não são apenas variações horizontais que podem ocorrer em solos sob plantio direto, mas, provavelmente, a profundidade de amostragem é o aspecto em que há maior diferença entre a amostragem do solo sob sistema plantio direto e sob preparo convencional.

O manejo físico envolvendo todas as formas de preparo que o solo pode receber, também provoca alterações na distribuição e dinâmica dos nutrientes no solo. Os diferentes implementos disponíveis para o preparo do solo provocam alterações nas suas propriedades químicas, físicas e biológicas, trabalhando o solo de maneira própria, alterando, diferentemente, estas propriedades. As alterações edáficas, provocadas pelos diferentes sistemas de preparo, podem requerer ajustes no manejo das culturas e nas recomendações de adubação e calagem (SÁ, 1998).

A intensidade de revolvimento do solo e de incorporação dos resíduos culturais em áreas sob plantio convencional promove modificações nos teores de matéria orgânica, na capacidade de troca de cátions (CTC), no pH, na dinâmica dos íons e na agregação do solo. Estas modificações tornam-se mais evidentes, conforme aumenta o tempo de uso da área (TOGNON et al., 1997; DEMARIA et al., 1999).

Com o objetivo de avaliar as alterações provocadas por diferentes sistemas de preparo em algumas propriedades químicas e físicas do solo, FALLEIRO et al. (2003) realizaram um trabalho de pesquisa em uma área submetida por 16 anos consecutivos a seis diferentes sistemas de preparo. Concluíram que houve aumento da CTC, matéria orgânica, pH, Ca e Mg, na camada de 0 a 5 cm, no tratamento semeadura direta. Em contrapartida, houve diminuição de Al e K na mesma profundidade deste tratamento, em função do K estar contido na palhada que não foi amostrada e o Al ter sido complexado pela matéria orgânica. O P também foi influenciado pelo preparo do solo, sendo que os maiores teores, encontrados na camada de 0 a 5 cm no tratamento semeadura direta, ocorreram em função do não revolvimento e da baixa mobilidade deste elemento no solo e também pela menor adsorção do P pelos óxidos de Fe e Al.

A amostragem do solo efetuada na camada de 0 a 20 cm, recomendada para o preparo convencional, pode não ser adequada para representar o estado de fertilidade do solo no sistema plantio direto. A mistura da camada superior, de 0 a 5 cm, com teor muito elevado de fósforo disponível, por exemplo, com a camada inferior, de 5 a 20 cm, com teor muito baixo, pode resultar em redução drástica dos valores de fósforo, comparados aos obtidos na análise separada das camadas de solo (ANGHINONI & SALET, 1998).

SILVEIRA & STONE (2002) realizaram pesquisa utilizando um Latossolo Vermelho Perférico, cultivado com milho no verão e feijão no inverno sob irrigação com pivô central. Constataram similaridade da produtividade das culturas entre o preparo convencional e o plantio direto. Observaram ainda que a amostragem de solo na profundidade de 0 a 10 cm, no sistema plantio direto, apresentou valores semelhantes às amostragens de 0 a 20 cm na área que foi preparada com arado para pH, Ca, Mg e K e na que foi preparada com grade para pH, Ca, P, e K.

Confirmando estas informações, SOUZA (1992) relatou que os sistemas de manejo conservacionistas, como o plantio direto, criam um ambiente no solo diferente do encontrado no sistema convencional, resultante dos efeitos dos resíduos superficiais e da reduzida movimentação do solo. Como resultado, tem sido encontrado um acúmulo superficial de nutrientes nestes sistemas de plantio.

Como as recomendações de adubação foram desenvolvidas no sistema convencional de manejo e com amostras de solo retiradas na camada de 0 a 20 cm, muitos questionamentos têm surgido no meio técnico quanto à melhor forma de elaborar recomendações diferenciadas para o sistema plantio direto ou buscar alternativas de ajuste em relação ao preparo convencional, especialmente, para os nutrientes que formam gradientes acentuados (ANGHINONI, 2000).

Avaliando a distribuição de alguns nutrientes no perfil de um Latossolo Vermelho, de textura argilosa, submetido durante cinco anos a três diferentes métodos de preparo (arado de aiveca, grade aradora e plantio direto), SILVEIRA et al. (2000), relataram que na profundidade de 0 a 5 cm os valores de pH, Ca, Mg, P, K e da saturação por bases (V%) foram maiores no plantio direto. Os valores de P e K apresentaram as maiores variabilidades e os de pH as menores. Além disso, concluíram que os valores médios de pH, Ca, Mg, P, K e V% variaram conforme o método de preparo do solo e a profundidade amostrada. Para uma variação máxima de 5% em torno da média, os valores de pH nos tratamentos arado, grade e plantio direto podem ser obtidos utilizando apenas 5 amostras simples. Entretanto para P e K, é necessário um número muito elevado de amostras simples (640 e 131, respectivamente) para a mesma variação em torno da média.

SCHLINDWEIN & ANGHINONI (2000 b) realizaram trabalho de pesquisa em diferentes regiões no Estado do Rio Grande do Sul com o objetivo de comparar os rendimentos de diversas sucessões de culturas com o mesmo histórico de cultivo em diferentes locais, solos, modos de adubação e tempos de cultivo nos sistemas convencional e direto. No caso de haver similaridade, definir a profundidade de amostragem do solo visando

às recomendações de fósforo e potássio no sistema plantio direto. Os autores concluíram que os teores de fósforo disponível aumentaram no período de cultivo no sistema plantio direto, em todos os solos. O maior aumento relativo do elemento fósforo ocorreu no Argissolo sob plantio direto, provavelmente, devido à característica natural de conter menores teores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio capazes de adsorver o fósforo inorgânico em relação aos Latossolos. Observaram ainda que o rendimento das culturas foi similar nos sistemas convencional e de plantio direto em áreas submetidas ao mesmo manejo de culturas e doses de fertilizantes. Ocorreu também a formação de gradientes dos índices de fósforo e potássio disponíveis, a partir da superfície do solo no sistema plantio direto. A magnitude desses índices variou com o solo e com o respectivo manejo. Concluíram que a profundidade de amostragem para fins de recomendação de fósforo e potássio no sistema plantio direto deve ser em torno de 7 cm quando o solo apresenta teores abaixo do nível crítico para estes nutrientes. Acima dos níveis críticos, a amostragem, em qualquer profundidade até 20 cm, não altera as recomendações de adubação.

Durante muitos anos, foi recomendado ao produtor que incorporasse o calcário após sua aplicação. Porém, mais recentemente, além da aplicação localizada e superficial de adubos, a prática da calagem sem incorporação é uma operação bastante comum em áreas sob plantio direto. Esta é uma questão que vem preocupando técnicos e produtores, sendo necessário o conhecimento da dinâmica da acidez a partir da superfície do solo ao longo do tempo, uma vez que esta prática pode acentuar a concentração de nutrientes, principalmente Ca e Mg na camada superficial do solo (AMARAL & ANGHINONI 2001).

Com o objetivo de avaliar o efeito da reaplicação do calcário com e sem a incorporação ao solo no sistema plantio direto, AMARAL & ANGHINONI (2001) realizaram um experimento conduzido em Argissolo Vermelho distrófico cultivado há oito anos no sistema plantio direto e com reaplicação de calcário a cada quatro anos. Concluíram que os valores de pH e os demais atributos químicos das fases sólida e líquida foram mais uniformes quando o calcário foi incorporado, e formaram gradientes a partir da superfície quando não incorporado. Os valores de Al trocável se mantiveram mais baixos na superfície do solo ao longo do período de avaliação quando o calcário não foi incorporado. Enquanto os teores de Al se mantiveram uniformes e mais elevados em todo o perfil pela incorporação do calcário, e aumentaram em profundidade pela não incorporação, diferenciando-se entre si a partir da camada de 3 a 4 cm. A manutenção do pH mais elevado até a camada 2-3 cm justifica os menores teores de Al trocável. A aplicação de calcário na superfície altera também, até a

profundidade de 4 cm, os valores de pH, Al, Ca e Mg trocáveis e os valores de Ca e Mg na solução, até 2 cm, aos 360 dias após sua aplicação.

2.4. Gradiente horizontal em áreas cultivadas sob sistema plantio direto

A questão da representatividade de amostras de solo para determinar o estado de fertilidade está na desuniformidade espacial dos atributos químicos, conhecida como variabilidade do solo. Esta variabilidade pode ser atribuída a causas naturais, pelo efeito de fatores de formação do solo sobre o material de origem (maiores distâncias) e pela ação antrópica na atividade agrícola (menores distâncias). A variabilidade horizontal do solo resultante da aplicação de fertilizantes pode ser caracterizada em três tipos: micro variações, meso variações e macro variações, que ocorrem em distâncias de 0 a 0,05 m; 0,05 a 2,0 m e maiores que 2,0 m, respectivamente. Assim, para contemplar a variabilidade horizontal do solo e ter uma boa representatividade do seu estado de fertilidade, o número de amostras simples deve abranger as macro variações, enquanto a forma, o tamanho e o local de amostragem devem contemplar as micro e meso variações (JAMES & WELLS, 1990).

Os corretivos e fertilizantes, quando aplicados de forma localizada, mantêm-se ao longo das linhas de cultivo no sistema plantio direto. Isto se reflete no aumento da variabilidade horizontal dos atributos químicos do solo, causando dificuldades para a coleta de amostras representativas do seu estado de fertilidade. A magnitude do efeito residual de corretivos e fertilizantes depende do tipo, da frequência e da quantidade aplicada. É, também, maior para aqueles elementos com menor mobilidade no solo, como, por exemplo, o fósforo, seguido pelo potássio, sendo este último mais móvel que o fósforo. A matéria orgânica e o pH apresentam variabilidade bem mais baixa. (SCHLINDWEIN & ANGHINONI, 2000a). Isto se deve pela distribuição por toda a superfície do solo do calcário e da palhada das culturas, levando à baixa variabilidade horizontal nos atributos de acidez do solo e nos teores de matéria orgânica. Sendo assim, um pequeno número de amostras simples é suficiente para representar a área quanto a estes fatores (SOUZA, 1992; SALET et al., 1996; COUTO, 1997).

A representatividade da amostra é um fator muito importante, seja qual for o sistema de plantio adotado, e para isso a amostragem deve ser criteriosa, principalmente, em relação ao local e à forma de coleta. Esta deve ser feita abrangendo a maior variabilidade espacial do solo na área em estudo (SOUZA, 1992; COUTO, 1997; ANGHINONI & SALET, 1998).

Para avaliar estas variações, SILVA et al. (2003) conduziram um experimento no qual a amostra de solo foi coletada na linha e na entrelinha, na profundidade de 0-15 cm, para

formar uma amostra composta, após cultivo da soja em sistema plantio direto durante nove anos, num Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, utilizando trado de rosca. Concluíram que a variabilidade nos atributos de fertilidade foi baixa para pH, H+Al, Ca e Mg; média para K, matéria orgânica, Fe e Cu e alta para P, Zn e Mn. Para uma probabilidade de 90% e um erro em torno da média de 10% foi necessário um máximo de 20 amostras simples na linha e 10 amostras simples na entrelinha para representar a maioria das características. Já para o P foram necessárias 257 amostras simples na linha e 54 na entrelinha. Os resultados podem ser atribuídos ao elevado coeficiente de variação entre as concentrações de P, principalmente na linha, em função da adubação e do menor volume de solo coletado pelo trado de rosca.

A definição do número de amostras de solo, a ser coletado em determinada área, depende de vários fatores. A variabilidade espacial (vertical e horizontal) dos atributos de solo a serem analisados e o sistema de cultivo adotado devem ser considerados. Com o objetivo de identificar o número de amostras de solo necessárias para representar o grau de fertilidade das camadas de solo sob plantio direto, SILVA et al. (2002) conduziram um estudo na Fazenda Tabatinga, Carambeí, PR, em uma área de 27 hectares cultivada com soja desde 1988 em rotação com trigo, milho e aveia preta. Concluíram que o pH em água e a CTC a pH 7,0 foram os atributos que apresentaram a menor magnitude de variação, mas os teores de Al, P-Mehlich-1, P-resina, S-sulfato e Zn, apresentaram alta variabilidade, ou seja, coeficiente de variação maior que 70%.

A forma como são distribuídos os fertilizantes tem influência nos resultados das análises de solo, principalmente, no sistema plantio direto em que o solo não é revolvido. SCHLINDWEIN & ANGHINONI (2002), também verificaram que a maior variabilidade ocorreu para o P em área cultivada por longo período (nove anos) no sistema de plantio direto por ser um elemento pouco móvel no solo, permanecendo na linha de plantio. Nas áreas que receberam adubação à lanço, os teores de matéria orgânica e potássio não apresentaram diferença nos teores. Porém, mesmo para o potássio, que é móvel no solo, as adubações na linha provocaram uma concentração deste nutriente detectada pelas amostragens de solo. O pH em água não foi afetado pela forma de aplicação dos adubos.

2.5. Equipamentos para amostragem de solo

Devido à grande importância que o número de amostras simples e o uso do equipamento adequado significam para se obter uma amostra representativa, SCHLINDWEIN

& ANGHINONI (2002) realizaram dois estudos em áreas sob plantio direto. O primeiro foi conduzido em área experimental da Embrapa Trigo localizada em Passo Fundo - RS, com o objetivo de definir a relação entre o tamanho da amostra simples e a variabilidade do solo. O segundo foi conduzido em uma área de lavoura comercial localizada no município de Coronel Bicaco - RS, para verificar a eficiência de equipamentos de coleta de amostras de solo em representar o seu estado de fertilidade utilizando o trado de rosca e a pá de corte. Concluíram que a amostragem com pá de corte, no sistema plantio direto, com tamanho da fatia maior que 5 cm de espessura e 10 cm de largura não representam ganhos na redução da variabilidade da fertilidade em lavouras com adubação a lanço. A variabilidade foi maior para P e K e baixa para matéria orgânica e pH. A maior variabilidade ocorreu para o P na área cultivada por um período de nove anos no sistema plantio direto. Observaram ainda diminuição dos coeficientes de variação dos teores de P e K com o aumento do volume de solo e do número de amostras simples coletados. Concluíram também que o trado de rosca requer a coleta de um número elevado de amostras simples, especialmente, em áreas com adubação na linha, o que pode induzir a recomendações mais elevadas de adubos e corretivos devido à perda da camada superficial do solo no momento da coleta.

Com a mesma finalidade de estudar equipamentos e número de amostras necessárias para representar a fertilidade de uma determinada área, ALVAREZ V. & GUARÇONI M. (2003) realizaram estudo que comparou dois sistemas de amostragens localizada do solo, com pá de corte e trado de caneca, quanto à variabilidade horizontal das características químicas. O estudo foi realizado em uma área há dez anos sob plantio direto. Os resultados mostraram que apenas os teores de K e Mg e os valores de H + Al diferiram de um método de amostragem para o outro. Na amostragem com trado de caneca, a variabilidade de todas as características avaliadas foi maior do que na amostragem com pá de corte. A variabilidade foi baixa para pH e H + Al e alta para P, Al, K, Mg e Ca. Dez amostras coletadas com pá de corte ou 27 amostras simples coletadas de forma localizada com trado de caneca (5 amostras coletadas no sulco de plantio, 9 coletadas a 10 cm do sulco e 13 coletadas no ponto médio entre os sulcos) foram necessárias à formação de amostras compostas representativas. As análises de amostras compostas coletadas, tanto com a de pá de corte quanto com o trado, apresentaram valores semelhantes às médias das análises das respectivas amostras simples, caracterizando corretamente a fertilidade média da unidade de amostragem.

No caso do P, a variabilidade diminui, gradativamente, com o aumento do volume de solo coletado com trado pela incorporação das variações horizontais a curtas distâncias, ou

seja, microvariações (< 5 cm), diminuindo, conseqüentemente, a estimativa da variabilidade deste elemento (GUARÇONI M et al., 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa foram selecionadas 12 áreas em diferentes locais na região de Rio Verde-GO (Figura 1) onde predominam os Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos (EMBRAPA, 1999).

As coordenadas geográficas, assim como as variedades e o manejo da fertilidade do solo na safra 2006/2007, dos pontos amostrados estão descritos na Tabela 1.

Inicialmente, em cada uma das áreas selecionadas, foram demarcados talhões, com área de um hectare, por georreferenciamento com um aparelho GPS de navegação. Dentro destes talhões foram realizadas as amostragens de solo, sendo que, cada uma das amostras foi composta por 15 amostras simples.

Os critérios utilizados na escolha das áreas amostradas foram períodos de adoção do sistema plantio direto e disponibilidade para fazer a amostragem após a colheita da soja, uma vez que a coleta de solo foi realizada em agosto e setembro de 2006. Os períodos considerados na seleção das áreas foram 2, 5 e 10 anos de cultivo sob o sistema plantio direto, tendo sido escolhidas 4 áreas para cada um dos tempos de cultivo. Cada área foi considerada uma repetição para efeito de análise estatística da influência do tempo de cultivo nos resultados de fertilidade do solo.

Nas áreas selecionadas para a amostragem de solo, não foi realizado o plantio da “safrinha” em 2006, sendo possível identificar as linhas remanescentes da cultura da soja, com espaçamento entre linhas de 50 cm, o que serviu de referência para a localização das posições de amostragem.

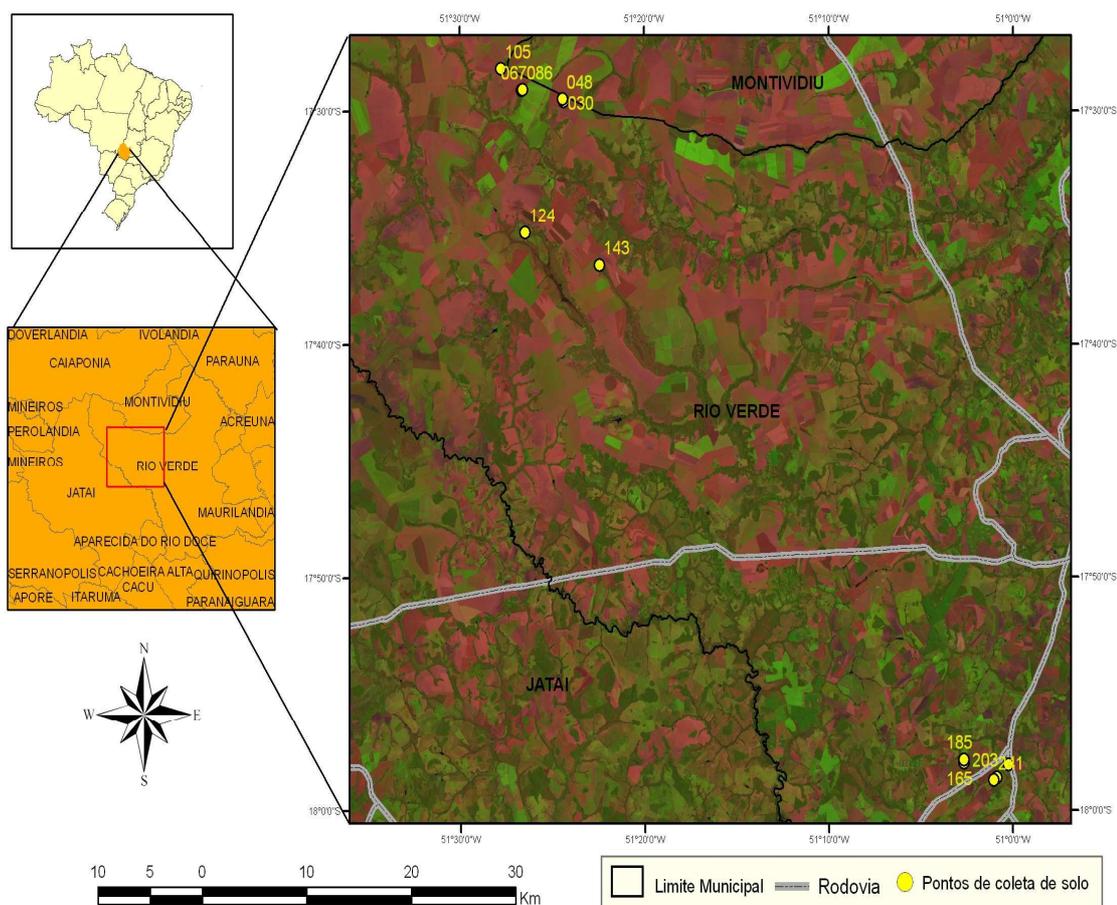


Figura 1. Localização dos pontos de coleta de solo na região estudada.

Tabela 1. Coordenadas geográficas, variedades de soja e manejo da fertilidade das áreas estudadas.

Ponto	Área	T	Coordenadas		Manejo da fertilidade		Variedade
			W	S	Adubo 2-20-18 (kg/ha)	Calagem (t/ha)	
124	1	10	-51,3739	-17,6102	400	-	CD 219
067	2	10	-51,4081	-17,4903	400	-	CD 219
086	3	2	-51,4064	-17,4930	400	1,5	CD 219
048	4	10	-51,4425	-17,4851	400	-	Valiosa
030	5	5	-51,4458	-17,4847	400	2,0	CD 219
105	6	10	-51,4636	-17,4702	400	-	M Soy 6101
143	7	2	-51,4414	-17,5868	400	1,5	M Soy 8001
185	8	2	-51,0451	-17,9643	380	2,0	Emgopa 315
165	9	5	-51,0434	-17,9663	380	-	Conquista
203	10	2	-51,0029	-17,9678	400	2,4	Emgopa 315
201	11	5	-51,0145	-17,9766	400	-	Conquista
230	12	5	-51,0173	-17,9786	400	-	Conquista

T: tempo de adoção do sistema plantio direto.

Nas áreas selecionadas para a amostragem de solo não foi realizado o plantio da “safrinha” em 2006, sendo possível identificar as linhas remanescentes da cultura da soja, com espaçamento entre linhas de 50 cm, o que serviu de referência para a localização das posições de amostragens.

Os tratamentos (Tabela 2) consistiram de um fatorial combinando 2 equipamentos de amostragem, 3 posições e 2 profundidades de coleta, com 12 repetições para cada tratamento (12 áreas diferentes), totalizando 144 amostras de solo. Na Figura 2 está representado o esquema de amostragem dos tratamentos de cada uma das 15 amostras simples.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos utilizados para realizar a amostragem de solo.

Tratamento	Equipamento	Posição	Profundidade (cm)
1	Trado	Linha	0-10
2	Trado	Linha	0-20
3	Trado	1/4 dist. linha	0-10
4	Trado	1/4 dist. linha	0-20
5	Trado	1/2 dist. linha	0-10
6	Trado	1/2 dist. linha	0-20
7	Furadeira	Linha	0-10
8	Furadeira	Linha	0-20
9	Furadeira	1/4 dist. linha	0-10
10	Furadeira	1/4 dist. linha	0-20
11	Furadeira	1/2 dist. linha	0-10
12	Furadeira	1/2 dist. linha	0-20

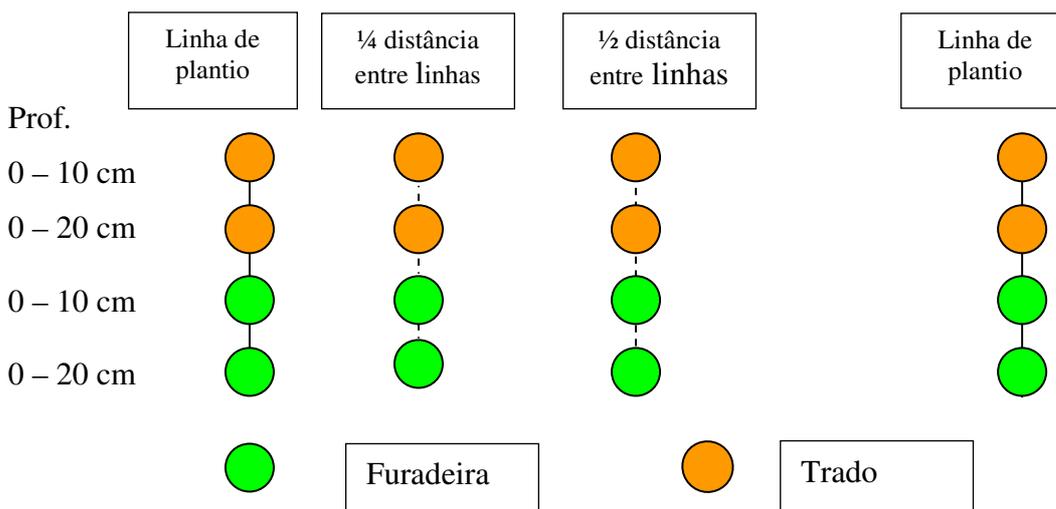


Figura 2. Representação esquemática de uma unidade amostral para retirada de amostras simples com os respectivos equipamentos, localizações e profundidades de amostragem de solo.

Os equipamentos utilizados foram o trado holandês (Figura 3), considerado como padrão e a furadeira elétrica (Figura 4).



Figura 3. Amostragem de solo sendo realizada com o auxílio do trado holandês.



Figura 4. Furadeira elétrica e a base perfurada que é utilizada para coletar o solo.

A furadeira elétrica vem sendo muito utilizada pelos produtores da região para realizar amostragem de solo, principalmente, pela facilidade de manuseio em condições ideais de friabilidade do solo. Consiste de uma máquina elétrica de furar com uma broca, semelhante ao trado de rosca, de aproximadamente 20 mm de diâmetro e de uma base furada por onde passa a broca e coleta o solo quando esta o penetra.

Em função da época do ano em que as amostragens foram realizadas, o solo se encontrava muito seco, dificultando a penetração dos equipamentos no perfil, principalmente, quando era necessário utilizar a furadeira para amostragens na profundidade de 0 a 20 cm. Nestas condições, a furadeira elétrica sempre coletou um volume menor de solo, tendo inclusive um rendimento operacional menor que o trado holandês.

As 15 amostras simples de cada tratamento foram colocadas em um recipiente limpo, homogêneas e retiradas, aproximadamente, 250 cm³ de cada amostra composta, que foram acondicionadas em sacos plásticos e enviadas ao laboratório para análise.

Antes de serem analisadas, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com diâmetro de 2 mm e homogêneas. No laboratório foram determinados o pH, os teores trocáveis de K, Ca, Mg, Al e H+Al, e os disponíveis de P; os teores disponíveis de Fe, Cu, Mn, Zn e B; cálculo da saturação por bases (V), saturação por Al (m) e capacidade de troca de cátions (T), cujas metodologias são descritas em SILVA et al. (1998).

A textura do solo foi determinada pelo método do densímetro, seguindo metodologia descrita por EMBRAPA (1997). Os resultados de textura permitiram o agrupamento dos solos em argilosos (solos com mais de 35 % de argila) e textura média/arenosa (solos com menos de 35 % de argila), seguindo critérios da EMBRAPA (1988). Esta classificação foi necessária porque a interpretação de algumas variáveis de fertilidade é realizada segundo a classe textural do solo.

No período compreendido entre o início do florescimento (estádio R1) e pleno florescimento (estádio R2) da cultura da soja, foram coletadas amostras de folhas nas áreas previamente georreferenciadas para a retirada de solo. Foram escolhidas 10 plantas ao acaso para a retirada do terceiro trifólio completamente aberto, segundo metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas (RAIJ et al., 1996), sendo coletadas 30 trifólios de cada tratamento, totalizando doze amostras foliares.

As folhas foram lavadas com água de torneira e enxaguadas com água destilada e colocadas em sacos de papel, procedendo-se a secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 72 horas. Em seguida, foram trituradas em moinho tipo Wiley com peneira de

malha 1,0 mm. A extração e determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu e Mn, foram realizadas conforme metodologia citada por SILVA (1999).

Quando a cultura estava em ponto de colheita (estádio R8), foi avaliada a produção obtida em cada talhão previamente demarcado, escolhendo-se ao acaso dez áreas de 15,0 m² (6 linhas espaçadas de 0,5 m com 5,0 m de comprimento). Todas as plantas destas áreas foram arrancadas e trilhadas, os grãos foram ensacados, pesados e determinada sua umidade, ajustando-a para 13 % a fim de padronizar a produtividade de todas as áreas.

Com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000), os resultados de análises de solo em função dos equipamentos de coleta, profundidades e posições de amostragem foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias, o mesmo ocorrendo com nível de fertilidade do solo e a produtividade em função do tempo de adoção do sistema plantio.

O programa STATISTICA (STATSOFT Inc, 1990) foi utilizado para a realização da análise descritiva dos resultados de análise de solo e folha, correlações entre os atributos químicos e físicos do solo e entre os resultados de fertilidade do solo e teores foliares.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características químicas e físicas dos solos analisados

Os teores médios dos elementos analisados (n = 144) estão dentro da faixa adequada de interpretação, com exceção dos micronutrientes Mn que está acima e Zn e B que estão abaixo, respectivamente, dos valores considerados adequados (Tabela 3).

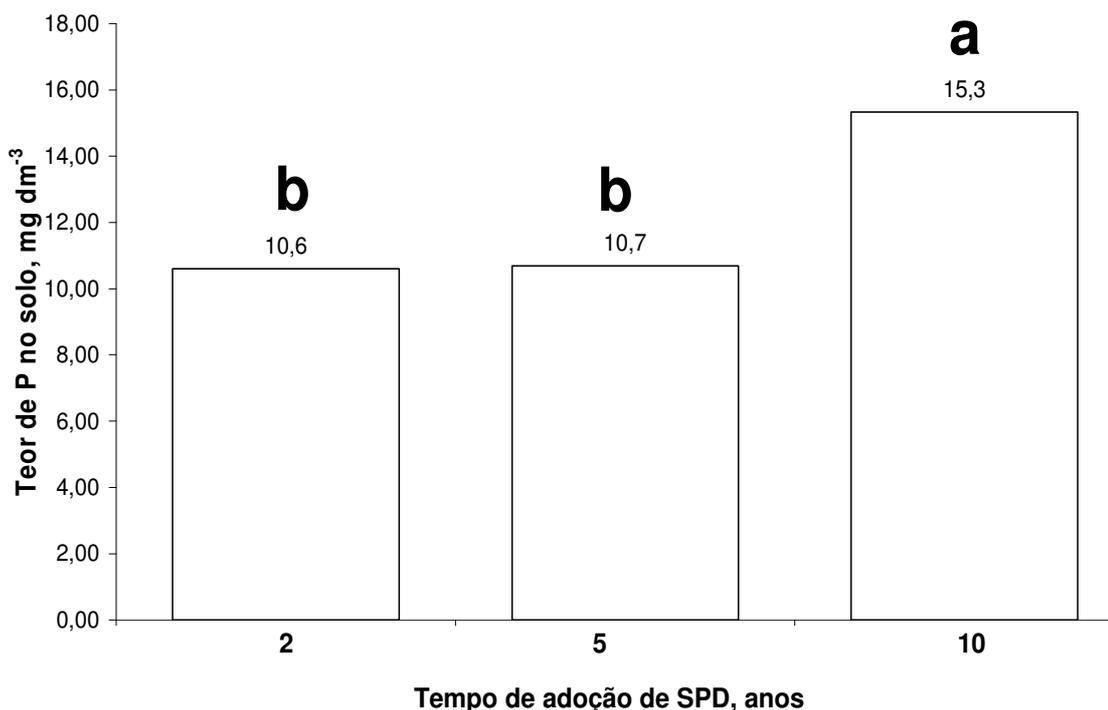
Os teores médios de P também estão na faixa adequada, porém os teores mínimos deste elemento, independente da textura, estão muito abaixo da faixa adequada.

Um dos fatores que mais limitam o desenvolvimento das culturas é a deficiência de P e os solos da região dos Cerrados são, naturalmente, carentes deste elemento (LOPES, 1984). Por ser pouco móvel no solo (SILVA, 2002), as maiores perdas de P ocorrem devido à sua adsorção pelos minerais de argila (NOVAIS et al., 2007).

Entretanto, as áreas cultivadas há dez anos apresentaram teores, estatisticamente, mais elevados deste elemento (Figura 5), provavelmente, devido às freqüentes adubações e a adoção do sistema plantio direto que mantém restos vegetais na superfície, contribuindo para a diminuição desta limitação natural (KURIHARA et al., 1998; FALLEIRO et al., 2003). As quantidades de P adicionadas através dos fertilizantes fosfatados nas últimas décadas têm superado as quantidades exportadas pelas colheitas e pela erosão, alterando a magnitude das frações inorgânicas (BECK & SANCHES, 1994) e (ARAÚJO & SALCEDO, 1997)

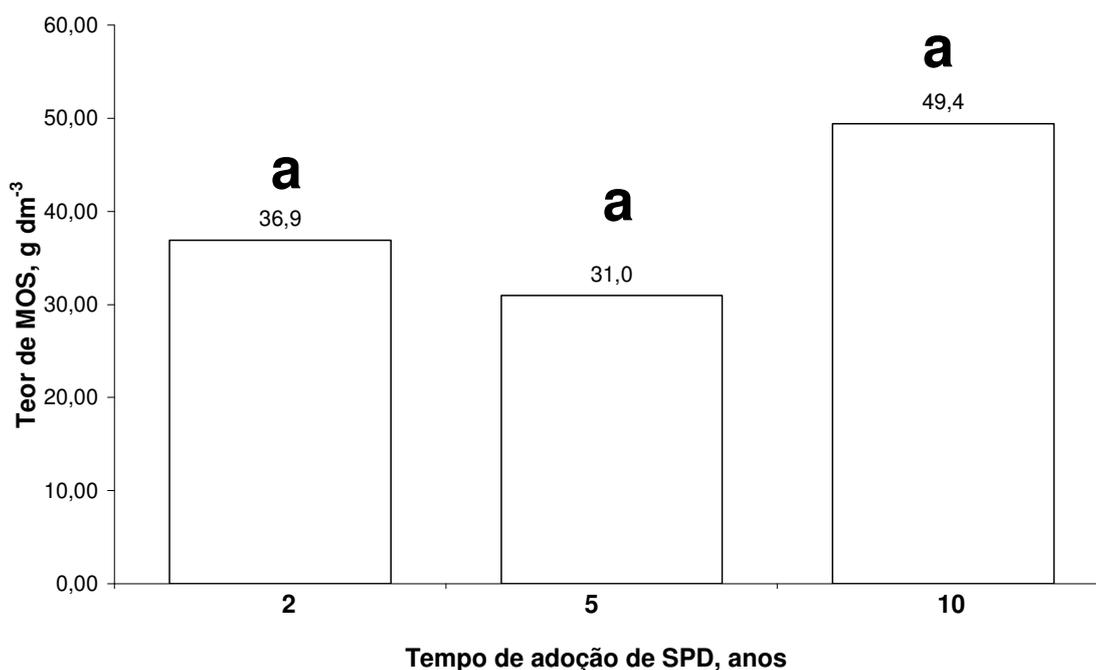
Os teores médios de MO são mais elevados nos solos com mais de 35 % de argila (Tabela 3) graças à interação dos argilominerais com a MO que preserva estes compostos da biodegradação, além de causar um aumento na CTC do solo (SILVA et al., 2006).

Além da proteção exercida pelos minerais de argila, o sistema plantio direto também parece contribuir para um aumento nos teores de MO, uma vez que, apesar de estatisticamente iguais, existe uma tendência de aumento de MO nas áreas cultivadas há 10 anos (Figura 6)



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Figura 5. Teor médio de P no solo de todos os tratamentos em função do tempo de adoção do sistema plantio direto (SPD).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

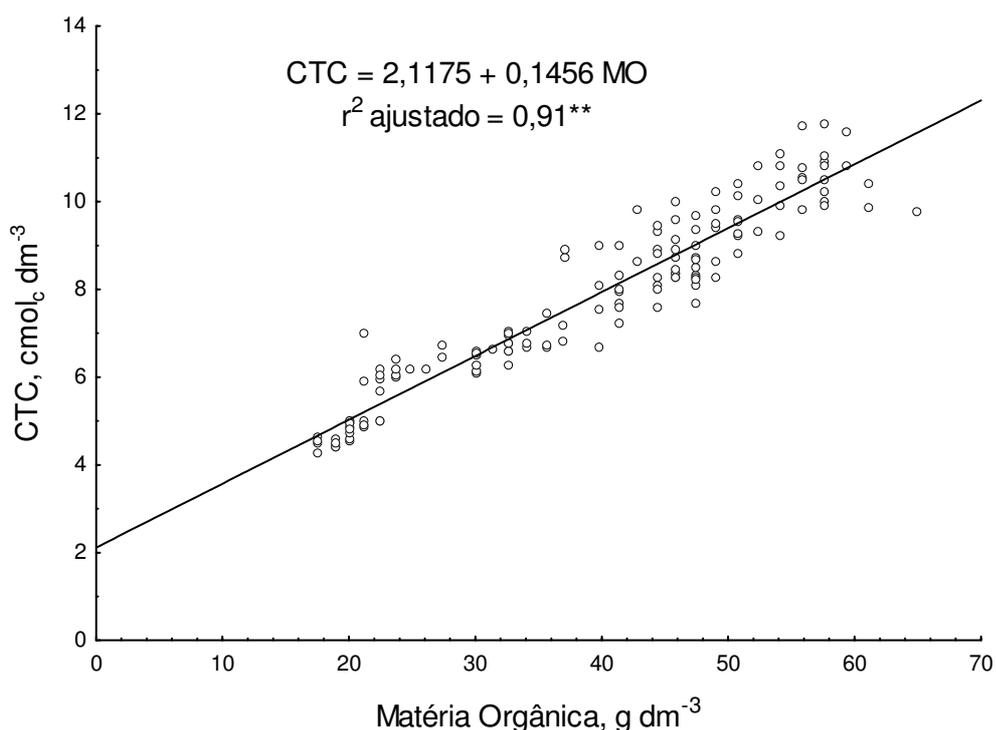
Figura 6. Teor médio de matéria orgânica do solo (MOS) de todos os tratamentos em função do tempo de adoção do sistema plantio direto (SPD).

O incremento no teor de MO do solo pode ser atribuído ao manejo, uma vez que o sistema plantio direto causa diminuição da taxa de decomposição da MO, com aumentos significativos no estoque de carbono orgânico do solo (BAYER, 1996).

Nos solos dos Cerrados, onde predominam argilas de baixa atividade (CIOTTA et al., 2003), a MO pode contribuir com até 70 % da CTC destes solos devido à existência de cargas elétricas na superfície da MO (SILVA et al., 2006).

Apesar de não ter sido observada variação na CTC do solo ao longo dos anos de cultivo no sistema plantio direto (Tabela 4), existe uma correlação significativa entre MO e CTC (Tabela 5). A equação de regressão obtida entre estas variáveis (Figura 7) confirma a relação de dependência existente entre MO e CTC nos solos da região.

A elevada contribuição da MO para a CTC ocorre porque a energia de ligação do íon H^+ com os grupos funcionais dos argilominerais e dos óxidos é muito maior que a energia de ligação do mesmo com os grupos funcionais da matéria orgânica. Assim, a MO dissocia seus íons mais facilmente, criando cargas negativas em pH, relativamente, baixo. Essa propriedade, aliada à maior área superficial específica, faz com que a MO seja a principal fonte de cargas negativas nos solos das regiões tropicais, onde predominam minerais do tipo 1:1, que apresentam poucas cargas negativas (SILVA et al., 2006)



** significativo a 0,1 % de probabilidade

Figura 7. Relação entre os teores de matéria orgânica e a CTC do solo (n = 144).

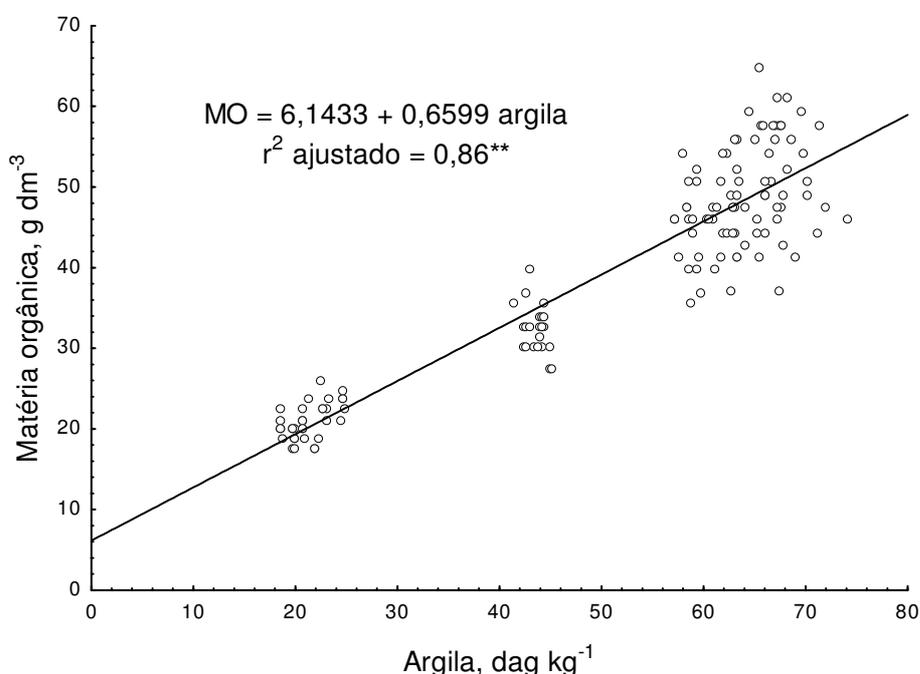
A importância do incremento de carbono orgânico em solos intemperizados foi evidenciada por BAYER et al. (2003), uma vez que sistemas conservacionistas de manejo promoveram elevação de até 40 % na CTC de um Latossolo Vermelho distroférico com o aumento do teor de MO do solo.

A participação da MO na CTC dos solos tropicais, com cargas variáveis dependentes de pH, em estágio avançado de intemperismo e fração argila dominada por caulinita e hidróxidos de Al e Fe é muito grande (NOVAIS et al. 2007), sendo que, a estimativa da CTC em Latossolos como variável do carbono orgânico total foi 121 vezes mais importante que a fração argila (MENDONÇA & ROWEL, 1996).

Nos solos estudados, caso não houvesse contribuição da MO, a CTC seria de apenas 2,12 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Figura 7), insuficiente para suportar produtividades elevadas como as que foram observadas em algumas áreas amostradas, superiores a 70 sacas/ha, cuja CTC é maior que 8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Tabela 6).

É possível afirmar que incrementos da ordem de 1,0 % de MO (10,0 g dm⁻¹ de solo) representaram aumentos de aproximadamente 1,4 cmol_c dm⁻³ na CTC (Figura 7), demonstrando a importância do manejo do solo no qual o aporte, a manutenção e o acúmulo de cobertura morta (palhada) como fonte de MO é fundamental para a sustentabilidade do sistema plantio direto.

Os teores mais elevados de MO encontrados nos solos argilosos (Figura 8) são resultantes da proteção física, físico-química e química exercida pelos minerais de argila sobre a MO do solo (SOLLINS et al., 1996), originando a estreita relação entre CTC e textura do solo (Figura 9).



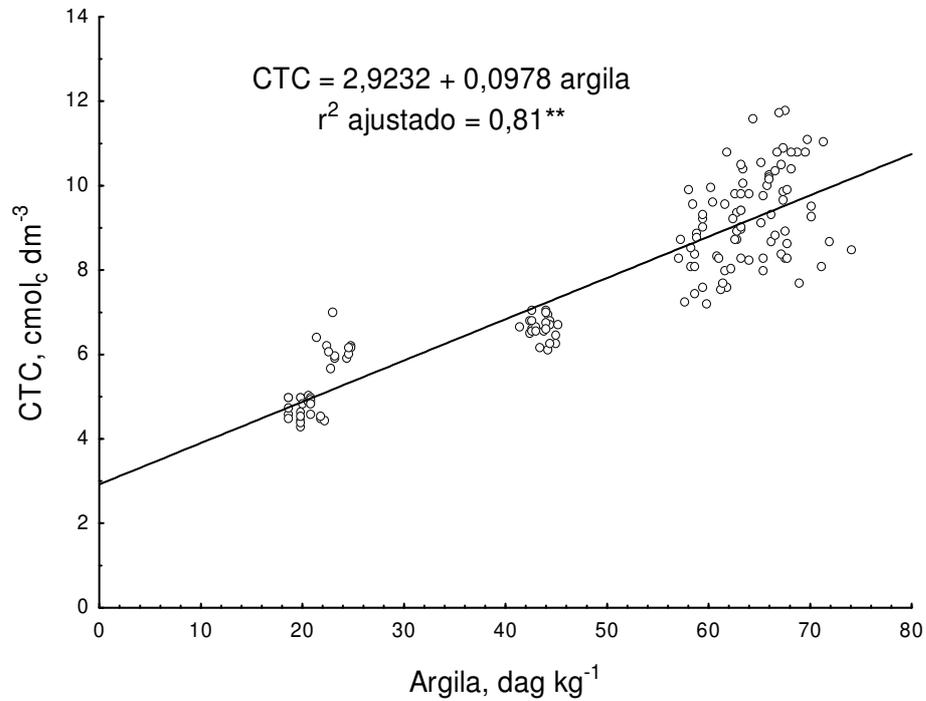
** significativo a 0,1 % de probabilidade

Figura 8. Relação entre MO e textura do solo (n = 144).

Outras importantes variáveis analisadas para a fertilidade dos solos cultivados, como Ca e Mg, também apresentam resultados médios adequados, independente da textura do solo, o que, normalmente, não ocorre nos solos dos Cerrados (LOPES, 1984). Os valores médios de pH também são adequados (Tabela 3), o que pode ser atribuído ao uso do calcário que forneceu Ca e Mg, além de neutralizar o Al trocável do solo (Figura 10).

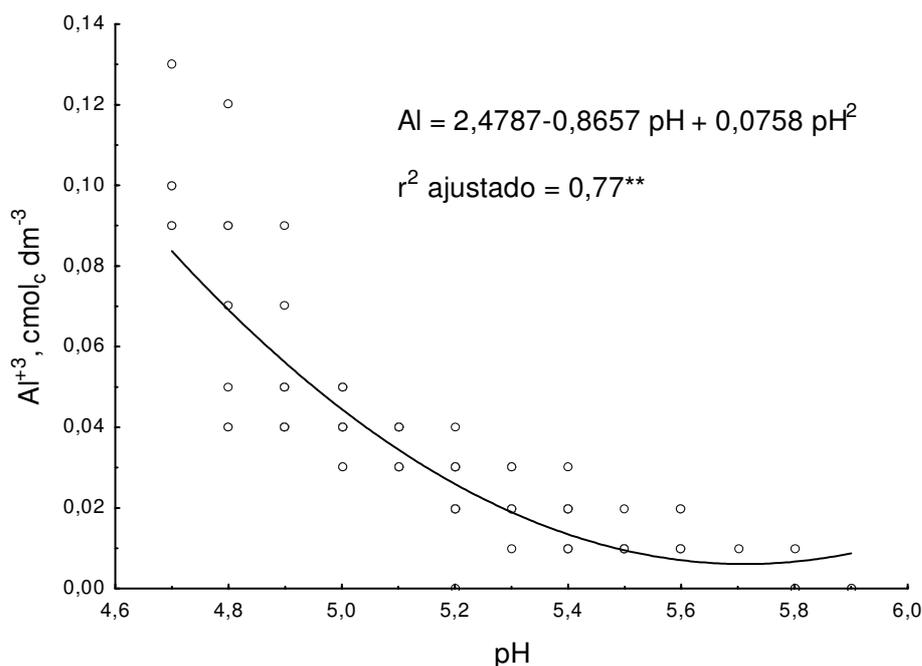
A correlação significativa entre pH e SB (Tabela 5) pode ser explicada pelo aumento de Ca e Mg com a aplicação de calcário e conseqüente elevação do pH. Por outro lado, não houve correlação significativa entre CTC e pH do solo, contrariando a expectativa de que

haveria maior disponibilidade de cargas negativas em solos com pH mais elevado, uma vez que as cargas dependentes resultam da variação do pH do solo (MEURER et al., 2006). Este resultado pode ser atribuído às correlações entre pH e SB (positiva) e pH e H+Al (negativa), uma vez que a CTC efetiva é resultado da adição de SB e H+Al.



** significativo a 0,1 % de probabilidade

Figura 9. Relação entre CTC e textura do solo (n = 144).



** significativo a 0,1 % de probabilidade

Figura 10. Presença de alumínio trocável em função do pH do solo (n = 144).

O pH teve correlação significativa com alguns micronutrientes, sendo negativa com Fe e positiva com Zn (Tabela 5). Normalmente, as concentrações das formas iônicas dos micronutrientes que são, preferencialmente, absorvidos da solução do solo pelas plantas, em condições de solos bem arejados, são bastante dependentes do pH (ABREU et al. 2007). A influência do pH foi pequena porque a indisponibilidade de micronutrientes, exceção feita ao B, começa a se acentuar com valores de pH acima de 6,5 (MALAVOLTA et al. 1985) e o pH máximo observado neste estudo não ultrapassou 5,9 (Tabela 3).

A MO apresentou correlação significativa apenas com Mn (negativa) e Zn (positiva), não havendo correlações com B e Cu (Tabela 5), contrariando afirmação de ABREU et al. (2007) de que a maior parte do B disponível às plantas é encontrada na MO do solo. Por outro lado, a correlação negativa entre Mn e MO pode ser explicada pelo efeito complexante dos compostos orgânicos sobre este micronutriente (McLEAN & BROWN, 1984).

4.2 Produtividade de grãos de soja das áreas amostradas

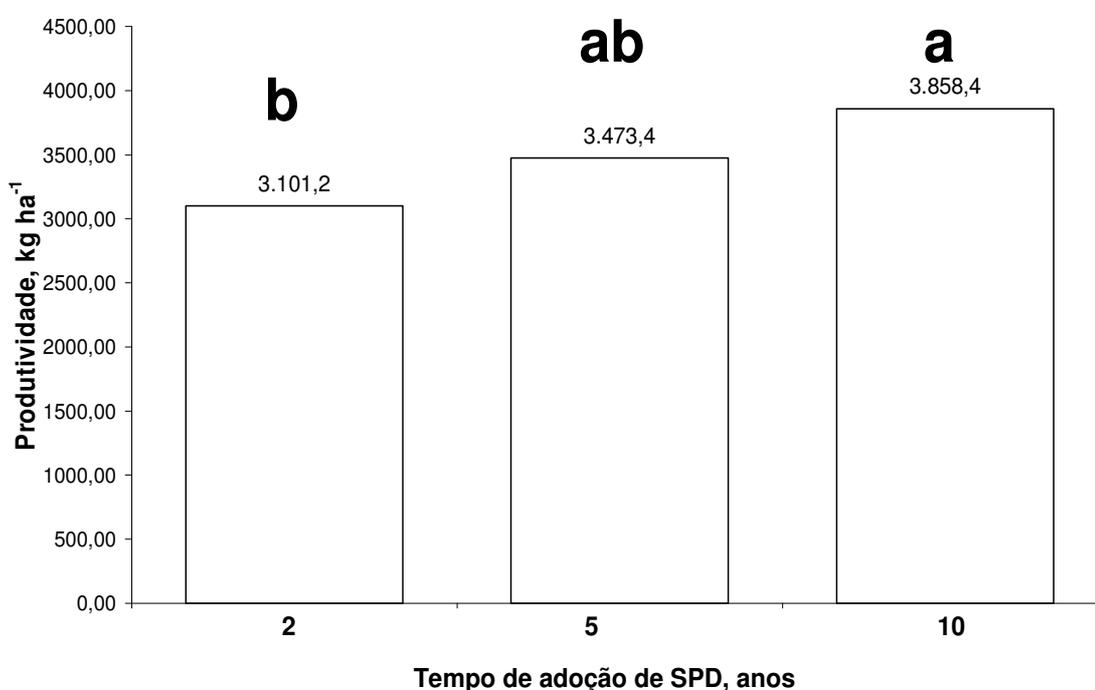
A produtividade da soja colhida nas áreas estudadas teve uma variação superior a 1.900 kg entre as áreas de menor e maior produtividade (Tabela 5), sendo que, dentre os

fatores que influíram neste resultado estão o manejo químico do solo associado a fatores climáticos (VITTI & TREVISAN, 2000).

A fertilidade do solo deve ter influenciado nas produtividades, uma vez que, considerando a média de todos os tratamentos (Tabela 6), as três maiores produtividades foram alcançadas nas fazendas onde o pH é maior que 5,0 e os teores de Ca, Mg e K são adequados, ou seja, superiores a 2,3; 1,0 e 0,21 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. Além disso, a saturação por alumínio (m) é inferior a 0,97% e a saturação por bases (V) superior a 45%. A MO também é adequada nestas áreas e o P extraível é superior a 11 mg dm^{-3} , teor considerado alto em solos com mais de 60 % de argila (SOUZA & LOBATO, 2002).

Por outro lado, as produtividades mais baixas foram obtidas nas duas fazendas onde o pH está abaixo de 5,0, os teores de Ca, Mg e K inferiores a 2,3; 0,6 e 0,17 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente, a CTC inferior a 6,6 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e o teor de P inferior a 12,21 e 11 mg dm^{-3} , valores médio e adequado (Tabela 6), segundo critérios de SOUZA & LOBATO (2002).

Em função dos resultados obtidos, é possível afirmar que devido à melhoria de algumas propriedades químicas do solo, as áreas cultivadas há 10 anos sob o sistema plantio direto apresentaram as maiores produtividades (Figura 11).



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 10 % de probabilidade.

Figura 11. Produtividade média de grãos de soja em função do tempo de adoção do sistema plantio direto (SPD).

Contudo, os resultados de análise foliar da soja indicam que o valor médio de alguns nutrientes encontra-se abaixo do adequado, tais como P, K, Mg e Cu (Tabela 7).

Tabela 7. Análise exploratória dos teores de nutrientes encontrados no tecido foliar da soja e os teores considerados adequados para a cultura

Nutriente	Média	Mínimo	Máximo	Adequado ⁽¹⁾
	g kg ⁻¹			
N	45,8500	33,6000	53,2000	45 a 55
P	1,6533	0,6100	2,3100	2,5 a 5,0
K	15,0858	10,4300	20,4500	17 a 25
Ca	6,7633	3,8200	8,9900	4,0 a 20
Mg	2,7892	2,0600	3,7800	3,0 a 10
S	5,0275	1,0300	9,5400	2,1 a 4,0
----- mg kg ⁻¹ -----				
B	35,8917	16,3000	46,6500	21 a 55
Cu	7,4667	4,4000	15,6000	10 a 30
Fé	153,2583	102,2000	287,4000	51 a 350
Mn	63,1417	35,7000	203,2000	21 a 100
Zn	45,9167	20,8000	107,5000	20 a 50

(1) Oliveira (2002)

Uma das premissas da diagnose foliar é a existência de relação significativa entre o suprimento de nutrientes fornecidos pelo solo e os níveis destes elementos presentes nas folhas e que isso estaria associado às produções das culturas (RAIJ, 1991). Entretanto, neste estudo, nem sempre encontrou-se correlação significativa entre os nutrientes presentes no solo e os teores foliares (Tabela 8).

O manejo da fertilidade destes solos é muito semelhante quanto ao aporte de nutrientes (Tabela 1), permitindo inferir que a inexistência de correlação significativa entre o conteúdo foliar e os teores dos mesmos no solo podem ser atribuídos ao fato de que na análise de solo são empregadas soluções extratoras (ácidos diluídos, sais, água quente, resina) cujas condições não refletem aquelas observadas na natureza. Na análise do material vegetal, entretanto, são quantificados os teores totais dos nutrientes absorvidos pelas plantas, os quais dependem de vários fatores, tais como: teor no solo, umidade e acidez do solo, desenvolvimento do sistema radicular, antagonismo e sinergismo entre nutrientes, variedade cultivada, condições climáticas, tipo de fertilizante empregado, atividade microbiana, mineralização da matéria orgânica, tratos culturais, incidência de doenças e pragas (OLIVEIRA, 2002).

Tabela 8. Correlações entre os teores foliares de nutrientes na cultura da soja e os resultados de análise química e física do solo coletado antes da semeadura

Variáveis	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
pH	-0,24	-0,39	-0,32	0,46	0,00	0,22	0,31	0,39	0,68*	0,17	0,76*
Ca	-0,45	-0,33	0,02	-0,42	0,05	0,47	0,45	-0,36	0,30	-0,46	0,23
Mg	-0,69*	-0,33	0,00	-0,26	0,23	0,38	0,47	-0,32	0,53	-0,45	0,31
Al	0,20	0,37	0,42	-0,30	0,13	-0,27	-0,16	-0,21	-0,56	-0,15	-0,54
H+Al	-0,54	0,03	0,51	-0,80*	0,17	0,38	0,46	-0,71*	-0,10	-0,66*	-0,37
K	-0,56	-0,13	0,44*	-0,61*	0,28	0,50	0,55*	-0,49	0,41	-0,58*	0,24
P	-0,22	0,48	0,60*	-0,48	0,57	0,23	0,59*	-0,02	0,07	-0,02	0,23
S	0,27	0,37	0,37	-0,24	0,49	0,11	-0,12	-0,24	-0,38	-0,04	-0,20
MO	-0,72*	-0,20	0,41	-0,62*	0,25	0,64*	0,66*	-0,68*	0,21	-0,69*	-0,03
SB	-0,57	-0,34	0,04	-0,40	0,13	0,47	0,49	-0,37	0,41	-0,49	0,28
CTC	-0,67*	-0,21	0,31	-0,70*	0,18	0,52	0,57*	-0,64*	0,21	-0,69*	-0,02
V	0,02	-0,20	-0,44	0,37	0,02	0,00	0,04	0,40	0,40	0,29	0,56
B	-0,10	0,58*	-0,07	-0,29	0,49	-0,12	0,42	0,29	-0,17	0,45	0,08
Fé	0,19	0,32	-0,06	-0,47	-0,06	-0,36	-0,16	0,02	-0,34	0,14	-0,24
Mn	0,79*	-0,16	-0,27	0,27	-0,56	-0,34	-0,80*	0,17	-0,20	0,25	-0,10
Zn	-0,78*	-0,42	0,28	-0,26	0,14	0,46	0,72*	-0,25	0,70*	-0,54	0,47
Cu	-0,33	-0,67*	-0,05	0,23	-0,31	0,18	0,28	0,11	0,72*	-0,31	0,63*
Argila	-0,80*	-0,27	0,39	-0,55	0,20	0,63*	0,68*	-0,65*	0,30	-0,73*	0,00
Silte	-0,80*	-0,16	0,33	-0,57	0,20	0,46	0,73*	-0,37	0,56	-0,54	0,28
Areia	0,83*	0,24	-0,38	0,57	-0,21	-0,59*	-0,72*	0,57	-0,40	0,68*	-0,10

* significativo a 5 % de probabilidade

Um dos aspectos mais importantes na obtenção de altas produtividades é que os nutrientes presentes no solo estejam disponíveis no momento certo, de forma que sejam absorvidos pelas culturas nas quantidades necessárias. A avaliação da concentração dos nutrientes no tecido foliar é uma importante ferramenta no diagnóstico do potencial produtivo da cultura.

Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho, mostram que nas áreas estudadas foi possível obter altas produtividades de soja (Tabela 9) com teores foliares abaixo do que foi citado como adequado por OLIVEIRA (2002).

Portanto, o equilíbrio no fornecimento e na absorção de nutrientes pelas culturas é fundamental para que sejam alcançadas altas produtividades (MENGEL & KIRKBY, 1987), sendo esta, muito provavelmente, a condição que possibilitou a obtenção de altas produtividades em todas as áreas com dez anos de cultivo sob o sistema plantio direto.

4.3 Influência do método de amostragem nos resultados de análises de solo

As diferentes formas de amostragem influíram nos resultados analíticos de fertilidade do solo (Tabela 10), o que pode resultar em alterações na interpretação dos laudos emitidos pelos laboratórios de análises de solo.

Os equipamentos, trado e furadeira elétrica, proporcionaram resultados distintos para todos os macronutrientes, com exceção do S. Os resultados de MO, Al, acidez potencial (H + Al), pH, V, CTC, SB e micronutrientes também foram diferentes em função do equipamento utilizado. A posição de coleta das amostras também causou modificação nos valores de K, H+Al, P, S e Fe (Tabela 10).

A profundidade de coleta do solo alterou, significativamente, os valores de Ca, Mg, K, H+Al, P, MO, pH, V e CTC. Já para os micronutrientes, as alterações ocorreram para Mn, Zn e B (Tabela 10).

A interação entre equipamentos e profundidades influenciou os resultados de Ca, Mg, K, pH, V e Mn e a interação entre posição e profundidade teve influência apenas sobre o P.

O P foi o elemento que apresentou o mais acentuado gradiente de concentração, tanto horizontal quanto vertical (Tabela 11), em função de sua reduzida mobilidade no solo (SALET et al., 1996), não sendo transportado no perfil do solo (SILVA, 2002). Sob o sistema plantio direto, a deposição dos fertilizantes nas camadas superficiais e as menores perdas por erosão (MUZILLI, 1983; ELTZ et al., 1989), justificam os resultados encontrados.

Tabela 11. Média dos resultados das análises químicas do solo (n = 144) em função do equipamento, profundidade e posição utilizados para a coleta das amostras de solo

Variável	Tratamentos						
	Equipamento		Profundidade (cm)		Posição		
	Trado	Furadeira	0-10	0-20	½ dist. linha	¼ dist. linha	Linha
Ph	5,13 b	5,23 a	5,20 a	5,15 b	5,20 a	5,18 a	5,15 a
----- cmol _c dm ⁻³ -----							
Ca	2,73 b	3,13 a	3,05 a	2,81 b	2,92 a	2,92 a	2,95 a
Mg	0,95 b	1,18 a	1,11 a	1,02 b	1,02 a	1,08 a	1,09 a
K	0,18 b	0,25 a	0,23 a	0,20 b	0,19 b	0,20 b	0,27 a
Al	0,04 a	0,03 b	0,03 a	0,03 a	0,03 a	0,03 a	0,04 a
H+Al	3,70 a	3,40 b	3,53 b	3,67 a	3,52 b	3,58 b	3,69 a
CTC	7,57 b	8,05 a	7,92 a	7,70 b	7,72 b	7,79 ab	7,92 a
SB	3,86 b	4,56 a	4,39 a	4,03 b	4,20 a	4,21 a	4,22 a
----- mg dm ⁻³ -----							
P	10,73 b	13,68 a	14,38 a	10,03 b	8,34 b	8,70 b	19,58 a
S	7,97 a	8,59 a	7,83 a	8,72 a	7,86 a b	7,14 b	9,83 a
Fé	37,00 b	38,81 a	37,67 a	38,14 a	36,51 b	37,12 b	40,09 a
Mn	10,03 b	12,62 a	11,95 a	10,70 b	11,23 a	11,30 a	11,43 a
Cu	0,59 b	0,64 a	0,63 a	0,61 a	0,60 a	0,61 a	0,64 a
Zn	2,56 b	3,10 a	2,98 a	2,67 b	2,72 a	2,84 a	2,92 a
B	0,22 b	0,23 a	0,23 a	0,22 b	0,23 a	0,23 a	0,23 a
----- g dm ⁻³ -----							
MO	37,3 b	40,89a	40,04 a	38,15 b	39,76 a	38,73 a	38,80 a
----- % -----							
V	51,19 b	56,46 a	55,51 a	52,14 b	54,37 a	53,93 a	53,17 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey a 5 %), dentro da mesma fonte de variação.

Os teores de P obtidos na camada de 0 a 10 cm foram, estatisticamente, mais elevados em comparação aos obtidos na camada de 0 a 20 cm, suficientes para modificar a interpretação dos resultados analíticos de médio para adequado (SOUZA & LOBATO, 2002). Portanto, os teores de P podem ser superestimados, se a coleta de solo for realizada apenas até 10 cm de profundidade.

Além disso, um dos motivos da maior concentração de nutrientes na camada superficial do solo tem sido a contínua deposição de material orgânico, o que tem aumentado, grandemente, os teores de P nesta camada do perfil do solo (SCHLINDWEIN & ANGHINONI, 2000). Além da maior liberação de P de resíduos orgânicos da camada superficial nas áreas cultivadas sob o sistema plantio direto, ocorre menor fixação deste elemento devido ao reduzido contato com os constituintes inorgânicos do solo

(MUZILLI, 1983; SANTOS & TOMM 1996), contribuindo para os maiores teores encontrados na camada superficial.

Apesar das constantes operações de plantio e formação de linhas de concentração de fertilizantes em posições diferentes, não ocorreu homogeneização dos teores de P na superfície do terreno ao longo dos anos de adoção do sistema plantio direto (Tabela 12).

Tabela 12. Média dos resultados das análises químicas do solo em função do equipamento, profundidade, posição e período de adoção do sistema plantio direto

Tratamentos							
2 anos (n = 48)							
Variável	Equipamento		Profundidade cm		Posição		
	Trado	Furadeira	0-10	0-20	½ dist. linha	¼ dist linha	Linha
	-----cmolc.dm ⁻³ -----						
Ca	2,99 b	3,28 a	3,27 a	3,01 b	3,06 a	3,08 a	3,27 a
Mg	1,04 b	1,23 a	1,16 a	1,10 a	1,13 a	1,16 a	1,11 a
K	0,21 a	0,23 a	0,23 a	0,20 b	0,19 b	0,21 b	0,25 a
	-----mg.dm ⁻³ -----						
P	9,79 b	11,42 a	12,72 a	8,49 b	7,24 b	6,91 b	17,67 a
	-----g. dm ⁻³ -----						
MO	36,36 a	37,40 a	37,62 a	36,15 a	37,22 a	36,06 a	37,38 a
5 anos (n = 48)							
Variável	Equipamento		Profundidade cm		Posição		
	Trado	Furadeira	0-10	0-20	½ dist. linha	¼ dist linha	Linha
	-----cmolc.dm ⁻³ -----						
Ca	2,41 b	2,61 a	2,59 a	2,43 b	2,51 a	2,56 a	2,46 a
Mg	0,80 b	0,94 a	0,91 a	0,83 a	0,89 a	0,91 a	0,81 a
K	0,13 b	0,20 a	0,18 a	0,15 b	0,16 a	0,16 a	0,19 a
	-----mg.dm ⁻³ -----						
P	10,50 a	10,88 a	12,25 a	9,14 b	6,34 b	7,43 b	18,31 a
	-----g. dm ⁻³ -----						
MO	29,06 b	32,87 a	31,93 a	30,02 b	30,99 a	31,22 a	30,71 a
10 anos (n = 48)							
Variável	Equipamento		Profundidade cm		Posição		
	Trado	Furadeira	0-10	0-20	½ dist. linha	¼ dist linha	Linha
	-----cmolc.dm ⁻³ -----						
Ca	2,79 b	3,49 a	3,29 a	3,00 b	3,19 a	3,14 a	3,11a
Mg	1,01b	1,35 a	1,24 a	1,13 b	1,23 a	1,17 a	1,15 a
K	0,20 b	0,33 a	0,29 a	0,25 b	0,22 b	0,26 b	0,33 a
	-----mg.dm ⁻³ -----						
P	11,90 b	18,75 a	18,18 a	12,47 b	11,45 b	11,75 b	22,77 a
	-----g. dm ⁻³ -----						
MO	46,47 b	52,39 a	50,58 a	48,28 b	50,90 a	48,91 ab	48,47 b

As variações na distribuição deste elemento, tanto horizontal como vertical, ocorreram em todos os períodos, havendo maior concentração na linha de plantio e na camada até 10 cm de profundidade, independente do período de adoção do sistema plantio direto (Tabela 12).

Além do P, alguns nutrientes poucos móveis no solo, como Ca e Mg, também podem se acumular na superfície (Tabela 11), criando um gradiente de concentração que interfere no resultado de análise de solo para fins de fertilidade (KLEPKER & ANGHINONI, 1995; COUTO, 1997; ELTZ et al. 1989; AMARAL & ANGHINONI, 2001).

Os resultados mais elevados de Ca, Mg e pH na profundidade de 0 a 10 cm (Tabela 11) são conseqüências da aplicação superficial de calcário, sem posterior incorporação (SILVEIRA & STONE 2002). Resultados semelhantes foram obtidos por FALLEIRO et al. (2003), em que o sistema plantio direto provocou aumento do pH, CTC efetiva, Ca e Mg na camada superficial em relação às demais profundidades.

Apesar de mais elevados nos primeiros 10 cm, os teores de Ca estão situados na mesma faixa de interpretação ao longo do perfil. Estes resultados também podem ser atribuídos às interações entre a MO e alguns elementos químicos presentes no solo, uma vez que a manutenção de resíduos vegetais na superfície e posterior decomposição originam compostos orgânicos hidrossolúveis, os quais têm sido apontados como os responsáveis pela complexação do Ca na superfície, seguido de migração no perfil do solo. Foi observado que em solução do solo com presença de Al há liberação do Ca e complexação do Al, diminuindo sua fitotoxicidade e aumentando o teor de Ca no perfil (HAYNES & MOKOLOBATE, 2001).

Os resultados analíticos das variáveis pH, V, Ca, Mg e CTC, apesar de estatisticamente mais elevados nas amostras obtidas de 0 a 10 cm, estão na mesma faixa de interpretação, independente da profundidade amostrada. Estes resultados podem ser atribuídos à incorporação do calcário no início do sistema plantio direto e posteriores reaplicações do corretivo, eficientes na manutenção de um perfil quimicamente adequado para o desenvolvimento das culturas (AMARAL & ANGHINONI, 2001), além da influência da MO que contribuiu para a migração do Ca no perfil do solo (HAYNES & MOKOLOBATE, 2001).

Apesar disto, foram observados teores mais elevados de Ca e Mg nas camadas superficiais, mesmo nas áreas cultivadas há 10 anos sob o sistema plantio direto, demonstrando que nos solos estudados, a movimentação do calcário no perfil foi reduzida (Tabela 12).

A calagem superficial também pode ter contribuído para os teores mais elevados de K na superfície (Tabela 11), uma vez que dentre as várias finalidades do uso do calcário

destacam-se: corrigir a acidez, neutralizar a toxidez do Al e do Mn, fornecer Ca e Mg para as plantas, gerar cargas negativas e, conseqüentemente, aumentar a retenção de cátions (SOUZA et al, 2007).

Os teores mais elevados de K na linha de plantio e na superfície se mantêm nas áreas com 10 anos de cultivo sob o sistema plantio direto (Tabela 12), o que pode ser atribuído à distribuição localizada do adubo na linha de plantio. A localização das plantas também contribuiu para a sua variabilidade, uma vez que este elemento não forma compostos orgânicos no tecido, sendo, facilmente, transportado da parte aérea para o solo pela chuva no final do ciclo da planta, concentrando o K próximo ao colo da mesma (KLEPKER & ANGHINONI, 1995).

Assim como a calagem, a deposição dos restos vegetais na superfície deve ter contribuído para o enriquecimento desta camada do solo, uma vez que a manutenção do material orgânico na superfície do terreno é responsável por grande parte da maior disponibilidade de nutrientes nos primeiros 5 cm do perfil do solo (SOUZA, 1992).

Portanto, a distribuição superficial do calcário e da palhada no sistema plantio direto induz a uma baixa variabilidade nos atributos de acidez e do teor de MO, o que se reflete em resultados semelhantes para as variáveis Ca, Mg e MO, independente da posição de amostragem do solo (SOUZA, 1992; SALET et al., 1996; COUTO, 1997; SCHLINDWEIN et al., 1998).

Os valores de MO nos primeiros 10 cm do perfil do solo também são mais altos quando comparados aos obtidos na amostragem até 20 cm de profundidade (Tabela 11). A manutenção dos restos de cultura na superfície do solo deve ter contribuído para estes resultados, porém estas diferenças não alteraram a interpretação dos resultados desta variável, que são adequados nas duas profundidades amostradas (SOUZA & LOBATO, 2002).

A menor acidez potencial encontrada nos primeiros 10 cm de profundidade (Tabela 11) pode ser atribuída ao maior conteúdo de MO na superfície do solo devido à manutenção de restos orgânicos que promoveram uma neutralização da acidez potencial ($H + Al$), aumentando as cargas negativas do solo disponíveis para a adsorção de cátions básicos (TEIXEIRA et al. 2003).

Com relação aos micronutrientes, os teores de Fe não variaram em função da profundidade amostrada (Tabela 11), porque, embora seja reciclado em maior quantidade que o Zn e o Mn, este elemento é, rapidamente, oxidado ao ser liberado da MO (SHUMAN & HARGROVE 1985). Por outro lado, os teores de Mn e Zn mais elevados na camada

superficial do solo (Tabela 11) podem ser atribuídos ao acúmulo de resíduos vegetais (HARGROVE, 1992).

Além das variações nos resultados analíticos em função da posição na superfície e da profundidade de coleta, os equipamentos utilizados na amostragem podem ser fonte de variabilidade dos resultados de análise de solo (SCHLIDWEIN et al. 1998), principalmente, para os elementos P e K que apresentam alta variabilidade, independente do equipamento utilizado para realizar a amostragem do solo (ALVAREZ V. & GUARÇONI, 2003).

Portanto, os amostradores de solo e os procedimentos de amostragem recomendados para o sistema convencional de cultivo podem não ser eficientes para representar a maior variabilidade dos índices de fertilidade existentes no sistema plantio direto (SALET et al., 2005) em que o solo é revolvido apenas na linha de semeadura.

Os resultados analíticos de todos os macronutrientes, com exceção do S, foram mais elevados quando coletados com a furadeira (Tabela 11). Conseqüentemente, os valores de V e SB também foram mais altos nas amostras coletadas com este equipamento. Apesar das diferenças estatísticas, as variações observadas para Ca e Mg não foram suficientes para alterar a faixa de interpretação dos resultados analíticos destas variáveis (SOUZA & LOBATO, 2002), demonstrando que o equipamento de coleta não interfere nos resultados analíticos destas variáveis.

Considerando o teor médio de argila dos solos analisados de 49,93 dag kg⁻¹, a interpretação dos resultados de P está na faixa adequada para solo coletado com o trado e alta quando coletado com a furadeira (Tabela 11). Por outro lado, a interpretação do teor de MO está na faixa adequada para ambos os equipamentos. Sendo assim, o equipamento teve uma grande influência nos resultados de P, podendo inclusive mudar a faixa de interpretação e recomendação de adubação deste elemento.

Contudo, ESCOSTEGUY et al., (2003) ao experimentarem o trado calador e o trado de rosca, cujo princípio de funcionamento é semelhante ao da furadeira elétrica, não observaram influência dos equipamentos nos resultados dos atributos analisados (pH, índice SMP, K, P, Al, Ca, Mg, S, B, Mn e Zn), mas nas amostras coletadas com o trado de rosca, o teor de MO aumentou em presença dos resíduos culturais.

As diferenças observadas entre os resultados obtidos com a furadeira e com o trado podem ser atribuídas às quantidades de solo coletado por cada equipamento (SILVA et al., 2003), especialmente nas áreas cultivadas em sistema plantio direto, onde ocorre uma distribuição irregular de alguns nutrientes, como P e K.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que as amostras de solo coletadas com a furadeira elétrica apresentaram um nível de fertilidade mais elevado que as amostras coletadas com o trado, o que contradiz os resultados obtidos por SALET et. al (2005), uma vez que o trado de rosca, cujo princípio de funcionamento é o mesmo da furadeira elétrica, perde mais solo da camada superficial em comparação ao trado holandês, originando amostras de menor fertilidade.

Portanto, os diferentes resultados analíticos obtidos com o trado e a furadeira elétrica podem estar relacionadas com o volume de solo retirado por cada equipamento em determinada profundidade do perfil, uma vez que diversas variáveis tiveram seus resultados analíticos influenciados pela interação entre o equipamento de coleta e a profundidade de amostragem (Tabela 13).

A existência de interação significativa entre profundidade e equipamento demonstra que os amostradores utilizados neste trabalho coletaram solo de forma diferente, sendo, portanto, fonte de variabilidade, uma vez que o volume coletado e possíveis perdas das camadas superficiais de solo, mais ricas em alguns atributos químicos, podem influir nos resultados analíticos (SCHLINDWEIN et al., 1998).

Os índices de fertilidade obtidos com a furadeira elétrica foram, estatisticamente, mais elevados, quando comparados com o trado, independente da profundidade amostrada, não havendo diferença, com o uso da furadeira, nos resultados analíticos, das amostras coletadas na profundidade de 0 a 10 ou de 0 a 20 cm.

Estes resultados demonstram que a furadeira retirou um volume maior de solo da camada até 10 cm, gerando os resultados de maior fertilidade das amostras coletadas por este equipamento.

Por outro lado, o solo coletado com o trado exibiu diferenças estatísticas no teor de nutrientes, maior na camada superficial (até 10 cm de profundidade) e menor quando a amostragem atingiu os 20 cm de profundidade. Este equipamento foi mais sensível ao gradiente de fertilidade que, normalmente, forma-se em áreas sob plantio direto (KLEPKER & ANGHINONI, 1995; COUTO, 1997; ELTZ et al., 1989; AMARAL & ANGHINONI, 2001) causado pela calagem superficial que altera o nível de diversas variáveis químicas do solo (SOUZA et al., 2007) e pelas adubações superficiais que contribuem para a formação de um gradiente de P e K (SCHLIDWEIN & ANGHINONI, 2000), causando variabilidade de pH e dos teores de vários nutrientes (ELTZ et al., 1989).

As amostras obtidas com a furadeira apresentaram índices de fertilidade mais elevados porque este equipamento coletou maior volume de solo da camada superficial, mais rica em nutrientes. Esta limitação pode ser atribuída à baixa potência do motor elétrico que não conseguiu perfurar e transportar o solo das camadas mais profundas até a superfície.

Como no sistema plantio direto há maior disponibilidade de nutrientes nos primeiros 5 cm do perfil do solo (SOUZA, 1992), as amostras retiradas com a furadeira representaram apenas os índices de fertilidade da camada onde há maior concentração de nutrientes, mudando inclusive a faixa de interpretação do K e P.

A maior parte das variáveis analisadas apresentou teores mais elevados quando o solo foi coletado com a furadeira, independente do período de adoção do sistema plantio direto (Tabela 12). Segundo COELHO (2003), a partir do sexto ano de cultivo, em áreas sob plantio direto, as amostragens devem ser feitas somente até os 10 cm de profundidade, o que poderia viabilizar o uso da furadeira nestas áreas.

Porém, esta prática é temerosa em razão da soja necessitar que o sistema radicular da cultura explore um volume maior de solo, e dessa forma as recomendações de adubação e calagem devem levar em consideração o nível de fertilidade do solo abaixo dos 10 cm de profundidade.

Os teores do P foram, significativamente, influenciados pela interação entre posição e profundidade de amostragem, sendo mais elevados na linha de plantio que os obtidos nas outras posições, assim como as amostras retiradas na linha e a $\frac{1}{4}$ da distância da linha apresentaram valores mais elevados na camada superficial (Tabela 14). Na linha de plantio, os teores de P variaram de alto a adequado, respectivamente, nas profundidades de 0 a 10 e 0 a 20 cm. Entretanto, os resultados obtidos a $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{2}$ de distância da linha variaram de médio (0 a 10 cm) a baixo (0 a 20 cm) para ambas as posições.

A baixa mobilidade do P, assim como a manutenção das linhas de adubação dos plantios anteriores decorrentes do não-revolvimento do solo tiveram grande influência na interação significativa entre as variáveis posição e profundidade.

As amostragens feitas, exclusivamente, na linha de plantio ou fora dela, como realizadas neste trabalho, parecem não representar, adequadamente, a fertilidade do solo sob o sistema plantio direto. Quando as amostras abrangem uma superfície maior, inclusive a linha de plantio, os valores dos índices de fertilidade são maiores, sendo que as diferenças são mais acentuadas para os elementos P e K (SALET et al. 2005). Por este motivo, a utilização de amostradores que retiram pequeno volume de solo, como o trado ou a furadeira, deve ser

realizada de forma criteriosa para que o nível de fertilidade da área seja, adequadamente, representado.

Quando a amostragem é realizada com equipamentos que coletam um volume reduzido de solo, esta avaliação deve abranger uma combinação de posições, conforme observado por ALVAREZ V & GUARÇONI M, (2003). Estes autores obtiveram índice de fertilidade semelhante à pá de corte quando a amostragem realizada com o trado de caneca foi obtida com 17 % das amostras simples coletadas no sulco de plantio, 33 % a 10 cm do sulco e 50 % no ponto médio entre os sulcos.

Portanto, conforme observado neste trabalho, a posição, a profundidade e o equipamento de coleta de solo podem mudar, substancialmente, os resultados de análise de solo e, conseqüentemente, as recomendações de adubação.

Tabela 14. Tratamento estatístico pelo teste de Tukey da variável influenciada pela interação entre posição e profundidade de amostragem do solo

Tratamento	P (mg dm ⁻³)		
	----- Posição -----		
Profundidade	Linha	1/4 linha	½ linha
0-10	23,42 a A	10,45 b A	9,28 b A
0-20	15,75 a B	6,94 b B	7,41 b A

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

A representação do nível de fertilidade das áreas cultivadas sob o sistema plantio direto variou em função da posição, da profundidade e do equipamento utilizado nas amostragens de solo.

Constatou-se que o sistema plantio direto provocou um gradiente superficial de fertilidade para todos os macronutrientes, com exceção do S, em função das calagens, deposição de palhada e adubações superficiais, sendo mais elevado nos primeiros 10 cm no perfil do solo.

As adubações na linha de plantio também provocaram um acentuado gradiente horizontal de fertilidade, principalmente, para os elementos P e K.

O P foi o único elemento que se acumulou ao longo dos anos de cultivo sob o sistema plantio direto.

As áreas cultivadas há 10 anos sob o sistema plantio direto apresentaram um gradiente de fertilidade no perfil, demonstrando a reduzida mobilidade dos elementos Ca, Mg, K e P aplicados na superfície do solo.

As sucessivas operações de plantio ao longo dos anos não causaram uma homogeneização horizontal dos elementos K e P aplicados na linha de plantio.

Os equipamentos utilizados na amostragem influíram nos resultados de análise de solo, sendo que o trado representou melhor o gradiente de fertilidade que se formou com a adoção do sistema plantio direto.

A furadeira elétrica não amostrou, adequadamente, o solo até os 20 cm de profundidade, daí os resultados mais elevados de fertilidade obtidos com este equipamento.

A furadeira elétrica pode superestimar o nível de fertilidade da área quando o objetivo da amostragem é atingir os 20 cm de profundidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS et al. (Ed) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.646-662.

ALVAREZ V. H. & GUARÇONI, M. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:297 – 310, 2003

ALVIM, P. T. & ARAUJO, W. A. El suelo como factor ecológico en el desarrollo de la vegetación en el centro-oeste del Brasil. **Turrialba** 2(4):153-160, 1952.

AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.4, p.695-702, 2001.

ANGHINONI, I. Amostragem do solo no sistema plantio direto. **1º Simpósio sobre fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**. Ponta Grossa, AEACG, 2000. pp. 17-25

ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.) **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 1998. p.27-52.

ARAÚJO, M. S. B.; SALCEDO, I. H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região do Nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 4, p. 643-650, 1997.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S. C. Diminuição da humificação da matéria orgânica de um Cambissolo húmico em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:537-544, 2003.

BAYER, C. & SCHENEIDER, N. G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia. **Ciência Rural**, v.29, n.1, 1996.

BECK, M. A.; SANCHEZ, P. A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1424-1431, 1994.

BORKERT, C. M. **Efeito do calcário e do cloreto de potássio sobre as concentrações de manganês e alumínio nos oxissols Santo Ângelo e Passo Fundo e suas relações com a nodulação e o rendimento de duas cultivares de soja**. Tese de Mestrado, Fac. Agronomia, UFRS, Porto Alegre. 1973.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, 59(2), 213-220, 2000.

CAKMARK, I. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. **Plant Soil**, 247:03-24, 2002

CANTARUTTI, R.B.; ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Amostragem do solo. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa, MG, 1999. p.13-20.

CHITOLINA, J. C. **Contribuição de alguns fatores nos resultados da análise química de terra e seus efeitos nas recomendações de adubação e calagem**. Piracicaba: USP-ESALQ, 1982. 200p. Tese de Doutorado.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:1005-1064, 2002.

COELHO, M. A. **Amostragem de solo: a base para a aplicação de corretivos e fertilizantes**. Sete Lagoas: Embrapa, 2003. (Comunicado Técnico 73).

COLOZZI-FILHO A.; BALOTA, E.L. & ANDRADE, D.S. Micro organismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. & CARVALHO, J.C., eds. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**, Lavras, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1999. p.487-508.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO, RS/SC. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 2.ed. Passo Fundo, SBCS - Núcleo Regional Sul/EMBRAPA – CNPT, 1989. 128p.

CORÁ, J.E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.

CORREIA, J.R.; REATTO, A.; SPERA, S.T. **Solos e suas relações com o uso e manejo**. In: SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.) Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.

COUTO, E.G. **Variabilidade espacial de propriedades do solo influenciadas pela agricultura em escala regional e local no sul do estado do Mato Grosso**. 1997. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

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**, 23:703-709, 1999.

EITEN, G. The cerrado vegetation in Brazil. **Botan. Rev.** 38(2):201-341, 1972

ELTZ, F.L.P. et al. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo brunólico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.259-267, 1989.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1978. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. **Relatório Técnico Anual 1976-1977**, 183p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de classes de solo e de fases de unidades de mapeamento**: normas em uso pelo SNLSC. Rio de Janeiro, 1988. 67. (Embrapa-SNLCS. Documentos, 11)

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; HENKIN, D.; CALDEIRA, M. H.; PIMENTEL, J.; ARNS, A. P. Resíduos culturais e resultado de análise de solo coletado com diferentes amostradores no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, n.1, jan-fev, 2003.

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

FERREIRA, D.F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0**.

In.45^a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p.255-258.

FRANCHINI, J. C.; HOFFMAN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manure during growth and its effects on cation mobilization in an acid Oxisol. **Communication Soil Science Plant**, 34:2045-2058, 2003

GUARÇONI M. A.; ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F.; CANTARUTTI, R. B.; LEITE, H. G.; FREIRE, F. M. Diâmetro de trado necessário à coleta de amostras num Cambissolo sob plantio direto ou sob plantio convencional antes e depois da aração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:947-959, 2007.

HAYNES. R. J.; MOKOLOBATE, M. S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of a phenomenon and the mechanisms involved. Nutrient cycling in agroecosystems. **Dordrecht**, v.59, p47-63, 2001.

HARGROVE, W.L.; REID, J.T.; TOUCHTON, J.T.; GALLAHER, R.N. Influence of tillage practices on the fertility status of an acid soil double-cropped to wheat and soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, n.4, p.684-687, 1992.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Amostragem de solo para análise química: plantio direto e convencional, culturas perenes, várzeas, pastagens e capineiras.** Londrina, 1996. 28p. (IAPAR-Circular, 90).

JAMES, D.W.; DOW, A.I. Source and degree of soil variation in the field: the problem of sampling for soil test and estimating soil fertility status. Washington, **Agricultural Experiment Station Bulletin** 1972.

JAMES, D.W.; WELLS, K.L. Soil sample collection and handling: technique based on source and degree of field variability. 3.ed. In: Westerman, R.L. (Ed.). Soil testing and plant analysis. Madison: **Soil Science Society of America**, p. 25 – 44, 1990.

JAMES, D.W. & HURST, R.L. Soil sampling technique for band-fertilized, no-till fields with Monte Carlo simulations. **Soil Science Society American Journal.**, 59:1768-1772, 1995.

JORGE, H. D. **Amostragem do solo para análise química.** Porto Velho: Embrapa-UEPAE de Porto Velho, 1986. 11p. (Circular técnica, 8).

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Phosphate uptake and corn root distribution as affected by fertilizer placement and soil tillage. **Agronomy Trends Agrilculture. Science.**, v.1, p.111-115, 1995.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características químicas e físicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 19:395-401, 1993.

KLUTE, A. Water retention laboratory methods. In: KLUTE, A (Ed). Methods of soli analysis: physical and mineralogical methods. 2.ed. **American Society of Agronomy/Soil Science Society of America**, 1986. part 1, p. 635-662.

KRAY, C.H.; SALET, R. L.; ANGHINONI, I. **Variabilidade horizontal e amostragem do solo dirigida no sistema plantio direto.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 6p. (Relatório de Pesquisa).

KURIHARA, C. H.; FABRÍCIO, A. C.; PITOL, C.; STAUT, L. A.; KICHEL, A. N.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; WIETHOLTER, S. In: SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema de plantio direto.** Brasília, Embrapa – Agropecuária Oeste, 1998. p. 135-144.

LINDSAY, W.L. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., (Eds.). Micronutrients in agriculture. Madison: **Soil Science Society of America**, 1972. p.41-57.

LOPES, A. S. **Solos sob “Cerrado”:** características, propriedades e manejo. Piracicaba: Potafos, 162p. 1984.

MACHADO, M. I. C. S.; BRAUNER, J. L.; VIANNA, A. C. T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.3, p.331-336, 1993.

MALAVOLTA, E.; SARRUGE, J. R.; BITTENCOURT, V. C. Toxidez de alumínio e de manganês. In: **IV Simpósio sobre o Cerrado**. Edusp, SP. 1977.

MALAVOLTA, E., KLIEMANN, H. J. **Desordens nutricionais no Cerrado**. Piracicaba: Potafos, 136p. 1985.

MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; GALLO, P.B. Zinco nas folhas de soja em função da calagem. **Bragantia**, Campinas, v.47, n.1, p.137-142, 1988.

MENDONÇA, E. S. ROWEL, D. L. Mineral and organic fractions of two Oxisols and their influence on the effective cation-exchange capacity. **Soil Science Society American Journal**, 60:1888-1892, 1996.

McLEAN, E. O. & BROWN, J. R. Crop response to lime in the midwestern United States. In: ADAMS, F., ed. **Soil acidity and liming**. 2.ed. Madison, ASA/CSSA/SSA, 1984. p.267-304.

MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Dordrecht, Kluwer Academic, 1987. 687p.

MEURER, E.J.; RHEINHEIMER, R.D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E. J. ed. **Fundamentos de química do solo**. 3ª Ed. Porto Alegre:Evagraf, 2006, 285p.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Encarte Técnico Informações Agrônomicas**, 92. 2000.

MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 7(1):95-102, 1983.

MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J., eds. **Atualização em plantio direto**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.147-160.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H., BARROS, N. F., FONTES, R. L. F., CANTARUTTI, R. B., NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017p. 2007.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo – planta. In: NOVAIS et al. (Ed) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.134-204.

OLIVEIRA, F. H. T.; ARRUDA, J. A.; SILVA, I. F.; ALVES, J. C. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e do tipo de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:973-983, 2007.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**., Amsterdam, v. 38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, S. A. Análise foliar. In: SOUZA, D. M. G & LOBATO, E. (Ed). **Cerrado; correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Análise química do solo e recomendação de adubação. In: Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil. Piracicaba: **Instituto do açúcar e do álcool/Planalsucar**, 1983. p.155-178.

PAZ, L. G.; RUSCHEL, A. P.; MALAVOLTA, E. **Efeito do N combinado, do pH e dos níveis de P, Ca, Al e Mn na solução, no crescimento e fixação do N₂ pelo feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.)**. ESALQ 39:189-201. 1982.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V., V. H.; NUNES, F. N. Fluxo difusivo de micronutrientes catiônicos afetado pelo tipo, dose e época de incorporação de adubo verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:997-1006, 2006.

POCKNEE, S. & SUMNER, M. E. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potencial. **Soil Science Society American. Journal.**, 61:86-92, 1997.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo; Piracicaba: Ceres, Potafos, 343p. 1991.

RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Fund. Cargill, Campinas, SP, Julho, 1987.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: [s.n.], 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

REIS, A. C. de S. Climatologia dos Cerrados. In: M. G. FERRI (ed.), **Simpósio sobre o Cerrado**. Ed. Edgar Blucher Ltda, São Paulo, p.15-25, 1971.

ROSOLEM, C. A. Interação do potássio com outros íons. In YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.) **Anais Simpósio sobre potássio na agricultura**. Piracicaba, 2005. 841p.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C. R.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S. P. PICCOLO, M. C.; FIEGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society American Journal**., 65:1486-1499, 2001.

SABBE, W. E.; MARX, D. B. Soil sampling: spatial e temporal variability. In BROWN, J. R. (Ed.). Soil testing: sampling, correlation, calibration and interpretation. Madison: **Soil Science Society of America**, 1987. p. 1-14.

SALET, R. L.; KRAY, C. H.; FORNARI, T. G.; CONTE, E.; KOCHHANN, R. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal e amostragem de solo no sistema de plantio direto. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 1., Lages, 1996. **Resumos Expandidos**. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996, p. 74-76.

SALET, R. L.; NICOLODI, M.; BISSO, F. P. Eficácia do trado holandês na amostragem de solo em lavouras no sistema plantio direto. Nota Técnica. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.11, n.4, p.487-491, out-dez, 2005.

SANTOS, H.L.; VASCONCELLOS, C.A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.2, p.97- 100, 1987.

SANTOS, H.P.; TOMM, G.O. Estudo da fertilidade do solo sob quatro sistemas de rotação de culturas envolvendo trigo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20p.407-414, 1996.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, H. S.; TOMM, G. O.; SPERA, S. T. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27:545-552, 2003.

SCHLINDWEIN, J.A., SALET, R. L.; ANGHINONI, I. Variabilidade dos índices de fertilidade do solo no sistema plantio direto e coletas de amostras representativas do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2.; Caxambu, 1998. **Resumos**, Caxambu, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998, p.265.

SCHLINDWEIN, J.A., ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V.24, p.85 –91, 2000 a.

SCHLINDWEIN, J.A., ANGHINONI, I. Variabilidade vertical do fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p.611-617, 2000 b.

SCHLINDWEIN, J.A., ANGHINONI, I. Tamanho da sub amostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.6, 2002

SHUMAN, L.M.; HARGROVE, L. Effect of tillage on the distribution of manganese, copper, iron and zinc in soil fractions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, n.5, p.1117-1121, 1985.

SILVA, C. A., MACHADO, P.O.L. de A., BERNARDI, A.C. de C., CARMO, C.A.F. de S., VALÊNCIA, L.I.O., ANDRADE, A.G., MEIRELLES, M.S. **Amostragem de solo em área de soja sob plantio direto. Uso de técnicas de agricultura de precisão**. EMBRAPA. Comunicado Técnico 10, Rio de Janeiro, Setembro, 2002.

SILVA, F. C. (Org). **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. EMBRAPA, Brasília, 1999, 370p.

SILVA, F.C.; EIRA, P. A.; BARRETO, W. O.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. A. **Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo**. Embrapa, Outubro, 1998.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. ed. **Fundamentos de química do solo**. 3ª Ed. Porto Alegre:Evangraf, 2006, 285p.

SILVA, M.A.G., MUNIZ, A.S., SENGIK, E., MATA, J.D.V., CARASSINI, C., CEGANA, A.C. Amostragem e variabilidade nos atributos de fertilidade em um Latossolo sob plantio direto em São Miguel do Iguaçu, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum: Agronomy**. Maringá, v.25, n.1, p. 243 – 248, 2003.

SILVA, L.M.V.; PASQUAL, A. Dinâmica e modelagem da matéria orgânica do solo com ênfase ao ecossistema tropical. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.14, n.3, p.13-24, 1999.

SILVA, M. L. S. **Sistema de amostragem do solo e avaliação da disponibilidade de fósforo na fase de implantação do plantio direto**. Piracicaba: USP-ESALQ, 2002. 111p. Dissertação de Mestrado.

SILVEIRA, P. M., ZIMMERMANN, F.J.P., SILVA, S. C., CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial das características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2057–2064, out. 2000.

SILVEIRA, P. M. & STONE, L.F. **Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas**. EMBRAPA. Comunicado técnico 37. Santo Antônio de Goiás, GO, 2002.

SMECK, N. E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. **Geoderma**, Amsterdam, v.36, n.3/4, p.185-199, 1985.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Elsevier Science.**, 74:65-105, 1996.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 416p.

SOUZA D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. O. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS et al. (Ed) **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.206-232.

SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. Universidade, Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992. Tese (Doutorado)

STATSOFT INC. **Statistica software for windows: user's guide**. Statsoft Incorporation, 1990. 293p.

STEVENSON, F. J. & ARDAKANI, M. S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In: MORTVED, J.J.; GIORDANO, P. M. & LINDSAY, W. L., eds. Micronutrients in agriculture. Madison, **Soil Science of America**, 1972. p.79-114.

TEIXEIRA, I R., SOUZA, C. M., BORÉM, A., SILVA, G. F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes formas de preparo de solo. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.119-126, 2003

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M. & MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:271-278, 1997.

TUCCI, C. A. F. **Efeito de corretivo, matéria orgânica e tempo de incubação na capacidade de troca de cátions em solos sob vegetação de cerrado**. Lavras:ESAL, 1981. 106p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1981.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Encarte Técnico Potafos. **Informações Agronômicas** n.90, junho, 2000.

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. **Soil Biology Biochemistry**., 28:617-624, 1996.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE CARBONO EM SOLOS SOB PLANTIO DIRETO NO SUDOESTE GOIANO

RESUMO

A matéria orgânica tem grande influência sobre alguns atributos químicos do solo, como a CTC e a acidez potencial. A textura do solo também apresentou correlação significativa com os teores de matéria orgânica e carbono do solo determinados por diferentes métodos. Para avaliar os métodos de quantificação de carbono e de matéria orgânica foram utilizadas 144 amostras de solo de 12 áreas de produção de grãos da região de Rio Verde - GO. O método de combustão via seca por analisador elementar (C-CHN) foi considerado padrão. Os teores de carbono orgânico obtidos pelo método Yeomans & Bremner (YB) apresentaram correlação significativa com os resultados de carbono total determinado pelo método CHN, independente da textura do solo. Por outro lado, entre os métodos titulométricos, os teores de C orgânico determinados por Walkley - Black (WB) não tiveram correlação significativa com o método padrão em solos de textura arenosa. O método YB apresentou ainda a vantagem de causar menor impacto ambiental por consumir menos dicromato de potássio e ácido sulfúrico. Os resultados obtidos através do método colorimétrico (COL) também apresentaram correlação significativa com os teores de C total (C-CHN), mas o método colorimétrico superestimou o conteúdo de carbono orgânico, sugerindo a necessidade de ajustes na curva padrão. O método de perda de peso por ignição (PPI) apresentou correlações significativas com o método padrão, porém são necessários maiores estudos para diferenciar as perdas de peso ocorridas na fase mineral e na fase orgânica. O método para determinação de carbono na forma de substâncias húmicas (SH) apresentou correlações significativas com os outros métodos de determinação de carbono, exceto em solos arenosos. Em média, o percentual de carbono na forma de ácidos húmicos e fúlvicos correspondeu a 32 % do teor de carbono total encontrado nesses solos. Devido à facilidade de execução e da maior correlação com o método CHN, recomenda-se o método Yeomans e Bremner (YB) para a determinação de carbono orgânico em laboratórios que analisam amostras de solos da região estudada.

Palavras chave: matéria orgânica, substâncias húmicas, perda de peso por ignição, textura, carbono total, carbono orgânico.

CHAPTER 2

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINATION OF CARBON IN THE SOIL UNDER DIRECT SEEDING SYSTEM IN THE SOUTHWEST OF GOIÁS.

ABSTRACT

The organic matter has a great influence over some chemical attributes of the soil, as CTC and potential acidity. The soil texture also presented a significant correlation to the contents of organic matter and carbon in the soil determined by different methods. In order to evaluate five methods of carbon determination and organic matter, 144 samples of soil of 12 areas of grain crops in the region of Rio Verde – GO were used. The method of via-dry combustion by elementary analyzer (C-CHN) was considered standard. The contents of organic carbon obtained by the Yeomans & Bremner (YB) method indicated significant correlation with total carbon results determined by CHN method, independent from soil texture. However, among the titration methods, the contents of organic C determined by Walkley - Black (WB) had no significant correlation to the standard method in sandy soils. The YB method also had the advantage of causing less environmental impact due to the lower consumption of potassium dichromate and sulfuric acid. The results reached by the colorimetric method (COL) also presented significant correlation to the contents of total C, but it overestimated the content of organic carbon, suggesting the need of some adjustments on the standard curve. The method of loss for ignition significant correlation to the standard method, however, more studies are necessary to identify the weight losses that occurred in the mineral and organic phases. The method for carbon determination in the form of humic substances showed significant correlations to other methods of carbon determination, except for sandy soils. In the average, the percentage of carbon in the form of humic and fulvic acids corresponded to 32 % of total carbon content found in these soils. Due to the easiness of accomplishment and the higher correlation to the CHM method, the method Yeomans and Bremner is recommended for carbon determination in the laboratories of the Cerrado region.

Key-words: organic matter, humic substances, weight loss for ignition, texture, total carbon, organic carbon

1. INTRODUÇÃO

A matéria orgânica (MO) tem grande influência na fertilidade e nas propriedades físicas do solo. Ela é fonte de nutrientes para as plantas e contribui para a formação de agregados que determinam a infiltração, retenção de água e susceptibilidade do solo à erosão (GREGORICH et al., 1994). Atua sobre outros atributos, tais como: ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos e estruturação do solo. Solos tropicais, intensamente intemperizados, apresentam como uma das suas principais características químicas a baixa CTC, e nesses solos o teor de matéria orgânica é um fator preponderante na CTC efetiva (BAYER & MIELNICZUK, 1999), podendo em alguns casos chegar a 74 % da mesma (RAIJ, 1969).

A importância da matéria orgânica em solos tropicais pode ser avaliada a partir de estudos de perda de carbono na conversão de áreas nativas em áreas de cultivo. De modo geral, os solos tropicais são bastante intemperizados, predominando uma mineralogia constituída de quartzo, caulinita e sesquióxidos de Fe e Al, o que resulta em baixa fertilidade natural. Por este motivo, uma grande parcela da fertilidade dos solos tropicais está associada à reciclagem da matéria orgânica (TIESSEN & SHANG, 1998), que se constitui no principal fornecedor de nutrientes para as plantas, particularmente N, P e S (CHENG, 1977).

A MO do solo desempenha um papel de suma importância do ponto de vista químico, físico e biológico. A sua origem, as transformações no solo, a composição química e as suas diferentes funções vêm sendo objeto de muitos estudos. O conhecimento de seus teores é fundamental em diversas áreas da Ciência do Solo (CONCEIÇÃO et al., 1999).

O desenvolvimento e uso rotineiro de metodologias confiáveis, práticas e de baixo custo na determinação do C orgânico é de suma importância para o conhecimento do potencial produtivo do solo, assim como na avaliação do sistema de manejo adotado.

Questões relacionadas à poluição causada pelo descarte de resíduos contendo cromo e ácido sulfúrico no ambiente, também tem motivado a busca de métodos alternativos para a determinação da matéria orgânica do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar e relacionar os resultados de carbono total do solo obtidos através do método C-CHN, tido como referência, com os métodos titulométricos Walkley & Black (WB) e Yeomans & Bremner (YB) e com o método de determinação de carbono orgânico por colorimetria (COL), em uso rotineiro pelos laboratórios de análise de solo. O uso potencial de alguns métodos alternativos, como a determinação da MO do solo

através da perda de peso por ignição (PPI) e a determinação do carbono na forma de substâncias húmicas (SH) também foram avaliados em relação ao método padrão (CHN).

2. REVISÃO DE LITERATURA

O carbono orgânico total no solo se encontra tomando parte de três tipos de materiais: formas condensadas de composição próximas do carbono elementar (carvão vegetal, mineral e grafite); resíduos de plantas, animais e microrganismos alterados e bastante resistentes, denominados de húmus; resíduos orgânicos poucos alterados de vegetais, animais e microrganismos vivos e mortos que sofrem decomposição (TABATATAI, 1996).

O procedimento analítico mais comum para realizar a determinação do carbono orgânico do solo, baseia-se na oxidação da matéria orgânica a CO₂ por íons dicromato em meio fortemente ácido, também denominado determinação por via úmida ou por dicromato (MACHADO et al., 2003).

Entre os métodos de determinação de C orgânico via úmida estão o Walkley & Black e Yeomans & Bremner. Baseando-se na premissa que a MO do solo possui 58% de carbono orgânico (SCHOLLENBERGER, 1945; NELSON & SOMMERS, 1996), o índice 1,724 vem sendo utilizado para a conversão do carbono orgânico em matéria orgânica (MACHADO et al., 2003).

Nos métodos de combustão via úmida, a reação de redução do dicromato de potássio (Cr₂O₇) pelos compostos de carbono orgânico do solo pode ser conduzida com aquecimento por 5 minutos (EMBRAPA, 1997), por 30 minutos (YEOMANS & BREMNER, 1988) ou sem aquecimento (WALKLEY & BLACK, 1934). A determinação da quantidade de íons Cr (III) reduzidos pode ser feita indiretamente pela titulação dos íons dicromato em excesso com íons Fe²⁺ (EMBRAPA, 1997), ou pela determinação direta da quantidade de íons Cr (III) por colorimetria (TEDESCO et al., 1985; CANTARELLA et al., 2001). Entretanto, esses métodos apresentam aspectos indesejáveis, entre eles, a contaminação com cromo e ácido sulfúrico dos efluentes laboratoriais.

Os métodos utilizados para determinação de carbono orgânico podem ser classificados em: diferença entre carbono total e inorgânico; pela determinação do C total após remoção do C inorgânico; por redução do dicromato sem uma fonte externa de calor; pela oxidação por

dicromato juntamente com uma fonte externa de aquecimento (NELSON & SOMMERS, 1982).

A determinação do CO do solo por meio de oxidação do ácido crômico tem a vantagem de permitir uma separação satisfatória entre o húmus e as formas fortemente condensadas. Ao produto desta extração denomina-se carbono oxidável, uma vez que a determinação do carbono total do solo (via combustão seca ou com captação de CO₂ desprendido) inclui todas as formas de carbono do solo (MACHADO et al., 2003).

O processo que determina o carbono total do solo através do método C-CHN consiste na oxidação completa do carbono, recuperando e determinando o CO₂ desprendido desta reação. As limitações deste método são o alto custo do equipamento e o registro de algumas formas de carbono inorgânico que eventualmente estejam presentes. Na maioria dos solos tropicais isto pode não apresentar problema, salvo em situações em que se fez uso de calagem ou solos jovens desenvolvidos a partir de rocha calcária (NELSON & SOMMERS, 1982).

O método utilizado para determinar o carbono orgânico do solo na forma de substâncias húmicas (SH) ainda é pouco utilizado nos laboratórios de análise de solo. O procedimento clássico de extração de substâncias húmicas, que fazem parte do carbono total do solo, resulta em três frações principais: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e huminas, sendo que em meio alcalino são extraídos AH e AF, permanecendo a humina ligada à fase mineral (BENITES, 1998).

Os AH e AF são os compostos de maior reatividade e, conseqüentemente, de maior polaridade, sendo que os AF são mais solúveis por apresentarem maior polaridade e menor tamanho molecular (DUCHAUFOR, 1982). Os AH são as substâncias mais estudadas e apresentam pouca solubilidade nas condições de acidez, normalmente, encontradas em solos, sendo responsáveis pela maior parte da CTC da MO em camadas superficiais de solos. A humina consiste de aglomerado de materiais húmicos e não húmicos (RICE & MacCARTHY, 1990) e apesar da baixa reatividade, são responsáveis por mecanismos de agregação de partículas e na maioria dos solos brasileiros representa a maior parte do carbono humificado do solo (BENITES et al. 2003).

A determinação da quantidade de húmus, termo, freqüentemente, utilizado como sinônimo de substâncias húmicas (SH), considerado fração ativa do carbono do solo, é de grande importância como indicador do efeito do manejo ou para estudos de dinâmica do carbono (SWIFT, 2001), em complementação ao teor de carbono orgânico. Além disso, o material humificado tem a habilidade de formar complexos com íons metálicos e com oxihidróxidos, além de interagir com a superfície dos minerais e com uma infinidade de outros

compostos orgânicos. Estima-se que 80 a 90 % da matéria orgânica do solo seja constituída pelas substâncias húmicas (MENDONÇA & MATOS, 2005).

Outra forma de realizar a estimativa de MO do solo é através do método gravimétrico de perda de peso por ignição (PPI), processo no qual o solo é colocado em mufla para a incineração de todo o material orgânico presente na amostra (BALL, 1964; DAVIES, 1974).

Embora em algumas situações o teor de matéria orgânica determinado pelo método de PPI apresente boa correlação com o carbono total presente no solo (GOLDIN, 1987), este método, contudo, apresenta como maior limitação, causar a perda de peso da porção não orgânica do solo (DAVIES, 1974).

SEGNINI et al. (2007) observaram quatro regiões distintas em um gráfico de perda de peso por ignição em amostras de solo submetidas a análise termogravimétrica no intervalo de 250 a 600 ° C. A primeira região mostra a perda de peso referente à água livre ou água de volatilização. Na segunda, é devida à decomposição da MO, principalmente dos grupos funcionais carboxílicos e fenólicos dos ácidos húmicos, fúlvicos, hidrocarbonetos e matéria orgânica volátil. Neste intervalo, a perda de peso também pode ser devida à liberação de compostos orgânicos de baixo peso molecular. A terceira região apresenta a perda de peso principalmente devida à oxidação de carbono da MO. Finalmente, na quarta, a perda de peso é devida à volatilização de água de constituição de hidróxidos metálicos como Al, Fe, Mn e outros. A dificuldade de distinção de perda de água de constituição pelas argilas e a degradação da MO do solo fez com que os resultados obtidos por termogravimetria apresentassem valores bastante dispersos, em função das características de cada solo.

Um bom método, para ser empregado em trabalhos de rotina, deve de ser rápido, prático, dispensar o uso de equipamentos sofisticados e apresentar boas características, no que se refere aos conceitos de exatidão, precisão e reprodutividade. Por exatidão entende-se o grau de aproximação do resultado obtido em relação ao valor real, ou daquele obtido com um método tido como padrão. A precisão refere-se à repetitividade dos resultados obtidos dentro de uma mesma série analítica. Já a reprodutividade é a repetitividade dos resultados entre diferentes séries analíticas (DIAS et al., 1991).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas 144 amostras de solo obtidas em 12 fazendas da região de Rio Verde/GO. Todas elas foram retiradas após a colheita da soja em áreas com períodos de adoção de plantio direto que variaram de 2, 5 e 10 anos.

A determinação do carbono total pelo método CHN foi realizado na EMBRAPA Solos do Rio de Janeiro, utilizando-se um analisador Perkin Elmer 2400 CHNS. Todos os métodos utilizaram as mesmas amostras de solo, desagregadas por almofariz e passadas em peneira de 60 mesh.

Os resultados da determinação de carbono orgânico pelos métodos Walkley-Black conforme descrito por DEFELIPO & RIBEIRO (1996) (WB) e pelo método Colorimétrico (COL) (RAIJ et al., 1987) foram obtidos, respectivamente, nos laboratórios da Universidade de Rio Verde (FESURV) e da Cooperativa COMIGO, ambos utilizados em procedimento de rotina.

Adicionalmente, realizou-se a determinação do teor de carbono orgânico pelo método titulométrico Yeomans & Bremner (YEOMANS & BREMNER, 1988) (YB). Para tanto, as alíquotas das amostras de solo variaram de 0,3 g (amostras de 1 a 84), 0,5 g (amostras 85 a 108) e 0,7 g (amostras 86 a 144). A oxidação da matéria orgânica foi realizada em temperatura controlada de 150° C por 30 minutos.

A estimativa do teor de matéria orgânica do solo pelo método gravimétrico de perda de peso por ignição (PPI), descrito por DAVIES (1974), foi realizada após a queima das amostras de solo em mufla a 650° C por 3 horas (PPI).

O carbono na forma de substâncias húmicas (SH), compreendendo o somatório das frações ácidos húmicos e fúlvicos, foi extraído seguindo metodologia descrita por BENITES (2003 b). A separação entre o extrato alcalino e o resíduo ocorreu por filtragem à vácuo em filtro de nitro celulose com malha de 0,45 µm. Extratos de 2 mL da alíquota foram transferidos para tubo de digestão, adicionando-se 1 mL de dicromato de potássio 0,25 N e 10 mL de ácido sulfúrico PA. Após digestão a 150° durante 30 min, a titulação foi realizada com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 N.

O agrupamento de amostras de solo, segundo sua classificação textural, seguiu recomendação da EMBRAPA (1988). Representando solos com textura média, foram selecionadas 36 amostras com menos de 35% de argila e os solos argilosos e muito argilosos, 108 amostras com mais de 35% de argila.

Nos anexos 1, 2, 3, 4 e 5 encontram-se os procedimentos detalhados dos métodos WB, COL YB, PPI e SH, respectivamente.

As análises descritivas, as correlações e regressões lineares entre os métodos de determinação de carbono, as correlações entre métodos para determinação de carbono e atributos do solo foram realizadas com o programa STATISTICA (STATSOFT Inc., 1990). Para comparação do teor de carbono (teste F) entre as amostras utilizou-se o programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relações entre os teores de carbono determinados pelos métodos em estudo

Em todos os métodos avaliados, os solos com mais de 35 % de argila apresentaram maior conteúdo de carbono total, carbono orgânico, carbono na forma de substâncias húmicas e matéria orgânica, sendo que o teor de argila parece ter influenciado diretamente o conteúdo de carbono presente no solo (Tabelas 15). Estes resultados concordam com os relatos de ROSCOE et al. (2000), no qual atribuem o maior teor de MO em solos argilosos devido à presença de altos teores de oxi-hidróxidos de Fe e Al que complexariam a MO, estabilizando-a.

Tabela 15. Teores médios de carbono orgânico (WB, COL, YB), carbono total (CHN), matéria orgânica (PPI) e carbono na forma de substâncias húmicas (SH) em função da textura do solo

Método	Argila < 35 % (n = 36)	Argila > 35 % (n = 108)
WB	7,04 b	18,97 a
COL	12,10 b	26,20 a
YB	9,95 b	22,65 a
CHN	11,78 b	25,68 a
PPI	26,48 b	115,84 a
SH	3,83 b	8,20 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si (Tukey 5 %).

Existem evidências bastante amplas que indicam uma estreita relação entre argila e carbono orgânico em solos com umidades e regimes de temperaturas semelhantes (KAY et

al., 1997), (TAN et al. 2004). ZINN et al. (2005) também encontraram significativa relação linear entre concentração de carbono orgânico com argila e silte do solo.

O maior conteúdo de MO e, conseqüentemente, de carbono orgânico nos solos argilosos, ocorre devido à proteção exercida pelas interações estruturais, com o alojamento dos constituintes orgânicos dentro dos microporos dos agregados do solo, denominada proteção física. Ao mesmo tempo, as interações entre os compostos orgânicos e os colóides minerais, produzem uma proteção bastante efetiva e prolongada, sendo esta denominada proteção química ou MO coloidalmente protegida (DUXBURY et al. ,1989).

De uma forma geral, os coeficientes de variação (CV) obtidos (Tabela 16) são elevados em função da grande variação nos teores de C observados. Considerando-se que a precisão refere-se à repetitividade dos resultados obtidos dentro de uma mesma série analítica, o método colorimétrico é o mais preciso entre os métodos testados devido ao menor C V.

Todos os métodos avaliados apresentaram correlações significativas com os teores de C determinados pelo método padrão C-CHN, considerando o conjunto total das amostras ou as amostras com mais de 35 % de argila. Entretanto, estes resultados não se repetiram quando foram consideradas apenas as amostras de solo com menos de 35 % de argila (Tabela 17), o que demonstra deficiência de alguns métodos na determinação de carbono orgânico em solos desta classe textural.

Os métodos titulométricos (WB e YB) para determinação de carbono orgânico do solo, apesar de trabalhosos e da menor precisão em relação ao método via seca de analisadores automáticos (C-CHN), são bastante utilizados por diversos laboratórios no Brasil.

Entretanto estes métodos são aproximativos porque admitem que todo C orgânico possui valência zero e são passíveis de interferências pela oxidação ou redução de alguns constituintes do solo como Cl^- , Fe^{2+} e MnO_2 (NELSON & SOMMERS, 1982).

Apresentam ainda a indesejável característica de serem poluidores por lançarem o elemento cromo e ácido sulfúrico no ambiente.

O método WB, apesar de largamente utilizado pelos laboratórios de análise de solo, não se mostrou eficiente na determinação de C em solos com baixo conteúdo de matéria orgânica. Além da menor precisão, este método também foi menos exato na determinação de carbono orgânico das amostras de solo com menos de 35 % de argila, pois não apresentou correlação significativa com os métodos em estudo, inclusive com os teores de C obtidos com o método padrão CHN (Tabela 17).

Resultados semelhantes foram obtidos por SILVA et al. (1999). Segundo estes autores, o método WB subestimou o conteúdo de carbono orgânico em 42%, 26% e 41%, respectivamente, para Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Húmico, quando comparado ao carbono total obtido com o método CHN, pois frações orgânicas resistentes como carvão presente no solo e humina não são oxidados pelo dicromato de potássio (NELSON & SOMMERS, 1982).

SEGNINI et al. (2007) também obtiveram resultados menores de carbono orgânico ao compararem o método WB com o analisador elementar (CHN) que determinou o teor de carbono total via seca, confirmando que WB não foi capaz de oxidar as formas de carbono do solo que se encontravam mais protegidas ou complexadas com a fração mineral do solo, ocorrendo apenas uma oxidação parcial da MO, excluindo carvão e carbonatos.

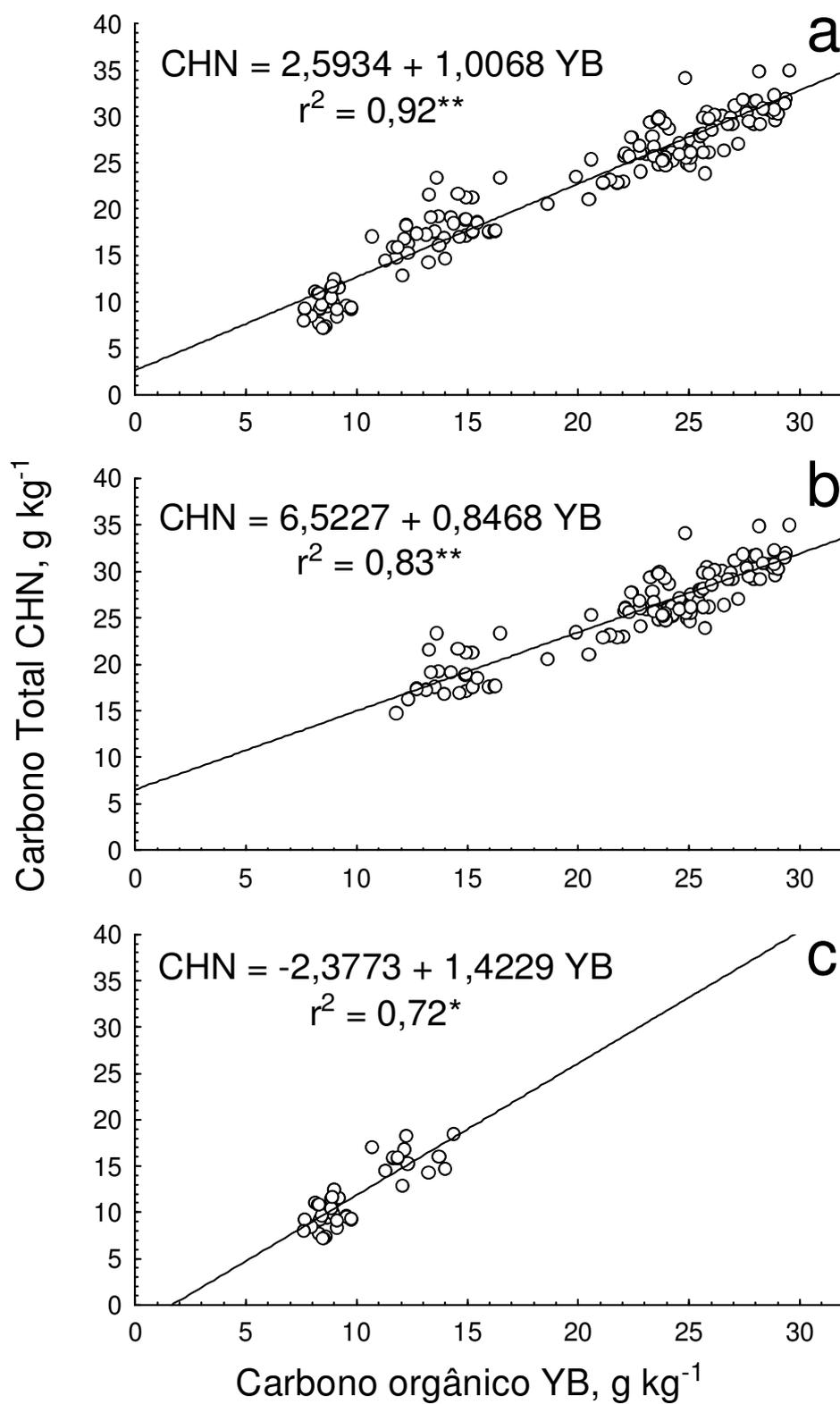
Tal fato pode ser atribuído, pelo menos em parte, à oxidação do carbono orgânico sem o fornecimento de uma fonte externa de calor. Por este motivo, parte da MO presente nas amostras não foi oxidada, consumindo uma pequena quantidade de íons Cr (III). O fator de recuperação do método (0,77) não foi o suficiente para corrigir esta distorção, principalmente nos solos mais arenosos e com menores teores de MO.

A oxidação parcial da MO por WB pode fazer com que os teores de carbono orgânico determinados por esse método sejam subestimados. A utilização de um fator de recuperação único para ajustes nos valores obtidos pode causar distorções, subestimando alguns valores e superestimando outros (BENITES et al 2004).

Por outro lado, PÉREZ (2001) comparou o conteúdo de carbono orgânico medido pelo método titulométrico da Embrapa de oxidação do carbono por uma solução ácida de dicromato de potássio e o teor de carbono total (C-CHN) em 19 solos brasileiros muito intemperizados, demonstrando que não houve diferença significativa entre os valores obtidos.

Apesar dos métodos WB e YB serem titulométricos, os resultados obtidos foram distintos, principalmente em solos com menos de 35 % de argila. Nesta condição, o método YB, diferentemente de WB, apresentou correlação significativa com o método de determinação de carbono total (CHN).

A avaliação dos resultados obtidos com o método titulométrico YB permite afirmar que este foi o mais exato entre os métodos estudados porque apresentou a melhor correlação com método padrão C-CHN de determinação de C total do solo (Tabela 17). Os modelos preditivos nos quais os teores de C total são estimados em função do carbono orgânico também demonstraram as relações significativas entre eles (Figuras 12a, 12b e 12c).



*, ** significativo a 1,0 e 0,1 % respectivamente.

Figura 12: Relações entre os métodos de determinação de carbono orgânico (YB) e carbono total (CHN) com todas as amostras de solo (Figura 12 a), amostras de solo com mais de 35 % de argila (Figura 12 b) e amostras de solo com menos de 35 % argila (Figura 12 c).

Tal fato pode ser atribuído ao fornecimento de uma fonte externa de calor com a finalidade de maximizar a oxidação do carbono orgânico do solo (YEOMANS & BREMNER, 1988), evitando, assim, a utilização dos nem sempre adequados fatores de correção, quando do emprego de métodos que não utilizam uma fonte externa de calor, como o WB (DIAS et al., 1991).

Na execução do método YB, além do fornecimento de uma fonte externa de calor, procedeu-se também o controle da alíquota, utilizando-se maior quantidade de solo nas amostras com menor teor de argila, mantendo o consumo de sulfato ferroso amoniacal utilizado na titulação do dicromato, próximo ao centro da faixa. Estes procedimentos resultaram em valores mínimos de carbono orgânico mais próximos aos obtidos com o método CHN, independente da textura do solo. Os teores máximos também são coerentes, uma vez que não ocorreram valores superiores aos obtidos pelo método CHN (Tabela 16).

Na prática, além da maior correlação com o conteúdo de carbono total (CHN), o método YB apresentou a vantagem de ser mais eficiente que os outros métodos de determinação de carbono orgânico por via úmida, consumindo menor quantidade de dicromato de potássio e ácido sulfúrico na oxidação do carbono orgânico. A utilização do Ferroin em substituição à difenilamina como indicador, também proporcionou melhor visualização do ponto de viragem na titulação das amostras.

Os métodos descritos por RAIJ et al. (1987) se baseiam na oxidação da MO com uma solução ácida de dicromato, no qual o método WB é o padrão para o método COL, sendo este, conseqüentemente, menos preciso (DIAS et al., 1991). O método COL, que apresentou correlações significativas com a maioria dos métodos, inclusive com o CHN, independente da textura do solo (Tabela 17), difere dos métodos titulométricos porque a determinação do excesso de dicromato em solução é feita por colorimetria. Necessita, portanto, do estabelecimento de uma curva padrão, que neste caso baseia-se em resultados obtidos em amostras analisadas pelo método WB. Sendo assim, os resultados de carbono orgânico obtidos pelos métodos WB e COL deveriam ser próximos, o que na realidade não ocorreu.

As quantidades máximas e mínimas de carbono orgânico, independente da textura do solo, foram mais elevadas quando foi utilizado o método COL, mesmo quando comparadas ao método CHN que determinou o carbono total do solo (Tabelas 16). Problemas ocorridos na calibração da curva padrão (COL) podem ter contribuído para as variações dos resultados observadas entre estes métodos.

A correlação entre os métodos COL e CHN foi menor que a obtida entre este e o método YB, independente da textura do solo (Tabela 17). Resultados semelhantes foram

encontrados por DIAS et al. (1991), demonstrando que o método YB foi mais exato na determinação do carbono orgânico do solo. Porém, em trabalhos de rotina, a facilidade para execução do método colorimétrico em relação ao titulométrico pode compensar sua menor correlação com o método padrão CHN.

A determinação do teor de matéria orgânica do solo sem a utilização de reagentes químicos, foi realizada através do método gravimétrico ou método de perda de peso por ignição (PPI).

Entretanto, o método de PPI mostrou-se sensível à textura do solo, uma vez que nos solos com mais de 35 % de argila ocorreu maior dispersão dos teores de matéria obtidos através do método de PPI (Figura 13).

DAVIES (1974) demonstrou que em solos tropicais perdas significativas de peso devido à dehidroxilação de argilas podem ocorrer em temperaturas superiores a 350 ° C, sendo que a gibbsita pode perder até 35 % de sua água estrutural em temperaturas próximas a 300 ° C, representando grandes erros na determinação de matéria orgânica através do método PPI.

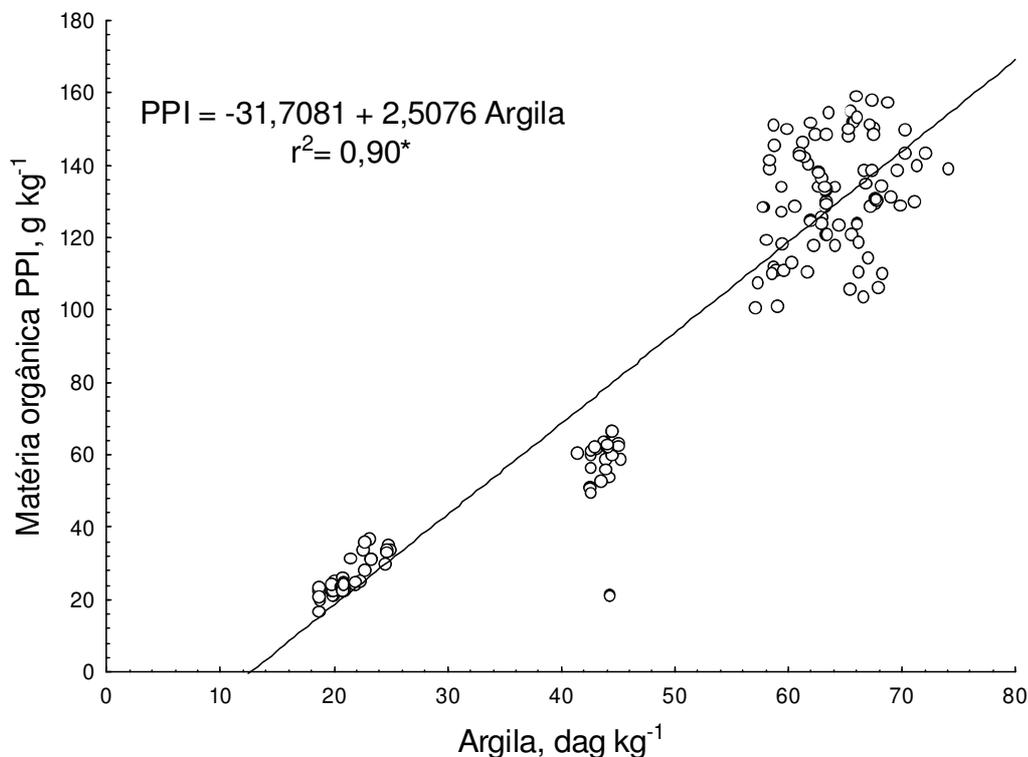
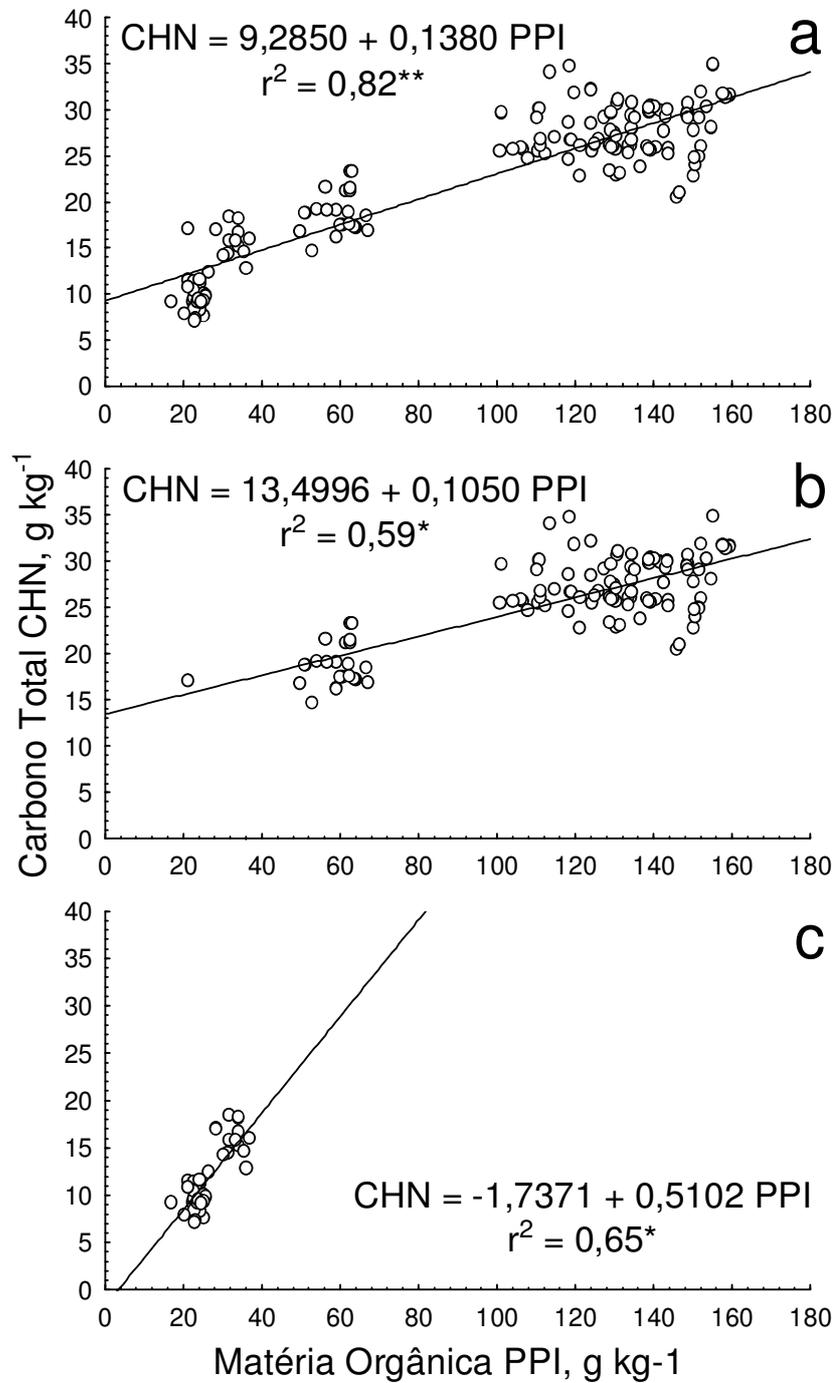


Figura 13: Relação entre a matéria orgânica estimada por calcinação (PPI) e textura do solo.

Apesar das limitações, com a utilização deste método, foi possível estimar os teores de matéria orgânica com 82 % de chance de acerto em relação ao carbono total do solo determinado pelo CHN, considerando todas as amostras de solo (Figura 14 a).



*,** significativo a 1,0 e 0,1% respectivamente

Figura 14. Relações entre a matéria orgânica do solo estimada por calcinação (PPI) e o carbono total do solo (CHN) incluindo todas as amostras de solo (Figura 14 a), em amostras com mais de 35 % de argila (Figura 14 b) e com menos de 35 % de argila (Figura 14 c).

Os teores de matéria orgânica determinados pelo método PPI mostraram maior dispersão dos resultados em solos com mais de 35 % de argila (Figura 14 b), confirmando que as perdas de peso provocadas pela calcinação não se limitaram unicamente à incineração da matéria orgânica, envolvendo também algumas formas inorgânicas e água estrutural por minerais de argila (BALL, 1964).

Contudo, em solos orgânicos, o fator de correção de carbono orgânico em MO próximo a 1,724 e o elevado coeficiente de determinação entre os métodos CHN e PPI ($R^2 = 0,93$), demonstram a alta relação entre os métodos neste tipo de solo (PEREIRA et al. 2006).

O método que apresentou a maior correlação com PPI foi YB (Tabela 17), sendo que o modelo de regressão linear entre eles (Equações 1 e 2) ficaram mais ajustadas após a inclusão da variável argila na equação de regressão (Equações 3 e 4), concordando com os resultados obtidos por GREWAL et al. (1991), que encontraram um modelo preditivo mais adequado ao considerarem o teor de argila como variável independente.

$$\text{Argila} < 35 \%: \quad \text{PPI} = 2,4419 + 2,4171\text{YB} \quad R^2 = 0,83 \quad (\text{Eq 1})$$

$$\text{Argila} > 35 \%: \quad \text{PPI} = -10,5276 + 5,6011\text{YB} \quad R^2 = 0,72 \quad (\text{Eq 2})$$

$$\text{Argila} < 35 \%: \quad \text{PPI} = -11,4668 + 1,6264\text{YB} + 0,1025\text{Arg} \quad R^2 = 0,88 \quad (\text{Eq 3})$$

$$\text{Argila} > 35 \%: \quad \text{PPI} = -60,3954 + 2,5553\text{YB} + 0,2111\text{Arg} \quad R^2 = 0,80 \quad (\text{Eq 4})$$

O peso do componente “argila” sobre os resultados de PPI foi de 0,221 e 0,1025 para solos argilosos e arenosos. BENITES (1998) encontrou valor de 0,2273 para o mesmo índice ao estudar solos gibbsíticos, obtendo assim melhor ajuste da curva entre a PPI e carbono orgânico total após incluir a argila como variável independente. Isso demonstra que a mineralogia da fração argila e não somente o teor de argila, influencia os resultados de perda de peso por ignição.

Apesar do baixo custo e menor impacto ambiental, os resultados obtidos através do método de perda por ignição (PPI) só podem ser utilizados como metodologia de determinação de matéria orgânica do solo quando a matriz mineral for homogênea entre as amostras.

Enquanto os métodos titulométricos (WB e YB) e colorimétrico (COL) visam à quantificação do teor de C orgânico do solo, o método de determinação de substâncias húmicas teve o propósito de medir a MO ativa e facilmente decomponível do solo, o que inclui húmus e resíduos de plantas e animais, excluindo formas mais condensadas de carvão.

Em solos minerais, 90 a 95 % do carbono do solo é oxidado e medido por estes processos (RAIJ et al., 1987).

As quantidades de substâncias húmicas obtidas nas amostras de solo da região de Rio Verde foram muito inferiores aos 80 % da matéria orgânica do solo (Tabela 16), conforme citado por MENDONÇA & MATOS (2005). Este resultado pode ser atribuído à porção húmica não determinada na titulação e também à baixa eficiência do método em extrair adequadamente as substâncias solúveis em álcali. Por outro lado, este método teve a grande vantagem de utilizar pequenas quantidades de cromo e ácido sulfúrico, causando menor impacto ambiental.

As correlações entre o método de determinação de substâncias húmicas (SH) e os outros métodos foram significativas quando todas as amostras de solo estavam incluídas (Tabela 17). Em solos com teor de argila superior a 35 %, as correlações também foram elevadas, porém nas amostras com argila inferior a 35 %, não foram observadas correlações significativas deste método com os demais, inclusive com o método padrão CHN.

Os resultados encontrados são coerentes com as conclusões de BENITES et al. (2000) ao relatarem que os solos de textura argilosa a muito argilosa apresentam um teor mais elevado de carbono, especialmente na forma de ácidos fúlvicos. A presença de argilo-minerais no solo, em especial os oxi-hidróxidos com alta capacidade de troca aniônica, favorecem a fixação dos compostos solúveis, agindo como filtro e impedindo a percolação destes compostos para o lençol freático. A baixa capacidade de retenção de ácidos fúlvicos em solos arenosos pode ser a causa da baixa correlação entre SH e os outros métodos em estudo.

Todos os métodos avaliados apresentaram correlação significativa com o método padrão de análise elementar para determinação do carbono total (Tabela 17). Os modelos de regressão onde se considerou a quantidade de carbono total determinada pelo método CHN como dependente do carbono orgânico (métodos WB, YB e COL) e da matéria orgânica (método PPI) estão representados na Tabela 18. O objetivo deste procedimento foi gerar modelos preditivos, quantificar a equivalência dos métodos em estudo ao padrão e a dispersão dos dados observados. Nos modelos gerados, os métodos que melhor se relacionaram com o padrão foram aqueles que apresentaram o coeficiente “a” mais próximo a zero e coeficiente “b” de 1.

Pelos intervalos de confiança (ICa e ICb), verificou-se que o coeficiente “a” diferiu significativamente de zero para todos os métodos e o valor de “b” não diferiu de 1 apenas no método YB, apresentando também o mais alto coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 18. Equações de regressão linear entre os métodos de determinação de carbono com seus respectivos intervalos de confiança (95 %) para os parâmetros intercepto (ICa) e declividade (ICb) e coeficientes de determinação (R^2) (n=144).

Métodos	Equação	ICa 95 %	ICb 95 %	R^2
CHN x YB	CHN = 2,5934** + 1,0069** YB	1,5797 - 3,6071	0,9580 - 1,0558	0,92**
CHN x COL	CHN = 1,3637* + 0,9189** COL	0,0548 - 2,6726	0,8641 - 0,9736	0,89**
CHN x WB	CHN = 9,1406** + 0,8171** WB	7,7158 - 10,5653	0,7369 - 0,8970	0,74**
CHN x PPI	CHN = 9,2935** + 0,1380** PPI	8,1592 - 10,4279	0,1273 - 0,1488	0,82**

* significativo ao nível de 1% de probabilidade, ** significativo ao nível de 0,1% de probabilidade

Estes resultados confirmaram a coerência entre os teores de carbono determinados pelo método CHN e YB ao se utilizar todas as amostras de solo (Figura 12 a), demonstrando que o método YB foi o que melhor representou o teor de carbono oxidável do solo.

Entretanto, quando as amostras foram separadas por classe textural, os resultados foram menos precisos, em parte devido ao menor número de amostras envolvidas e também à menor precisão dos métodos via úmida na determinação do carbono orgânico em solos com menos de 35 % de argila (Figura 12 b e 12 c).

4.2. Relações entre os métodos de determinação de carbono e alguns atributos do solo

Os atributos do solo estudados em relação aos métodos de determinação de carbono foram pH, CTC e acidez potencial (H + Al). O pH dos solos amostrados variou de 4,70 a 5,90, sendo que os valores extremos foram encontrados nos solos com mais de 35 % de argila. A CTC também apresentou grande variação entre as classes texturais, sendo que o menor valor ($4,29 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi obtido nos solos com menos de 35 % de argila e o maior ($11,70 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), nos solos com mais de 35 % de argila (Tabela 19).

A CTC mais elevada dos solos com mais de 35 % de argila (Tabela 19) pode ser explicada, em parte, devido à carga dos colóides inorgânicos originada no momento de formação do mineral. Contudo, a elevada CTC da matéria orgânica do solo em relação aos componentes minerais explica sua importância para a CTC dos solos tropicais, que é devida em grande parte ao maior conteúdo de matéria orgânica dos solos argilosos (RAIJ, 1969) e à alta densidade de cargas formadas a partir da dissociação de grupos carboxílicos e fenólicos que a fração orgânica do solo apresenta (SPOSITO 1989). Em Latossolos brasileiros, mais da metade da CTC é proveniente da fração orgânica, o que demonstra a importância do manejo

do solo na manutenção ou aumento dos estoques de MO em solos com argila de baixa atividade (KLAMT & SOMBROEK, 1988).

Tabela 19. Valores dos atributos do solo estudados em relação aos métodos de determinação de Carbono do solo

Variável	Todos (n = 144)			Argila < 35 % (n = 36)			Argila > 35 % (n = 108)		
	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx
pH	5,18	4,70	5,90	5,21	4,80	5,60	5,17	4,70	5,90
H+Al *	3,59	1,50	6,10	2,21	1,50	3,40	4,06	2,70	6,10
CTC *	7,80	4,29	11,70	5,20	4,29	6,98	8,68	6,11	11,70

* cmolc dm⁻³

Portanto, a CTC do solo pode ser aumentada em sistemas de manejo que proporcionem o incremento dos estoques de carbono orgânico. Conseqüentemente, sistemas que contribuem com o aporte e manutenção da matéria orgânica, tal como o sistema plantio direto, são os que apresentam maior CTC em comparação ao mesmo solo com sistemas de manejo menos conservacionista (CIOTTA et al., 2003).

Em função disto, alguns atributos do solo, como textura e CTC, apresentaram correlações significativas com os teores de carbono obtidos com os diferentes métodos utilizados na determinação de carbono do solo (Tabela 20). Estes resultados podem ser explicados pela maior proteção que os minerais de argila proporcionaram à MO, refletindo também na maior CTC que estes solos possuem, uma vez que grande parte da CTC dos solos tropicais é devida à MO do solo (BAYER & MIELNICZUK, 1999). A porção areia do solo teve correlação inversamente significativa com os teores de carbono de todos os métodos, o que vem confirmar estas afirmações.

A acidez do solo refere-se à concentração dos íons H⁺ na solução do solo, sendo que sua medida expressa pelo pH apresentou correlações significativas com os teores de C (Tabela 20) apenas nos solos com mais de 35 % de argila devido à maior influência da matéria orgânica neste atributo do solo. A ionização do hidrogênio (H) de ácidos carboxílicos, fenólicos e álcoois da MO contribuíram para a acidez do solo. Entretanto, em condições de acúmulo de MO e no estágio final de mineralização, a oxidação libera elétrons e bases que se encontravam imobilizados nos tecidos, podendo ocasionar um aumento no pH (NOVAIS et al., 2007).

A acidez potencial é um bom estimador do poder tampão hidrogeniônico dos solos, sendo este definido como a resistência que os solos apresentam à mudança de pH, quando ácido ou base é adicionado (NOVAIS et al. 2007).

Nas condições de solos tropicais intemperizados, a acidez potencial corresponde às substâncias ou compostos que liberam íons H^+ para a solução do solo, causando acidificação do meio (BISSANI et al., 2006).

Os grupos funcionais da matéria orgânica do solo apresentam a característica de se dissociarem liberando H^+ no meio (SILVA et al., 2006), justificando as correlações significativas entre os teores de carbono obtidos com os diferentes métodos e a acidez potencial do solo, principalmente nos solos com menos de 35 % de argila. Como estes solos apresentam um baixo poder tampão, a MO do solo foi responsável por grande parte deste atributo.

5. CONCLUSÕES

O método de perda de peso por ignição (PPI) tem grande potencial de ser utilizado na determinação de matéria orgânica em amostras de solo com a mesma matriz mineral, por ser um método simples, prático e não gerar resíduos tóxicos. Porém é necessário que seja estabelecida uma curva de correlação com o método padrão de determinação de carbono, considerando o teor de argila da amostra.

O método WB mostrou-se pouco confiável na determinação de carbono orgânico em amostras de solo com menos de 35 % de argila. Este resultado pode ser atribuído à ausência de uma fonte externa de calor durante o processo de oxidação da matéria orgânica e à alíquota fixa de amostra de solo utilizada na análise.

Recomenda-se o método YB para a determinação de carbono nos solos da região estudada devido às correlações significativas que este método apresentou com os teores de C total determinados pelo método CHN, independente da textura da amostra do solo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BALL, D. F. Loss on ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. **Journal of Soil Science.**, Baltimore, v. 15, p.84-92, 1964.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, **Gênesis**, 1999. p.9-26.

BENITES, V. M. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira.** Viçosa:UFV, 1998. 123p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SANTOS, F. S. **Comparação de métodos de determinação de carbono por via úmida e solos tropicais.** Embrapa. Circular Técnica 27. Rio de Janeiro, Dezembro, 2004.

BENITES, V. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S. **Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas como auxiliar na identificação de diferentes solos da região sul do Brasil.** VI Reunião de classificação, correlação e aplicação de levantamentos de solos. Colombo: Embrapa Florestas / Rio de Janeiro: Embrapa Solos / Campinas: IAC, 2000. 222p.

BENITES, V. M.; MADAR, B.; MACHADO, P. L.O de A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo. Um procedimento simplificado de baixo custo.** Embrapa. Comunicado Técnico 16. Rio de Janeiro, RJ, outubro, 2003.

BISSANI, C. A.; MEURER, E. J. & BOHNEN, H. Solos ácidos e solos afetados por sais. In: MEURER, E. J. ed. **Fundamentos de química do solo.** 3ª Ed. Porto Alegre:Evangraf, 2006, 285p

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V. Determinação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. Cap. 9, p. 173-180.

CHENG, B.T. Soil organic matter as a plant nutrient. In: **Symposium on soil organic matter studies**, v.1, 1977, Vienna. Soil organic matter studies. Austria: IAEA, 1977. p.31-39.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R. & ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, 33:1161 – 1164, 2003.

CONCEIÇÃO, M.; MANZATTO, C. V.; ARAUJO, W. S.; MARTIN NETO, L.; SAAB, S. C.; CUNHA, T. J. F.; FREIXO, A. A. **Estudo comparativo de métodos de determinação do teor de matéria orgânica em solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro**. Pesquisa em andamento. Embrapa Solos, n.3, p.2, 1999.

DAVIES, B. E. Loss on ignition as an estimative of soil organic matter. **Soil Science Society. American**, Madison, v.38, p.150-151, 1974.

DEFELIPO, V. B.; RIBEIRO, A. C. **Análise Química do Solo (Metodologia)**. Boletim de Extensão. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1996.

DIAS, L. E.; JUCKSCH, I.; RICCI, M.S.; ALVAREZ V. H. Comparação de diferentes métodos de determinação de carbono orgânico em amostras de solos. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, 15:157-162, 1991.

DUCHAUFOR, P. **Pedology: pedogenesis and classification**. London: George Allen & Unwin, 1982. 187 p.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W.; JORDAN, C.; SZOTT, L.; VANCE, E. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C. et al., eds. **Dynamics of soil organic matter in tropical systems**. Honolulu, University of Hawaii/ NIFTAL Project, p.33-67, 1989

ESCOSTEGUY, P. A. V.; GALLIASSI, K.; CERETTA, C. A. determinação de matéria orgânica do solo pela perda de massa por ignição, em amostras do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:247-255, 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FERREIRA, D.F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0**.

In.45^a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, Julho de 2000. p.255-258.

GOLDIN, A. Reassessing of the use of loss on ignition for estimating the organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. New York, v.17, p.885-892, 1987.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M. & LLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Can. J. Soil Sci.**, 367-375, 1994.

GREWAL, K. S., BUCHAN, G. D., SHERLOCK, R. R. A comparison of three methods of organic carbon determination in some New Zealand soils. **Journal Soil Science.**, London, v.42, p.251-257, 1991.

KAY, B. D.; SILVA, A. P.; BALDOCK, J. A. Sensitivity of soil structure to changes in organic carbon content: predictions using pedotransfer functions. **Canadian Journal Soil Science**. 77, 655-667. 1997.

KLAMT, E.; SOMBROEK, W.G. Contribution of organic matter to exchange properties of oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1986, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA/ SMSS/AID/UPR. 1988. Parte 1, p.64-70.

KERVEN, G.L.; MENZIES, N.W.; GEYER, M.D. Soil carbon determination by high temperature combustion – a comparison with dichromate oxidation procedures and the influence of charcoal and carbonate carbon on the measured value. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, v.31, p.1935-1939, 2000.

MACHADO, P. L. O de A.; CAMPOS, A. C.; SANTOS, F. S. **Métodos de preparo de amostras e de determinação de carbono em solos tropicais**. Circular Técnica 19, Rio de Janeiro, Dezembro, 2003.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Ponte Nova: D&M Gráfica e Editora Ltda, 2005. 107p.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. **American Society of Agronomy.**, Madison, v. 9, p.539-577, 1982.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D.L. et al. (Eds). **Methods of soil analysis: chemical methods. Part 3**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.961-1010.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTURATTI, R. B.; NEVES, J. C. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S.; ANJOS, L. H. C.; BENITES, V. M.; ESPÍNDULA Jr. A.; EBELING, A. G. Organic carbon determination in histosols and soils horizons with high organic matter content from Brazil. **Science Agriculture**. v.63, n.2, p.187-193, Mar/Apr. 2006.

PÉREZ, D.V.; ALCÂNTARA, S.; ARRUDA, J.; MENEGHELLI, N.A Comparing two methods for soil carbon and nitrogen determination using selected Brazilian soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p.295-309, 2001.

RAIJ, B. A capacidade de troca de cátions das frações orgânicas e mineral em solos. **Bragantia**, Campinas, v.28, n.8, p.85-112, 1969.

RAIJ, B.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. Análise química do solo para fins de fertilidade. **Fundação Cargill**, Campinas, SP, Julho, 1987.

RICE, J. A.; MacCARTHY, P. A model of humin. **Environmental Science and Biotechnology**, New Orleans, v. 24, p. 1875-1877, 1990.

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

ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J. Disruption of soil aggregates by varied amounts of ultrasonic energy in fractionation of organic matter of a clay latossol: carbon, nitrogen and ¹³C distribution in particle-size fractions. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 51, p.445-454, 2000

SEGNINI, A.; SANTOS, L. M.; SILVA, W. T. L.; MARTIN-NETO, L.; BORATO, C. E.; MELO, W. J.; BOLONHEZI, D. Estudo comparativo de métodos para determinação da concentração de carbono em solos com altos teores de Fe (Latosolos). **Química Nova**, v.XY, n.00, 1-x, 2007.

SCHOLLENBERGER, C.J. Determination of soil organic matter. **Soil Science**, Baltimore, v.59, p.53-56, 1945.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; ABREU JÚNIOR, J. S. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **R. Un. Alfenas**. Alfenas, 5:21-26, 1999.

SILVA, L. S. ; CAMARGO, F. A. O. & CERETTA, C. A. Composição da fase sólida do solo. In: MEURER, E. J. ed. **Fundamentos de química do solo**. 3ª Ed. Porto Alegre:Evangraf, 2006, 285p

STATSOFT INC. **Statistica software for windows: user's guide**. Statsoft Incorporation, 1990. 293p.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. Oxford : Oxford University, 1989. 222p.

SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 166, p. 858-871. 2001.

TABATABAI, M. A. Soil organic matter testing: an overview. In: MAGDOFF, F. R.; TABATABAI, M. A.; HANLON JR, E. A. (Ed.). Soil organic matter: analysis and interpretation. Madison: **Soil Science Society of America**, 1996. p. 1-9. (SSSA. Special Publication, 46).

TAN, Z. X.; LAL, R.; SMECK, N. E.; CALHOUN, F. G. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables. **Geoderma** 121:187-195. 2004

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J., BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS - Departamento de Solos, 1985. 188 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

TIESSEN, H.; SHANG, C. Organic matter turnover in tropical land use systems. In: BERGSTRON, L.; KIRCHMAN, H. **Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural ecosystems**. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1998. p.1-14.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934.

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

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, 127:168-173, 2005

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fertilidade da grande maioria dos solos da região dos Cerrados é naturalmente muito baixa, tendo a disponibilidade do elemento P, a baixa saturação por bases e a presença de Al tóxico como as principais limitações, no aspecto químico, para o desenvolvimento da atividade agrícola.

A implantação do sistema plantio direto permitiu que muitas áreas, antes ocupadas por pastagens ou culturas de subsistência, entrassem no processo intensivo de produção de grãos, no qual o aporte e extração de nutrientes são muito dinâmicos, sendo necessária a obtenção de informações confiáveis através de amostragens de solo para fins de análises de fertilidade.

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que o sistema plantio direto promoveu um acúmulo superficial de Ca, Mg, K e P. Os elementos K e P, devido à distribuição localizada dos adubos, também apresentaram um gradiente horizontal, com teores mais elevados na linha de plantio.

Os equipamentos utilizados para a coleta de solo também influenciaram nos resultados de análise química. A furadeira elétrica não conseguiu identificar o gradiente de fertilidade que ocorre no perfil do solo sob o sistema plantio direto, conforme observado nas amostras obtidas com o trado. As correções e adubações feitas com base nas informações levantadas com a furadeira elétrica podem ser subestimadas, uma vez que atenderiam unicamente a demanda dos primeiros 10 cm superficiais, e a soja deve explorar um volume maior do perfil para que altas produções sejam alcançadas.

As correções e adubações feitas ao longo dos anos de adoção do sistema plantio direto promoveram um aumento da fertilidade do solo, principalmente de P, proporcionando condições para que houvesse um acréscimo da produtividade da soja.

Os teores de matéria orgânica também foram mais elevados nas áreas cultivadas há 10 anos sob o sistema plantio direto, apesar das diferenças não serem estatisticamente significativas. Como este é um componente chave da fertilidade dos solos tropicais, a sua quantificação deve ser realizada através de um método confiável, como o Yeomans & Bremner.

Através deste trabalho de pesquisa, foi possível verificar que as diversas formas de amostragem de solo podem alterar substancialmente os resultados analíticos de fertilidade. Recomenda-se, portanto, que pesquisas mais detalhadas sejam realizadas com o objetivo de avaliar as melhores combinações entre profundidades e posições de amostragem de solo, de

forma que representem adequadamente o nível de fertilidade das glebas cultivadas sob o sistema plantio direto.

ANEXOS

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1	Processo Walkley-Black.....	87
ANEXO 2	Método colorimétrico de determinação da matéria orgânica.....	88
ANEXO 3	Método Yeomans & Bremner.....	88
ANEXO 4	Perda por ignição (PPI).....	89
ANEXO 5	Substâncias Húmicas (SH).....	90

ANEXO 1 Processo Walkley-Black

Oxidação da material orgânica: colocar em Erlenmeyer de 250 mL 0,5 g de solo, que tenha passado por peneira de 0,2 mm. Adicionar 10 mL de solução normal de $K_2Cr_2O_7$ 1 N. Adicionar 20 mL de H_2SO_4 concentrado, agitando por um minuto. Deixar em repouso por 30 minutos. Fazer a prova em branco sem adição de solo.

Titulação com sulfato ferroso amoniacal $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$. Adicionar 40 mL de H_2O , 10 mL de H_3PO_4 , 0,2 g de NaF e dez gotas de difenilamina. Titular com $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$. O final da titulação é atingido quando a coloração escura se altera para verde.

Cálculo do teor de Carbono:

$$\% CO = 10 (1 - T/B) \times 0,003 \times 1/0,77 \times 100/0,5$$

10 = mL de dicromato adicionado

B = mL gastos de sulfato ferroso amoniacal no teste em branco

T = mL gastos de sulfato ferroso amoniacal na amostra

0,003 = eq.mg do carbono

0,77 = fator de recuperação do método

0,5 = peso da amostra

Preparo dos reagentes:

$K_2Cr_2O_7$ 1 N: pesar 49,04 g de $K_2Cr_2O_7$, dissolver em água destilada e completar o volume para 1 L.

Difenilamina indicador: dissolver 0,5 g do indicador em 20 mL de água e 100 mL de H_2SO_4 concentrado.

$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ 1 N: dissolver 392,2 g de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ em 800 mL de água que contenha 20 mL de H_2SO_4 concentrado. Completar o volume para 1.000 mL e homogeneizar a solução.

ANEXO 2. Método colorimétrico de determinação da matéria orgânica

Procedimentos:

Transferir 1 cm³ de solo para frasco cilíndrico de 100 mL

Adicionar 10 mL de Na₂Cr₂O₇ 4 N em H₂SO₄ 10 N.

A) Agitar por 10 min a 180 rpm, em aparelho de agitação com movimentação circular-horizontal.

Após repouso de 60 min, adicionar 50 mL de água, promovendo a mistura das soluções, deixando decantar durante a noite.

Transferir o líquido sobrenadante para tubo de colorímetro com filtro de transmissão máxima de 650 nm. Acertar o zero do aparelho com prova me branco.

Calcular os resultados a partir de curva-padrão preparada com solos analisados pelo método titulométrico (Walkley-Black).

ANEXO 3. Método Yeomans & Bremner

Preparo das soluções

Solução de K₂Cr₂O₇ (dicromato de potássio) 0,167 mol/L ou 1 N

Dissolver 49,025 g de dicromato em 800 mL de água destilada e transferir para balão volumétrico de 1000 mL, completando o volume com água.

Solução de Fe(NH₄)₂ SO₄.6H₂O (sulfato ferroso amoniacal) 0,25 mol/L ou 0,25 N.

Dissolver 98 g de sulfato ferroso amoniacal em 50 mL de ácido sulfúrico PA e diluir em 800 mL de água destilada. Após resfriar, transferir para balão volumétrico e completar o volume até 1000 mL.

Solução indicadora de Ferroin

Dissolver 1,485 g de o-fenantrolina e 0,695 g de FeSO₄ em 100 mL de água destilada.

Procedimentos

Pesar amostras de solo previamente moídas em almofariz que variam de 0,3 g (amostras 1 a 84), 0,5 g (amostras 85 a 108) e 0,7 g (amostras 86 a 144) e transferir para tubos de digestão.

Adicionar 5 mL da solução de dicromato e em seguida 5 mL de ácido sulfúrico PA às amostras de solo. Levar os tubos em bloco digestor pré-aquecido a 150°C por 30 minutos.

Deixar esfriar e transferir para erlenmeyer. Adicionar 3 gotas da solução indicadora e titular com a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,25 N, determinando-se o excesso de dicromato que não foi consumido na oxidação da matéria orgânica. O ponto de viragem da titulação ocorre com a passagem de verde para violeta escuro.

Preparar 6 brancos nas mesmas condições, sendo que 3 deles devem ser levados para digestão e outros 3 permanecendo sem aquecimento.

Cálculo do teor de Carbono Orgânico

$$A = [(V_{ba} - V_{am}) (V_{bn} - V_{ba}) / V_{bn}] + (V_{ba} - V_{am})$$

V_{ba} = volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento

V_{bn} = volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento

V_{am} = volume gasto na titulação da amostra

$$CO \text{ (dag/kg)} = A \cdot \text{molaridade do sulfato ferroso amoniacal} \cdot 3 \cdot 100 / \text{peso amostra (mg)}$$

ANEXO 4. Perda por ignição (PPI)

Procedimentos:

Pré-calcinar o cadinho a 650 ° C por 3 h, pesar aproximadamente 1 g de solo (TFSA) e secar em estufa a 65 ° C por 24 h. Em seguida, continuar a secagem em estufa de circulação de ar a 105 ° por 3 h. Os cadinhos devem ser cobertos quando colocados na estufa de circulação de ar. Pesar cadinho mais TFSE. Calcinar o cadinho mais TFSE a 650° por 3 h. Pesar cadinhos mais solo calcinado.

Cálculos das perdes por ignição (PPI):

$$PPI = [(CP + TFSE) - CP] - [(CP + SC) - CP] / TFSA \times 100$$

CP: cadinho pré-calcinado

TFSE :terra fina seca em estufa

SC: solo calcinado

TFSA: terra fina seca ao ar

ANEXO 5. Substâncias Húmicas (SH)

Procedimentos:

Pesar 1,0 g de solo, adicionar 10 mL de NaOH 0,1 N, agitar e deixar em repouso por 24 hs. Filtragem à vácuo em filtro de nitro celulose 0,45µm. Tomar alíquota de 2 mL e transferir para erlenmeyer, adicionar 1 mL de dicromato de potássio 0,25 N e 10 mL de ácido sulfúrico PA. Levar ao bloco digestor a 150° durante 30 min. Titular com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 N. São preparados 6 brancos com a colocação de dicromato e ácido sulfúrico nos tubos de digestão sem solo. Três brancos devem ser aquecidos e os outros permanecendo sem aquecimento e titulados da mesma forma que as amostras com solo. O ponto de viragem ocorre com a passagem de verde para vermelho.

Preparo das soluções de trabalho

Dicromato de potássio 0,25 N: pesar 12,2562 g de dicromato e diluir em 1000 mL de água destilada

Sulfato ferroso amoniacal 0,0125 N: pesar 4,9 g de $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Sal de Mohr), adicionar 3,1 mL de ácido sulfúrico e diluir em 1000 mL de água destilada

Solução indicadora de Ferroin

Dissolver 1,485 g de o-fenantrolina e 0,695 g de FeSO_4 em 100 mL de água destilada.

Cálculo carbono orgânico

$\text{C.O. (mg/g solo)} = (V_{\text{baq}} - V_a) \cdot (V_{\text{bsaq}} - V_{\text{baq}}) / V_{\text{bsaq}} + (V_{\text{baq}} - V_a) \cdot N_{\text{sfa}} \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10$