

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

CÍNTIA BOEIRA BATISTA LAFAY

**CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO**

TESE

PATO BRANCO

2016

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

CÍNTIA BOEIRA BATISTA LAFAY

**CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO**

TESE

PATO BRANCO

2016

CÍNTIA BOEIRA BATISTA LAFAY

**CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM PLANTIO DIRETO**

Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Conceição
Co-Orientador: Prof^a. Dr^a. Larissa Macedo dos Santos Tonial

PATO BRANCO

2016

L161c Lafay, Cíntia Boeira Batista.
Caracterização quantitativa e qualitativa da matéria orgânica do solo em
plantio direto / Cíntia Boeira Batista Lafay. -- 2016.
147 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Conceição
Coorientadora: Profa. Dra. Larissa Macedo dos Santos Tonial
Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2016.
Bibliografia: f. 139 – 141.

1. Solos - Manejo. 2. Fertilizantes nitrogenados. 3. Análise espectral. I.
Conceição, Paulo César, orient. II. Tonial, Larissa Macedo dos Santos,
coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de
Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD (22. ed.) 630



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Tese n.º 022

Caracterização Quantitativa e Qualitativa da Matéria Orgânica do Solo em Plantio Direto.

Por

Cíntia Boeira Batista Lafay

Tese apresentada às oito horas e trinta minutos do dia vinte e oito de novembro de dois mil e dezesseis, como requisito parcial para obtenção do título de DOUTORA EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção Vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Paulo César Conceição (UTFPR/Pato Branco)
Orientador

Prof.^a Dr.^a Ana Regina Dahlem Ziech
(UTFPR/Santa Helena)

Dr.^a Michely Tomazi
EMBRAPA/CPAO

**Prof.^a Dr.^a Larissa Macedo dos Santos
Tonial**
(UTFPR/Pato Branco)

Prof. Dr. Laércio Ricardo Sartor (UTFPR/Dois Vizinhas)

Prof. Dr. Giovani Benin
Coordenador do PPGAG

Dedico este trabalho à minha amada família, **Jean-Marc, Helena e Jean-Yves**; aos meus pais **Adi Jesus Alves Batista e Lourdes Boeira Batista**; irmã **Cibele Boeira Batista Rosemberg e Denis Rosemberg**.

AGRADECIMENTOS

“Agradeço, a Deus por me mostrar que sou protegido, guiado e iluminado pela sua presença divina no mais íntimo do meu ser. Agradeço, pelo abrigo na tempestade, por endireitar o que está torto, por criar saídas onde parece não haver escapatória. Agradeço por me perdoar quando eu não posso ou não quero perdoar a mim mesmo. Agradeço, pela sua compaixão, pela sua graça, pela sua bondade, que estão sempre presentes, sustentando-me nos momentos mais difíceis. Agradeço, por não me deixar esquecer que você me habita e é a força que dá vida a minha alma.”

Agradeço, em especial, ao meu orientador Professor Doutor Paulo César Conceição, por aceitar este desafio em conjunto, pela paciência, disponibilidade, dedicação e profissionalismo. Muito Obrigada!

A minha co-orientadora Larissa Macedo dos Santos Tonial, obrigada!

Agradeço a UTFPR e ao PPGAG por ofertar esta oportunidade de expansão do conhecimento conjuntamente com o senso de responsabilidade com a sociedade. Agradeço a Débora Marcondes Bastos Pereira Milori e Aida Bebeachibuli Magalhães do Laboratório de Ótica e Fotônica (EMBRAPA Instrumentação) pela colaboração e parceria.

Ao meu marido, Jean-Marc, aos meus filhos, Helena e Jean-Yves pelo incentivo, compreensão e amor, durante todo este período. Aos meus pais que são sempre meu porto seguro. A minha irmã e cunhado pelos momentos de descontração e acolhida.

Aos meus amigos, em especial à Caroline Amadori e Anderson Welter, pelo enorme apoio. A equipe da Central de Análises e do LAQUA pelo espaço, tempo, dicas, companheirismo e cafés feitos em prol da realização deste trabalho.

Obrigada a todos sempre!

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”. (Isaac Newton)

RESUMO

LAFAY, Cíntia Boeira Batista. **Caracterização Quantitativa e Qualitativa da Matéria Orgânica do Solo em Plantio Direto**. 147 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

A matéria orgânica é um parâmetro usual de avaliação para verificar a qualidade e a sustentabilidade do manejo do solo. O sistema plantio direto possui premissas básicas para a conservação da matéria orgânica do solo e sob este aspecto cresce a necessidade de melhorar as práticas deste sistema para obtenção de resultados eficientes de acúmulo de matéria orgânica no solo. Desta forma, espera-se que as culturas de cobertura adicionem ao solo diferentes quantidades e qualidade de matéria orgânica do solo. O experimento está implantado no Câmpus de Dois Vizinhos da UTFPR desde 2010 sob sistema de plantio direto. O delineamento experimental é o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas com três repetições. A parcela experimental é de 10 x 5 m e as subparcelas de 5 x 5 m. As parcelas são constituídas com 15 espécies de plantas de cobertura de verão (mucuna preta; guandu anão; mucuna anã; crotalaria spectabilis; crotalaria juncea; lab lab; feijão de porco) e de inverno (aveia; consórcio de aveia e ervilhaca; consórcio de aveia, ervilhaca e nabo forrageiro; nabo forrageiro; tremoço; azevém; centeio e ervilhaca) além de uma testemunha (pousio). Numa subparcela da cultura de milho foi aplicado dosagem de nitrogênio correspondente a 180 Kg N ha⁻¹ e na outra subparcela não foi utilizada adubação nitrogenada. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 20 cm na primavera de 2013. O cálculo de estoque de carbono e nitrogênio foi efetuado a partir do método de massa equivalente com base nos teores de carbono e nitrogênio obtidos por análise elementar e densidade do solo. Análise de fluorescência induzida por laser e espectroscopia da região do infravermelho também foram realizadas para todas as amostras de solo integral. De acordo com os teores de carbono do solo e índices gerados a partir das técnicas espectroscópicas foram selecionadas amostras para realização do fracionamento físico densimétrico visando à identificação dos compartimentos da matéria orgânica de acordo com suas frações: Leve Livre, Leve Oclusa e Pesada. Verificou-se que as culturas de cobertura são promissoras para aumentar o estoque de carbono total no solo, na fração leve-livre, principalmente, na camada de 0 – 5cm promovendo a qualidade do solo.

Palavras-chave: fracionamento densimétrico. adubação nitrogenada. análises espectroscópicas.

ABSTRACT

LAFAY, Cíntia Boeira Batista. Quantitative and Qualitative Characterization of Organic Matter in Soil Tillage. Project Thesis (Ph.D. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Area of Concentration: Crop), Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2016.

Organic matter is a common endpoint to check the quality and sustainability of soil management. The tillage system has basic premises for the conservation of soil organic matter and in this respect grows the need to improve the practices of this system to obtain efficient results of soil organic matter accumulation. Thus, it is expected that the cover crops add to the soil quality and different amounts of soil organic matter. The experiment is implanted in the Campus of Dois Vizinhos UTFPR since 2010 under no-tillage system. The experimental design is a randomized block design with split plot design with three replications. The experimental plot is 10 x 5 m and subplots of 5 x 5 m. The plots are made with 15 species of summer cover crops and winter (velvet bean, pigeon pea dwarf, mucuna dwarf, crotalaria spectabilis, crotalaria juncea, lab lab, pork beans, oatmeal, oat consortium and vetch, oats consortium, vetch and oilseed radish, turnip, lupine, ryegrass, rye and vetch) and a control (fallow). In a subplot of corn crop was applied nitrogen corresponding to 180 kg N ha⁻¹ and another subplot is not used nitrogen fertilizer. Soil samples were collected in layers 0-5, 5-10 and 10-20 cm in the spring of 2013. The inventory calculation of carbon and nitrogen was made from dough method equivalent based on carbon content and nitrogen obtained by elemental analysis and bulk density. Analysis induced fluorescence spectroscopy laser and the infrared region were also performed for all samples integral soil. According to soil carbon contents and indexes generated starting at spectroscopic techniques were selected samples for the Density physical fractionation in order to identify the compartments of organic matter in accordance with its fractions: Take Free, Light and Heavy Occluded. It was found that cover crops are promising for increasing the total stock of carbon in the soil, light-free fraction, mainly, in the layer 0 - 5cm promoting soil quality.

Keywords: density fractionation, nitrogen fertilization, spectroscopic analyzes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Modelo conceitual apresentando os fatores relacionados a MOS buscando determinar a qualidade do sistema de manejo adotado.....	23
Figura 2: Esquema simplificado para medida de fluorescência induzida por laser (FIL).....	38
Figura 3: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade.....	53
Figura 4: a) Teor de Carbono Total (COT), em g kg^{-1} , para os tratamentos com plantas de cobertura de verão das subparcelas com adubação nitrogenada b) e sem adubação nitrogenada. T1-pousio, T2- mucuna preta, T3 – guandu anão, T4- mucuna anã, T5- crotalária spectabilis, T6- crotalária juncea T7- lab-lab e T8- feijão de porco.....	56
Figura 5: Correlação com as médias da matéria seca (MS) das plantas de cobertura de verão e do cultivo de milho versus o nitrogênio total (NT) do solo.....	59
Figura 6: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade.....	61
Figura 7: a) Teor de Carbono Total (COT), em g kg^{-1} , para os tratamentos com plantas de cobertura de inverno das subparcelas com adubação nitrogenada b) e sem adubação nitrogenada. T9-aveia, T10- aveia + ervilhaca, T11 – aveia + ervilhaca + nabo, T12- nabo, T13- tremoço branco, T14- centeio T15- azevem e T16- ervilhaca.	62
Figura 8: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade.....	80
Figura 9: a) Grau de Humificação (H_{FIL}) para os tratamentos com plantas de cobertura de verão das subparcelas com adubação nitrogenada b) e sem adubação nitrogenada. T1-pousio, T2- mucuna preta, T3 – guandu anão, T4- mucuna anã, T5- crotalária spectabilis, T6- crotalária juncea T7- lab-lab e T8- feijão-de-porco.	81
Figura 10: Espectros de emissão de fluorescência para os sistemas de cultura de verão sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco I.....	84
Figura 11: Espectros de emissão de fluorescência: (a) tratamento com pousio e (b) tratamento com a cultura do feijão-de-porco, com adubação nitrogenada, nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 - 20 cm.	85
Figura 12: Espectros na região do infravermelho médio (4.000 a 400 cm^{-1}) para os sistemas de culturas de verão sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, média entre os blocos.....	87
Figura 13: Espectros sobrepostos de solo integral com as frações FLL e FLO na região do infravermelho médio (4.000 a 400 cm^{-1}): (a) tratamento com pousio e (b) tratamento com a cultura do feijão de porco, sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, média dos blocos	88
Figura 14: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de inverno separadas pela classe de profundidade.	89

Figura 15: a) Grau de Humificação (H_{FIL}) para os tratamentos com plantas de cobertura de inverno das subparcelas com adubação nitrogenada b) e sem adubação nitrogenada. T9-aveia, T10- aveia+ervilhaca, T11 – aveia+ervilhaca+nabo, T12- nabo, T13- tremoço, T14-azevem, T15- centeio e T16- ervilhaca.	91
Figura 16: Espectros de emissão de fluorescência: (a) tratamento com a cultura de aveia e (b) tratamento com a cultura da ervilhaca, com adubação nitrogenada, nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 - 20 cm.	92
Figura 17: Espectros de emissão de fluorescência para os sistemas de cultura de inverno sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco I.	93
Figura 18: Espectros na região do infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}) para os sistemas de culturas de inverno sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco I.	95
Figura 19: Espectros sobrepostos de solo integral com as frações FLL e FLO na região do infravermelho médio (4.000 a 400 cm^{-1}): (a) tratamento com a cultura da aveia, (b) tratamento com a cultura do consórcio aveia + ervilhaca + nabo e (c) tratamento com a cultura da ervilhaca, sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, média dos blocos.	96
Figura 20: Protocolo simplificado do fracionamento densimétrico utilizado no laboratório Central de Análises – Câmpus Pato Branco, para separação da fração leve - livre (FLL), fração leve-oclusa (FLO) e fração pesada (FP).	104
Figura 21: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score das amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade.	106
Figura 22: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score das amostras das culturas de verão e inverno.	113
Figura 23: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade. Onde: T1 – pousio, T6 – crotalaria juncea, T7 – lab-lab e T8 feijão-de-porco.	122
Figura 24: Espectros de emissão de fluorescência: (a) FLL e (b) FLO, para os sistemas de cultura de verão na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco III.	125
Figura 25: Espectros de infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL e FLO do tratamento com a cultura do feijão de porco, (b) FLL e FLO do tratamento com o pousio, (c) FLL e FLO do tratamento com a cultura do lab-lab e (d) FLL e FLO do tratamento com a cultura da crotalaria juncea, para a profundidade de 0 – 5 cm, média dos blocos.	127
Figura 26: Espectros de infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL do tratamento com a cultura do feijão de porco, (b) FLL do tratamento com pousio, (c) FLL do tratamento com a cultura do lab-lab e (d) FLL do tratamento com a cultura da crotalaria juncea, para as profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm, média dos blocos.	128
Figura 27: Espectros de infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL dos tratamentos com cultura de verão e (b) FLO dos tratamentos com cultura de verão, para a profundidade de 0 – 5 cm, média dos blocos.	129

Figura 28: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de inverno separadas pela classe de profundidade. Onde T9 – aveia, T11 – aveia+ervilhaca+nabo e T16 – ervilhaca.	130
Figura 29: Espectros de emissão de fluorescência para a FLL e FLO dos sistemas de cultura de inverno na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco III.	132
Figura 30: Espectros de emissão de fluorescência: (a) FLL e (b) FLO do tratamento com o sistema de cultura com o consórcio aveia+ervilhaca+nabo nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 - 20 cm, Bloco III.	133
Figura 31: Espectros na região do infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL dos tratamentos com cultura de verão e (b) FLO dos tratamentos com cultura de verão, para a profundidade de 0 – 5 cm, média dos blocos.	135
Figura 32: Espectros de infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL do tratamento com a cultura da ervilhaca, (b) FLL do tratamento com a cultura da aveia e (c) FLL do tratamento com a cultura da aveia+ervilhaca+nabo, para as profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm, média dos blocos.	136
Figura 33: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de média dos blocos de todos os tratamentos na profundidade de 0 – 5 cm.	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Programas estabelecidos dentro do Plano ABC.....	26
Tabela 2: Tratamentos com sistemas de plantas de cobertura.....	50
Tabela 3: Teor de C (COT), Teor de N (NT) e Relação C/N em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.....	59
Tabela 4: Estoque de C e de N pelo cálculo de massa equivalente e de camada em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	60
Tabela 5: Teor de C (COT), Teor de N (NT) e Relação C/N em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de inverno, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.....	64
Tabela 6: Estoque de C e de N pelo cálculo de massa equivalente e de camada em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	66
Tabela 7: Grau de humificação (H_{FIL}), índice de aromaticidade (IA) e Índice de hidrofobicidade (IH) em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	83
Tabela 8: Grau de humificação (H_{FIL}), índice de aromaticidade (IA) e Índice de hidrofobicidade (IH) em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de inverno, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.....	94
Tabela 9: Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP), e no solo (COT), e relações de cada fração com o COT, em solo com plantas de cobertura de verão, sob plantio direto (PD). UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	108
Tabela 10: Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP), e no solo (COT), e relações de cada fração com o COT, em solo com plantas de cobertura de inverno, sob plantio direto (PD). UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	110
Tabela 11: Relação entre as médias do estoque de carbono nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) e no solo (COT) entre os sistemas de culturas de verão e inverno sob plantio direto (PD). UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	111
Tabela 12: Estoque de carbono na fração leve (FL) e pesada (FP) e no solo (COT), labilidade do carbono (LC), índice de labilidade do carbono (ILC), índice de estoque de carbono (IEC) e índice de manejo de carbono (IMC) do solo entre os sistemas de	

culturas de verão e inverno sob plantio direto (PD). UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	112
Tabela 13: Índice de condensação (IC) e Índice de hidrofobicidade (IH) para as FLL e FLO, respectivamente em solo sob PD com plantas de cobertura de verão, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	123
Tabela 14: Grau de humificação (H_{FIL}) das FLL e FLO em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão e inverno, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	124
Tabela 15: Índice de condensação (IC) e Índice de hidrofobicidade (IH) para as FLL e FLO, respectivamente em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de inverno, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.	134

LISTA DE ABREVIATURAS

AFs	Ácidos fúlvicos
AHs	Ácidos húmicos
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade de troca de cátions
DMP	Diâmetro médio ponderado
GEE	Gases de efeito estufa
FIL	Fluorescência Induzida por Laser
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
FLL	Fração leve livre
FLO	Fração leve oclusa
FP	Fração pesada
FTIR	Fourier transform infrared spectroscopy
Hum	Humina
IEC	Índice de estoque de carbono
ILC	Índice de labilidade de carbono
iLPF	Integração Lavoura – Pecuária - Floresta
MO	Matéria orgânica
MOAM	Matéria orgânica associada aos minerais
MOD	Matéria orgânica dissolvida
MOP	Matéria orgânica particulada
MS	Matéria seca
NT	Nitrogênio total
PC	Preparo Convencional
PD	Plantio direto
PTS	Politungstato de sódio
SAFs	Sistemas agroflorestais
SH	Substâncias húmicas
SPD	Sistema plantio direto
TFSA	Terra fina seca ao ar
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	21
1.1 Modelo Conceitual	22
1.2 Hipótese	23
1.3 Objetivo Geral	23
1.3.1 Objetivos Específicos	24
1.4 REFERENCIAL TEÓRICO	24
1.4.1 Plantio Direto.....	24
1.4.2 Cultura do Milho	26
1.4.3 Adubação Verde.....	28
1.4.4 Matéria Orgânica do Solo.....	29
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DO CARBONO E NITROGÊNIO NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO COM PLANTAS DE COBERTURA DE VERÃO E INVERNO	46
2.1 RESUMO	46
2.2 ABSTRACT:.....	46
2.3 INTRODUÇÃO.....	47
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.4.1 Área de Estudo	49
2.4.2 Amostragem do Solo	51
2.4.3 Análises de Determinação de C e N Totais – Analisador Elementar	51
2.4.4 Cálculos para Determinar a Relação C/N e Estoque de Carbono.....	51
2.4.5 Análise Estatística.....	52
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
2.5.1 Sistemas de Culturas de Verão.....	53
2.5.2 Sistemas de Culturas de Inverno	61
2.7 CONCLUSÕES.....	67
2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA MATÉRIA ORGANICA NO SOLO SOB PLANTIO DIRETO COM PLANTAS DE COBERTURA DE VERÃO E INVERNO	74
3.1 RESUMO	74
3.2 ABSTRACT:.....	74
3.3 INTRODUÇÃO.....	75
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	76
3.4.1 Área de Estudo	77
3.4.2 Amostragem do Solo	77

3.4.3 Fluorescência Induzida a Laser	77
3.4.4 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier.....	78
3.4.4 Análise Estatística.....	78
3.5 RESULTADOS e discussão.....	79
3.5.1 Sistemas de Culturas de Verão.....	79
3.5.2 Sistemas de Culturas de Inverno	89
3.6 CONCLUSÕES	97
3. 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DO CARBONO NAS FRAÇÕES DENSIMÉTRICAS DA MATERIA ORGANICA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO COM PLANTAS DE COBERTURA DE VERÃO E INVERNO.....	100
4.1 RESUMO	100
4.2 ABSTRACT:.....	100
4.3 INTRODUÇÃO.....	101
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	102
4.4.1 Área de Estudo	102
4.4.2 Amostragem do Solo	103
4.4.3 Fracionamento Densimétrico da MOS	103
4.4.4 Análises de Determinação de C Total – Analisador Elementar	104
4.4.5 Cálculos para Determinar o Estoque de Carbono.....	104
4.4.6 Análise Estatística.....	104
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	106
4.6 CONCLUSÕES	114
4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA	114
CARACTERIZAÇÃO QUANLITATIVA DO CARBONO NAS FRAÇÕES DENSIMÉTRICAS DA MATERIA ORGANICA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO COM PLANTAS DE COBERTURA DE VERÃO E INVERNO.....	114
5.1 RESUMO	117
5.2 ABSTRACT:.....	117
5.3 INTRODUÇÃO.....	118
5.4 MATERIAL E MÉTODOS	119
5.4.1 Área de Estudo	119
5.4.2 Amostragem do Solo	120
5.4.3 Fracionamento Densimétrico da MOS	120
5.4.4 Fluorescência Induzida a Laser	120
5.4.5 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier.....	120
5.4.6 Análise Estatística.....	121
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	121

5.6 CONCLUSÕES	139
5. 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
ANEXOS	144

INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um importante constituinte da biosfera da Terra e possui a capacidade de realizar diversas funções na natureza promovendo a manutenção local, regional, e a qualidade ambiental global. Assim, o funcionamento do solo não pode ser resumido apenas como meio para a produção de alimentos, pois representa, segundo Doran & Zeiss (2000) a diferença entre a sobrevivência ou extinção para a maioria da vida na Terra. No entanto, a degradação do solo é de 23% da área terrestre do globo, e conforme Pedrotti et al. (2015) aumentando a uma taxa anual de 5-10 milhões de hectares.

Quando limitamos a degradação dos solos apenas a atividades agrícolas é notório o efeito negativo para o futuro da humanidade, pois não só diminuiria a produção de alimentos como alteraria o clima e habitats para a biodiversidade. Cerca de 40% da degradação dos solos agrícolas do mundo se devem a erosão, poluição atmosférica, cultivo extensivo do solo, pastoreio excessivo, desmatamento, salinização e desertificação. Este cenário demonstra que medidas urgentes devem ser tomadas para interromper processos de degradação e reestabelecer as áreas degradadas.

Com essa finalidade surge à necessidade de estudo e de avaliação da qualidade do solo, uma vez que é possível expressar assim quando um ecossistema natural funciona com sustentabilidade, promovendo a saúde dos animais e plantas, mantendo a qualidade do meio ambiente. Um parâmetro importante de estudo e avaliação para determinar a qualidade do solo é o comportamento da matéria orgânica (MO). De grande importância para o solo, a MO demonstra estreita relação com características e propriedades do solo, tais como: estabilidade dos agregados, qualidade da estrutura, infiltração e retenção de água, resistência à erosão, atividade biológica, liberação de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases para a atmosfera e a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

A MO do solo é um dos maiores reservatórios terrestres de carbono (C) e desempenha um papel significativo na produtividade dos solos, em contrapartida, é uma das principais fontes de emissão de C para atmosfera e limitador de produtividade. Portanto, conforme o manejo adotado o solo pode reagir como um mitigador ou emissor de CO_2 atmosférico. A prática de manejo está relacionada com a MO, componente dinâmico do solo, o sistema de manejo adotado deve buscar a conservação e recuperação do mesmo.

Assim, práticas de manejo conservacionistas possuem a capacidade de aumentar o estoque de C do solo e diminuir o fluxo de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Justamente, porque utiliza sistemas de plantas de cobertura que fornece ao solo resíduo vegetal

após a decomposição, liberando nutrientes e MO para compensar a utilização do solo pelo cultivo e o não revolvimento do solo diminui a ocorrência de processos oxidativos da MO.

Inúmeros trabalhos foram realizados buscando o reconhecimento do plantio direto (PD) em relação ao preparo convencional (PC) avaliando parâmetros como produção de biomassa, acúmulo de nutrientes, produção de grãos da cultura principal, dinâmica do nitrogênio (N), estoque de C entre outros. Para este estudo, assume-se como melhor sistema de manejo do solo o PD e considerando a MO do solo como parâmetro de avaliação principal busca-se verificar qual será o melhor sistema de plantas de cobertura para o aumento nos estoques de C e N, bem como avaliar a composição da MO.

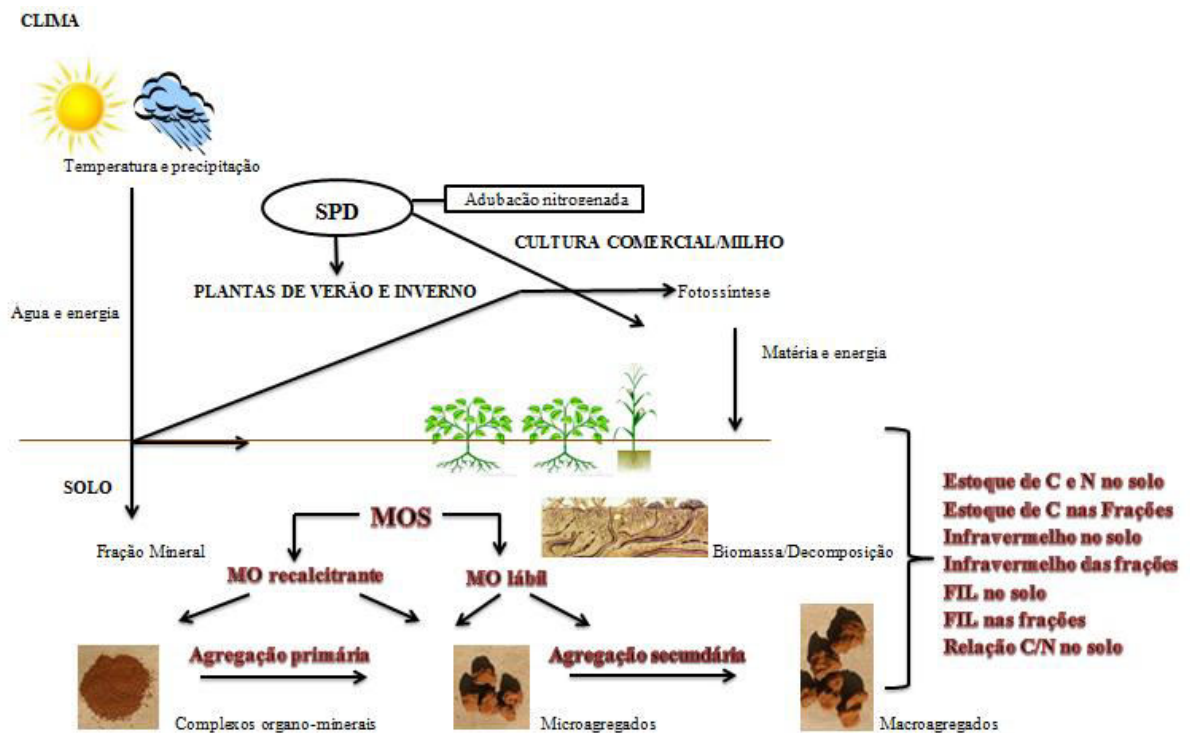
1.1 MODELO CONCEITUAL

O objetivo do experimento é avaliar o desempenho dos sistemas de cultura de cobertura sob PD visando caracterizar quantitativa e qualitativamente as variáveis que envolvem a MO do solo. Para que o objetivo fosse cumprido o experimento sob PD foi constituído de sistema de plantas de cobertura em sucessão que representam as três principais famílias de plantas e o consórcio destas, com e sem adubação nitrogenada na cultura do milho: Poaceae/Poacea (aveia – preta, azévem e centeio/milho), Fabaceae/Poacea (ervilhaca e tremoço/ milho), Cruciferae/Poacea (nabo forrageiro/milho), Poaceae + Fabaceae/Poaceae (aveia + ervilhaca/milho), Poaceae + Fabaceae + Cruciferae/Poaceae (aveia + ervilhaca + nabo forrageiro/milho) e Poaceae/Fabaceae (milho/mucuna cinza, guandu anão, guandu arbóreo, crotalária spectabilis, crotalária juncea, lab – lab ou feijão de porco), conforme o modelo conceitual na Figura 1.

A MO é um componente dinâmico do solo, sensível ao manejo realizado e, mesmo representando no máximo ~5 % do solo, esta quantidade determina a produtividade do solo e a sustentabilidade do sistema (BEBÉR, 2011; BAYER & BERTOL, 1999). A fim de avaliar o sistema de manejo do solo quanto ao incremento da MO adotou-se neste experimento o PD, pois a ausência de revolvimento do solo associada à manutenção dos resíduos culturais na superfície estimula a atividade da biomassa microbiana, ativando a decomposição dos resíduos culturais e gerando um fluxo contínuo de C e N, promovendo à formação e estabilidade de agregados do solo (CANALLI, 2009).

A utilização de sistemas de culturas de cobertura é fundamental para a incorporação de MO do solo, considerando a influência da quantidade de resíduos culturais adicionados ao solo anualmente e, as diferentes relações C/N obtidas.

Figura 1: Modelo conceitual apresentando os fatores relacionados a MO do solo buscando determinar a qualidade do sistema de manejo adotado.



1.2 HIPÓTESE

Sistemas de plantas de cobertura em PD favorecem o acúmulo de C no solo em quantidades e com características distintas de acordo com o a espécie vegetal adotada no sistema.

1.3 OBJETIVO GERAL

Avaliar quali e quantitativamente a MO do solo sob diferentes sistemas de cultura de cobertura do solo e PD.

1.3.1 Objetivos Específicos

Determinar os teores e estoques de C e N da MO do solo;

Determinar o grau de humificação da MO do solo por meio da espectroscopia de fluorescência Induzida por Laser (FIL);

Realizar o fracionamento densimétrico do solo, para a obtenção das frações: leve-livre (FLL), leve-oclusa (FLO) e pesada (FP);

Avaliar as estruturas presentes nas frações densimétricas da MO com uso de técnicas espectroscópicas e

Quantificar os teores de C e N das frações densimétricas da MO.

1.4 REFERENCIAL TEÓRICO

1.4.1 Plantio Direto

O PD é um sistema caracterizado pelo mínimo revolvimento do solo, visando diminuir o impacto da agricultura e máquinas agrícolas no solo. Nas principais áreas de produção de grãos do Brasil (Sul e Centro-Oeste - Cerrado), a conversão do PC para o PD tem sido impulsionada pelos impactos negativos ocasionados pelo sistema PC, particularmente, pela degradação do solo, pela erosão, e pelos elevados custos de produção baseada na mecanização agrícola principalmente com aração e gradagem (SÁ et al., 2014). O Estado do Paraná foi pioneiro no uso do manejo sob PD com o produtor Herbert Bartz em 1972 (CASÃO JUNIOR et al., 2012). Atualmente, o PD corresponde à aproximadamente 32 milhões de hectares cultivados no Brasil (FEBRAPDP, 2014).

Inicialmente a importância do sistema de PD recaía na diminuição ou controle da erosão. Com o crescente estudo do impacto do PD no solo ao longo dos anos encontrou-se inúmeras vantagens para justificar a sua importância em relação aos outros sistemas de manejo. O sistema de PD provoca modificações nas propriedades físicas do solo com alterações na dinâmica da água, ar e sólidos no solo (JUNIOR et al., 2012); protege a superfície do solo da ação dos raios solares, reduzindo a evaporação e, conseqüentemente, promove um aumento na quantidade de água no solo (CRUZ et al., 2006; FREIXO et al., 2002); contribui para a estabilização da MO do solo devido a maior formação de macroagregados, melhorando a estrutura e evitando a compactação superficial.

O PD como sistema conservacionista possui alguns fundamentos que devem ser seguidos, (1) redução das operações de preparo do solo, (2) formação e manutenção de cobertura morta e (3) o uso de rotação de culturas (CRUZ et al., 2006). O uso desse sistema de forma contínua permite melhorar a qualidade do solo e dessa forma contribui para melhoria da qualidade do meio ambiente (conservação do solo, água e ar).

Quando ecossistemas nativos são convertidos em sistemas de cultivo, os teores de MO tendem a se modificar, em função, da alteração no fluxo de entrada ou de saída de material orgânico. Normalmente há uma redução da MO do solo ocasionada pela baixa entrada de material orgânico no solo. No entanto com o manejo correto do PD, respeitando a adição de resíduos vegetais, há o aumento da MO do solo ao longo do tempo melhorando as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Como o acúmulo de MO do solo depende da entrada de resíduos vegetais e não revolvimento do solo se ao invés de utilizar o PD o manejo for com PC observará grande redução da MO do solo atribuída não só pela alteração do sistema nativo para o agrícola, mas por deixar o solo sujeito à erosão, com a ruptura de agregados, oxidação da MO do solo, reduzindo a disponibilidade de nutrientes para as plantas afetando negativamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (GUARESCHI, et al., 2012; ZOTARELLI et al., 2007).

A respeito de estudos sobre alterações climáticas provocadas pelo uso agrícola do solo há uma crescente preocupação principalmente com o acréscimo da concentração atmosférica de GEE, em especial o CO₂, desta forma tem-se reforçado o interesse sobre estudos de sequestro de C no solo, como uma estratégia para compensar emissões antropogênicas de CO₂ (LENKA & LaL, 2013). Mundialmente, solos agrícolas possuem potencial de sequestro de aproximadamente 5.500 – 6.000 Mg CO₂ – Ceq. ano⁻¹ até 2030 (SMITH et al., 2008). Assim, são necessárias estratégias para aumentar os reservatórios de MO no solo para que além de mitigar emissões de CO₂ beneficie a qualidade do solo, e economicamente a produção agrícola (KAHLON et al., 2013).

Dentro desse contexto, o Governo Federal lançou um Plano Setorial de Mitigação e de adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de C na Agricultura (OLIVEIRA et al., 2009; Plano ABC, 2012). De acordo com o artigo 3º do Decreto nº 7.390/2010, esse tem a finalidade de organizar e planejar ações para adotar tecnologias de produção sustentáveis, como resultado da proposta apresentada na Conferência das Partes (COP 15) realizada em Copenhague. Assim, entre outros aspectos, objetiva-se cumprir o compromisso de redução de emissão de GEE no setor agropecuário do Brasil mediante as metas propostas no Plano ABC que é de abrangência nacional e tem período

de vigência de 2010 a 2020. Esse plano para o setor agrônômico é composto por sete programas, seis deles referentes às tecnologias de mitigação, e ainda um último programa com ações de adaptação às mudanças climáticas (Tabela 1). Segundo estimativa calculada por Bernoux et al. (2006) e a área atual de PD no Brasil, verifica-se que o PD consegue anualmente acumular entre 16 e 17 milhões de toneladas de C no solo.

Tabela 1: Programas estabelecidos dentro do Plano ABC

Programas	
1	Recuperação de Pastagens Degradadas
2	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs)
3	Sistema Plantio Direto (SPD)
4	Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)
5	Florestas Plantadas
6	Tratamento de Dejetos Animais
7	Adaptação às Mudanças Climáticas

Fonte: ([MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2013](#)).

O uso do SPD demonstra-se através de estudos referentes às taxas de sequestro de C como uma estratégia de consenso global para mitigar o CO₂ atmosférico (IPCC, 2014). Segundo Pavei, (2005) as taxas de sequestro de C pelo solo sob PD são variáveis conforme as diferentes regiões devido às condições climáticas (temperatura e umidade), ao tipo de solo (textura e mineralogia) e sistema de rotação de culturas adotado (aporte de resíduos). O sequestro de C do solo no PD em relação ao PC segundo Bayer et al. (2006) para clima subtropical foi de 0,48 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e para clima tropical de 0,35 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, no Brasil. Também segundo Corbeels et al. (2016) a conversão do cultivo de terra de PC para PD de 8 milhões de hectares representa um armazenamento de C no solo estimado em cerca de 8 Tg C ano⁻¹ para experimentos de 10 a 15 anos. Embora o solo sob PD funcione como um dreno do CO₂ atmosférico, Roscoe (2003) ressalta que o sistema sozinho não possui capacidade suficiente para mitigação do CO₂ atmosférico oriundo da indústria e queima de combustíveis fósseis, mas que o sistema conservacionista traz inúmeros benefícios para a sociedade, com a preservação do solo, da água e da biodiversidade.

1.4.2 Cultura do Milho

A cultura de milho (*Zea mays* L.) é de grande importância comercial, pois o cereal é consumido em todos os continentes e com previsão de produção mundial de cerca de 1,01 bilhão de toneladas (DEAGRO/FIESP, julho de 2016). O Brasil é o terceiro produtor mundial, com projeção de produtividade de 80 milhões de toneladas para safra de 2016/17, segundo o 3º levantamento da USDA (DEAGRO/FIESP, julho de 2016).

Conforme Carvalho (2004), no Brasil a cultura do milho possui um alto potencial produtivo podendo chegar a 14 Mg ha ano⁻¹ de grãos quando em condições experimentais ou por produtores que adotam tecnologias adequadas. O milho possui grande importância para o agronegócio nacional sendo à base de sustentabilidade para a pequena propriedade. A região do sudoeste do Paraná é grande produtora de aves e a produção do milho torna-se fundamental para a fabricação das rações destes animais (OLIVEIRA et al., 2009).

A produção de biomassa pela palhada do milho é elevada obtendo-se médias próximas de 10 Mg ha ano⁻¹ para condições do Sudoeste do Paraná (DAHLEM, 2013) e de baixa taxa de decomposição devido a alta relação C/N deste resíduo. Estas características da cultura do milho são positivas para a manutenção da qualidade do solo, uma vez que os nutrientes são liberados de forma lenta e com menos perdas, além de ocorrer manutenção de palhada sobre a superfície protegendo-a dos efeitos erosivos.

Ao analisar sistemas de manejo visando o sequestro de C pela cultura do milho Amado et al. (2001) verificou recuperação no teor de MO onde o tratamento milho/mucuna no oitavo ano superou inclusive o tratamento referência com o campo natural, apresentando nos últimos quatro anos uma taxa de acúmulo de 1,6 Mg C ha ano⁻¹. Em estudo realizado em Ohio por Jarecki et al. (2005) a estimativa para a cultura de milho no sequestro de C é de 0,38 Mg C ha ano⁻¹.

Visto a grande importância econômica da cultura do milho como produto agrícola os mais diversos campos de estudo da ciência agrônoma, destacando a genética, vêm promovendo melhorias para aumentar o poder produtivo da espécie conjuntamente com estudos de manejo adequado e adubação nitrogenada (DUETE et al., 2009). Para a cultura do milho o N é o elemento mais absorvido e exportado do solo. O N é essencial ao metabolismo vegetal do milho, atuando diretamente na biossíntese de proteínas e clorofilas, principalmente na fase inicial de desenvolvimento (VILELA et al., 2012). Jakelaitis et al. (2005) afirma que o N além de participar na constituição das proteínas, enzimas, ácidos nucléicos, citocromos e moléculas de clorofila, influencia também na taxa de emergência, expansão e duração da área foliar, resultando na interceptação e na utilização eficiente da radiação fotossintética ativa e na produção de biomassa seca. A quantidade exportada pelo milho pode auxiliar na tomada de

decisão sobre o manejo da adubação nitrogenada (SILVA et al., 2006). Então, para estabelecer uma recomendação de adubação nitrogenada critérios conjuntos como: expectativa de produtividade, teor de MO do solo e cultura de cobertura antecessora ao milho devem ser considerados (AMADO et al., 2002). Este fato é decorrente às inúmeras reações que o N pode participar devido aos microrganismos e a fatores climáticos (CANTARELLA & DUARTE, 2004).

Quando utilizamos o PD com culturas de cobertura (adubos verdes) com manutenção dos resíduos sobre o solo ocorre uma decomposição lenta e gradual desses resíduos, liberando compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade dos agregados no solo, melhorando a estrutura do solo (CORAZZA et al., 1999). Os cultivos de milho conduzidos em sistemas de rotação de culturas apresentam maior rendimento por área e peso de mil sementes àqueles conduzidos em monocultura (WORDELL & SPAGNOLO, 2013). O milho cultivado sobre palhada de consórcio aveia preta + nabo forrageiro e aveia preta + tremoço branco apresentaram maiores rendimentos de grãos sendo uma alternativa viável para a obtenção de alto rendimento de grãos (LÁZARO et al., 2013). Quando as culturas antecessoras do milho são leguminosas, nabo forrageiro ou consórcio há aumento da produtividade do milho com redução ou até mesmo ausência de adubação nitrogenada (WEBER & MIELNICZUK, 2009; PAULETTI & SANTOS et al., 2010).

1.4.3 Adubação Verde

Como um dos fundamentos do PD está à implementação da prática de cobertura do solo com culturas de inverno ou de verão também denominadas de adubação verde ou plantio verde. Elas são muito importantes para recuperação de solos degradados, melhorando solos naturalmente pobres e conservando os solos já produtivos (CALEGARI et al., 1993). Segundo Coelho (2009), o manejo com leguminosas utilizadas como adubos verdes possuem capacidade de manutenção dos teores de COT, NT e dos teores de C e N das substâncias húmicas (SH) no solo, mantendo-se em valores próximos aos encontrados em mata natural. Espécies espontâneas foram eficientes nos estoques de C e N no solo tanto quanto as leguminosas estudadas, após quatro anos de cultivo aumentando os teores na fração húmica mais lábil da MO do solo (COELHO, 2009). Em estudo realizado pela Embrapa Solos (2008), observou que leguminosas anuais num período de cinco anos, tal como a mucuna intercalada ao

milho promoveu um aumento de 21% na produção de milho em relação à testemunha (4.440 kg ha⁻¹), seguindo-se o feijão-de-porco com 14% e a ervilhaca com 10%.

Além do incremento de produtividade das culturas comerciais o uso de adubação verde, sob PD, melhora a qualidade do solo. O aumento no teor de MO do solo está relacionado à entrada de biomassa das plantas de cobertura sendo dependente das espécies e do clima regional (SANTOS et al., 2011). Em geral, as mudanças provocadas pelo manejo do solo em relação a MO devido à adubação verde são difíceis de serem avaliadas em curto prazo (ZOTARELLI et al., 2007). Entretanto, Nascente et al. (2013) demonstraram que o uso da adubação verde, com o milho em sistema de PD aumentou o C e N em cada uma das frações leves da MO do solo, mesmo havendo pouca alteração quando avaliado a MO total.

Weber & Mielniczuk (2009) avaliaram um experimento de 22 anos sob PD, solo que anteriormente estava degradado pelo cultivo de colza e girassol com o manejo de PC. Identificaram acúmulo de NT no solo quando utilizado leguminosas de verão. Com tratamentos de lab-lab/milho, guandu/lab-lab e guandu/milho, sem adubação nitrogenada, obtiveram taxa anual de acúmulo de 35, 40 e 58 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, respectivamente.

1.4.4 Matéria Orgânica do Solo

A MO do solo pode ser definida como todo material orgânico de origem biológica, vivo ou morto que se encontra no solo, que passa em peneira com malha de 2 mm (DICK et al., 2009; PRIMO et al., 2011), sendo raízes de plantas e organismos do solo representantes da parte viva da MOS com aproximadamente 4% do total do solo, e a parte morta representada matéria macrororgânica, constituída de resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não humificadas (PRIMO et al., 2011). Ou seja, material resultante das reações de equilíbrio entre as entradas de biomassa e decomposição dos resíduos, produtos vegetais e animais, além da erosão e oxidação microbiana (DICK et al., 2009).

A dinâmica da MO do solo é dependente da manutenção do equilíbrio dos fluxos de entrada e saída durante um período de tempo (SALTON et al., 2005). Para clima tropical há alguns fatores que estão relacionados com a dinâmica da MOS, tais como mineralogia e textura do solo, clima, teor de MO, uso e manejo do solo (sistema de preparo do solo e sistema de culturas) (TAN et al., 2013). A influência do tipo de mineral e textura do solo em relação a MO segundo Mikutta et al. (2006) e Feng et al. (2013) apresenta correlação positiva para teor de argila. Assim, solos de textura argilosa tendem a ter maior teor de MO do que solos arenosos

(DICK et al., 2009) e segundo, Zinn et al. (2005) solos de textura arenosa (≤ 200 g kg argila⁻¹) sofrem perdas significativas de C orgânico demonstrando-se menos resistentes em relação aos solos de textura muito argilosa (> 500 g kg de argila⁻¹). A variação da interação da MO com os minerais do solo proporciona capacidades distintas de armazenamento do C no solo, minerais 1:1, 2:1 e (oxi) hidróxidos de Fe e Al promovem forças de ligação diferentes entre o solo e a MO (CARAVACA et al., 1999; EUSTERHUES et al., 2013).

O clima interfere, principalmente, na dinâmica e estabilização da MO do solo. Por exemplo, o calor e precipitação tendem a aumentar a taxa de decomposição (COELHO, 2009); em regiões semiáridas com baixa precipitação, temperatura elevada e adoção de práticas sustentáveis necessitam de muito mais tempo para que ocorram incrementos de MO do solo (LAUDICINA et al., 2015).

O teor de MO do solo segundo o estudo realizado por Tan et al. (2013) deve ser considerado para avaliar a dinâmica da MO e avaliar a capacidade de sequestro de C pelo solo. Solos que apresentam teor de MO mais baixo irão estabilizar o C de maneira mais eficiente do que aquele com um alto teor de MO. Como resultado há sugestão de que aos solos de menor teor de MO é muito importante e eficiente a entrada de resíduos vegetais no solo.

Considerando o preparo do solo utilizando o PC com base na perturbação física do solo há um aumento na decomposição da MO, porque ocasiona a destruição dos macroagregados expondo a MO do solo aos processos oxidativos microbianos (TISDALL, 1996). Inclusive a perturbação do solo e aumento da decomposição da MO reflete em maiores emissões de CO₂. Por outro lado, o emprego do PD com o mínimo de perturbação do solo promove incrementos na MO justificada pela diminuição dos processos oxidativos devido à sua proteção nos agregados do solo (ZINN et al., 2005).

O efeito de plantas de cobertura sobre o teor da MO do solo é proporcional à quantidade de matéria seca (MS) aportada ao solo, sendo que sob PD a curto prazo não é suficiente para aumentar os níveis de MO em profundidade (DUVAL et al., 2016). Sistemas com cultura de cobertura são usados como uma importante estratégia agrícola para fornecer quantidades significativas de resíduos ricos em C, que podem muitas vezes alterar a quantidade e qualidade da MO, bem como, a capacidade produtiva do solo (FRANZLUEBBERS, 2005; SAINJU et al., 2003; SALTON et al., 2005).

A MO é muito importante dentro do ecossistema, sendo o maior reservatório de C da superfície terrestre, com estoque de C em cerca de 1.550 1.015g (1000 milhões de toneladas métricas) (LAL, 2008). Em média o solo contém 2,5 vezes mais C do que a atmosfera (BATJES et al., 1998), portanto merece considerável atenção por causa do potencial

de sequestro de C. Conforme a dinâmica da MOS as plantas e, associada a esta, os microorganismos são os principais responsáveis pela adição de compostos orgânicos ao solo compondo a MO (LOVATO et al., 2003).

Além do acréscimo de MO do solo os processos referentes à estabilidade da MO são essenciais para a conservação do solo. Vários estudos sobre estabilidade da MO em regiões temperadas demonstram resultados positivos na adoção do PD como manejo do solo (KÖGEL-KNABNER et al., 2008), porque demonstraram que o não revolvimento do solo promove a formação e estabilidade de agregados que são diretamente dependentes a presença de MO, juntamente com os microorganismos, raízes e minerais do solo (SIX et al., 2002). Neste caso a agregação e dinâmica da MO do solo são fortemente inter-relacionados (PUGET et al., 1995). Tisdall & Oades (1982), propuseram então um modelo em que os agentes de ligação foram classificados em três grupos: transitórios (polissacarídeos), temporários (raízes e hifas) e os persistentes (MO ligada aos minerais de argila 2:1). A MO, neste caso, é um agente aglutinante muito importante para formação hierárquica dos agregados.

Entretanto, em regiões subtropicais e tropicais de solo com textura argilosa a formação e estabilidade dos agregados são de forte predominância de minerais de argila 1:1 e óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (OADES & WATERS, 1991). Assim, Golchin (1994), propõem que a formação e estabilidade de agregados ocorrem pela adição de resíduos vegetais ao solo. Os resíduos fornecem C para atividade dos microorganismos promovendo liberação de metabólitos que atuam como agentes ligantes de partículas. As interações entre partículas de argila, resíduos vegetais e compostos orgânicos forma um núcleo orgânico e com o tempo, a disponibilidade de MO para os microorganismos decresce, diminuindo a estabilidade dos macroagregados, que liberam agregados de menor tamanho quando rompidos (GOLCHIN et al., 1994).

Assim, durante anos, os estudos propuseram que a formação e estabilidade dos agregados em Latossolos de minerais de argila 1:1 ricos em óxidos de Fe e Al eram pouco dependentes da MO (SIX et al., 1999). No entanto, verifica-se atualmente que a MO é de extrema importância para estes solos, porque aumentam atividade microbiana e o desenvolvimento das raízes proporcionando acréscimo de macroagregados ao solo (COSTA JUNIOR et al., 2012; MIELNICZUK, 2011; VEZZANI & MIELNICZUK, 2011). Por isso, o diâmetro médio ponderado dos agregados aparece como um dos índices mais indicados para avaliar efeitos no sistema de preparo do solo, portanto, um fator recomendado para avaliações de qualidade (BARRETO et al., 2009; SOUZA et al., 2014). Hernani & Guimarães (1999), verificaram que sistemas com rotação de culturas influenciaram a estabilidade e o tamanho de

agregados, com resultados significativos no aumento do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água quando comparado a sistema de preparo em ausência da rotação. Salton et al. (2008), também demonstraram que sistemas de manejo do solo com maior rotação de culturas em PD favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas com culturas de ciclos maiores que três anos.

A estabilização da MO do solo é o resultado da ação simultânea de três mecanismos: proteção química (recalcitrância), interação organomineral e proteção física. A proteção química é intrínseca as moléculas orgânicas e está presente em todos os compartimentos da MO do solo, portanto componentes mais recalcitrantes não são mais vistos como mecanismo dominante voltando à atenção para os outros dois mecanismos de interação: organomineral e o de proteção física (DIECKOW et al., 2009).

A proteção física ocorre devido à influência dos agregados em proporcionar barreiras físicas para o C reduzindo a difusão de água, ar e/ou nutrientes, restringindo à ação microbiana. Assim, os agregados são resultado do rearranjo das partículas, floculação e cimentação de microestruturas e microagregados num processo que depende dos teores de COT, ligações iônicas, biota, argila e carbonatos. O C orgânico do solo atua como agente de ligação de um núcleo na formação de agregados. A biota e seus produtos orgânicos contribuem para a estruturação do solo exercendo controle sobre a dinâmica do C orgânico do solo. O tempo de permanência do C orgânico do solo e a taxa de decomposição são fatores que influenciam a eficácia no aumento da agregação. Óxidos e hidróxidos sejam eles cristalinos ou amorfos também são importantes agentes de agregação. Íons metálicos formam pontes entre partículas minerais e organominerais. A argila atua como agente agregante e influencia a decomposição do C orgânico do solo. A alta concentração de carbonato aumenta a proteção do C orgânico do solo promovendo resistência para os agregados do solo. Portanto, a estabilidade de agregados do solo em longo prazo está relacionada com a presença de compostos de C e íons metálicos (BRONICK & LAL, 2005).

Os processos e mecanismos envolvidos na agregação do solo são complexos e agem de maneira simultânea e intrínseca. Com práticas de manejo que diminuam os distúrbios ao agroecossistema, aumentando a diversidade e a quantidade de flora e fauna a agregação do solo é melhorada com consequências importantes para a estrutura do solo (BRONICK & LAL, 2005).

De acordo com o trabalho desenvolvido por Conceição (2013) em um Argissolo de clima subtropical a maior parte de C armazenado na fração mineral reflete a importância da estabilização da MO do solo pela interação organomineral. E também ressalta que a oclusão de

C pelos agregados serve como meio para que o resíduo de C consiga ser estabilizado pela interação organomineral. No entanto, embora em menores quantidades a importância dos demais mecanismos não pode ser subestimada.

Sendo a MO do solo como um compartimento heterogêneo do solo, que apresenta situações muito variáveis quanto a composição química com numerosas substâncias orgânicas que variam de açúcares a produtos complexos da transformação microbiana (BUYANOVSKY et al., 1994), variações quanto ao grau de decomposição, recalcitrância e mecanismos de proteção da MO existe a busca do entendimento do que é a MOS, como é formada e como preserva-la. Desta forma, são empregados métodos de fracionamento para reduzir a heterogeneidade possibilitando separar a MO em frações homogêneas e conforme o objetivo do estudo escolher o método que proporciona a classificação e quantificação da MOS. São mais usuais dois métodos de fracionamento: o químico e o físico (DICK et al., 2009). Em ambos os fracionamentos a distinção mais simples das frações recai no grau de recalcitrância da MOS com os compartimentos de MO lábil que constituem uma proporção relativamente pequena da MO do solo total, facilmente decomposto e extremamente sensível à flutuação ambiental (WANDER, 2004) e a MO menos lábil é estabilizada por partículas do solo e é fundamental para a persistência da MO do solo.

No método de fracionamento químico o objetivo é fracionar a MO do solo segundo sua solubilidade em meio ácido e alcalino com metodologia segundo Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (IHSS) (von LÜTZOW et al., 2007). Busca-se assim frações puramente orgânicas que são livres de componentes minerais para estudar as interações das substâncias que compõem a MO. Dentre os métodos de fracionamento químico há um grande número de trabalhos utilizando a extração ácido/base obtendo as frações de ácido húmico (AHs), ácido fúlvico (AFs) e humina (Hum) (DICK et al., 2009; LOPEZ-SANGIL & ROVIRA, 2013; STEVENSON, 1994). Estudos envolvendo a datação por radio C mostram que estas frações conseguem representar reservatórios distintos do C orgânico do solo (LOPEZ-SANGIL & ROVIRA, 2013). Estando intimamente relacionado com as interações organominerais e suas propriedades, tais como: ligações de hidrogênio, precipitações por cátions, associações com óxidos e hidróxidos de Fe e Al, ligações eletrostáticas fracas com partículas de argila, etc (LOPEZ-SANGIL & ROVIRA, 2013).

Para a compreensão do processo de humificação da MO a busca pela elucidação dos processos químicos e bioquímicos detalhadamente são importantes e não há estudos conclusivos sobre o assunto na literatura. Existem duas teorias clássicas que abordam os mecanismos de formação da MO do solo de maneira distinta (DICK et al., 2009). A primeira

abordagem propõem uma reação de polimerização de biopolímeros e conseqüentemente a formação de MOS humificada e a segunda abordagem versa sobre a polimerização de moléculas de pequeno tamanho liberadas na decomposição dos resíduos orgânicos (DICK et al., 2009; PICCOLO & CONTE, 2000). Ambas apresentam falhas e são questionadas pelos pesquisadores atuais, por isto, estas teorias e abordagens de mecanismos de formação das SH como macromoléculas tem cedido espaço para a visão das SH como associação supramolecular, por meio de evidências cromatográficas e espectroscópicas (DICK et al., 2009; PICCOLO et al., 2002).

Associações supramoleculares das SH são temporariamente estabilizada em soluções aquosas por forças fracas, tais como ligações de hidrogênio e forças de van der Waals, dependendo do pH da solução, e sobre o carácter hidrofóbico dos componentes húmicos, respectivamente (PICCOLO et al., 2004). Componentes mais polares formam associações que são suficientemente hidratados tornando-se estáveis e móveis em soluções aquosas, e podem separar-se da massa da estrutura supramolecular das SH. Estes componentes seriam frações de menor tamanho do sistema polidisperso húmico. Os AF são exemplos de frações com menor massa molecular. Por outro lado, os componentes menos polares reduzem a energia livre de solvatação pela retirada de água proporcionando associações supramoleculares de maiores dimensões, estabilizados por forças hidrofóbicas relativamente fortes. Este tipo de associação de elevado tamanho molecular refere-se a maior fração AH (DOBBSS et al., 2009; PICCOLO & CONTE, 2000).

Para a ciência do solo o conceito de estrutura supramolecular para as SH como uma estrutura físico-química corrobora com a hipótese de que a MO se acumula no solo por causa da preservação seletiva de compostos recalcitrantes de origem vegetal (PICCOLO et al., 1999 b). A agregação supramolecular das estruturas alifáticas resistentes, a presença de água e atividade microbiana representa um importante mecanismo de acumulação da MO do solo e fornece uma explicação físico-química alternativa para o longo tempo de residência de SH no solo (PICCOLO et al., 2004). Contudo, a aplicação do método de fracionamento químico da MO é bastante agressivo a estrutura do solo devido ao uso de extratores fortemente básicos e ácidos impossibilitando estudos relacionados com a estabilização e proteção da MO, porque pouco contribui para a identificação dos compartimentos da MO do solo relacionado ao manejo em função do tempo (DICK et al., 2009; FELLER & BEARE, 1997; GOLCHIN, et al., 1994).

O método físico de fracionamento consegue relacionar os compartimentos da MO com suas funções e estrutura podendo ser executado de duas maneiras ou combinados conforme o estudo da MO que se deseja realizar, tendo-se assim, o método granulométrico e o

densimétrico. Ambos são considerados menos destrutivos do que o fracionamento químico e estão relacionados com a estrutura e função da MOS. O fracionamento granulométrico baseia-se no diferente tamanho entre as partículas do solo e é muito utilizado, porque sua execução é bastante simples e permite o estudo dos compartimentos mais humificados e tipicamente mais estáveis às mudanças no ambiente do solo (FREIXO et al., 2002). Como este método promove a separação de acordo com o tamanho das partículas a MOP corresponde às partículas $> 53\mu\text{m}$ de diâmetro, enquanto a MOAM refere-se à fração orgânica associada à porção silte e argila dos solos (ROSCOE & MACHADO, 2002).

Por outro lado, o fracionamento densimétrico baseia-se na separação da fração orgânica da mineral requerendo mais tempo e recursos para executá-lo. No início da aplicação do fracionamento densimétrico da MO do solo em 1933 e 1941 não havia o uso do ultrassom que posteriormente foi empregado com a finalidade de obter as FLL e FLO dos intra-agregados do solo (FELLER & BEARE, 1997). Atualmente é utilizada uma sonda de ultrassom e as soluções densas mais empregadas são: de NaI (iodeto de sódio $1,1$ a $1,8 \text{ g cm}^{-3}$) ou $\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})\cdot\text{H}_2\text{O}$ (politungstato de sódio $1,6$ a $2,4 \text{ g cm}^{-3}$ - PTS) e géis de sílica (CONCEIÇÃO et al., 2008; WANDER, 2004). A escolha da solução densa é importante, uma vez que, podem alterar as características químicas das frações da MO do solo, por exemplo, soluções de iodeto são agentes redutores fortes e os géis de sílica apresentam um pH de 8 ou mais podendo em muitos casos extrair substâncias húmicas (WANDER, 2004).

O fracionamento densimétrico permite o isolamento e a quantificação dos compartimentos mais lábeis da MO do solo, atributo importante para avaliações da qualidade do solo em menor tempo devido a uma maior sensibilidade (BAYER & BERTOL, 1999; FREIXO et al., 2002). Desta forma, o fracionamento físico densimétrico da MO torna-se um indicador efetivo para mostrar as diferenças causadas pelo manejo do solo na dinâmica da MO em um curto período de tempo (NASCENTE et al., 2013). No fracionamento densimétrico obtêm-se as frações FLL, FLO e a FP fornecendo informações sobre a dinâmica da MO do solo (DICK et al., 2009).

A FLL representa uma parcela pequena do total da MO do solo e é constituída por materiais orgânicos derivados principalmente de restos vegetais, contendo quantidades razoáveis de resíduos microbianos e da microfauna (ROSCOE & MACHADO, 2002). A composição química da FLL tem grande quantidade de biomoléculas (tais como carboidratos, aminoácidos e celulose) sendo facilmente utilizada quando o solo é cultivado em função da característica de maior suscetibilidade ao ataque microbiano e pouca humificação, sofrem transformações por decomposição perdendo parte dos compostos de rápida decomposição,

como carboidratos e proteínas. Como a FLL é de fácil decomposição e está intimamente ligada a dinâmica da MO através do aporte de resíduos orgânicos ao sistema importando a quantidade e qualidade dos resíduos apresentando variação espacial e sazonal. Os teores de FLL tendem a serem maiores em solos com vegetação nativa que com pastagem e com culturas anuais, quanto ao manejo o PD mantém valores mais elevados da FLL comparativamente ao PC, porque o mecanismo de proteção da FLL é unicamente a recalcitrância química e o revolvimento do solo promove a exposição do material orgânico ao intemperismo (CONCEIÇÃO et al, 2008; ROSCOE & MACHADO, 2002).

Assim como FLL a FLO é formada por diversos resíduos orgânicos, mas com um grau de decomposição maior do que a FLL. A diferença química entre as frações é em decorrência da maior decomposição dos compostos O – alquil pelos microorganismos promovendo a síntese de grupos alquil. A FLO tende a ter material orgânico mais humificado que a FLL e, portanto requer maior tempo de ciclagem não sendo tão sensível ao manejo em curto prazo. O mecanismo de proteção da FLO pode ser pela recalcitrância química e/ou com a proteção física resultante da oclusão da fração no interior dos agregados A terceira fração obtida pelo método densimétrico é FP que contém o material orgânico resultante de vários processos de decomposição e que está ligado a fração mineral. A FP tem predominância de substâncias com elevada recalcitrância sintetizados pela microbiota e apresenta os três mecanismos de proteção da MO justificando a baixa taxa de ciclagem deste compartimento (ROSCOE & MACHADO, 2002).

Devido a natureza das frações da MO do solo a FL (mais lábil) é a mais suscetível a alterações com os resíduos vegetais e a relação C/N das culturas adotadas acabam servindo para avaliar a qualidade química do resíduo. A importância da relação C/N dos resíduos vegetais em solo principalmente sob clima tropical está associado à atividade microbiana que incorpora em suas células um átomo de N para cada dez átomos de C. Os microorganismos transformam a MO e incorporam parte para sua constituição celular liberando o C na forma de CO₂. Portanto, existe uma relação direta entre a relação C/N dos resíduos com a atividade biológica do solo.

Os resíduos de leguminosas possuem uma relação C/N por volta de 20, enquanto, resíduos de gramíneas apresentam relação em torno de 40 ocorrendo neste último um menor aporte de N ao solo. Outras comparações possíveis utilizando-se da relação é que a FP (MO mais recalcitrante) apresenta valores desta relação inferiores a FL por causa do grau de decomposição mais elevado. Através das diferenças nas frações da MO do solo é possível realizar o estudo com mais propriedade dos efeitos causados pelo manejo do solo aos

mecanismos de estabilização e dinâmica da MO do solo (DICK et al., 2009). A relação C/N do resíduo presente na superfície ou incorporada no sistema tem importância na liberação de N para as culturas posteriores, pois culturas como a aveia, centeio e o milho (gramíneas), apresentam relações maiores que 30:1, o que proporciona maior imobilização inicial de N, que a mineralização limitando o desenvolvimento microbiano e, conseqüentemente, a decomposição dos resíduos vegetais (PAULETTI & COSTA, 2000). No entanto, a atividade microbiana ao longo do tempo adapta-se e ocorre o equilíbrio entre a imobilização/mineralização promovendo a estabilização do N no solo. Quando o clima é tropical a combinação de culturas com diferentes exigências de N e sistemas radiculares distintos beneficiam o manejo da adubação nitrogenada (COSTA, 2000).

Segundo Madari et al. (2009) a MO constitui de 1-5% do solo integral, de modo geral, e a composição da MO visando sua constituição elementar total propõe que para aproximadamente 90% (m/m) de MO morta do solo de 52 a 58% é de C, 34 a 35% de O (oxigênio), 3,3 a 7% de N e hidrogênio (H) para fósforo (P) e enxofre (S) proporções inferiores a 2%. Dos elementos constituintes da MO há grande interesse nas quantidades de C e N presentes no solo, pois estão intimamente ligados a dinâmica da MO. Existem algumas metodologias para determinação desses elementos, tais como oxidação indireta (via úmida), calcinação e combustão a seco (RHEINHEIMER et al., 2008). Os principais fatores para a escolha de uma técnica específica são: confiança, reprodutibilidade, tempo de análise, custo de equipamento, custo de reagentes ou consumíveis e risco para saúde humana e/ou ambiental (VITTI et al., 2016).

Entre os métodos de oxidação indireta com dicromato o Walkley e Black (1934) e Yeomans & Bremner (1988) são os procedimentos mais utilizados nas últimas décadas, porque possuem baixo custo de reagentes e utiliza o mínimo de equipamento. Nestes dois métodos o grande inconveniente está no risco ambiental e humano, devido à formação de resíduos de ácidos com Cromo (Cr^{+6}) e com a manipulação de H_2SO_4 concentrado. (BRAGANÇA et al., 2015; KERVEN, 2008). Outro fator importante, segundo Rheinheimer (2009), é que a precisão da estimativa do C é dependente da padronização da temperatura das amostras com o bloco de digestão.

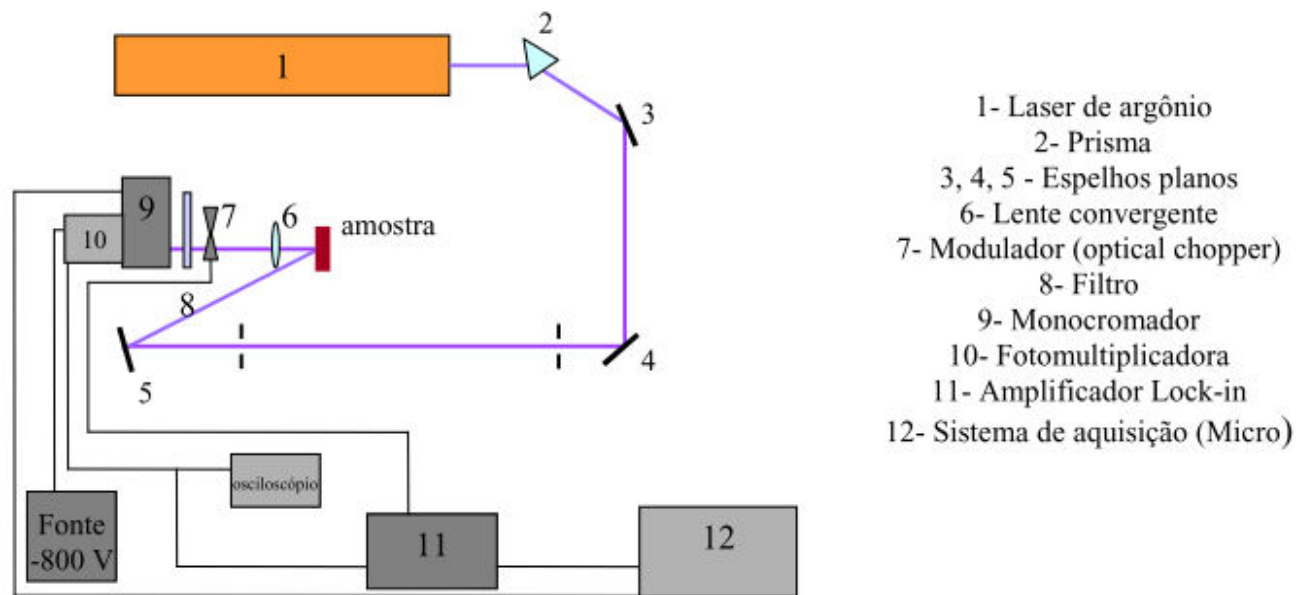
Na metodologia por calcinação a amostra é aquecida de 450 a 900° C em um forno de mufla até 24 horas. As perdas de massa são devidas à umidade e compostos orgânicos voláteis podendo superestimar o conteúdo de MO (CHATTERJEE et al., 2009; SLEUTEL et al., 2007).

A análise de combustão a seco é considerada atualmente a análise padrão para determinação de C e N. Algumas vantagens deste método em relação às demais metodologias estão na ausência de reagentes tóxicos ao meio ambiente e no maior número de amostras analisadas em tempo reduzido. (GATTO et al., 2009). A detecção de C e N no solo ou frações num analisador elementar inicia com a entrada de amostra automática dentro de um forno (compartimento) com temperatura elevada e presença de O₂ para combustão do material sendo os gases carregados por um gás suporte (geralmente hélio) e convertidos em CO₂ e N₂. Os gases são separados por um sistema de cromatografia gasosa e a detecção geralmente é por condução térmica (SMITH & TABATABAI, 2004). Existem variações nos modelos de analisadores em função do tipo de detecção e fabricante. No entanto, requer o uso de equipamento com valor de aquisição e de consumíveis elevado, inviabilizando o uso da técnica para muitos laboratórios brasileiros (RHEINHEIMER et al., 2008).

Como MOS é complexa várias técnicas espectroscópicas podem ser utilizadas para seu estudo, permitindo observar mudanças na conformação estrutural dos seus grupamentos funcionais (CANELLAS et al., 2001; MILORI et al., 2004; MILORI et al., 2004). Dentre estas se destacam a espectroscopia de fluorescência induzida por laser (FIL) e a espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) as quais tem sido utilizadas, para estabelecer o grau de humificação e aromaticidade da MO (PRIMO et al., 2011; SANTANA et al., 2013), sendo a FTIR capaz de avaliar a natureza, reatividade, arranjo estrutural de grupos funcionais com presença de O, ocorrência de proteínas, carboidratos e o grau de pureza da amostra quanto a contaminantes inorgânicos, respectivamente (BENITES et al., 1999; DOBBSS et al., 2009).

Segundo Milori et al. (2004) a FIL é uma técnica bastante simples e amplamente utilizada em uma variedade de aplicações analíticas, uma vez que a amostra não requer pré-tratamento nem sofre interferência de íons paramagnéticos como Fe⁺³ (DIECKOW et al., 2005; MILORI et al., 2002). A amostra de solo é excitada com laser de argônio na região do azul-ultravioleta próximo (~ 465nm) ocorrendo a emissão de fluorescência. O valor da área do espectro de fluorescência gerado é normalizado pelo teor de C existente no solo ou fração e esta razão é o grau de humificação (MILORI et al., 2004) (Figura 2). Um espectro típico de emissão de fluorescência é um perfil de banda larga com um pico máximo de fluorescência indicando que a fluorescência correlaciona – se com a concentração do grupo cromóforo dos compostos aromáticos.

Figura 2: Esquema simplificado para medida de fluorescência induzida por laser (FIL).



Fonte: Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, ISSN 1678-0434; n. 3.

A FTIR se baseia na natureza das estruturas moleculares e ligações químicas de absorverem radiação eletromagnética na região do infravermelho, em comprimento de onda característico, assim cada ligação química vibra numa faixa espectral específica refletindo o grupo de átomos e o meio químico analisado (CERETTA et al., 1999). Para a análise da MO a técnica de FTIR possibilita o estudo da natureza química, reatividade e arranjo estrutural de grupos com O, a presença de proteínas, polissacarídeos e pureza da amostra quanto à contaminantes como argila, sais e metais (STEVENSON, 1994). A importância da análise de solo por FTIR é que além da avaliação quantitativa da MO pode-se obter a qualitativa, e assim inferir sobre a labilidade da MO e a recalcitrância molecular

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T. et al. Potencial de Culturas de Cobertura em Acumular Carbono e Nitrogênio no Solo no Plantio Direto e a Melhoria da Qualidade Ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, 189-197, 2001.
- AMADO, T. et al. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, 241-248, 2002.
- BARRETO, R. et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, 243–251, 2009.

- BATJES, N. H. et al. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, 1 – 163, 1996.
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características Químicas de um Cambissolo Húmico Afetadas por Sistemas de Preparo com Ênfase à Matéria Orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, 687-694, 1999.
- BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, 237–245, 2006.
- BEBER, E. C. **Estoque de carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes usos agrícolas**. 2001, 77f. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2011.
- BENITES, V. M. et al. Caracterização dos Ácidos Húmicos Extraídos de um Latossolo Vermelho Amarelo e de um Podzol por Análise Termodiferencial e pela Espectroscopia de Absorção no Infravermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, 543-551, 1999.
- BERNOUX, M. et al. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 26, 1-8, 2006.
- BRAGANÇA, R. et al. Comparison of different methods for the determination of total organic carbon and humic substances in Brazilian soils. **Revista Ceres**, v. 62, 496-501, 2015.
- BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, 3–22, 2005.
- BUYANOVSKY, G.A.; ASLAM, M.; WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v.58,1167-1173, 1994.
- CANALLI, L. **Decomposição de resíduos culturais e sua contribuição nos macroagregados e na fração lábil da matéria orgânica do solo no sistema plantio direto**. 2009, 101f. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2009.
- CALEGARI, A. et al. Adubação verde no sul do Brasil. **AS-PTA**, Rio de Janeiro, 346p. 1993.
- CANELLAS, L. P. et al. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 36, 1529-1538, 2001.
- CANTARELLA, H. & DUARTE, A. P. **Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho**. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.) Tecnologia de produção de milho. Viçosa: UFV, p. 139-182, 2004.

- CARAVACA, F. et al. Organic matter, nutrient contents and cation exchange capacity in fine fractions from semiarid calcareous soils. **Geoderma**, v. 93, 161–176, 1999.
- CARVALHO, L. L.F. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. **Geoderma**, v. 120, 283–295, 2004.
- CHATTERJEE, A. Evaluation of Different Soil Carbon Determination Methods. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 28, 164–178, 2009
- CASÃO JUNIOR, R. et al. **Plantio direto no sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 2012.
- CERETTA, C.A. et al. Acúmulo de carbono em humina, ácidos fúlvicos e húmicos em três profundidades de solo com sistemas de cultura, sob plantio direto, durante seis anos. **In: II ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS**, Anais, p.136, 1999.
- COELHO, M. S. **Adubos Verde na Quantidade e Qualidade da Matéria Orgânica do Solo de Cafezais em Sistema de Cultivo Orgânico**. 2009, 52f. Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research**, v. 129, 40–47, 2013.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento Densimétrico com Politugnstato de Sódio no Estudo da Proteção Física da Matéria Orgânica em Solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 541-549, 2008.
- CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, 425-432, 1999.
- COSTA JUNIOR, C. J. et al. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, 1311-1321, 2012.
- CORBEELS, M. et al. Evidência de sequestro de carbono limitada em solos sob sistemas de plantio direto no Cerrado do Brasil. **Scientific Reports**, v. 6, , 21450, 2016.
- CRUZ, J. C. et al. **Cultivo do Milho**. Circular Técnica. EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 2006.
- DICK, D. P. et al. **XI- Química da Matéria Orgânica do Solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, parte II: 1-67, 2009.

- DIECKOW, J. et al. **Sistemas de Preparo do Solo e Características Espectroscópicas da Matéria Orgânica em Ambientes Tropicais e Subtropicais Brasileiros**. EMBRAPA, São Carlos, SP, 2005.
- DIECKOW, J.. et al. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, v. 60: 240–249, 2009.
- DOBBSS, L. B. et al. Caracterização Química e Espectroscópica de Ácidos Húmicos e Fúlvicos Isolados da Camada Superficial de Latossolos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, 51-63, 2009.
- DORAN, J. W. & ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, 3–11, 2000.
- DUETE, R. R. C. et al. Acúmulo de Nitrogênio (^{15}N) pelos Grãos de Milho em Função da Fonte Nitrogenada em Latossolo Vermelho. **Bragantia**, v.68, 463-472, 2009.
- DUVAL, M. et al. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. **Soil & Tillage Research**, v. 161, 95–105, 2016.
- EMBRAPA SOLOS. **Curso de Recuperação de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- EUSTERHUES, K. et al. Stabilisation of soil organic matter by interactions with minerals as revealed by mineral dissolution and oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, v. 34, 1591–1600, 2003.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO – FEBRAPDP. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/download/AREA_PD_MUNDO.pdf . Acessado: 21/07/2014.
- FELLER, C. & BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, 69-116, 1997.
- FENG, W. et al. Improving estimates of maximal organic carbon stabilization by fine soil particles. **Biogeochemistry**, v. 112, 81–93, 2013.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. **Soil & Tillage Research**, v. 83, 120–147, 2005.
- FREIXO, A. et al. Estoques de Carbono e Nitrogênio e Distribuição de Frações Orgânicas de Latossolo do Cerrado sob Diferentes Sistemas de Cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, 425-434, 2002.
- GOLCHIN, A. et al. Soil-structure and carbon cycling. **Australian Journal Soil Research**, v. 32, 1043-1068, 1994.

- GUARESCHI, R. F. et al. Deposição de Resíduos Vegetais , Matéria Orgânica Leve , Estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo Remanescente Sob Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência dos Solos**, v. 36, 909-920, 2012.
- HERNANI, L.C. & GUIMARÃES, J.B.R. **Efeitos de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas em atributos físicos de um Latossolo Roxo.** In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO. Resúmenes. Temuco, Un. de La Frontera, 1999. CD-ROM.
- JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. **Revista Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, 39-46, 2005.
- JARECKI, M. K. et al. Crop management effects on soil carbon sequestration on selected farmers' fields in northeastern Ohio. **Soil & Tillage Research**, 81:265–276, 2005.
- JUNIOR, S. S. D. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica.** Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2012.
- KAHLON, M. S. et al. Twenty years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. **Soil and Tillage Research**, 126:151–158, 2013.
- KERVEN, G. L. 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 Analysis**, v. 31, 1973-80, 2008.
- KÖGEL - KNABNER, I. et al. Organo-mineral associations in temperate soils: Integrating biology, mineralogy, and organic matter chemistry. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, 171:61–82, 2008.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, 1–22, 2004.
- LAL, R. Carbon sequestration. **Phil. Trans. R. Soc. B**, v. 363, 815–830, 2008.
- LAUDICINA, V. A. et al. Long-Term Tillage and Cropping System Effects on Chemical and Biochemical Characteristics of Soil Organic Matter in a Mediterranean Semiarid Environment. **Land degradation & development**, v. 26, 45-53, 2014.
- LÁZARO, R. L. et al. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43,10-17, 2013.
- LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, 821-832, 2003.

- LENKA, N. K. & LAL R. Soil aggregation and greenhouse gas flux after 15 years of wheat straw and fertilizer management in a no-till system. *Soil & Tillage Research* v. 126,78–89, 2013.
- LOPEZ-SANGIL, L. & ROVIRA, P. Sequential chemical extractions of the mineral-associated soil organic matter: An integrated approach for the fractionation of organo-mineral complexes. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 62, 57-67, 2013.
- LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, 175-187, 2004.
- MADARI, B. et al. Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, 2009.
- MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, .Fluorescência Induzida por Laser para Análise da Matéria Orgânica de Solos Intactos. São Carlos, SP. **EMBRAPA Instrumentação**, 2002.
- MILORI, D. M. B. P. et al. Índice de Humificação Obtido Através da Fluorescência Induzida por Laser. **EMBRAPA Instrumentação**, 2004.
- MIKUTTA, R. et al. Stabilization of soil organic matter: association with minerals or chemical recalcitrance? *Biogeochemistry*, v. 77, 25–56, 2006.
- NASCENTE, A. S. et al. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. *Soil & Tillage Research*, v. 130, 52–57, 2013.
- OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, v.29, .815-828, 1991.
- OLIVEIRA, F. A. et al. Crescimento do Milho Adubado com Nitrogênio e Fósforo em um Latossolo Amarelo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v 4, 238-244, 2009.
- PAULETTI, V. & COSTA, L. C. Época da aplicação de nitrogênio no milho cultivado em sucessão à aveia preta no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 30, 599-603. 2000.
- PAVEI, M. **Decomposição de resíduos culturais e emissão de gases do efeito estufa em sistemas de manejo do solo em Ponta Grossa (PR)**. 2005, 114f. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ecologia de Agroecossistemas. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, 2005.
- PEDROTTI, A. et al. **Causas e conseqüências do processo de salinização dos solos**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, 1308-1324, 2015.

- PICCOLO, A. et al. Sequestration of a Biologically Labile Organic Carbon in Soils by Humified Organic Matter. **Climatic Change**, v. 67, 329–343, 2004.
- PICCOLO, A. The Supramolecular Structure of Humic Substances: A Novel Understanding of Humus Chemistry and Implications in Soil Science. **Adv. Agronomia**, v. 75, 57-134, 2002.
- PICCOLO, A. & CONTE, P. Molecular size of humic substances. Supramolecular Associations versus Macromolecular Polymers. **Advances in Environmental Research**, v. 3, 508-521, 2000.
- PICCOLO, A., MBAGWU, J.S.C. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 63, 1801–1810, 1999.
- PLANO ABC. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80076/Plano_ABC_VERSAO_FINAL_13jan2012.pdf. Acessado: 12/07/2013.
- PRIMO, D.C. et al. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, 1-13, 2011.
- PUGET, P et al. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. **European Journal of Soil Science**, v. 46, 449-459, 1995.
- RHEINHEIMER, D. S. et al. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 435-440, 2008.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. EMBRAPA Agropecuária Oeste e EMBRAPA Solos. 86f., Dourados, MS, 2002.
- ROSCOE, R. **Rediscutindo o Papel dos Ecossistemas Terrestres no Sequestro de Carbono**. Cadernos de Ciência e Tecnologia, v. 20, 209-223, 2003.
- SÁ, J. C. de M. et al. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research** v. 136, 38–50, 2014.
- SAINJU, U. M. et al. Cover crops and nitrogen fertilization effects on soil aggregation and carbon and nitrogen pools. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 83, 155-165, 2003.
- SALTON, J. C. et al. Matéria Orgânica do Solo na Integração Lavoura-Pecuária em Mato Grosso do Sul. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 29**. EMBRAPA Agropecuária Oeste. Dourados, MS, 2005.
- SALTON, J. C. et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 11-21, 2008.

- SANTANA, S. G. et al. Chemical Composition and Stocks of Soil Organic Matter in a South Brazilian Oxisol under Pasture. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 24, 821-829, 2013.
- SANTOS, N. Z. et al. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. *Soil & Tillage Research*, v. 111, 208–218, 2011.
- SILVA, A. J. N. et al. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, 579–585, 2006.
- SILVA, F. de A. S; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. IN: **World Congress on Computers in Agriculture**, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- SMITH, P. et al. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 363, 789–813, 2008.
- SIX, J. et al. Recycling of sodium polytungstate used in soil organic matter studies. *Soil Biology Biochemistry*, v. 31, 1193-1196, 1999.
- SIX, J. et al. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 32, 2099-2103, 2000.
- SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, v. 241, 155–176, 2002.
- SLEUTEL, S. et al. Quantification of Organic Carbon in Soils: A Comparison of Methodologies and Assessment of the Carbon Content of Organic Matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 38, 2647–2657, 2007.
- SMITH, K. A., and TABATABAI, M. A. Automated instruments for the determination of total carbon, nitrogen, sulfur, and oxygen. In: **Soil and Environmental Analysis: Modern Instrumental Techniques**. 235–282, 2004.
- SOUZA, E. D. et al. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. *Soil & Tillage Research*, v.139, 28–36, 2014.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. **New York, John Wiley & Sons**, 1994. 443p.
- TAN, B. et al. Possible effect of soil organic carbon on its own turnover: A negative feedback. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 69, 313-319, 2013.

- TISDALL, J.M. Formation of Soil Aggregates and Accumulation of Soil Organic Matter. **CRC Press**, 1996.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic-matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, 141-163, 1982.
- VEZZANI, F.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.213-223, 2011.
- VILELA, R. G. et al. Manejos do milheto e doses de nitrogênio na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, 234-242, 2012.
- VITTI, C. et al. Assessment of organic carbon in soils: a comparison between the Springer–Klee wet digestion and the dry combustion methods in Mediterranean soils (Southern Italy). **Catena**, v. 137, 113-119, 2016.
- von LÜTZOW, M. et al. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, 2183–2207, 2007.
- WANDER, M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. **Soil organic matter in sustainable agriculture**, 66-102, 2004.
- WEBER, M. A. & MIELNIECZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, 429-437, 2009.
- WORDELL FILHO, J. A. & SPAGNOLLO, E. Sistema de cultivo e doses de nitrogênio na sanidade e no rendimento do milho. **Ciência Rural**, v.43, 199-205, 2013.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Science Plante Analytical**, v. 19, 1467-1476, 1988.
- ZINN, Y. L. et al. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, 28–40, 2005.
- ZOTARELLI, L. et al. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two oxisols. **Soil and Tillage Research** 95, 196–206, 2007.

CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DO CARBONO E NITROGÊNIO NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO COM PLANTAS DE COBERTURA DE VERÃO E INVERNO

2.1 RESUMO

A MO do solo tem importante papel por desempenhar diversas propriedades e por isso é necessário identificar sistemas de manejo do solo com plantas de cobertura que favoreçam o seu aporte e, ou, mantenham suas concentrações. O objetivo do presente estudo foi o de avaliar diferentes plantas de cobertura em relação aos teores e estoques de C e N no solo visando a seleção de espécies mais eficientes na conservação da MO do solo. O experimento foi conduzido em solo de clima subtropical do tipo Latossolo Vermelho sob PD com o uso de plantas de cobertura de verão e de inverno com parcelas com e sem a adubação com N mineral. Foram amostradas três profundidades do solo: 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm. Os teores de C e N foram realizados segundo metodologia de combustão seca via análise elementar. Dentre as plantas de cobertura de verão o pousio apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) em relação às culturas de verão, na camada de 0-5 cm o feijão-de-porco apresentou o maior valor numérico de carbono orgânico total (COT) com $34,20 \text{ g kg}^{-1}$ e nitrogênio total (NT) de $2,90 \text{ g kg}^{-1}$ e estoque de N nos 20 cm amostrados com $6,85 \text{ Mg ha}^{-1}$ diferindo das demais culturas estudadas. Enquanto que nas culturas de inverno, o consórcio com aveia + ervilhaca + nabo apresentou COT de $39,60 \text{ g kg}^{-1}$, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos na camada de 0-5 cm. O tratamento com a cultura de aveia teve o menor acúmulo de N no solo com estoque de N de $4,63 \text{ Mg ha}^{-1}$ em relação as demais culturas de inverno para a camada de 0-20 cm. Os tratamentos com pousio e aveia preta tiveram os menores valores de COT, NT e maior relação C/N dentro dos tratamentos de verão e de inverno analisados tanto para as parcelas adubadas quanto para as parcelas não adubadas, respectivamente. A utilização de leguminosas de verão e de inverno como plantas de cobertura sob PD melhoram as condições do solo elevando os teores de C e N na camada de 0 – 5 cm, mesmo num período considerado curto, três anos sob PD.

2.2 ABSTRACT:

SOM has an important role to play several properties and so it is necessary to identify soil management systems with cover crops to encourage their input and, or maintain

their concentration. The aim of this study was to evaluate different plant cover in relation to the content and the C and N stocks in soil in order to select the most efficient species conservation SOM. The experiment was conducted in subtropical soil type Oxisol under NT using summer cover crops and winter with plots fertilized with N and without fertilization with N. were sampled three depths: 0-5, 5 - 10:10 - 20 cm. The contents of C and N were carried out according to the dry combustion method via elemental analysis. Among the summer cover crops fallow significant difference ($p < 0.05$) compared to summer crops in the layer of 0-5 cm the *Canavalia ensiformis* presented the highest numerical value of COT with 34.20 g kg^{-1} and NT 2.90 g kg^{-1} and N stock in the 20 cm sampled with 6.85 Mg ha^{-1} differs from other cultures studied. While in winter crops the consortium with oats + vetch + turnip presented COT 39.60 g kg^{-1} statistically different from the other treatments in the 0-5 cm layer. Treatment with the oat crop had the lowest concentration of N in the soil with stock $4.63 \text{ Mg N ha}^{-1}$ for the other winter crops for 0-20 cm. Treatments with fallow and oat had the lowest values of COT, NT and higher C / N in the summer and winter treatments analyzed for both the fertilized plots as for the unfertilized, respectively. The use of summer and winter legumes as under PD cover crops improve soil conditions by raising the levels of C and N in the layer 0-5 cm, even in a short period considered three years in PD.

2.3 INTRODUÇÃO

Em solos sob clima tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a MO do solo é um objeto de estudo importante, porque está atrelada as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que são fundamentais para a manutenção e sustentabilidade dos ecossistemas naturais ou antropizados (CHENG et al., 2007; LAL, 2007; LAL, 2004; ROSCOE & MACHADO, 2002). A MOS pode ser definida como uma soma de todas as substâncias orgânicas, composta por uma diversidade de resíduos animais e vegetais, em diversos estágios de decomposição (FROUZ, 2007; FELDPAUSCH et al, 2004). O componente da MO do solo em maior proporção é o C, em função disto, a qualidade do solo pode ser avaliada monitorando as variações no teor e estoque de C nos solos (SÁ & LAL, 2009). O aumento no teor de C está atrelado à incorporação de material vegetal novo e a taxa de oxidação, sendo esta dependente da temperatura do solo, umidade e exposição atmosférica (DALGLIESH & FOALE, 1998). Quanto maior o valor o teor e estoque de C melhor é a condição de fertilidade do solo (DIKGWATLHE et al., 2014; FELLER & BEARE, 1997).

A MO do solo, não contém apenas C, mas também quantidades consideráveis de N, fósforo (P) e enxofre (S) (KIRKBY et al., 2011). A importância do N para o sequestro de C no solo é bem conhecida (BAYER et al., 2000; FRIEDEL & SCHELLER, 2002; ZHANG et al., 2016) inclusive Rangel et al., (2008) identificou alta correlação entre os teores de N com os de C em solos. Na litosfera a maior reserva de N está na forma orgânica (~95%) e em pequena fração disponível as plantas, em torno de 5% do NT na forma mineral como nitrato ($\text{N} - \text{NO}_3^-$)

e amônio ($N - NH_4^+$) (d'ANDREA et al., 2004). Para as plantas não simbióticas a principal fonte de N é o solo, enquanto que para as demais plantas, a fonte principal de N é a atmosfera, onde aproximadamente, 78% está na forma de gás N_2 (LI et al., 2014). Mesmo sendo pequena a quantidade de N encontrada na massa seca das plantas (2 - 4%) comparadas ao C (~ 40%), o N é um elemento indispensável, fazendo parte de numerosos compostos orgânicos de vital importância às plantas, tais como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Os resíduos orgânicos são incorporados aos componentes inorgânicos do solo e submetidos a processos de biodegradação, sujeito à interferência de condições físicas (FELLER & BEARE, 1997), químicas e biológicas do meio. Uma das condições que afetam a eficiência da degradação do resíduo é dependente da estrutura química do substrato, produzindo uma MO mais lábil e/ou MO mais humificada (ACOSTA et al., 2014). Assim, a relação C/N, assume importante papel na mineralização e imobilização do N-mineral da solução do solo. O cultivo de milho na sequência de espécies com elevada e ou baixa relação C/N, apresenta respostas diferenciadas quanto à utilização de N e o fluxo de liberação de N ao sistema será sensivelmente influenciado por esta relação (SÁ, 1997).

A relação C/N do solo é um indicador importante de fertilidade do solo, pois reflete a interação de COT e NT, bem como, a retenção de N por comunidades microbianas (MOOSHAMMER et al., 2014; ZHANG et al., 2016). Conforme Stevenson (1994) solos tropicais não perturbados possuem o equilíbrio da relação C/N entre 10 e 15. Quando resíduos orgânicos, ou palhada são deixados na superfície do solo, passam a ser fonte de energia e C para a população microbiana. Se estes resíduos orgânicos são ricos em N (resíduo de leguminosas), o N em excesso para a biossíntese microbiana, durante o processo de decomposição, será liberado como amônia, resultando em sobras de N para o solo (processo de mineralização de N) (MARTINS et al., 2014). Se considerar o caso de resíduos pobres em N, relação C/N alta, há redução na disponibilidade do N através da imobilização, neste caso é necessário adubação nitrogenada para equilibrar o C no processo de formação da MOS (ZHANG et al., 2016).

A adoção de sistemas conservacionistas, envolvendo o PD e os efeitos positivos na conservação da MO do solo (SÁ & LAL, 2009; SOMBRERO et al., 2010), conjuntamente com a adubação verde proporcionam elevações nos teores de C (JARECKI et al., 2005) e NT nas camadas superficiais do solo (ZHANG et al., 2016), reduzindo perdas pela erosão e imobilização por microrganismos (ZHANG et al., 2016). Cada espécie de planta de cobertura pode afetar a concentração e qualidade da MO do solo pela contribuição de fitomassa distinta,

as características intrínsecas dos resíduos vegetais, o sistema radicular, e a influência sobre a comunidade microbiana, são componentes fundamentais na acumulação de MO do solo (MENGEL, 1996; TIVET et al., 2013). Este estudo teve como objetivo determinar a quantidade de C e NT, as relações C/N e o estoque de C e N, realizando um screening dos sistemas de coberturas de verão e de inverno com adubação nitrogenada e sem adubação nitrogenada. Os tratamentos caracterizados quantitativamente neste estudo serão posteriormente selecionados e avaliados quanto às FLL, FLO e FP.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), no município de Dois Vizinhos, localizado no Sudoeste do Paraná, coordenadas 24° 41 35'' de latitude sul e longitude de 53° 05 30'' oeste, com uma altitude de 520 m ao nível do mar (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2008). O clima é subtropical úmido mesotérmico, do tipo Cfa (clima temperado úmido com verão quente) segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), o solo é do tipo Latossolo Vermelho (CABREIRA, 2015).

O experimento foi instalado no ano de 2010, em área que historicamente era utilizada para produção de grãos, porém sem um manejo de solo definido e estabilizado. O experimento foi montado em delineamento de blocos ao acaso em parcelas subdivididas com 3 repetições, sendo composto por um fator principal (16 sistemas de culturas de inverno/verão) e um subfator referente a dose de N (com e sem N). As parcelas apresentam dimensões de 10,0 x 5,0 m, subparcelas com dimensões de 5,0 x 5,0 m. Os tratamentos principais compreendem as diferentes plantas de coberturas em PD no inverno e no verão e um sistema de pousio no período de inverno antecedendo a cultura do milho que é implantada em todas as áreas em sistema PD sempre no mês de setembro (Tabela 2). Embora houve o plantio nos anos de 2011 e 2012 na parte experimental de verão devido a contratempos climáticos a produção destes anos não contabilizaram biomassa para o solo. Assim, a parte experimental de inverno conta com dois anos a mais de produção de biomassa para o solo.

Tabela 2: Tratamentos com sistemas de plantas de cobertura

Culturas de Verão		Culturas de Inverno	
ANO 2012/2013			
T1	Pousio/milho	T9	Aveia/milho
T2	Milho/mucuna preta	T10	Aveia + ervilhaca/milho
T3	Milho/guandu anão	T11	Aveia + ervilhaca + nabo/milho
T4	Milho/mucuna anã	T12	Nabo/milho
T5	Milho/crotalária spectabilis	T13	Tremoço/milho
T6	Milho/crotalária juncea	T14	Azevem /milho
T7	Milho/lab-lab	T15	Centeio/milho
T8	Milho/feijão de porco	T16	Ervilhaca/milho
ANO 2011/2012			
T1	Pousio/milho	T9	Aveia/milho
T2	Milho/mucuna preta	T10	Aveia + ervilhaca/milho
T3	Milho/guandu anão	T11	Aveia + ervilhaca + nabo/milho
T4	Milho/mucuna anã	T12	Nabo/milho
T5	Milho/crotalária spectabilis	T13	Tremoço/milho
T6	Milho/crotalária juncea	T14	Azevem /milho
T7	Milho/lab-lab	T15	Centeio/milho
T8	Milho/feijão de porco	T16	Ervilhaca/milho
ANO 2010/2011			
T1	Pousio/milho	T9	Aveia/milho
T2	Milho/mucuna preta	T10	Aveia + ervilhaca/milho
T3	Milho/guandu anão	T11	Aveia + ervilhaca + nabo/milho
T4	Milho/mucuna anã	T12	Nabo/milho
T5	Milho/crotalária spectabilis	T13	Tremoço/milho
T6	Milho/crotalária juncea	T14	Azevem /milho
T7	Milho/lab-lab	T15	Centeio/milho
T8	Milho/feijão de porco	T16	Ervilhaca/milho

Visando avaliar o efeito das plantas de cobertura na disponibilidade de N foram utilizadas duas doses de N (subfator) na cultura de milho, sendo uma dosagem de N recomendada pela análise de solo correspondendo a 180 kg N ha^{-1} e a outra subparcela sem a utilização da adubação nitrogenada.

2.4.2 Amostragem do Solo

As coletas de solo foram realizadas nos dias 30 e 31 de agosto de 2013, três anos após o estabelecimento das culturas em PD, coincidindo com o final do ciclo das culturas de inverno. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 – 5; 5 – 10 e 10 - 20 cm, mediante abertura de trincheiras de 20 x 40 cm transversais às linhas de semeadura, identificadas e acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório de solos da UTFPR-Campus de Dois Vizinhos. As amostras foram secas ao ar e moídas e peneiradas a 2 mm de malha (terra fina seca ao ar - TFSA). Nas mesmas profundidades foram coletadas amostras para a determinação de densidade do solo (ANEXO A) pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), utilizado para o cálculo da massa da camada de solo.

2.4.3 Análises de Determinação de C e N Totais – Analisador Elementar

Para analisar os teores de CT e NT totais foi utilizado o analisador elementar de combustão seca (marca Eurovector, modelo Euro EA 3000), as amostras foram moídas em gral até a granulometria de $100 \mu\text{m}$ e foram analisadas em duplicada a partir de 0,5 mg de amostra por combustão a 1.000°C .

O princípio das análises de C e N em analisador elementar baseia-se na combustão da amostra em elevadas temperaturas ($900 - 1200^\circ\text{C}$), associada a um influxo de gás oxigênio. Todo o C é convertido em CO_2 e o N em gás N_2 , ambos os gases são quantificados através de detector de condutividade térmica (DCT).

2.4.4 Cálculos para Determinar a Relação C/N e Estoque de Carbono

A relação C/N do solo foi obtida com a razão dos teores de C e N, conforme Equação 1. Para o cálculo do estoque de C foi utilizado o método de massa equivalente (SISTI

et al., 2004) (Equação 2 e Equação 3). O ajuste da massa apresentado pela Equação 2 foi realizado a partir de uma camada para outra, considerando a diferença de densidade do solo (ANEXO A). Neste estudo a área utilizada como referência foi o sistema milho/pousio para as culturas de verão e o sistema aveia/milho para as culturas de inverno, considerando a respectiva adubação ou não.

Equação 1:

$$\text{Relação } \frac{C}{N} = \frac{\text{teor de C total}}{\text{Teor de N total}}$$

Equação 2:

$$\text{EstC e N (Mg ha}^{-1}\text{)} = TE \times \frac{Mt}{1000}$$

Onde: *TE*: os teores de C e N totais em g kg⁻¹; *Mt*: massa da camada amostrada em Mg ha⁻¹; e 1000 é a conversão de g kg⁻¹ para kg kg⁻¹

Equação 3:

$$\text{EstC total (Mg ha}^{-1}\text{)} = \sum_{i=1}^{n-1} Cti + \left[Mtn - \left(\sum_{i=1}^n Mti - \sum_{i=1}^n Msi \right) \right] * Ctn$$

Onde: $\sum_{i=1}^{n-1} Cti$: somatório dos estoques de C do solo da primeira à penúltima camada amostrada no tratamento considerado (Mg ha⁻¹); *Mtn*: massa do solo da última camada amostrada no tratamento (Mg ha⁻¹); $\sum_{i=1}^n Mti$: somatório da massa total do solo amostrado sob o tratamento (Mg ha⁻¹); $\sum_{i=1}^n Msi$: somatório da massa total do solo amostrado na área de referência (Mg ha⁻¹); *Ctn*: teor de C do solo na última camada amostrada (Mg C Mg⁻¹ de solo).

2.4.5 Análise Estatística

Com a ferramenta estatística Pirouette fez-se a análise de componentes principais (PCA) para reconhecer grupos de tratamentos semelhantes e/ou distintos entre si. As variáveis utilizadas no PCA foram: COT (g kg⁻¹), NT (g kg⁻¹), Relação C/N, Densidade, Estoque de C e Estoque de N, ambos pelo método de acúmulo em camadas.

Para a análise estatística quantitativa foi realizado análise de variância, considerando um esquema fatorial 8 x 2 x 3 [oito tratamentos (pousio/ sistemas de cobertura verão/inverno) com adubação nitrogenada e sem adubação nitrogenada com três repetições], seguindo o teste de média Tukey a 5 % de probabilidade para verificar as diferenças

significativas entre os tratamentos adotados. O programa estatístico computacional utilizado foi o Assistat 7.6 Beta (2012) desenvolvido por Silva e Azevedo (2009).

A análise de correlação simples foi realizada entre as médias da soma de MS dos tratamentos de verão/inverno com o milho em relação às médias dos blocos e subparcelas de NT do solo [8 x 8]. Buscando medir o grau de relacionamento entre as duas variáveis analisadas.

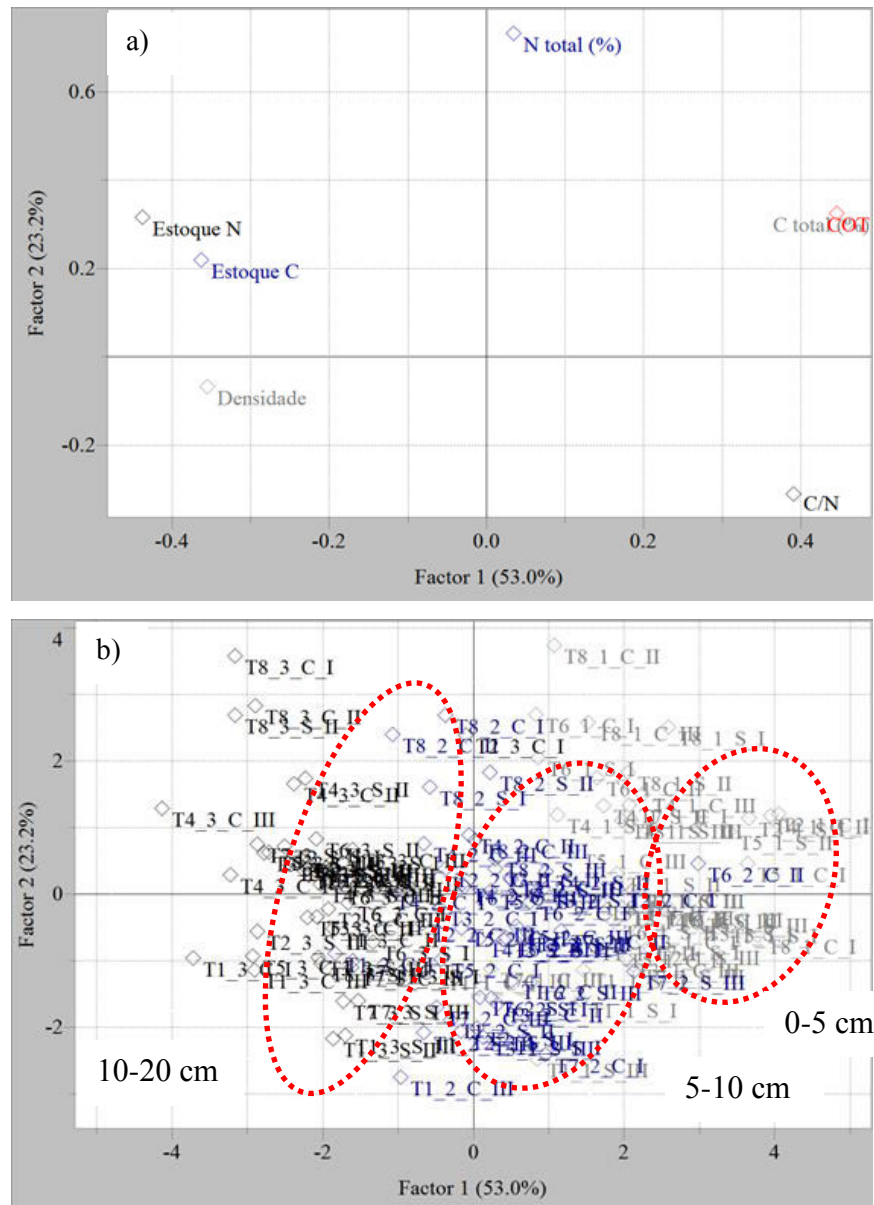
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Sistemas de Culturas de Verão

Ao construir a PCA do sistema de cultura de verão com os todos os valores obtidos para Estoque de C, Estoque de N, COT, densidade, teor de N e relação C/N, verifica-se que a componente principal 1 (PC1) explica 53,0% de variância entre as culturas utilizadas como tratamentos e a componente principal 2 (PC2) explica 23,2% dos casos, assim juntas a PC1 e PC2 explicam 76,2% da variância dos dados (Figura 3a).

Analisando os tratamentos utilizando a classe por blocos não houve separação entre os tratamentos evidenciando que não ocorrem diferenças no delineamento de blocos ao acaso respeitando à repetição, casualização e controle dos tratamentos amostrados (DAL' COL LUCIO et al., 2003). Na Figura 3b a PCA demonstra claramente as diferenças dos parâmetros avaliados em relação à classe profundidade amostrada. Trabalhos na literatura que empregam a PCA como ferramenta estatística para resultados de caracterização de solos, também mostram a importância da variável profundidade no agrupamento das amostras.

Figura 3: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade.



Ao observar os tratamentos com diferentes plantas de cobertura, conforme Figura 4a e Figura 4b, os teores de C estão diminuindo em profundidade. Reis (2012) amostrou de 0 – 100 cm de profundidade e em PD verificou o decréscimo de COT encontrando valores de 38,6 a 9,3 g de C por kg^{-1} de solo resultado da deposição de palhada em superfície. Em longo prazo sistemas de PD promovem gradualmente a estratificação do COT entre as camadas superficiais e subsuperficiais (d'ANDREA et al., 2004; FERREIRA et al., 2012).

Outra observação, com base na Figura 4a e 4b, recai no tratamento com o pousio que possui as menores quantidades de C devido ao baixo aporte de biomassa recebido, aumento da temperatura do solo e maior evaporação (ZRIBI et al., 2015), ou seja, alto grau de exposição do solo ao intemperismo facilitando a ocorrência de erosão e perdas da MO (FREITAS et al., 2012; LOBATO et al., 2009), fenômeno que acontece tanto na parcela que recebeu adubação nitrogenada quanto na parcela em que não houve adubação. Segundo Cieslik (2014), para a

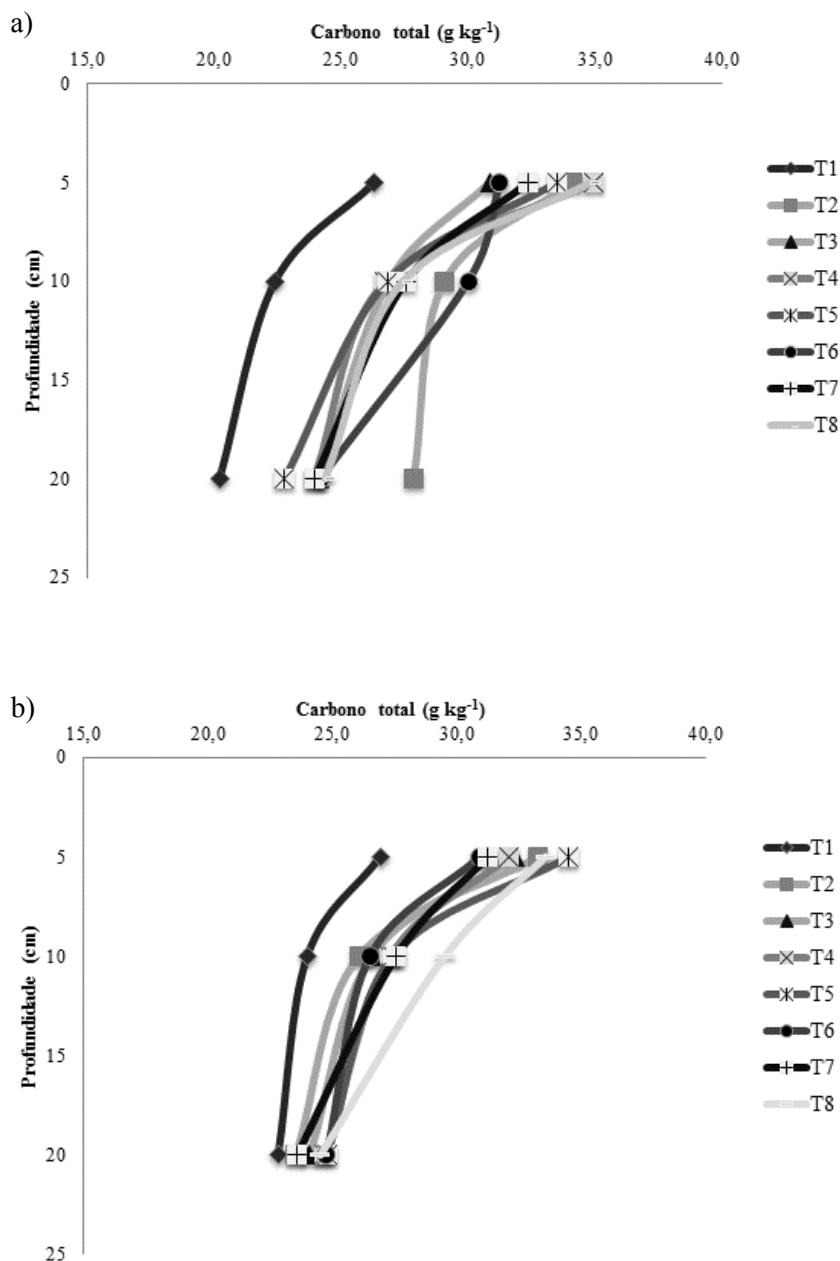
mesma área experimental, a taxa de cobertura do feijão-de-porco e mucuna preta, em 2013 aos 30 dias, foram de 55,7% e 56,9%, em média, demonstrando que o feijão-de-porco e a mucuna preta em relação aos demais tratamentos foram eficientes na proteção do solo à erosão e aos processos oxidativos. As informações da Tabela 3 referentes ao tratamento de feijão-de-porco e mucuna preta com os maiores teores de COT aliada a estes dados de taxa de cobertura evidenciam a importância da cobertura do solo na preservação da MO.

Tabela 3: Teor de C (COT), Teor de N (NT) e Relação C/N em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de Cobertura	COT		NT		Relação C/N	
	-----g kg ⁻¹ -----					
<i>0 – 5 cm</i>						
Pousio	26,62	b	2,07	c	12,91	ns
Mucuna preta	33,68	a	2,37	abc	14,20	ns
Guandu anão	31,59	ab	2,24	bc	14,10	ns
Mucuna anã	33,53	a	2,63	abc	12,85	ns
C. spectabilis	34,01	a	2,31	abc	14,71	ns
C. juncea	31,08	ab	2,70	ab	11,80	ns
Lab – Lab	31,80	ab	2,28	abc	14,02	ns
Feijão de porco	34,20	a	2,90	a	12,15	ns
CV (%)	9,66		12,97		13,49	
Com N	32,28	ns	2,47	ns	13,31	ns
Sem N	31,85	ns	2,41	ns	13,37	ns
CV (%)	6,83		11,91		11,44	
<i>5 – 10 cm</i>						
Pousio	23,19	ns	2,02	c	11,64	abc
Mucuna preta	27,57	ns	2,26	bc	12,28	ab
Guandu anão	26,72	ns	2,32	bc	11,58	abc
Mucuna anã	27,03	ns	2,57	ab	10,57	bc
C. spectabilis	27,12	ns	2,31	bc	11,77	abc
C. juncea	28,25	ns	2,30	bc	12,38	ab
Lab – Lab	27,55	ns	2,05	c	13,48	a
Feijão de porco	28,48	ns	3,00	a	9,62	c
CV (%)	9,94		10,10		11,13	
Com N	27,11	ns	2,42	a	11,43	ns
Sem N	26,87	ns	2,28	b	11,89	ns
CV (%)	9,47		8,71		12,11	
<i>10 – 20 cm</i>						
Pousio	21,51	ns	1,94	c	11,24	ab
Mucuna preta	25,69	ns	2,32	abc	11,00	ab
Guandu anão	24,10	ns	2,27	abc	10,63	ab
Mucuna anã	24,31	ns	2,49	ab	9,73	ab
C. spectabilis	23,78	ns	2,26	abc	10,53	ab
C. juncea	24,46	ns	2,28	abc	10,74	ab
Lab – Lab	23,77	ns	2,04	bc	11,72	a
Feijão de porco	24,44	ns	2,70	a	9,26	b
CV (%)	10,16		11,63		10,53	
Com N	23,92	ns	2,36	a	10,24	b
Sem N	24,09	ns	2,22	b	10,98	a
CV (%)	10,42		8,79		9,10	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

Figura 4: Teor de Carbono Total (COT), em g kg^{-1} , para os tratamentos com plantas de cobertura de verão das subparcelas (a) com adubação nitrogenada (b) e sem adubação nitrogenada. T1-pousio, T2- mucuna preta, T3 – guandu anão, T4- mucuna anã, T5- crotalária spectabilis, T6- crotalária juncea T7- lab-lab e T8- feijão de porco.



Na profundidade de 0 – 5 cm houve diferença estatística ($p < 0,05$) para os teores de COT e NT, segundo Tabela 3. O tratamento pousio apresentou os menores valores de COT e NT, enquanto que os demais tratamentos com as plantas de cobertura tiveram maiores valores de COT e NT. Observa-se que para o teor de COT os tratamentos com mucuna preta, guandu anão, mucuna anã e o feijão-de-porco apresentaram valores numéricos mais elevados,

entretanto para os valores de teor de NT a mucuna preta, o guandu anão e a mucuna anã diminuíram quando comparado ao tratamento com feijão-de-porco.

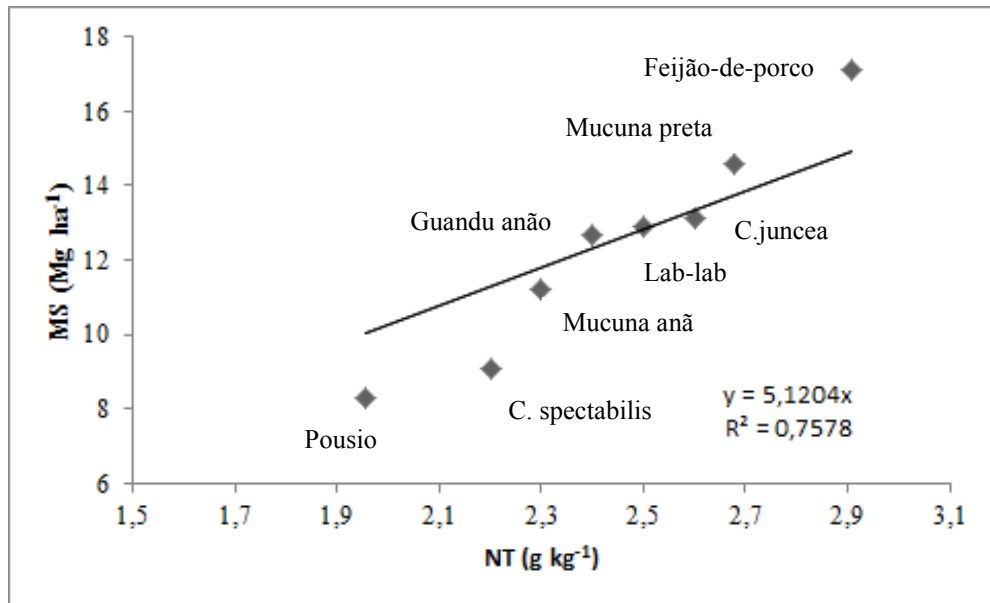
As culturas de verão utilizadas no experimento são todas leguminosas e com variação nos teores de COT de 18 a 28% em relação ao tratamento com pousio na camada de 0 – 5 cm. Quando avaliadas as sete parcelas com as plantas de cobertura em relação à produção de MS, na safra de 2013, os tratamentos com feijão-de-porco e mucuna preta apresentam produtividade de MS, respectivamente em média, de 8,4 e 3,7 Mg ha⁻¹ (CIESLIK, 2014). Ao somar a produção de MS do milho cultivado em sucessão as plantas de cobertura (safra 2012/2013) com a produção de MS do feijão-de-porco e da mucuna preta (safra 2013) resultando numa produção total de MS sobre o solo de 17,1 e 14,6 Mg ha⁻¹ (CIESLIK, 2014). Essas duas maiores adições de MS ao solo dos tratamentos refletiu nos valores de COT (Tabela 4), na profundidade de 0 – 5 cm.

Nas profundidades de 5 – 10 e 10 – 20 cm não houveram diferença significativa entre os tratamentos para o COT. Entretanto, para o NT e relação C/N observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos de pousio e feijão-de-porco. O pousio apresentou menores valores de NT e o feijão-de-porco os maiores valores, comportamento inverso do ocorrido com a relação C/N do solo, pois o teor de COT no solo diminui com a profundidade.

Cabe salientar que no ano de 2013 o acúmulo de N na parte aérea do feijão-de-porco foi de 292 kg ha⁻¹ (CIESLIK, 2014) valor acima do encontrado por Barreto & Fernandes (2001) resultando em 13,9 Mg ha⁻¹ de MS na parte aérea do milho (CIESLIK, 2014) contra o tratamento da crotalaria spectabilis com 50 kg ha⁻¹ e 9,8 Mg ha⁻¹ na parte aérea do milho, novamente os dados extraídos do trabalho de Cieslik complementam os resultados obtidos de quantificação de N no solo. A correlação entre a soma da MS das plantas de cobertura e a MS do milho com o NT é de 0,76 (Figura 5) e o tratamento com feijão-de-porco em relação aos demais tratamentos, nas três profundidades amostradas, apresenta os maiores valores de NT de 2,90; 3,0 e 2,70 g kg⁻¹.

Quanto as subparcelas nitrogenadas houve diferença significativa ($p < 0,05$) nas profundidades de 5 – 10 e 10 – 20 cm indicando que houve aumento no teor de NT para as subparcelas com N em relação as subparcelas que não receberam adubação (Tabela 3). Para o estoque de N pelo cálculo de massa equivalente (Tabela 4) também as subparcelas que receberam adubação nitrogenada tiveram um acréscimo de N maior do que as subparcelas que não receberam, respectivamente de 5,83 Mg ha⁻¹ e 5,56 Mg ha⁻¹.

Figura 5: Correlação com o somatório das médias da matéria seca (MS) das plantas de cobertura de verão e do cultivo de milho versus o nitrogênio total (NT) do solo.



A avaliação do estoque de N demonstra a eficiência do tratamento de feijão-de-porco em estocar 6,85 Mg de N ha⁻¹, enquanto o tratamento pousio teve estoque de 4,98 Mg de N ha⁻¹, na camada de 0 – 20 cm médias das subparcelas (Tabela 4).

Tabela 4: Estoque de C e de N pelo cálculo de massa equivalente e de camada em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão, com e sem adubação nitrogenada, na camada de solo, 0-20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de Cobertura/ Adubação Nitrogenada	Estoque C		Estoque N	
	-----Mg ha ⁻¹ -----			
Pousio	56,00	ns	4,98	c
Mucuna preta	67,62	ns	5,63	bc
Guandu anão	63,85	ns	5,53	bc
Mucuna anã	65,35	ns	6,18	ab
C. spectabilis	64,98	ns	5,55	bc
C. juncea	64,63	ns	5,77	bc
Lab – Lab	64,48	ns	5,09	c
Feijão de porco	66,85	ns	6,85	a
CV (%)	10,80		8,40	
Com N	65,26	ns	5,83	a
Sem N	63,17	ns	5,56	b
CV (%)	9,17		5,53	

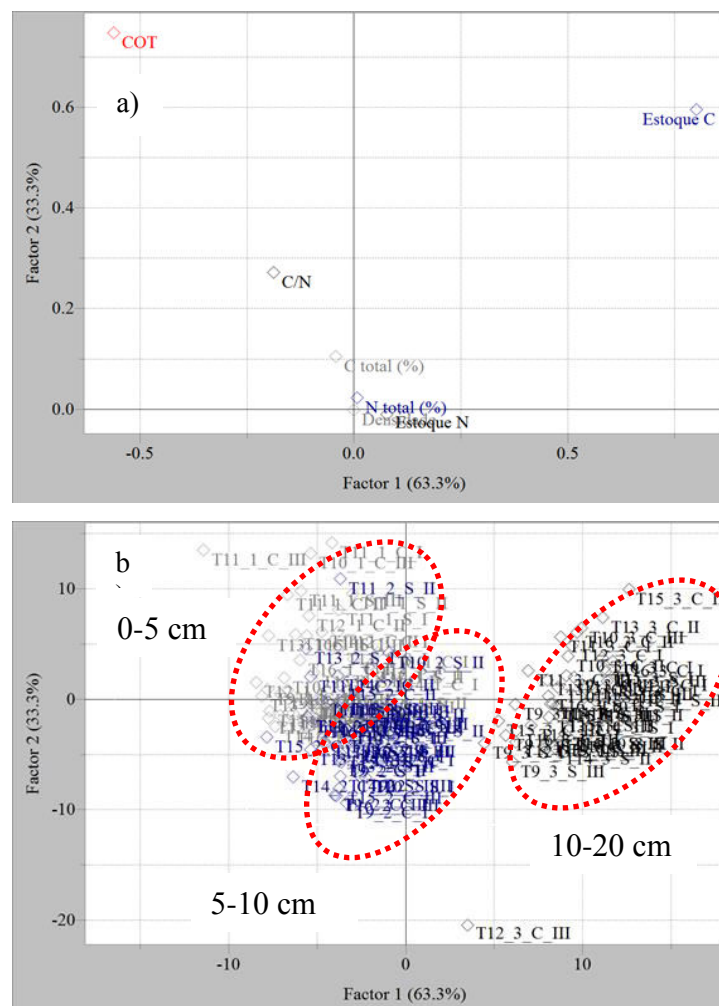
Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

A produtividade de grãos de milho em sucessão aos tratamentos com feijão-de-porco e mucuna preta, no primeiro e segundo ano, foi significativamente superior à das demais espécies (CIESLIK, 2014). Na média das subparcelas, a produtividade de grãos foi 45% maior no tratamento com feijão-de-porco e de 44% na mucuna preta em relação à produtividade do pousio. Isso possivelmente esteja relacionado ao maior estoque de N no solo para esses sistemas.

2.5.2 Sistemas de Culturas de Inverno

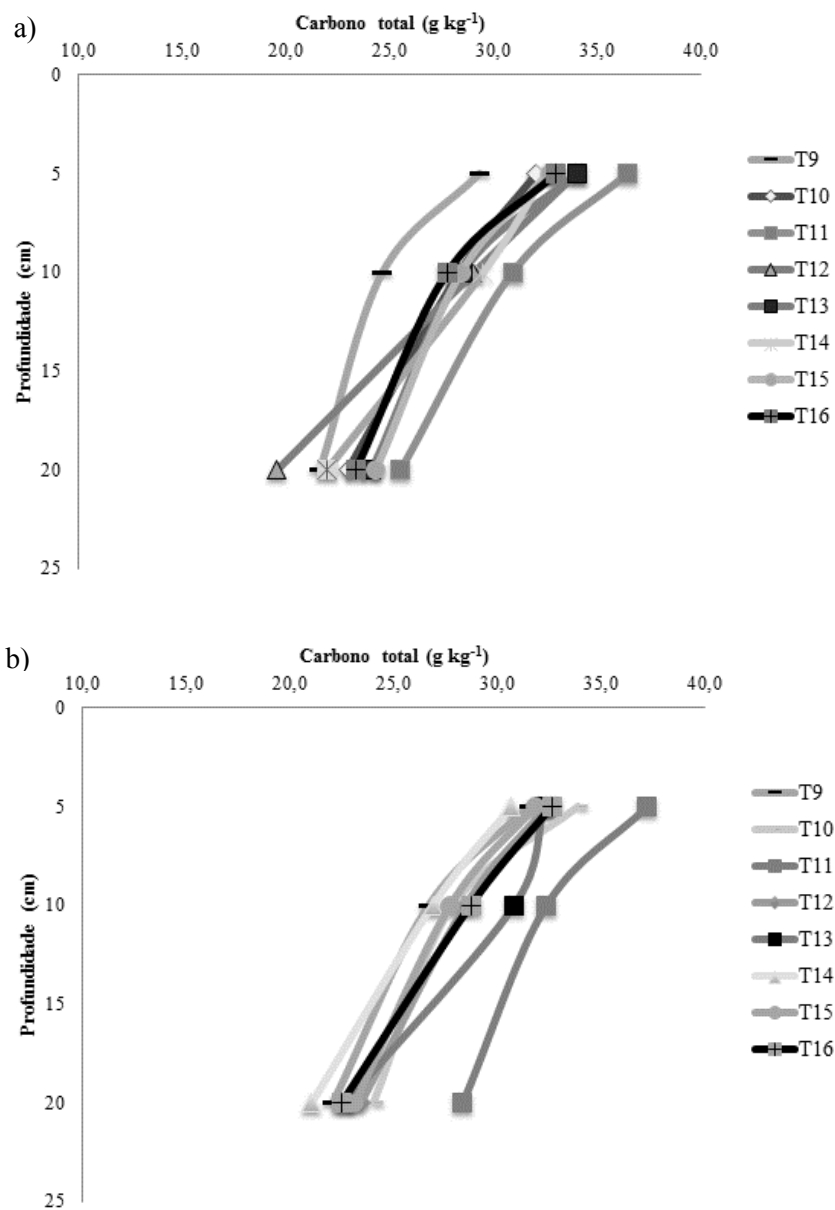
A PCA do sistema de cultura de inverno com os todos os valores para Estoque de C, Estoque de N, COT, densidade, teor de N e relação C/N, demonstrou que a PC1 e a PC2 explicam 63,3 e 33,3% de variância entre as culturas utilizadas como tratamento, assim juntas explicam 96,6% da variância total dos dados (Figura 6a). O estoque de C foi a variável que mais influenciou positivamente esta separação, o que pode ser observado no gráfico de loadings pela sua maior distância ao longo do eixo x. Analisando a Figura 6b observa-se claramente as diferenças dos parâmetros avaliados em relação à profundidade, separando principalmente os valores da camada de 10 – 20 cm.

Figura 6: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade.



Na Figura 7a e Figura 7b percebe-se decréscimo dos teores de C em função da profundidade (SÁ & LAL, 2009; ZECH & ERHARD, 2007) e o tratamento com aveia possui as menores quantidades de COT. Em contrapartida, o tratamento consorciado aveia + ervilhaca + nabo demonstra as maiores quantidades na profundidade de 0– 5 cm, apresentando diferenças significativas nos sistemas de cultura de inverno (Tabela 6).

Figura 7: a) Teor de Carbono Total (COT), em g kg^{-1} , para os tratamentos com plantas de cobertura de inverno das subparcelas com adubação nitrogenada b) e sem adubação nitrogenada. T9-aveia, T10- aveia + ervilhaca, T11 – aveia + ervilhaca + nabo, T12- nabo, T13- tremoço branco, T14- centeio T15- azevem e T16- ervilhaca.



Na camada de 0 – 5 cm houve diferença estatística ($p < 0,05$) para o COT, NT e relação C/N. O tratamento consorciado de aveia + ervilhaca + nabo apresentou o maior valor de COT entre os tratamentos, entretanto não apresentou o maior valor de NT. Já o tratamento com a aveia constatou-se que além de possuir o menor valor de COT também possui o menor valor de NT. Mesmo o tratamento com a ervilhaca não diferindo estatisticamente do tratamento da aveia para os valores de COT verifica-se que a ervilhaca possui o maior valor de NT. Para o parâmetro relação C/N os tratamentos que apresentam as maiores razões foram à aveia, e os dois consórcios utilizados e a menor razão para o tratamento com a ervilhaca (Tabela 5). O comportamento apresentado pelo tratamento com ervilhaca pode ser explicado com os dados encontrados por Acosta (2014) que demonstra que os resíduos da ervilhaca não sofreram imobilização líquida e ainda liberaram 50% do N acumulado na fitomassa nos primeiros 30 dias, por isto o maior valor de NT e a baixa razão C/N.

Na profundidade de 5 – 10 cm não houve diferença significativa entre os tratamentos para o COT. Para os parâmetros de avaliação NT e relação C/N o tratamento com a aveia novamente demonstrou resultados com menor valor de NT e maior razão C/N, ao contrário dos tratamentos com a ervilhaca e o tremoço branco com os maiores valores de NT e as menores razões C/N.

Na profundidade de 10 – 20 cm não houve diferença significativa entre os tratamentos para o COT e NT. Apenas diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para relação C/N a ervilhaca com 10,12 e a aveia com a maior razão com 12,18. Entende-se que do início do experimento até a data da coleta do solo há três anos de implantação das culturas de inverno sob o PD resultando em maior quantidade de COT na camada de 0 – 5 cm em comparação com a camada de 5 – 10 e 10 - 20 cm. Evidenciando que a prática de menor revolvimento do solo possível e maior aporte de resíduos vegetais na superfície do solo evita a erosão contribuindo para o aumento de MO na superfície (0 -5 cm). O efeito do uso de leguminosas sob PD na MO do solo, neste três anos, restringiu as diferenças significativas entre os tratamentos em relação ao COT e NT nos primeiros 10 cm do solo. O tempo de três anos para avaliação de COT e NT no experimento com as culturas de inverno é curto e segundo Guaresch et al. (2012) e d' Andréia et al. (2004) os resultados de COT e NT aumentam com o uso do PD a mais de cinco anos.

Houve também a significância nos tratamentos de adubação para o parâmetro COT evidenciando que o tratamento com adubação nitrogenada possui os maiores valores de COT nas camadas de 0 – 5 e 10 – 20 cm corroborando com o comportamento encontrado por

Mazzoncini et al. (2016) onde o aumento de N no solo afetou positivamente o COT na camada de 0 – 30cm.

Tabela 5: Teor de C (COT), Teor de N (NT) e Relação C/N em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de inverno, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de Cobertura	COT		NT		Relação C/N	
	----- g kg ⁻¹ -----					
	<i>0-5 cm</i>					
Aveia	30,55	b	2,04	b	14,94	a
A + E	32,97	b	2,22	ab	14,95	a
A + E + N	39,60	a	2,35	ab	15,70	a
Nabo	34,02	b	2,53	ab	13,22	ab
Tremoço branco	33,10	b	2,32	ab	14,42	ab
Centeio	31,58	b	2,33	ab	13,53	ab
Azevem	32,27	b	2,31	ab	14,04	ab
Ervilhaca	32,77	b	2,71	a	12,18	b
CV (%)	6,28		11,42		9,11	
Adubação Nitrogenada						
Com N	34,50	a	2,35	ns	14,20	ns
Sem N	32,21	b	2,34	ns	14,04	ns
CV (%)	7,02		7,61		7,96	
	<i>5 – 10 cm</i>					
Aveia	25,65	ns	1,95	c	13,20	abc
A + E	28,08	ns	2,02	bc	13,91	ab
A + E + N	31,62	ns	2,19	abc	14,48	a
Nabo	28,73	ns	2,25	abc	12,90	abc
Tremoço branco	29,63	ns	2,39	a	12,45	abc
Centeio	28,17	ns	2,37	ab	11,87	bc
Azevem	28,07	ns	2,14	abc	13,16	abc
Ervilhaca	28,22	ns	2,50	a	11,36	c
CV (%)	8,85		8,20		9,29	
Com N	28,38	ns	2,19	ns	13,06	ns
Sem N	28,66	ns	2,23	ns	12,77	ns
CV (%)	10,18		8,95		10,82	
	<i>10 – 20 cm</i>					
Aveia	22,07	ns	1,80	ns	12,18	ab
A + E	24,07	ns	2,00	ns	11,74	abc
A + E + N	24,65	ns	2,15	ns	12,54	a
Nabo	20,88	ns	2,07	ns	10,72	abc
Tremoço branco	23,62	ns	2,18	ns	10,72	abc
Centeio	22,00	ns	2,23	ns	9,67	c
Azevem	24,30	ns	2,02	ns	11,81	abc
T16	23,83	ns	2,26	ns	10,12	bc
CV (%)	11,01		11,81		19,12	
Com N	24,21	a	2,09	ns	11,06	ns
Sem N	22,14	b	2,08	ns	11,31	ns
CV (%)	10,89		11,84		17,76	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

O estoque de C não apresenta diferença significativa entre os tratamentos na profundidade de 0 – 20 cm (Tabela 6). Para os valores de estoque de N calculados pelo método de massa equivalente apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos sendo o melhor tratamento o da ervilhaca com 5,80 Mg de N por ha de solo e o tratamento com o menor valor a aveia com estoque de N de 4,63 Mg ha⁻¹, para a camada de 0 – 20 cm. Observa-se que o comportamento distinto no estoque de N entre as leguminosas e as gramíneas compreende justamente no maior benefício do uso das leguminosas no aumento da oferta de N no solo através de fixação biológica N₂ atmosférico (ANGUS et al., 2015), além disto há também a diferença na relação C/N e na composição bioquímica das espécies, ocasionando em velocidade de decomposição, relação imobilização/mineralização e liberação de N no solo diferentes (ACOSTA et al., 2014; AITA et al., 2001).

Tabela 6: Estoque de C e de N pelo cálculo de massa equivalente e de camada em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de Cobertura/ Adubação Nitrogenada	Estoque C		Estoque N	
	-----Mg ha ⁻¹ -----			
Aveia	61,10	ns	4,63	b
A + E	66,88	ns	5,09	ab
A + E + N	73,62	ns	5,56	ab
Nabo	63,88	ns	5,49	ab
Tremoço branco	66,80	ns	5,61	ab
Centeio	63,33	ns	5,55	ab
Azevem	65,93	ns	5,38	ab
Ervilhaca	66,53	ns	5,80	a
CV (%)	13,00		9,93	
Com N	65,53	ns	5,19	b
Sem N	66,49	ns	5,59	a
CV (%)	7,49		6,86	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

2.7 CONCLUSÕES

1- A MO do solo é significativamente melhorada sob o PD com o aporte de resíduos vegetais, principalmente, nos tratamentos com culturas de leguminosas de verão e inverno na camada de 0 – 5 cm.

2 - Após três anos de implantação do PD os tratamentos com o feijão-de-porco e ervilhaca tiveram resultados significativos de COT, NT e relação C/N favorecendo a conservação do solo.

3 - O tratamento com pousio sem o aporte adequado de resíduos vegetais é prejudicial à qualidade do solo e em longo prazo compromete à produção do solo devido a degradação da MO.

2.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, J. A. A. et al. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.44, 801-809, 2014.
- AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, 157-165, 2001.
- ALVARES, C.A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorol Zeitschrift, v.22, 711-28, 2013.
- ANGUS, J. F. et al. Break crops and rotations for wheat. **Crop & Pasture Science**, v. 66, 523-552, 2015.
- ASSISTAT Versão 7.7 beta (2014) - Homepage <http://www.assistat.com>. Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG
- BARRETO, R. et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, 243–251, 2009.
- BAYER, C. & BERTOL, I. Características Químicas de um Cambissolo Húmico Afetadas por Sistemas de Preparo com Ênfase à Matéria Orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, 687-694, 1999.
- BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 54, 101–109, 2000.

- BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, 237–245, 2006.
- BEBER, E. C. **Estoque de carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes usos agrícolas**. 2001, 77f. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2011.
- BENITES, V. M. et al. Caracterização dos Ácidos Húmicos Extraídos de um Latossolo Vermelho Amarelo e de um Podzol por Análise Termodiferencial e pela Espectroscopia de Absorção no Infravermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, 543-551, 1999.
- BRAGANÇA, R. et al. Comparison of different methods for the determination of total organic carbon and humic substances in Brazilian soils. **Revista Ceres**, v. 62, 496-501, 2015.
- BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, 3–22, 2005.
- CABREIRA, M. A.F. **Levantamento das classes de solos da área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Dois Vizinhos**. 2015, 50f. Trabalho de Conclusão de Curso II em Engenharia Florestal, Dois Vizinhos, Paraná, 2015.
- CARAVACA, F. et al. Organic matter, nutrient contents and cation exchange capacity in fine fractions from semiarid calcareous soils. **Geoderma**, v. 93, 161–176, 1999.
- CARVALHO, L. L.F. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. **Geoderma**, v. 120, 283–295, 2004.
- CHATTERJEE, A. Evaluation of Different Soil Carbon Determination Methods. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 28, 164–178, 2009.
- CHENG, L. et al. Dynamics of labile and recalcitrant soil carbon pools in a sorghum free-air CO₂ enrichment (FACE) agroecosystem. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, 2250–2263, 2007.
- CIESLIK, L. F. **Leguminosas de verão como cobertura do solo para produção de milho em sistema de plantio direto**. 2014, 71f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Tecnológica Federal do
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research**, v. 129, 40–47, 2013.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento Densimétrico com Politungstato de Sódio no Estudo da Proteção Física da Matéria Orgânica em Solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 541-549, 2008.

- DAL'COL LÚCIO, A. et al. Características experimentais das publicações da ciência rural de 1971 a 2000. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.33, 161-164, 2003.
- d'ANDREA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.39, 179-186, 2004.
- DICK, D. P. et al. **XI- Química da Matéria Orgânica do Solo**. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, parte II: 1-67, 2009.
- DIKGWATLHE, S. B. et al. Tillage and residue management effects on temporal changes in soil organic carbon and fractions of a silty loam soil in the North China Plain. **Soil Use and Management**, v. 30, 496–506, 2014.
- DOBBSS, L. B. et al. Caracterização Química e Espectroscópica de Ácidos Húmicos e Fúlvicos Isolados da Camada Superficial de Latossolos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, 51-63, 2009.
- DORAN, J. W. & ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, 3–11, 2000.
- FELDPAUSCH, T. R. et al. Carbon and Nutrient Accumulation in Secondary Forests dRegenerating on Pastures in Central Amazonia. **Ecological Applications**, v. 14, S164–176, 2004.
- FELLER, C. & BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, 69-116, 1997.
- FENG, W. et al. Improving estimates of maximal organic carbon stabilization by fine soil particles. **Biogeochemistry**, v. 112, 81–93, 2013.
- FERREIRA, A. O. et al. Relação de estratificação como indicador do sequestro de carbono em macroagregados de Latossolo sob plantio direto. **Ciência Rural**. v.42, 645-652, 2012.
- FOLLETT, R. Soil management concepts and carbon sequestration zin cropland soils. **Soil & Tillage Research**, v. 61,77–92, 2001.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. **Soil & Tillage Research**, v. 83, 120–147, 2005.
- FREITAS, D. A. F. et al. Modelagem da proteção do solo por plantas de cobertura no sul de Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 6, 117-123, 2012.
- FRIEDEL, J. & SCHELLER, E. Composition of hydrolysable amino acids in soil organic matter and soil microbial biomass. **Soil & Tillage Research**, v. 34, 315–325, 2002.

- FROUZ, J. The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-mining soil: A laboratory study. **Applied soil ecology**, v. 37, 72–80, 2007.
- GOLCHIN, A. et al. Soil-structure and carbon cycling. **Australian Journal Soil Research**, v. 32, 1043-1068, 1994.
- GUARESCHI, R. F. et al. Deposição de Resíduos Vegetais , Matéria Orgânica Leve , Estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo Remanescente Sob Diferentes Sistemas de Manejo. **Revista Brasileira de Ciência dos Solos**, v. 36, 909-920, 2012.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Monitoramento das estações convencionais. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/convencionais.php>>.
- JARECKI, M. K. et al. Crop management effects on soil carbon sequestration on selected farmers' fields in northeastern Ohio. **Soil & Tillage Research**, v. 81,265–276, 2005.
- KAIZZI, C. K. et al. Differential use and benefits of Velvet bean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) and N fertilizers in maize production in contrasting agro-ecological zones of E. Uganda. **Agricultural Systems**, v. 88, 44–60, 2006.
- KERVEN, G. L. 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 Analysis**, v. 31, 1973-1980, 2008.
- KIRKBY, C. A. et al. Stable soil organic matter: A comparison of C:N:P:S ratios in Australian and other world soils. **Geoderma**, v. 163, 197–208, 2011.
- KÖGEL - KNABNER, I. et al. Organo-mineral associations in temperate soils: Integrating biology, mineralogy, and organic matter chemistry. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v. 171,61–82, 2008.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, 1–22, 2004.
- LAL, R. Constraints to adopting no-till farming in developing countries. **Soil & Tillage Research**, v. 94, 1–3, 2007.
- LENKA, N. K. & LAL Rattan. Soil aggregation and greenhouse gas flux after 15 years of wheat straw and fertilizer management in a no-till system. **Soil & Tillage Research** v. 126,78–89, 2013.
- LI, S. et al. Soil Organic Nitrogen and Its Contribution to Crop Production. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, 2061-2080, 2014.

- LOBATO, F. A. O. Perdas de solo e nutrientes em área de Caatinga decorrente de diferentes alturas pluviométricas. *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 3, 65-71, 2009.
- LOPEZ-SANGIL, L. & ROVIRA, P. Sequential chemical extractions of the mineral-associated soil organic matter: An integrated approach for the fractionation of organo-mineral complexes. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 62, 57-67, 2013.
- MARTINS, R. P. et al. Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. *Revista Ceres*, v. 61, 587-596, 2014.
- MAZZONCINI, M. et al. Soil carbon and nitrogen changes after 28 years of no-tillage management under Mediterranean conditions. *Europ. J. Agronomy*. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.02.011>, 2016.
- MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant and Soil*, v. 181, 83-93, 1996.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition**. 4^a ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland, 1987.
- MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, .Fluorescência Induzida por Laser para Análise da Matéria Orgânica de Solos Intactos. São Carlos, SP. **EMBRAPA Instrumentação**, 2002.
- MILORI, D. M. B. P. et al. Índice de Humificação Obtido Através da Fluorescência Induzida por Laser. **EMBRAPA Instrumentação**, 2004.
- MOOSHAMMER, M et al. Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon:nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. *Nature Communications*, v. 5, 3694, 2014. |
- OLIVEIRA, F. A. et al. Crescimento do Milho Adubado com Nitrogênio e Fósforo em um Latossolo Amarelo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v 4, 238-244, 2009.
- PAULETTI, V. & COSTA, L. C. Época da aplicação de nitrogênio no milho cultivado em sucessão à aveia preta no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v. 30, 599-603. 2000.
- PICCOLO, A. et al. Sequestration of a Biologically Labile Organic Carbon in Soils by Humified Organic Matter. *Climatic Change*, v. 67, 329–343, 2004.
- PICCOLO, A. The Supramolecular Structure of Humic Substances: A Novel Understanding of Humus Chemistry and Implications in Soil Science. *Adv. Agronomia*, v. 75, 57-134, 2002.
- PICCOLO, A. & CONTE, P. Molecular size of humic substances. Supramolecular Associations versus Macromolecular Polymers. *Advances in Environmental Research*, v. 3, 508-521, 2000.

- PRIMO, D.C. et al. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, 1-13, 2011.
- PIROUETTE versão 4.0. homepage: <http://www.infometrix.com/software/pirouette.html>. Infometrix, Seattle, Washington, USA.
- RANGEL, O. J. P. et al. Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 2051–2059, 2008.
- REIS, C. E. S. **Estoque e qualidade da matéria orgânica e retenção de carbono em perfis de dois latossolos subtropicais sob diferentes manejos**. 2012, 131f. Tese de Doutorado apresentada ao Programa em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. EMBRAPA Agropecuária Oeste e EMBRAPA Solos. 86f., Dourados, MS, 2002.
- SÁ, J. C. de M. & LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research** v. 103, 46–56, 2009.
- SANTOS, N. Z. et al. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. **Soil & Tillage Research**, v. 111, 208–218, 2011.
- SANTOS, P. A. et al. Adubos Verdes E Adubação Nitrogenada Em Cobertura No Cultivo Do Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, 123-134, 2010.
- SILVA, A. J. N. et al. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, 579–585, 2006.
- SILVA, F. de A. S; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. IN: **World Congress on Computers in Agriculture**, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- SISTI, C.P.J., et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 76, 39–58, 2004.
- SLEUTEL, S. et al. Quantification of Organic Carbon in Soils: A Comparison of Methodologies and Assessment of the Carbon Content of Organic Matter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 38, 2647–2657, 2007.

- SOMBRERO, A. & BENITO, A. Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. **Soil & Tillage Research**, v. 107, 64–70, 2010.
- SOUZA, E. D. et al. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v.139, 28–36, 2014.
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. **New York, John Wiley & Sons**, 1994. 443p.
- TIVET, F. et al. Assessing humification and organic C compounds by laser-induced fluorescence and FTIR spectroscopies under conventional and no-till management in Brazilian Oxisols. **Geoderma**, v. 207–208, 71–81, 2013.
- VILELA, R. G. et al. Manejos do milho e doses de nitrogênio na cultura do milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, 234-242, 2012.
- VITTI, C. et al. Assessment of organic carbon in soils: a comparison between the Springer–Klee wet digestion and the dry combustion methods in Mediterranean soils (Southern Italy). **Catena**, v. 137, 113-119, 2016.
- WEBER, M. A. & MIELNIECZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, 429-437, 2009.
- ZHANG, Z. et al. Effect of conservation farming practices on soil organic matter and stratification in a mono-cropping system of Northern China. **Soil & Tillage Research**, v. 156, 173–181, 2016.
- ZINN, Y. L. et al. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, 84: 28–40, 2005.
- ZRIBI, W. et al. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. **Soil & Tillage Research**. v. 148, 40–45, 2015.

CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DA MATÉRIA ORGANICA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO COM PLANTAS DE COBERTURA DE VERÃO E INVERNO

3.1 RESUMO

A dificuldade de caracterização qualitativa da MOS é inerente a sua complexidade e heterogeneidade. Neste capítulo utiliza-se algumas técnicas espectrais para avaliação da MO no solo integral sem tratamento químico ou térmico para retirada de interferentes inorgânicos. O experimento foi conduzido em solo de clima subtropical do tipo Latossolo Vermelho sob PD com o uso de plantas de cobertura de verão e de inverno com parcelas adubadas com N e sem a adubação com N. Foram amostradas três profundidades: 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm. Utilizando a técnica espectroscópica de infravermelho médio com transformada de Fourier avaliaram-se qualitativamente as amostras de solo gerando dois índices: a) índice de condensação (IC) e b) índice de hidrofobicidade (IH). Para determinação do grau de humificação (H_{FIL}) do solo amostras sólidas foram analisadas na técnica de fluorescência induzida a laser (FIL). Os sistemas de culturas de verão apresentaram diferenças significativas quanto ao H_{FIL} e IA, nas profundidades amostradas, diferenciando o tratamento do pousio com o feijão-de-porco. As intensidades de emissão de fluorescência e a absorbância na região do infravermelho médio foram maiores para o tratamento com o pousio. Para todos os tratamentos foi observado a recalcitrância da MO ao longo do perfil do solo. Quanto aos sistemas de culturas de inverno não houve diferenças significativas para todos os índices avaliados possivelmente resultado do contínuo aporte de resíduo vegetal em todos os tratamentos inclusive no tratamento de referência (aveia).

3.2 ABSTRACT:

The difficulty of qualitative characterization of SOM is inherent in its complexity and heterogeneity. In this chapter uses are some spectral techniques for evaluation of OM in full soil without chemical or heat treatment to remove inorganic interfering. The experiment was conducted in subtropical soil type Oxisol under NT using summer cover crops and winter with plots fertilized with N and without fertilization with N. were sampled three depths: 0-5, 5 - 10:10 - 20 cm. Using the mid-infrared spectroscopic technique Fourier transform evaluated qualitatively soil samples generating two indices: a) condensing index (CI) and b) hydrophobicity index (HI). To determine the degree of humification (H_{LIF}) solid soil samples were analyzed for laser induced fluorescence technique (LIF). The summer cropping systems showed significant differences in H_{LIF} and CI, in the sampled depths, differentiating the treatment of fallow with *Canavalia ensiformis*. The fluorescence emission intensities and

the average absorbance in the infrared region was greater for treatment with fallow. For all treatments was observed recalcitrance of OM along the soil profile. As for winter crops systems no significant differences for all evaluated indices possibly a result of the continuous plant residue intake for all treatments including the treatment of reference (oats).

3.3 INTRODUÇÃO

Os solos são constituídos em grande parte por minerais, e em pequena porcentagem por MO (REDDY et al., 2000). Mesmo a MO estando em pequena quantidade em relação aos constituintes minerais é de extrema importância à qualidade do solo (BATJES, 2014; CONGREVES, 2015; LAL, 2004). Inclusive a MO apresenta grande diversidade de moléculas orgânicas, consequência da biodiversidade, bioquímica das plantas e dos processos de degradação/estabilização do C no solo (KÖGEL – KNABENR, 2002), resultando em estruturas químicas e propriedades de moléculas orgânicas diferentes (RUMPEL et al., 2002).

O estudo da qualidade da MO do solo é dependente de técnicas instrumentais, tais como, as técnicas de espectroscopia na região do infravermelho médio (infravermelho) e de fluorescência (PRIMO et al., 2011), possibilitando a identificação das amostras de solo de acordo com as características espectrais e assim podendo ser relacionado com os sistemas de manejo (BAYER et al., 2002).

A técnica de infravermelho baseia-se em informações obtidas a partir da interação da radiação eletromagnética com as ligações moleculares dos grupos funcionais (CALDERON et al., 2011; ELLERBROCK et al., 1999). A aplicação da técnica de infravermelho para caracterizar a composição da MO no solo integral (não fracionado) é limitada, porque existe a interferência de sinais dominantes dos componentes minerais do solo (BALDOCK & BROOS, 2011). Essa interferência ocorre mesmo em solos “ricos” com elevado teor de MO por causa da obstrução espectral causada pelos minerais (REEVES, 2012). Para contornar esta problemática da interferência dos minerais no espectro do solo sem realizar tratamento químico, busca-se a utilização de índices que relacionam pontos de absorção específicos dos grupos funcionais, nos espectros de FTIR.

A característica de hidrofobicidade da MO ao solo pode ser medida por diversas razões de absorção conforme o tipo de solo, alguns relacionam as absorções em 2900/3300 e 2900/1600 cm^{-1} , pois relacionam os grupamentos de baixa polaridade (C-H presentes nos radicais metil e metileno) (CAPRIEL, 1997) com os grupamentos de alta polaridade (OH e COO^-) (COELHO, 2009; DIECKOW, 2003; HALLETT et al., 2003). O índice de

hidrofobicidade (IH) mede a influência da resistência á degradação microbiana, tendo relação com a taxa de umedecimento e os processos de adsorção (PENG et al., 2003). Outra relação possível de análise é referente ao índice de aromaticidade (IA) ou condensação (IC) da MO com o grau de recalcitrância da MO do solo. Portanto, a razão de absorção em $3.300/1.700\text{ cm}^{-1}$ é avaliada relacionando a proporção de grupamentos OH em relação aos grupamentos C = O. Quanto menor o valor da relação, maior o grau de aromaticidade, segundo Canellas (2004). Como alguns solos argilosos são ricos em gibsita, caulinita, haloisita e hematita e estes minerais absorvem nas faixas de $3.400 - 3.700$ e $1.200 - 900\text{ cm}^{-1}$ o IA ou IC e, segundo Dick et al. (2006) e Freixo et al. (2002), é mais adequado a estudos de Latossolo Vermelho, porque utiliza a razão entre as intensidades de absorção em 1.620 com 2.920 . Portanto nas faixas de $2.800 - 3.000$ e de $1.400 - 1.700\text{ cm}^{-1}$ não há interferências dos minerais.

Também para a caracterização espectral do solo integral pode ser usada a FIL baseada na emissão de fluorescência dos compostos aromáticos do solo, gerando como resultado intensidade de emissão de fluorescência que está relacionada com o grau de humificação da MO do solo (MARTINS et al., 2011; MILORI et al., 2002). Milori et al. (2006) demonstra que para solo integral, mesmo os ricos em compostos paramagnéticos, existe uma boa correlação da intensidade de fluorescência com o grau de humificação da MOS sugerindo o uso do índice de humificação (H_{FIL}). Este índice é uma razão entre a área integrada sob os espectros de emissão de fluorescência emitidos pela excitação a 465 nm pela porcentagem de C presente na amostra de solo. A FIL apresenta simplicidade, sensibilidade, rapidez e é uma técnica não destrutiva sem utilização de qualquer tratamento químico anteriores com grande vantagem de análise para a MO do solo (GONZÁLEZ – PÉREZ et al., 2007; MARTINS et al., 201).

Segundo Tivet et al. (2013) existe uma forte relação da profundidade com o H_{FIL} que aumenta a partir da superfície para as camadas de subsolo devido a decomposição da MOS em compostos mais lábeis. Contudo ao longo do perfil do solo estas substâncias continuam em decomposição resultando em compostos orgânicos mais humificados.

No capítulo 2 verificaram-se as alterações que as plantas de cobertura promoveram nos estoques de C. Neste capítulo, o objetivo é completar o estudo anterior buscando as implicações do uso dos tratamentos com as plantas de cobertura e adubação nitrogenada sobre a qualidade da MO, para solos subtropicais.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Área de Estudo

A metodologia de condução do experimento adotado foi o mesmo apresentado no tópico 2.4.1.

3.4.2 Amostragem do Solo

A amostragem do solo para as análises qualitativas segue o tópico 2.4.2.

3.4.3 Fluorescência Induzida a Laser

O H_{FIL} da MO do solo foi analisado por FIL pelo equipamento FIL, descrito por Milori (2002) e no Laboratório de Ótica e Fotônica da Embrapa Instrumentação Agropecuária. As amostras de solo foram moídas, peneiradas e prensadas em forma de pastilhas de solo. Cada pastilha mediu em torno de 1 cm de diâmetro, 2 mm de espessura e 0,5 g.

As pastilhas foram expostas à radiação laser de argônio com comprimento de onda (λ) igual a 458 nm. A fluorescência emitida pela amostra na faixa de 470 a 650 nm foi coletada por lentes divergentes e focalizada sobre a fenda de um monocromador. Os sinais foram então multiplicados em fotomultiplicadora, ajustados para sensibilidade máxima na região do visível, filtradas e amplificadas por um amplificador “lock-in”. O funcionamento do sistema e a aquisição de dados foram controlados por um software via computador (MILORI et al., 2006). Gerou-se um espectro de emissão de fluorescência, representado por uma curva, composto pelos comprimentos de onda emitidos no eixo das abscissas e as intensidades de emissão nas ordenadas. A intensidade do sinal foi relacionada com a presença de estruturas aromáticas condensadas rígidas. Como a intensidade do sinal de fluorescência é proporcional à quantidade de C fluorescente presente na amostra, foi necessário normalizá-la pela concentração de C na amostra utilizando-se o índice de humificação (Equação 4) (MILORI et al., 2004).

Equação 4:

$$H_{FIL} = \frac{A_{FIL}}{C}$$

Onde: A_{FIL} é a área sob a curva de emissão de fluorescência e C o conteúdo de carbono orgânico total (mg kg^{-1}).

3.4.4 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

Os espectros de solo gerados por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) seguiram a metodologia de Stevenson (1994), em que as pastilhas foram preparadas na proporção de 1:100, ou seja, 1 mg de amostra para cada 100 mg de KBr. Os espectros foram obtidos a partir de 32 scans com resolução espectral de 4 cm^{-1} no intervalo de 4.000 a 400 cm^{-1} . O espectrômetro de FTIR utilizado foi um Perkin-Elmer modelo Frontier, do laboratório da Central de Análises da UTFPR - Câmpus Pato Branco.

Com os espectros gerados pela técnica do infravermelho foram calculados dois índices: IC ou IA, pela razão entre a intensidade de absorbância em 1.620 cm^{-1} com a intensidade de absorção em 2.920 cm^{-1} , expressando a proporção de grupos conjugados com alifáticos (Equação 5) (DICK et al., 2006; FREIXO et al, 2002); IH, razão entre as absorbâncias das bandas de absorção em 2.900 e 1.600 cm^{-1} , expressando a relação entre grupos apolares (C -H) e polares (OH, C-O) (Equação 6) (FREIXO et al., 2002).

Equação 5:

$$IC \text{ ou } IA = \frac{I_{1.620}}{I_{2.920}}$$

Equação 6:

$$IH = \frac{I_{2.900}}{I_{1.600}}$$

Onde: $I_{1.620}$ é a intensidade de absorção no número de onda 1.620 cm^{-1} e $I_{2.920}$ é a intensidade de absorção no número de onda 2.920 cm^{-1} ;

$I_{2.900}$ é a intensidade de absorção no número de onda 2.900 cm^{-1} e $I_{1.600}$ é a intensidade de absorção no número de onda 1.600 cm^{-1} .

3.4.4 Análise Estatística

Com a ferramenta estatística Pirouette efetuou-se a classificação por PCA para reconhecer grupos de tratamentos semelhantes e/ou distintos entre si. As variáveis utilizadas no PCA foram: Relação C/N, H_{FIL} , IC/IA e IH.

Para a análise estatística quantitativa foi realizado análise de variância, considerando um esquema fatorial $8 \times 2 \times 3$ [oito tratamentos (pousio/ sistemas de cobertura verão/inverno) com adubação nitrogenada e sem adubação nitrogenada com três repetições], seguindo o teste de média Tukey a 5 % de probabilidade para verificar as diferenças

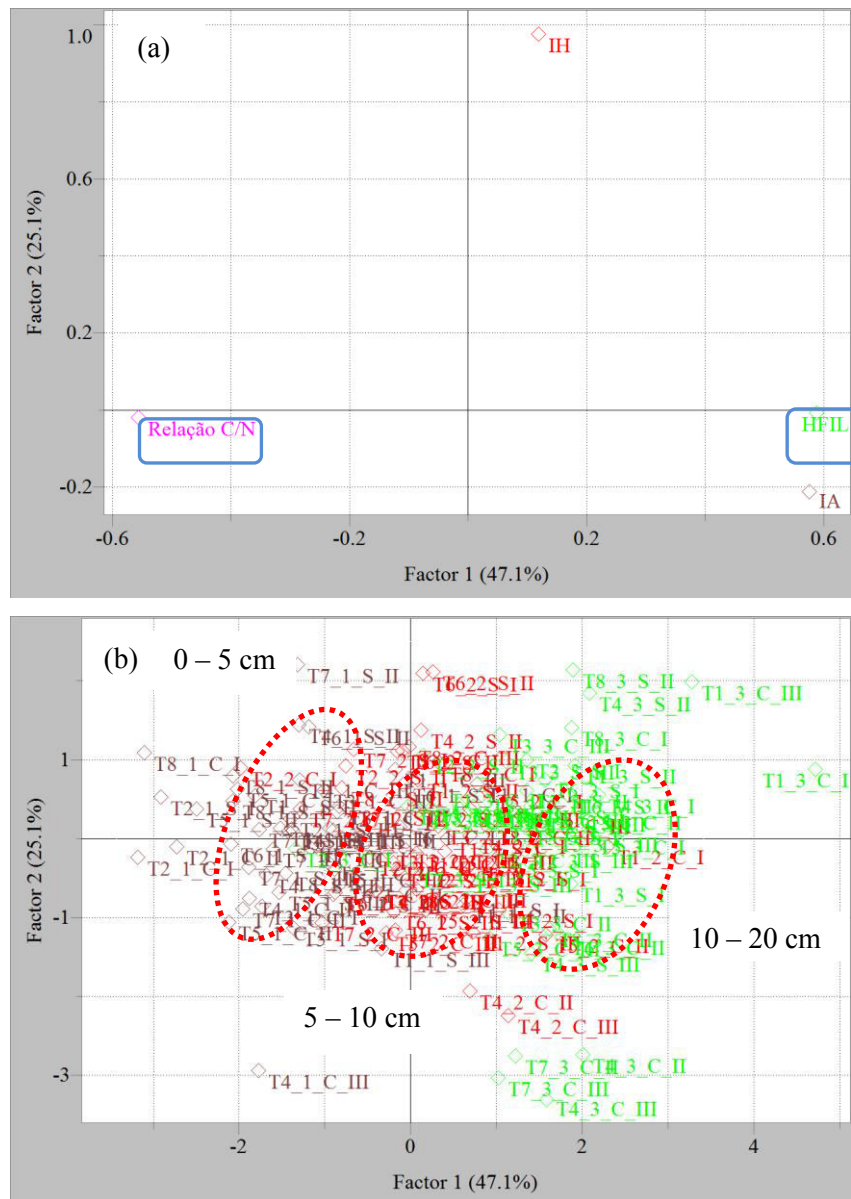
significativas entre os tratamentos adotados. O programa estatístico computacional utilizado foi o Assistat 7.6 Beta (2012) desenvolvido por Silva e Azevedo (2009).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Sistemas de Culturas de Verão

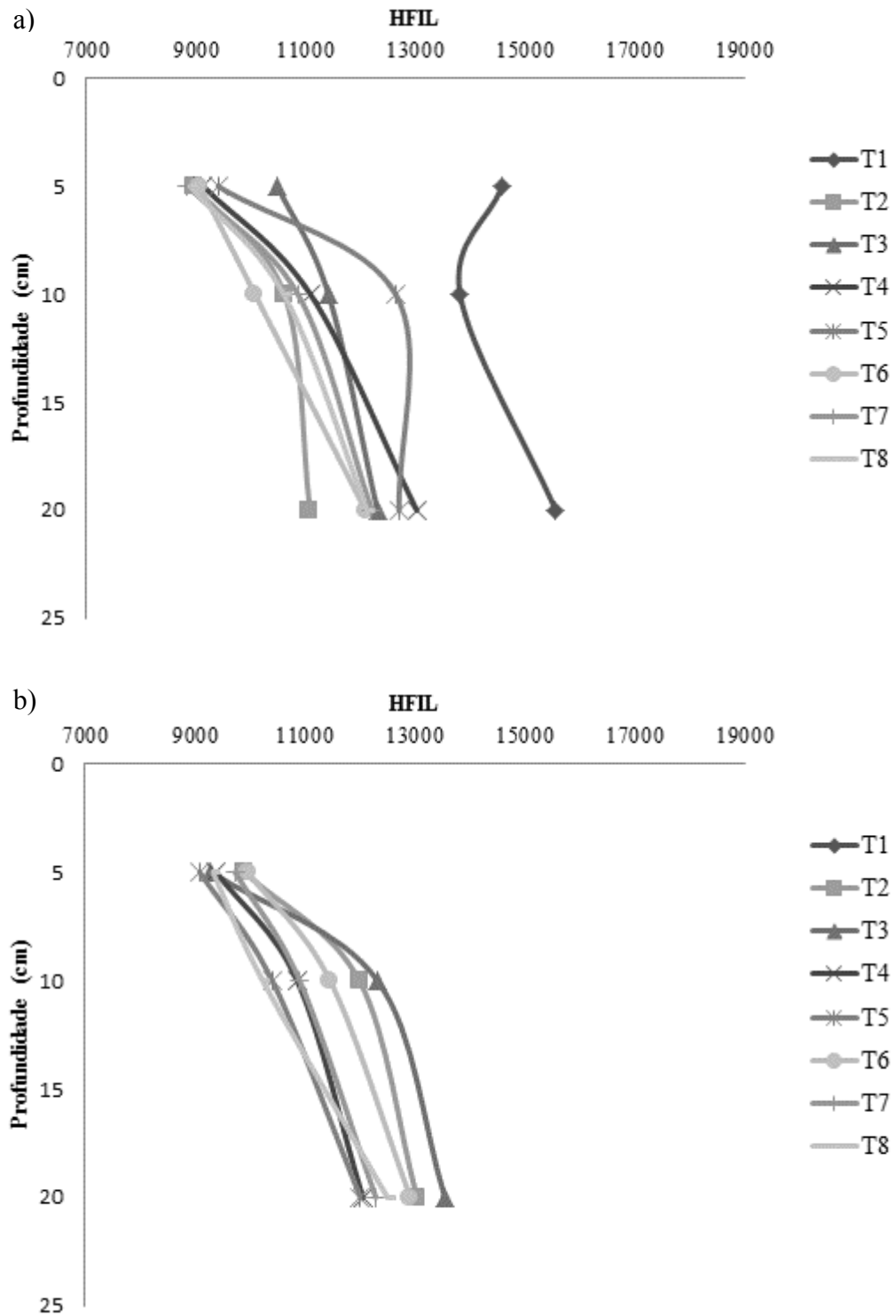
Ao construir a PCA do sistema de cultura de verão com os todos os valores das amostras para Relação C/N, H_{FIL} , IC ou IA e IH, verifica-se que a PC1 explicou 47,1% de variância entre as culturas utilizadas como tratamentos e a PC2 explicou 25,1% dos casos, assim juntas a PC1 e PC2 explicam 72,2% da variância total dos dados (Figura 8a). Enquanto que na Figura 8b a PCA demonstra claramente as diferenças entre as amostras e os separa em relação à profundidade.

Figura 8: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade.



Em diversos estudos sobre a MO do solo os resultados quantitativos e qualitativos demonstram diferenças ao longo do perfil do solo. A profundidade amostrada de 20 cm é inferior à amostragem realizada em alguns trabalhos, mas com essa amostragem já é possível demonstrar que os primeiros 5 cm do solo são de grande importância para a manutenção da estrutura da MO. Nesta camada quando há o aporte adequado de resíduo vegetal, sob PD, o H_{FIL} e o IA apresentam valores crescentes no perfil do solo (BABUJIA et al., 2006) (Figura 9a e b), enquanto, que a relação C/N diminui com a profundidade (DIECKOW, 2003) devido a compostos orgânicos mais lábeis disponíveis pelos resíduos vegetais aos microorganismos no solo.

Figura 9: a) Grau de Humificação (H_{FIL}) para os tratamentos com plantas de cobertura de verão das subparcelas sem adubação nitrogenada b) e com adubação nitrogenada. T1- pousio, T2- mucuna preta, T3 – guandu anão, T4- mucuna anã, T5- crotalária spectabilis, T6- crotalária juncea T7- lab-lab e T8- feijão-de-porco.



No Figura 9a o tratamento com o pousio possui H_{FIL} maior quando não recebe adubação nitrogenada, na camada de 0 – 5 cm, apresentando um comportamento contrário a subparcela adubada com N (Figura 9b) onde os compostos orgânicos mais recalcitrantes encontram-se nas camadas mais profundas (5 - 10 e 10 - 20 cm). Segundo a avaliação do H_{FIL} na primeira profundidade amostrada há diferença estatística ($p>0,05$) entre todos os tratamentos com plantas de cobertura de verão em relação ao tratamento com pousio (Tabela 7). A plantas de cobertura apresentaram os menores valores de H_{FIL} . Pode-se constatar que a diferença do H_{FIL} do tratamento com o feijão-de-porco em relação ao pousio ocorrem também nas profundidades de 5 – 10 e 10 – 20 cm.

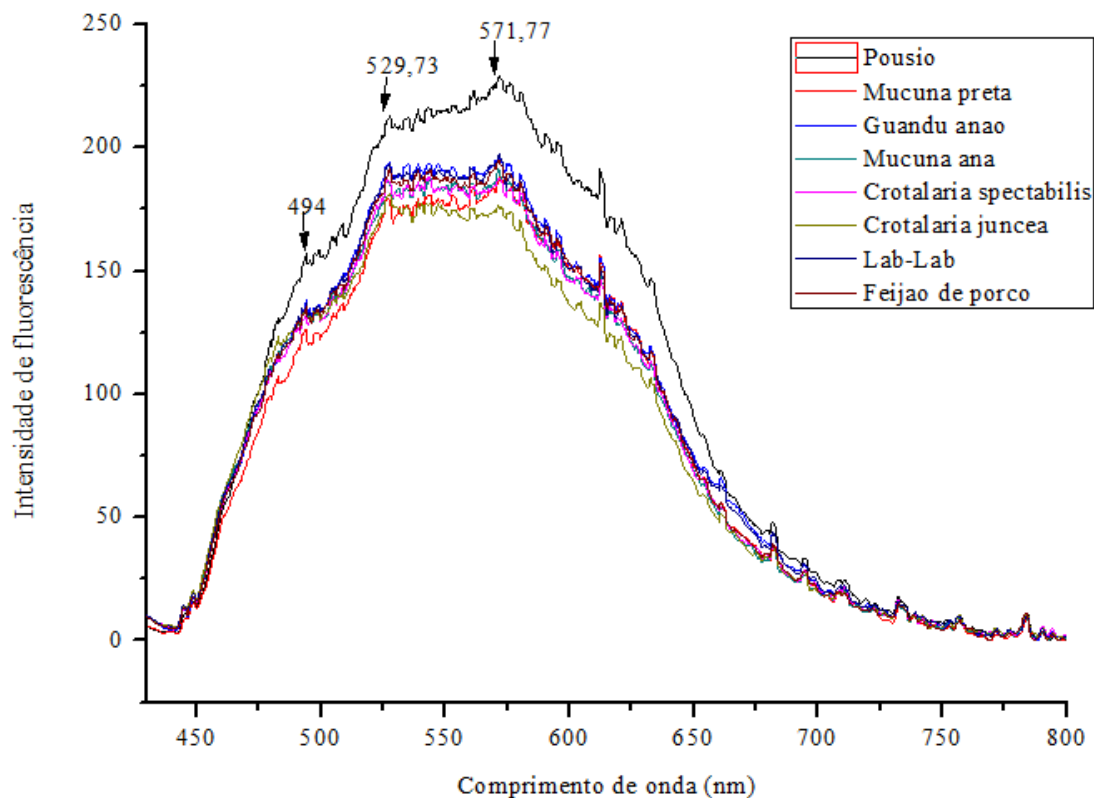
O espectro de emissão de fluorescência obtido com os tratamentos de verão sem adubação nitrogenada, apresentados na Figura 10, gerou um ombro em 494 nm, um pico de excitação a 530 nm e um pico mais intenso a 572 nm. Os picos em 494 e 530 nm ocorrem possivelmente em função da interação entre os compostos orgânicos e minerais (TIVET et al., 2013; ZANATTA, 2006). O tratamento com pousio, na profundidade de 0 - 5 cm do solo apresentou intensidade de emissão de fluorescência mais alta em comparação aos demais tratamentos, pois possui a menor concentração de COT ($26,6 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 3) não promovendo o incremento da MO do solo (CIESLIK, 2014).

Tabela 7: Grau de humificação (H_{FIL}), índice de aromaticidade (IA) e Índice de hidrofobicidade (IH) em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Campus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de Cobertura	H_{FIL}		IA		IH	
<i>0 – 5 cm</i>						
Pousio	13905,1	a	0,996	ab	0,953	ns
Mucuna preta	9429,8	b	0,953	ab	0,963	ns
Guandu anão	9885,5	b	1,032	a	0,960	ns
Mucuna anã	9253,8	b	0,992	ab	0,942	ns
C. spectabilis	9239,3	b	1,022	a	0,947	ns
C. juncea	9511,3	b	1,000	ab	0,972	ns
Lab – Lab	9283,5	b	1,005	ab	0,967	ns
Feijão de porco	9104,6	b	0,935	b	0,965	ns
CV (%)	10,85		4,08		3,25	
Com N	9916,7	ns	0,992	ns	0,953	ns
Sem N	9986,3	ns	0,946	ns	0,964	ns
CV (%)	16,27		2,95		4,57	
<i>5 – 10 cm</i>						
Pousio	13292,2	a	1,072	abc	0,967	ns
Mucuna preta	11293,1	ab	1,082	cd	0,977	ns
Guandu anão	11861,3	ab	1,043	bcd	0,958	ns
Mucuna anã	10965,8	ab	1,093	a	0,940	ns
C. spectabilis	11517,4	ab	1,085	ab	0,957	ns
C. juncea	10758,7	ab	1,067	abc	0,992	ns
Lab – Lab	10873,7	ab	1,040	cd	0,958	ns
Feijão de porco	10409,3	b	1,032	d	0,977	ns
CV (%)	11,70		2,01		3,96	
Com N	11381,0	ns	1,059	ns	0,972	ns
Sem N	11361,9	ns	1,053	ns	0,959	ns
CV (%)	10,61		2,59		4,10	
<i>10 – 20 cm</i>						
Pousio	14964,6	a	1,152	ns	1,012	ns
Mucuna preta	12050,1	b	1,040	ns	0,980	ns
Guandu anão	12920,0	ab	1,072	ns	0,985	ns
Mucuna anã	12532,0	b	1,138	ns	0,943	ns
C. spectabilis	12350,8	b	1,123	ns	0,972	ns
C. juncea	12496,1	b	1,135	ns	0,988	ns
Lab – Lab	12241,9	b	1,110	ns	0,933	ns
Feijão de porco	12302,8	b	1,075	ns	0,997	ns
CV (%)	8,80		5,27		4,28	
Com N	12628,7	ns	1,111	ns	0,961	ns
Sem N	12835,8	ns	1,100	ns	0,991	ns
CV (%)	10,89		3,99		5,31	

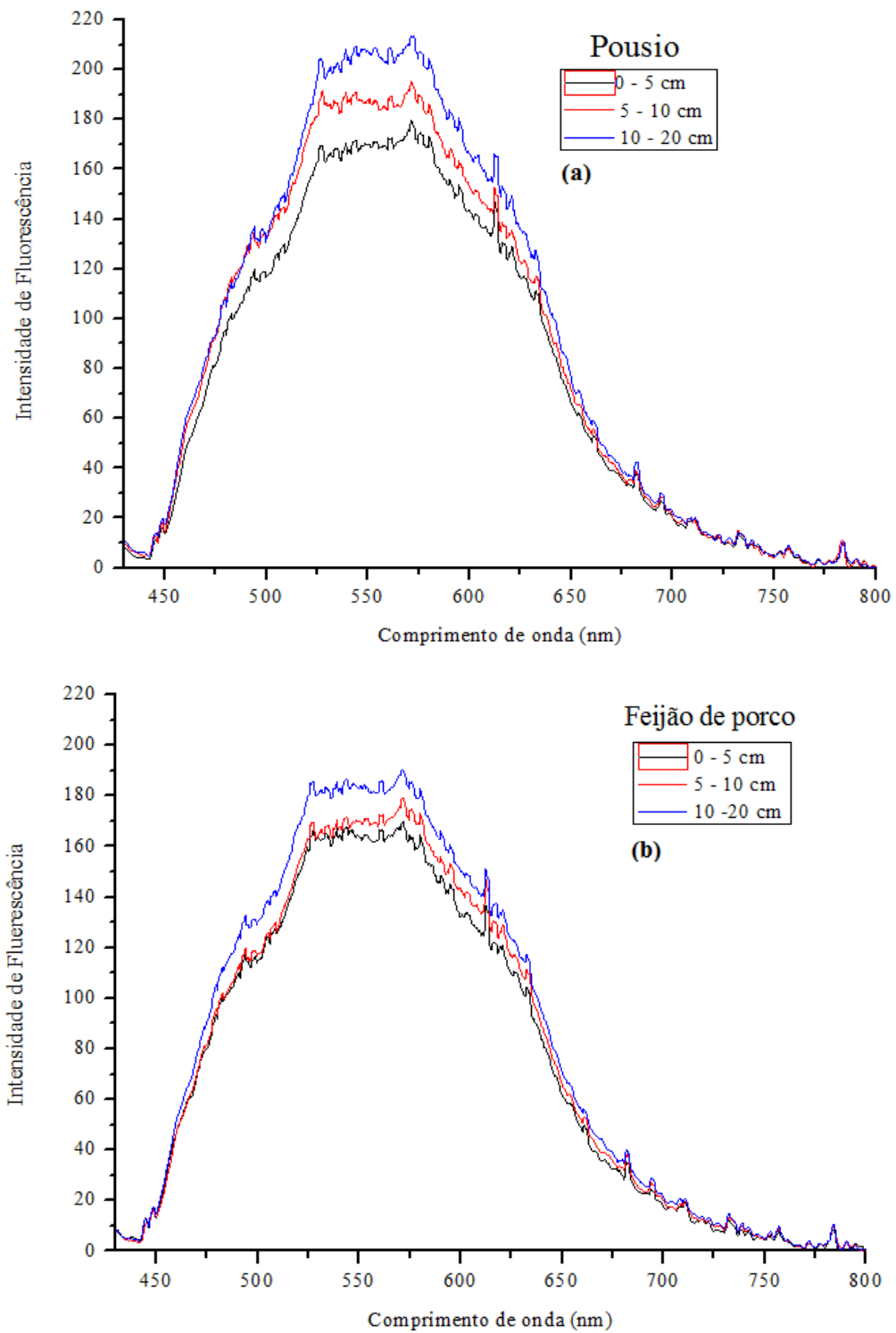
Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

Figura 10: Espectros de emissão de fluorescência para os sistemas de cultura de verão sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco I.



Considerando a distinção entre os tratamentos com pousio e feijão-de-porco (Tabela 7) a Figura 11a e Figura 11 foi montada com espectros na presença de adubação nitrogenada e nas diferentes profundidades. Os valores de intensidade de emissão cresceram com o aumento da profundidade do solo indicando uma maior concentração de C aromático e macromoléculas conjugadas, conforme observado por Senesi et al. (2016). Inclusive o IA segue o mesmo comportamento evidenciando o processo de recalcitrância da MO ao longo do perfil do solo (Tabela 7). Observou-se que o feijão-de-porco em conjunto com o milho propiciou alta quantidade de biomassa ($14,6 \text{ Mg ha}^{-1}$) mantendo uma cobertura permanente do solo e armazenando C, isto se reflete em compostos com menor recalcitrância em relação ao tratamento com o pousio (SÁ et al., 2014).

Figura 11: Espectros de emissão de fluorescência: (a) tratamento com pousio e (b) tratamento com a cultura do feijão-de-porco, com adubação nitrogenada, nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm.



A Figura 12a corresponde aos espectros gerados a partir das amostras de solo integral da profundidade de 0 – 5 cm sem adubação nitrogenada dos tratamentos de verão. Como não houve tratamento químico nem térmico para retirada de interferentes inorgânicos foram usadas duas faixas espectrais ($\sim 2.922\text{ cm}^{-1}$ e $\sim 1.632\text{ cm}^{-1}$) para avaliar a composição orgânica do solo em questão (TIVET et al., 2013). Os comprimentos de onda em 2.922 e 2.852 cm^{-1} (simétrico e assimétrico respectivamente) para os C secundários (CH_2) alifáticos, em 1.404 cm^{-1} para os C primários (CH_3) e em 1.632 cm^{-1} para C aromáticos correspondem às regiões utilizadas para estudo da parte orgânica do solo e estão ampliadas na Figura 12b e Figura 12c (ANEXO B).

Os tratamentos com o guandu anão e a crotalaria spectabilis apresentaram alguns picos de absorvância maiores (Figura 12) e diferença significativa ($p>0,05$) aos demais tratamentos (Tabela 7) quando avaliado o IA com valores de 1,032 e 1,022, respectivamente.

Os espectros gerados são referentes aos tratamentos: pousio e feijão-de-porco nas regiões espectrais dos C secundários e dos C aromáticos demonstrando maiores absorvâncias nestes picos para o tratamento com o pousio (Figura 13).

Figura 12: Espectros de FTIR (4.000 a 400 cm^{-1}) para os sistemas de culturas de verão sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, média entre os blocos.

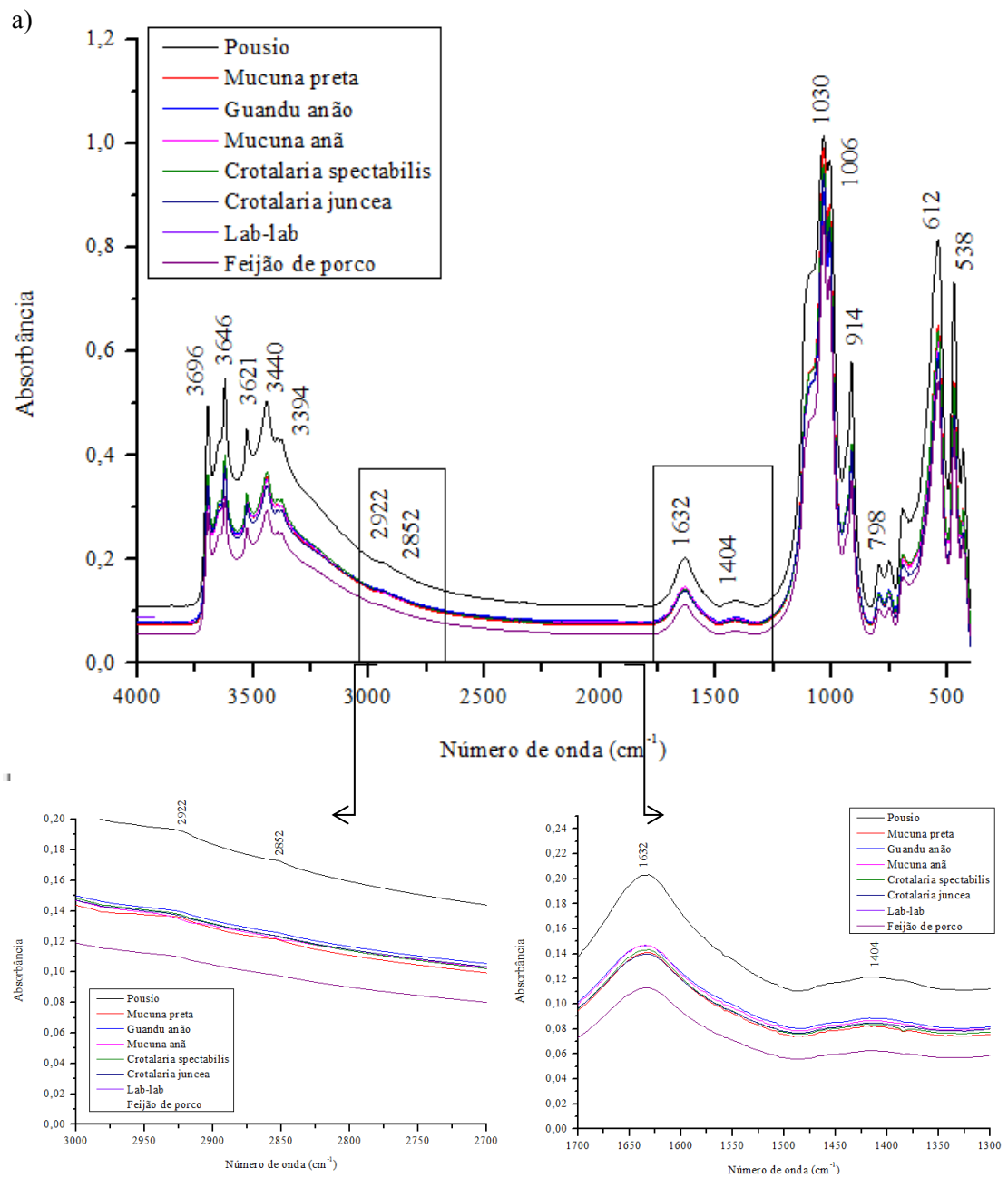
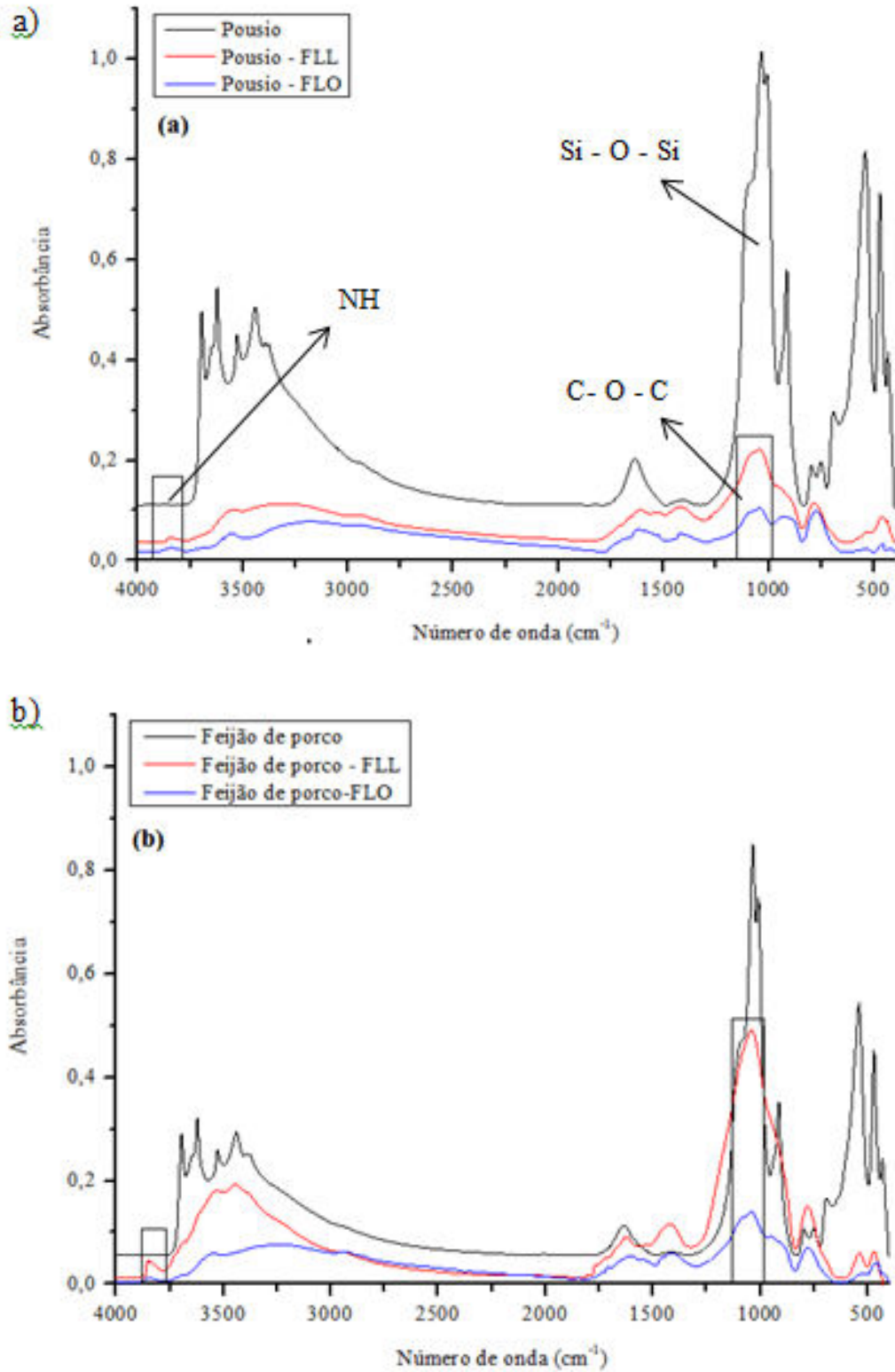


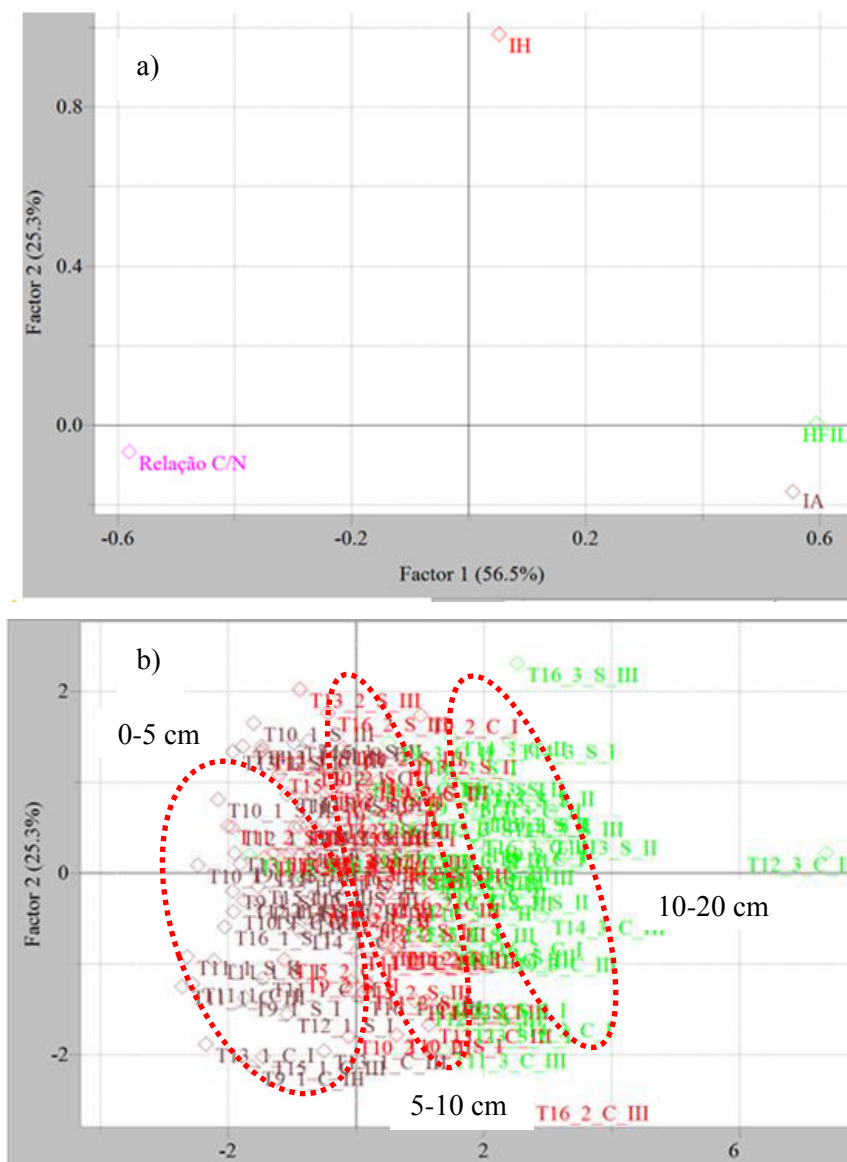
Figura 13: Espectros sobrepostos de solo integral com as frações FLL e FLO na região do infravermelho médio (4.000 a 400 cm^{-1}): (a) tratamento com pousio e (b) tratamento com a cultura do feijão de porco, sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, média dos blocos



3.5.2 Sistemas de Culturas de Inverno

Ao construir a PCA do sistema de cultura de inverno com os todos os valores das amostras para Relação C/N, H_{FIL} , IC ou IA e IH, verifica-se que a PC1 explica 56,5% de e a PC2 explica 25,3%, assim juntas a PC1 e PC2 explicam 81,8% da variância dos dados (Figura 14a). Observa-se na Figura 14a que há uma relação positiva do H_{FIL} com a profundidade e inversa com a relação C/N. Analisando a Figura 14b a PCA demonstra claramente as diferenças dos parâmetros avaliados em relação à profundidade.

Figura 14: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de inverno separadas pela classe de profundidade.



O comportamento, em geral, para os tratamentos com plantas de cobertura de inverno é semelhante aos tratamentos de verão e demonstram aumento no H_{FIL} com o aumento da profundidade (Figura 9 e Figura 15) (SENESI et al, 2016). Inclusive nos espectros obtidos na Figura 15 os tratamentos com aveia e ervilhaca sem adubação nitrogenada em profundidade indicando processo de recalcitrância da MO ao longo do perfil do solo. Entretanto, o experimento de inverno não apresentou diferenças significativas ($p>0,05$) para os índices avaliados (H_{FIL} , IA e IH) (Tabela 8) como observado no lado experimental de verão com diferenças significativas para H_{FIL} e IA (Tabela 7). Uma possibilidade para esta diferença é que o tratamento de referência para as culturas de verão é o pousio invernal constituído de sistema de pouco aporte de resíduo vegetal gerando diferenças significativas com os demais tratamentos. Segundo Cieslik (2014), a entrada de MS para os tratamentos com sistema de verão variaram de 7,5 a 14,6 Mg. ha⁻¹, contra o aporte anual de 5,6 Mg. ha⁻¹ para o tratamento com o sistema de pousio. Desta forma, os sistemas com as culturas de cobertura apresentam valores de acréscimo de MS ao solo de 33,9 a 160 % a mais do que o pousio. Agora ao analisar os valores de entrada de biomassa da aveia de 4,5 Mg ha⁻¹, safra 2013, em relação aos demais sistemas de culturas utilizados que variaram de 2,1 a 5,2 Mg ha⁻¹ percebe que houve em todos os tratamentos o aporte contínuo de MS sobre o solo (DAHLEM, 2013).

O espectro de emissão de fluorescência obtido com os tratamentos de inverno sem adubação nitrogenada, apresentados na Figura 17, gerou um ombro em 494 nm, um pico de excitação a 530 nm e um pico mais intenso a 572 nm. Os picos em 494 e 530 nm ocorrem possivelmente em função da interação entre os compostos orgânicos e minerais. Os tratamentos apresentaram praticamente a mesma intensidade de emissão de fluorescência na profundidade de 0 – 5 cm.

Figura 15: a) Grau de Humificação (H_{FIL}) para os tratamentos com plantas de cobertura de inverno das subparcelas sem adubação nitrogenada b) e com adubação nitrogenada. T9-aveia, T10- aveia+ervilhaca, T11 – aveia+ervilhaca+nabo, T12- nabo, T13-tremoço, T14- azevem, T15- centeio e T16- ervilhaca.

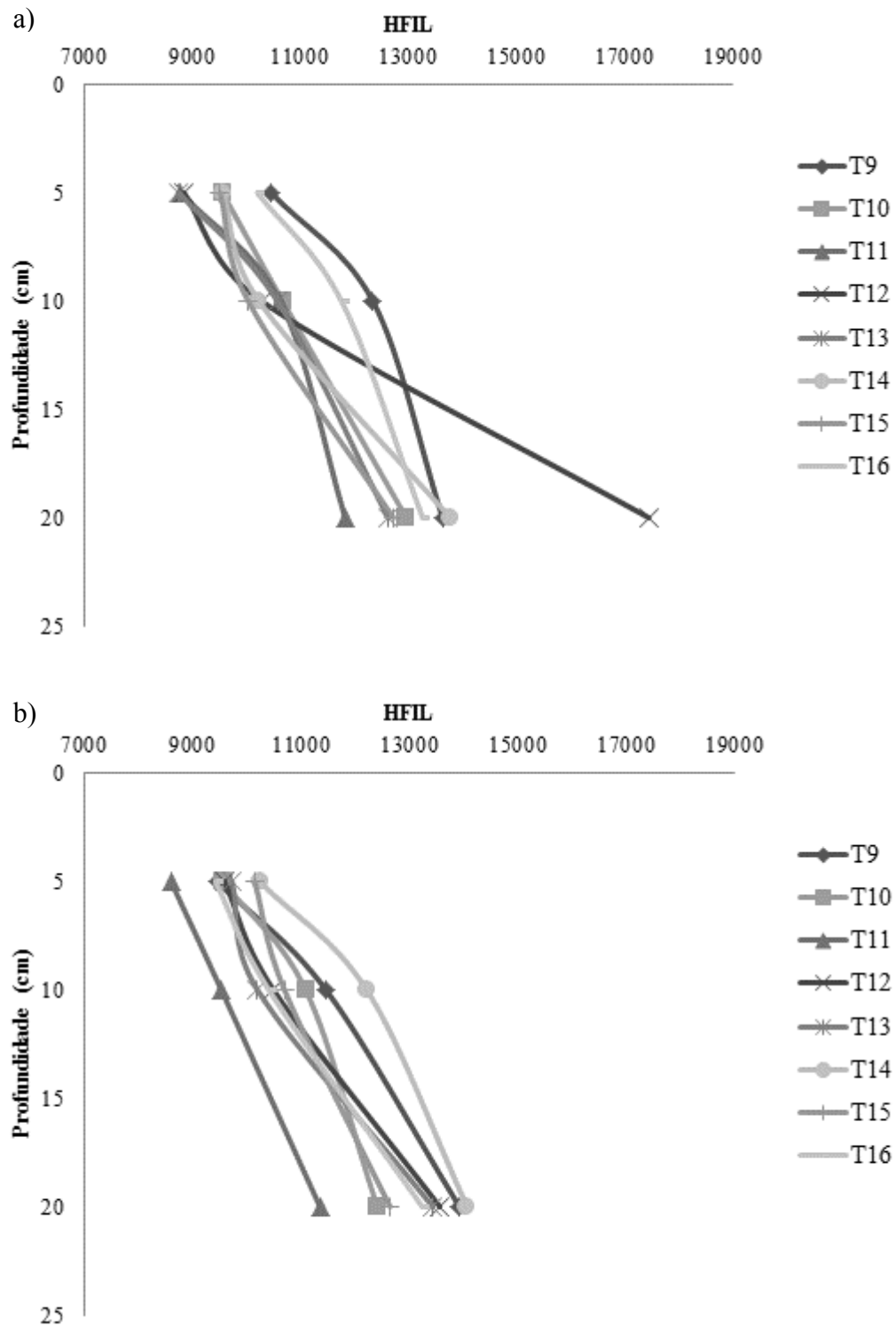


Figura 16: Espectros de emissão de fluorescência: (a) tratamento com a cultura de aveia e (b) tratamento com a cultura da ervilhaca, com adubação nitrogenada, nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 - 20 cm.

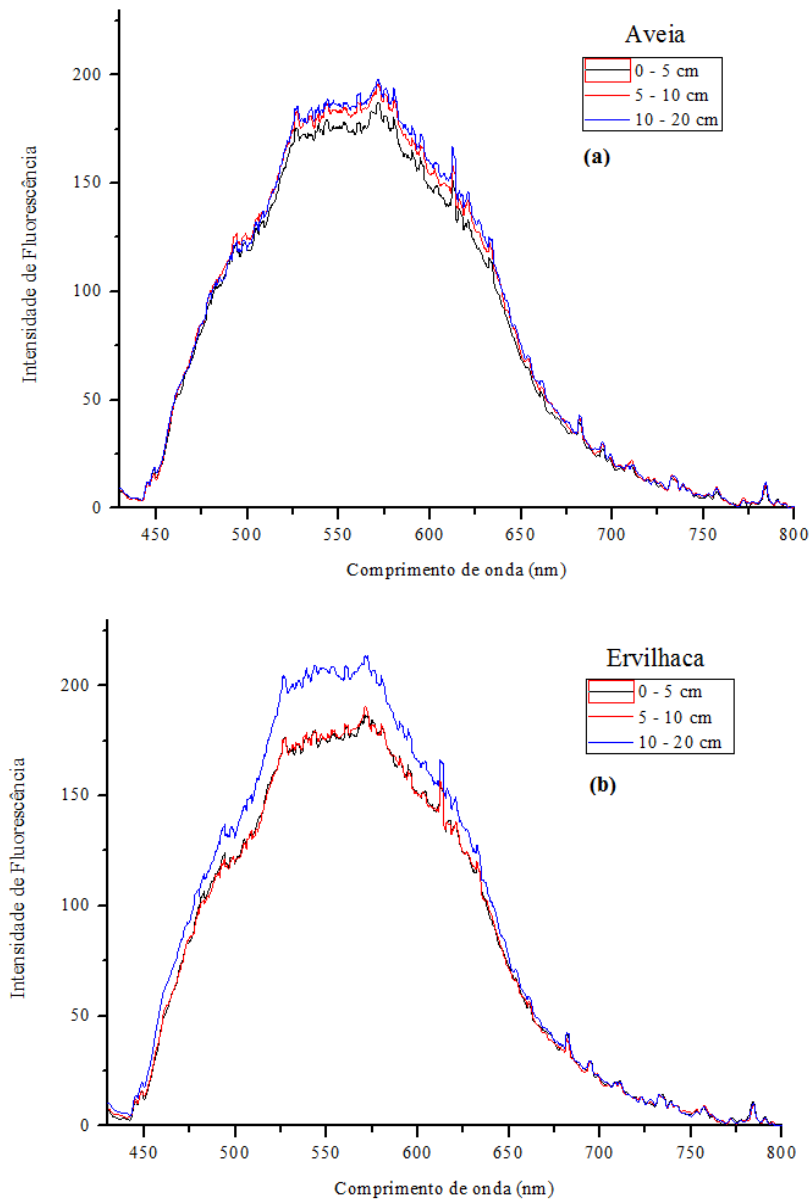


Figura 17: Espectros de emissão de fluorescência para os sistemas de cultura de inverno sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco I.

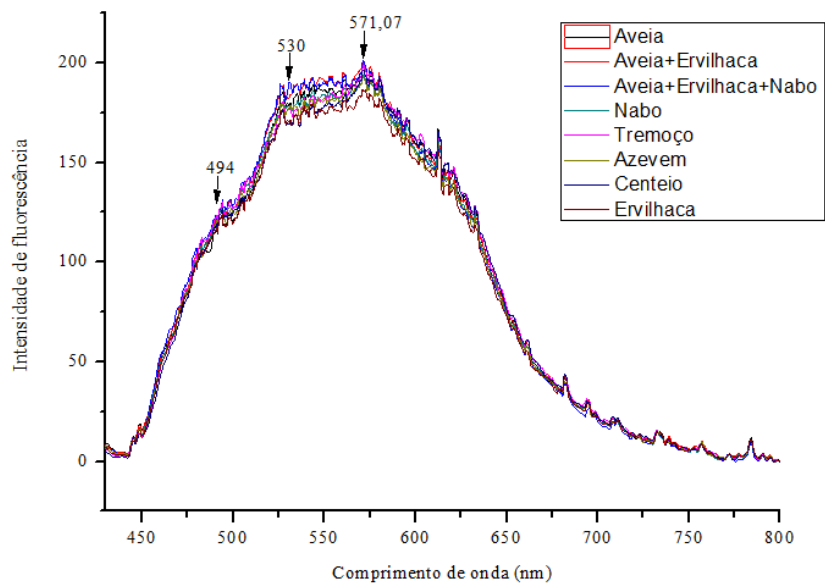


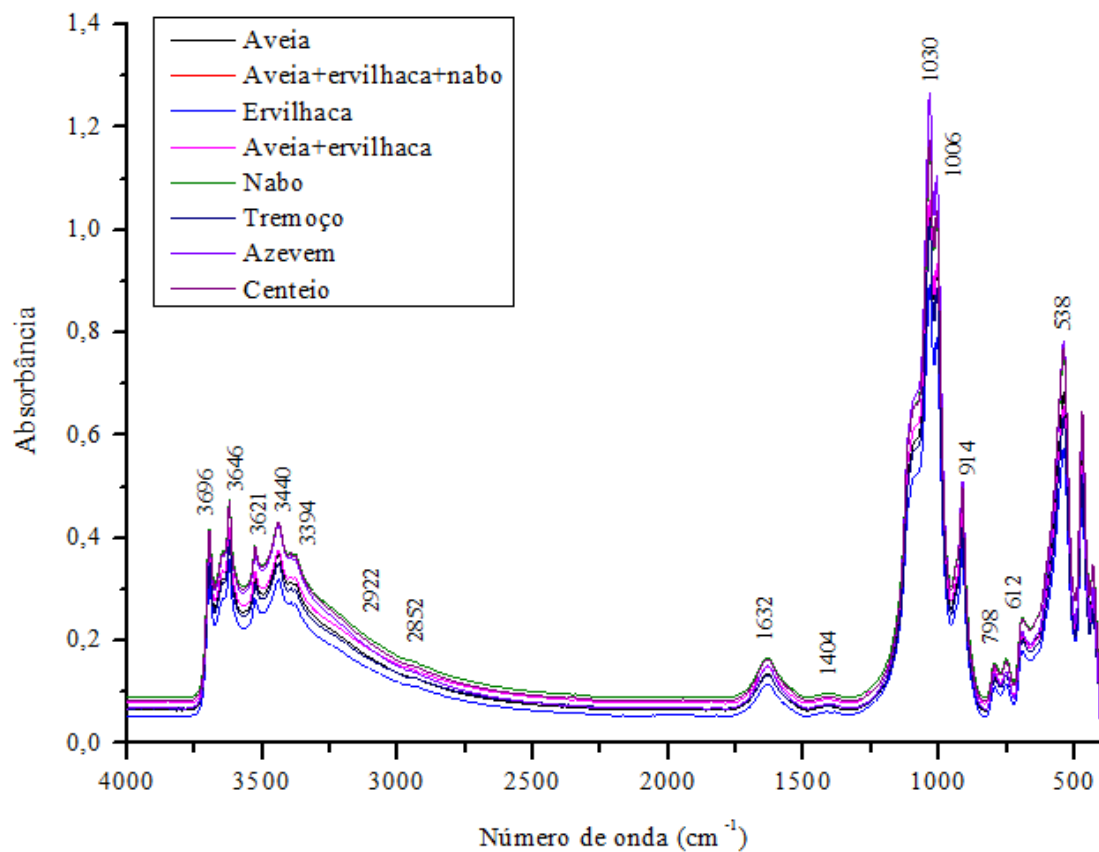
Tabela 8: Grau de humificação (H_{FIL}), índice de aromaticidade (IA) e Índice de hidrofobicidade (IH) em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de inverno, com e sem adubação nitrogenada, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de Cobertura	H_{FIL}		IA		IH	
			<i>0-5 cm</i>			
Aveia	9951,0	ns	1,030	ns	0,903	ns
A + E	9551,0	ns	1,028	ns	0,948	ns
A + E + N	8687,7	ns	1,038	ns	0,890	ns
Nabo	9212,4	ns	1,027	ns	0,932	ns
Tremoço branco	9233,8	ns	1,037	ns	0,927	ns
Centeio	9893,6	ns	1,027	ns	0,938	ns
Azevem	9823,2	ns	1,045	ns	0,920	ns
Ervilhaca	9807,5	ns	1,037	ns	0,922	ns
CV (%)	8,33		2,19		3,73	
Com N	9585,3	ns	1,036	ns	0,934	ns
Sem N	9454,9	ns	1,031	ns	0,911	ns
CV (%)	9,43		1,87		3,50	
			<i>5 – 10 cm</i>			
Aveia	11897,1	ns	1,085	ns	0,945	ns
A + E	10873,9	ns	1,117	ns	0,925	ns
A + E + N	10070,2	ns	1,083	ns	0,922	ns
Nabo	10381,1	ns	1,068	ns	0,942	ns
Tremoço branco	10381,2	ns	1,080	ns	0,943	ns
Centeio	11219,0	ns	1,101	ns	0,918	ns
Azevem	10359,7	ns	1,095	ns	0,930	ns
Ervilhaca	11078,8	ns	1,080	ns	0,917	ns
CV (%)	12,10		2,68		3,29	
Com N	10809,3	ns	1,094	ns	0,932	ns
Sem N	10756,0	ns	1,085	ns	0,929	ns
CV (%)	11,84		4,03		4,80	
			<i>10 – 20 cm</i>			
Aveia	9951,0	ns	1,142	ns	0,953	ns
A + E	9551,0	ns	1,155	ns	0,938	ns
A + E + N	8687,7	ns	1,127	ns	0,922	ns
Nabo	9212,4	ns	1,145	ns	0,923	ns
Tremoço branco	9233,8	ns	1,130	ns	0,930	ns
Centeio	9893,6	ns	1,160	ns	0,948	ns
Azevem	9823,2	ns	1,122	ns	0,937	ns
T16	9807,5	ns	1,100	ns	0,962	ns
CV (%)	8,33		2,98		3,34	
Com N	9585,3	ns	1,134	ns	0,947	ns
Sem N	9454,7	ns	1,136	ns	0,931	ns
CV (%)	9,43		3,05		4,10	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

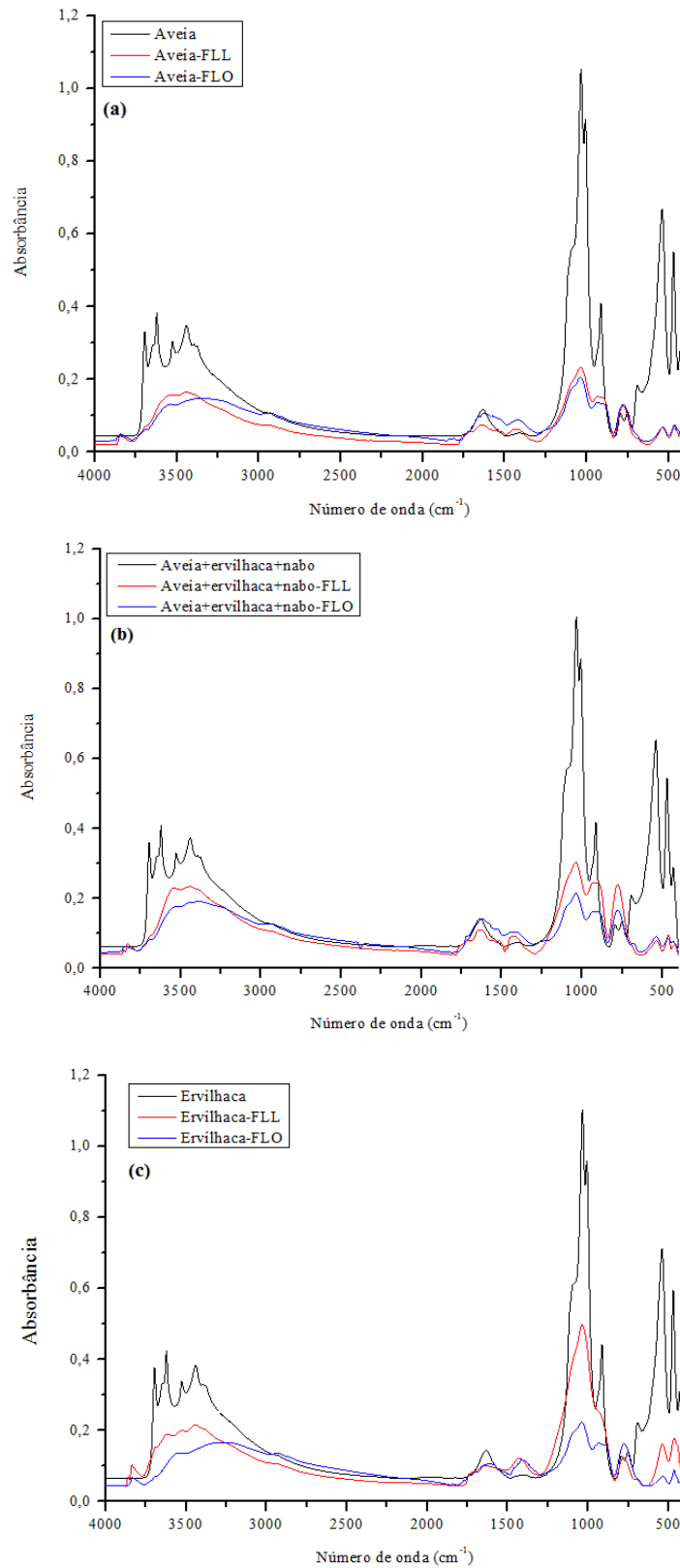
Na Figura 18 estão os espectros obtidos a partir das amostras de solo integral da profundidade de 0 – 5 cm sem adubação nitrogenada dos tratamentos de inverno. Novamente não houve tratamento químico nem térmico para retirada de interferentes inorgânicos sendo avaliados os comprimentos de onda em 2.922 e 2.852 cm^{-1} (simétrico e assimétrico respectivamente) para os C secundários (CH_2) alifáticos, em 1.404 cm^{-1} para os C primários (CH_3) e em 1.632 cm^{-1} para C aromáticos (ANEXO A).

Figura 18: Espectros na região do infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}) para os sistemas de culturas de inverno sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco I.



Os espectros gerados são referentes aos tratamentos: aveia, aveia + ervilhaca, aveia + ervilhaca + nabo e ervilhaca nas regiões espectrais dos C secundários e dos C aromáticos demonstrando maiores absorbâncias nestes picos para os tratamentos consorciados (Figura 19a e Figura 19b).

Figura 19: Espectros sobrepostos de solo integral com as FLL e FLO na região do infravermelho médio (4.000 a 400 cm^{-1}): (a) tratamento com a cultura da aveia, (b) tratamento com a cultura do consórcio aveia + ervilhaca + nabo e (c) tratamento com a cultura da ervilhaca, sem adubação nitrogenada, na profundidade de 0 – 5cm.



3.6 CONCLUSÕES

1- O pousio demonstrou ser o tratamento mais degradante com H_{FIL} e IA maiores na camada de 0 – 5 cm.

2- Não houve diferenciação entre as plantas de cobertura de inverno e verão em relação ao H_{FIL} .

3. 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BABUJIA, L. C. et al. Grau de humificação e estoques de matéria orgânica em sistemas de manejo do solo e rotação de culturas. II Jornada Acadêmica da Embrapa Soja. EMBRAPA Soja Documentos, v. 276, 69-74, 2006.
- BATJES, N. H. Projected changes in soil organic carbon stocks upon adoption of recommended soil and water conservation practices in the upper Tana River Catchment, Kenya. **Land Degradation Development**, v. 25, 278–287, 2014.
- BAYER, C. et al. Tillage and cropping systems effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. **Geoderma**, v. 105, 81-92, 2002.
- CALDERON, et al. Chemical Differences in Soil Organic Matter Fractions Determined by Diffuse-Reflectance Mid-Infrared Spectroscopy. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 75, 568-579, 2011.
- CANELLAS, L. P. et al. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Scientia Agricola**, v. 61, 53-61, 2004.
- CAPRIEL, P. Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. **European Journal of Soil Science**, v. 48, 457-462, 1997.
- CIESLIK, L. F. **Leguminosas de verão como cobertura do solo para produção de milho em sistema de plantio direto**. 2014, 71f. Dissertação, Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.
- COELHO, M. S. **Adubos Verde na Quantidade e Qualidade da Matéria Orgânica do Solo de Cafezais em Sistema de Cultivo Orgânico**. 2009, 52f. Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento Densimétrico com Politungstato de Sódio no Estudo da Proteção Física da Matéria Orgânica em Solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 541-549, 2008.

- CONGREVES, K. A. Long-term impact of tillage and crop rotation on soil health at four temperate agroecosystems. **Soil & Tillage Research**, v. 152, 17–28, 2015.
- DAHLEM, A. R. **Plantas de cobertura de inverno em sistemas de produção de milho sob plantio direto no Sudoeste do Paraná**. 2003, 94 f. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.
- DICK, D. P. et al. Organic matter in constructed soils from a coal mining area in southern Brazil. **Organic Geochemistry**, v. 37, 1537–1545, 2006.
- DIEKOW, J. **Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto**. 2003, 164 f. Tese para defesa de Doutorado em Ciência do Solo. Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.
- ELLERBROCK, R. H. et al. Characterization of soil organic matter from a sandy soil in relation to management practice using FT-IR spectroscopy. **Plant and Soil**, v. 213, 55–61, 1999.
- FREIXO, A. et al. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, 425-434, 2002.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, M. et al. A laser-induced fluorescence spectroscopic study of organic matter in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. **Geoderma**, v. 138, 20–24, 2007.
- HALLETT, J. D. et al. Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. **New Phytologist**, v. 157, 597–603, 2003.
- KÖGEL-KNABNER, I. et al. Nature and distribution of alkyl carbon in forest soil profiles: Implications for the origin and humification of aliphatic biomacromolecules. **The Science of the Total Environment**, v. 117-118, 175–185, 1992.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, 1–22, 2004.
- LIMA, A. et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 1053-1063, 2008.
- MARTINS, T. S. et al. Soil organic matter humification under different tillage managements evaluated by Laser Induced Fluorescence (LIF) and C/N ratio. **Soil & Tillage Research**, v. 111, 231–235, 2011.
- MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, .Fluorescência Induzida por Laser para Análise da Matéria Orgânica de Solos Intactos. São Carlos, SP. **EMBRAPA Instrumentação**, 2002.

- MILORI, D. M. B. P. et al. Índice de Humificação Obtido Através da Fluorescência Induzida por Laser. **EMBRAPA Instrumentação**, 2004.
- MILORI, D. M. B. P. et al. Organic Matter Study of Whole Soil Samples Using Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, 57-63, 2006.
- PRIMO, D. C. et al. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, nº 5, 1-13, 2011.
- REDDY, K. R. et al. Biogeochemistry of wetlands. **Handbook of soil Science**, cap.4, G89-119, 2000.
- REEVES, J. B. Mid-infrared spectral interpretation of soils: Is it practical or accurate? **Geoderma**, v. 189–190, 508–513, 2012.
- RUMPEL, C. et al. Vertical distribution, age, and chemical composition of organic carbon in two forest soils of different pedogenesis. **Organic Geochemistry**, v. 33, 1131–1142, 2002.
- SÁ, J. C. de M. et al. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil & Tillage Research** v. 136, 38–50, 2014.
- SENESI, G. S. et al. Laser-based spectroscopic methods to evaluate the humification degree of soil organic matter in whole soils: a review. **Journal Soils Sediments**, 1-11, 2016.
- SILVA, F. de A.S. & AZEVEDO, A.V. de. Principal components analysis in the software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7., 2009.
- STEVENSON, F.J. Humus Chemistry. **Genesis, Composition Reactions**, 2^aed., 1994.
- TIVET, F. et al. Assessing humification and organic C compounds by laser-induced fluorescence and FTIR spectroscopies under conventional and no-till management in Brazilian Oxisols. **Geoderma**. v. 207–208, 71–81, 2013.
- ZANATTA, J. A. **Estoque e labilidade do carbono em frações da matéria orgânica de um Argissolo afetados por sistemas de manejo do solo**. 2006, 129f. Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DO CARBONO NAS FRAÇÕES DENSIMÉTRICAS DA MATERIA ORGÂNICA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO COM PLANTAS DE COBERTURA DE VERÃO E INVERNO

4.1 RESUMO

As diversas possibilidades de manejo do solo em busca da sustentabilidade de ecossistemas contrastam com a questão de como avaliar e elencar os melhores sistemas de manejo agrícola. Para elucidar as relações existentes entre a MO, o solo e as formas de manejo é necessário avaliar e caracterizar também as suas frações. Objetivou-se avaliar o efeito de sistemas de coberturas vegetais sobre o estoque de C orgânico total (COT), a distribuição do C em frações físicas da MO e o índice de manejo de C (IMC) de um Latossolo sob plantio direto (PD). O experimento foi instalado em 2010 e após *screening* dos oito tratamentos com culturas de verão e oito com culturas de inverno foram escolhidos, no total, sete tratamentos para avaliação e caracterização de suas frações: Pousio (T1), Crotalaria juncea (T6), Lab-Lab (T7), feijão de porco (T8), aveia (T9), consórcio de aveia/ervilhaca/nabo (T11) e ervilhaca (T16). Amostras de solo foram coletadas em 2013, na camada de 0 – 5, 5- 10 e 10 – 20 cm, sendo avaliado o estoque de COT, estoque das frações físicas densimétricas (fração leve livre - FLL; fração leve oclusa - FLO; e fração pesada - FP) e o IMC dos tratamentos escolhidos. Houve diferença significativa para o estoque de FLL para as culturas de verão e de inverno, e os menores estoques de C nas frações FLL foi de 0,67 Mg ha⁻¹ para o pousio e de 3,9 Mg ha⁻¹ para a aveia, representando respectivamente 1,2% e 6,3% do estoque de C total do solo. Para as culturas de verão o feijão de porco a FLL representou 8,2% e no tratamento representante das culturas de inverno o consórcio de aveia + ervilhaca + nabo, 15,1% do COT. O IMC para as culturas de inverno foram superiores a plantas de cobertura de verão e o consórcio se destaca com um IMC de 4,14, indicando maior acúmulo de material orgânico lábil.

4.2 ABSTRACT:

The different soil management possibilities in the search for sustainability of ecosystems contrast with the question of how to evaluate and rank the best agricultural management systems. To elucidate the relationship between the MO, soil and forms of management is necessary to evaluate and to characterize their fractions. This study aimed to evaluate the effect of plant roofing systems on the stock of total organic carbon (TOC), the distribution of C in physical fractions of OM and management index C (BMI) of an Oxisol under no-tillage (NT). The experiment was installed in 2010 and after screening of eight

treatments with summer crops and eight winter crops were chosen, in total, seven treatments for evaluation and characterization of its fractions: Fallow (T1), *Crotalaria juncea* (T6), Lab -Lab (T7), pork beans (T8), oats (T9), oat consortium / vetch / turnip (T11) and vetch (T16). Soil samples were collected in 2013, in the 0 - 5, 5 10:10 - 20 cm, and evaluated the stock of TOC stock of densimétricas physical fractions (free light fraction - FLL; occluded light fraction - FLO, and heavy fraction - FP) and BMI of the chosen treatments. There was a significant difference to the stock of FLL for summer crops and winter, and smaller stocks of C in FLL fractions was 0.67 Mg ha⁻¹ for fallow and 3.9 Mg ha⁻¹ for oats representing respectively 1.2% and 6.3% of the stock of C total soil. For summer crops the pork beans showed 8.2% of FLL and treatment representative of winter crops with 15.1% of FLL was the oat + vetch + turnip. The BMI for winter crops were higher than summer cover crops and the consortium stands out with a BMI of 4.14, indicating greater accumulation of labile organic material.

4.3 INTRODUÇÃO

O PD como sistema conservacionista permite maior aporte de MS sem revolvimento do solo (PILLON et al., 2011). Como a dinâmica da MO é regida pela adição de resíduos orgânicos e transformações contínua, há conseqüentemente, o aumento do estoque de C no solo (ABBRUZZINI, 2011). A utilização de diferentes plantas de cobertura influencia na quantidade de C acrescido ao solo, em regiões tropicais, o aporte de resíduo vegetal é significativamente maior do que em regiões de clima temperado (MONTEIRO et al., 2004). Aportes distintos influenciam as frações da MO e os três mecanismos de proteção da MO (recalcitrância química, proteção coloidal e proteção física) (CONCEIÇÃO et al., 2008).

A avaliação da MO é um dos indicadores de qualidade do solo, uma vez, que indica as alterações ambientais e no manejo (BAYER et al., 2006; ROSA et al., 2011). O estudo do fracionamento da MO é importante para o entendimento da dinâmica do C nos compartimentos da MO indicando a manutenção ou acúmulo de MO no solo gerando a base teórica para a adoção de estratégias de uso sustentável da terra (PINHEIRO et al., 2004).

Dentre os fracionamentos da MO do solo existem, o químico (SWIFT, 1996), o físico granulométrico (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992) e o físico densimétrico (CONCEIÇÃO, 2008). Como há variações quanto as metodologias de fracionamento da MO, conseqüente, também existe na nomenclatura das frações obtidas. Partindo do fracionamento granulométrico pode-se entender que os compostos de C lábil da MO estão associados a fração areia (MOP - matéria orgânica particulada) relacionando-se com a fração leve livre (FLL - densimétrico) e com a humina (químico). Já os compostos menos lábeis associados às frações silte e argila (MOAM – matéria orgânica associada aos minerais) relacionados-e com a fração pesada (FP) e os ácidos fúlvicos (RIBEIRO et al., 2011).

O fracionamento físico densimétrico separa a MO em três compartimentos: a FLL, FLO e a FP. Em cada fração é possível identificar pelo menos uma forma de proteção da MO ou combinação entre elas. Alterações em curto prazo são possíveis de serem constatadas na avaliação da camada superficial nas proporções das frações lábeis da MO, tais como a FLL e a FLO. A vantagem deste conhecimento sobre a resposta do solo à qualidade é que permite correções nas estratégias de uso e de manejo adotadas num menor tempo de implantação. A FLL tem um papel importante na ciclagem dos nutrientes do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005) enquanto que a FLO possui ainda compostos sujeito a transformações (ROSCOE & MACHADO, 2002).

Buscando o entendimento de como expressar as conexões entre as frações da MOS e estabelecer um elo com o manejo do solo Blair (1995), Dieckow (2005) e Conceição (2015) utilizam o índice de manejo de carbono (IMC). Este índice avalia os efeitos dos sistemas de gestão agrícolas sobre a quantidade e qualidade da MOS. Leal (2015) observa que o IMC proposto inicialmente por Blair (1995) possuía uma limitação técnica ao utilizar a oxidação com permanganato de potássio ($KMnO_4$) para obtenção das frações da MO. Segundo Leal (2015), o resultado da adaptação implementada por Dieckow (2003) estimando o IMC com as frações físicas foi de maior precisão e sensibilidade, apresentando IMC maiores para os tratamentos com leguminosas em relação as gramíneas, sob PD. Conceição (2014) demonstrou que a solução densimétrica com o politungstato de sódio (PTS) é mais eficaz do que a solução com NaI utilizando o IMC, uma vez que, o PTS extrai mais fração lábil da MO do solo do que a solução com NaI (LEAL et al., 2015). Dessa forma, o objetivo deste estudo recai na compreensão da magnitude da cobertura vegetal em relação à avaliação dos níveis de C, sob PD e, assim, estudar os compartimentos da MO do solo criando estratégias de manejo do solo para reduzir o impacto da agricultura sobre o meio ambiente.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Área de Estudo

A metodologia de condução do experimento adotado foi o mesmo apresentado no tópico 2.4.1, salvo pequena alteração nos tratamentos trabalhados com o fracionamento densimétrico que foram: Pousio/milho (T1), Milho/crotalária juncea (T6), Milho/lab-lab (T7), Milho/feijão de porco (T8), Aveia/milho (T9), Aveia + ervilhaca + nabo/milho (T11) e

Ervilhaca/milho (T16). A escolha destes tratamentos é decorrente dos dados gerados para as culturas de verão e inverno sem adubação nitrogenada apresentadas nos capítulos 2 e 3.

4.4.2 Amostragem do Solo

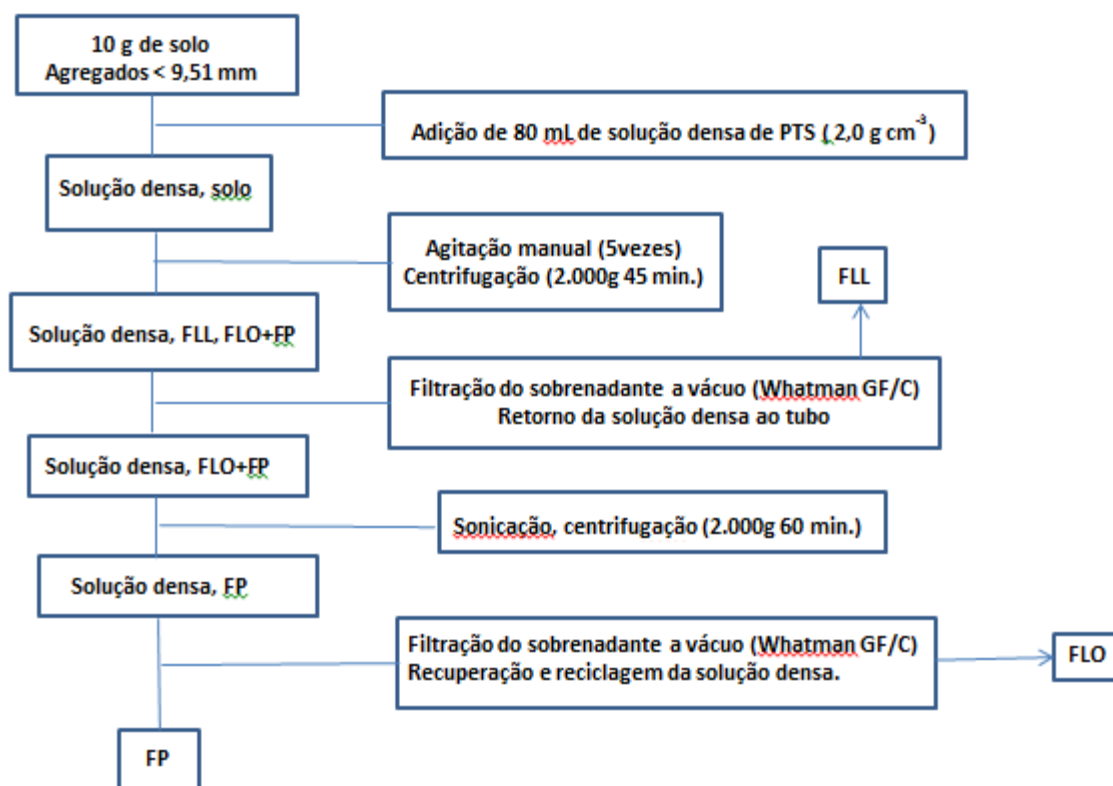
A amostragem do solo para as análises quantitativas das frações densimétricas segue o tópico 2.4.2. A diferença na amostragem do solo para fracionamento é que as amostras originaram se da coleta de blocos indeformados, os agregados foram separados, passados em peneira com malha de 9,51 mm e secas ao ar (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1991).

4.4.3 Fracionamento Densimétrico da MOS

A metodologia utilizada neste estudo para fracionar a MO do solo foi a densimétrica, segundo Conceição (2008). Conforme Figura 20, 10 g de amostra de solo foi adicionada a um tubo de centrífuga de 100 mL. Acrescentou neste tubo 80 mL de solução de PTS [$\text{Na}_6(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{40})$], com densidade $2,0 \text{ g cm}^{-3}$, (CONCEIÇÃO et al., 2007). Para fracionar a FLL o tubo de centrífuga fechado com uma rolha foi agitado por cinco vezes manualmente e na sequencia centrifugado a 2.000 g por 60 min. Com o auxílio da bomba de vácuo o sobrenadante com a FLL foi filtrado em filtro Whatman GF/C, previamente quantificado, e conjunto filtro + FLL lavado com água destilada para remoção do excesso de PTS, seco em estufa a 50°C por 24 h e quantificado sua massa.

A solução de PTS com a FLO retornou ao tubo de centrífuga com pellet no fundo e passou pelo processo de dispersão com o ultrassom (marca Sonics modelo Vibra cell). A energia utilizada foi de 14.492 J (200 J mL^{-1}) por cerca de 15 min, determinada segundo Inda Junior (2007), com a previsão da energia máxima para dispersão do solo analisado em partículas primárias. Finalizada a dispersão do solo a suspensão retornou para a centrífuga para separar a FLO a 2.000 g por 60 min. O sobrenadante foi filtrado a vácuo e o conjunto filtro + FLO lavado com água destilada e seco em estufa a 50°C por 24 h para determinação da massa.

Figura 20: Protocolo simplificado do fracionamento densimétrico utilizado no laboratório Central de Análises – Câmpus Pato Branco, para separação da fração leve - livre (FLL), fração leve-oclusa (FLO) e fração pesada (FP).



4.4.4 Análises de Determinação de C Total – Analisador Elementar

A metodologia de determinação de C total das frações densimétricas segue o tópico 2.4.3.

4.4.5 Cálculos para Determinar o Estoque de Carbono

As equações para determinação de estoque de C nas frações densimétricas segue o tópico 2.4.4 e a densidade de solo para os cálculos, conforme ANEXO A.

4.4.6 Análise Estatística

Com a ferramenta estatística Pirouette utilizou-se um método de classificação de PCA para reconhecer grupos de tratamentos semelhantes e/ou distintos entre si. As variáveis utilizadas no PCA foram: estoques de COT, FLL, FLO, FP e as razões entre os estoques de FLL/COT, FLO/COT e FP/COT.

Para a análise estatística quantitativa foi realizado análise de variância, considerando um esquema fatorial 4 x 3 e 3 x 3 [quatro tratamentos com as culturas de verão/três tratamentos com as culturas de inverno versus as três repetições], seguindo o teste de média Tukey a 5 % de probabilidade para verificar as diferenças significativas entre os tratamentos adotados. O programa estatístico computacional utilizado foi o Assistat 7.6 Beta (2012) desenvolvido por Silva e Azevedo (2009).

O cálculo para determinação do IMC, descrito por Blair et al. (1995), é baseado nos estoques de C do solo e das frações da MOS obtidas pelo fracionamento densimétrico da camada de 0-20 cm, segundo adaptação de Conceição et al. (2015). A referência utilizada foi o tratamento com o pousio invernal (Equação 7).

Equação 7:

$$IMC = IEC \times ILC \times 100$$

Onde: *IEC* = índice de estoque de C do tratamento avaliado (Equação 8); *ILC* = índice de labilidade do C (Equação 9).

Equação 8:

$$IEC = \frac{\text{estoque de C do tratamento}}{\text{estoque de C da referência}}$$

Equação 9:

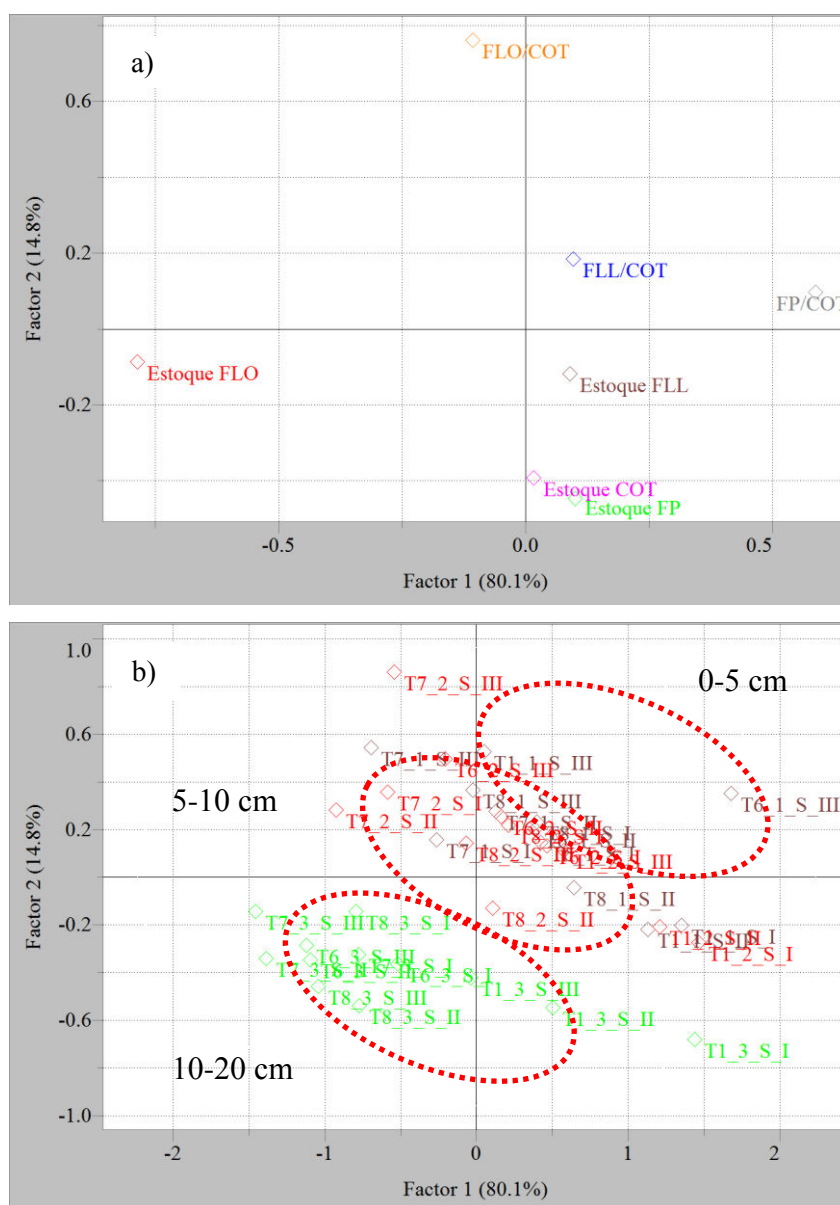
$$ILC = \frac{C \text{ lábil}}{C \text{ não lábil}}$$

Onde, o *C lábil* = estoque de C na FLL e FLO; *C não lábil* = estoque de C na FP.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao construir a PCA do sistema de cultura de verão com os todos os valores de para Estoque de C para as frações FLL, FLO, FP e COT, além, das razões entre as três frações com o COT, verifica-se que a PC1 explica 80,1% de variância entre as culturas utilizadas como tratamentos e a PC2 explica 14,8% dos casos, assim juntas a PC1 e PC2 explicam 94,9% da variância dos dados (Figura 21a). Analisando a Figura 21b o PCA demonstra as diferenças dos parâmetros avaliados em relação à classe das profundidades amostradas.

Figura 21: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score das amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade.



Diferença significativa foi observada para o estoque de C na FLL para as culturas de verão, conforme Tabela 9. Para as camadas de 0 – 5, 5- 10 e 10 – 20 cm o tratamento com o pousio apresentou os menores valores de estoque de C na FLL resultando numa média de $0,7 \text{ Mg ha}^{-1}$. O maior estoque de C na FLL ocorreu no tratamento com o feijão de porco, resultado do maior aporte de resíduos culturais depositados em superfície, comparativamente ao pousio e demais tratamentos com plantas de cobertura. Observando a proporção da fração densimétrica FLL com relação ao COT verifica-se que o pousio é uma prática degradante do solo, pois a MO na forma mais lábil não está sendo acrescida ao solo. Dispor ao solo de frações lábeis da MO são fundamentais para a ciclagem de C entre os compartimentos do solo e para a ciclagem de nutrientes em curto prazo (CONCEIÇÃO et al., 2015), além da sua contribuição para a formação e estabilização transitória de agregados. Em função da grande sensibilidade da FLL às alterações no uso e manejo a FLL pode ser facilmente perdida pelo uso e manejo inadequado nos primeiros anos de cultivo (MIELNICZUK, 2008).

Também houve diferença significativa entre os tratamentos com plantas de cobertura em relação ao pousio para o estoque de C na FLO (Tabela 10). O pousio novamente demonstrou o menor valor de estoque de C com $9,6 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Tabela 9: Estoque de C nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP), e no solo (COT), e relações de cada fração com o COT, em solo com plantas de cobertura de verão, sob plantio direto (PD). UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de cobertura	FLL		FLO		FP		COT		FLL/ COT		FLO/ COT		FP/ COT	
	-----Mg ha ⁻¹ -----													
-----%-----														
<i>0 – 5 cm</i>														
Pousio	0,4	b	2,9	b	11,3	ns	14,6	ns	2,6	b	20,8	ns	76,6	a
Crotalaria juncea	1,4	a	3,9	ab	10,3	ns	15,6	ns	8,8	a	25,1	ns	66,1	ab
Lab – lab	1,5	a	5,3	a	9,8	ns	16,6	ns	9,0	a	32,3	ns	58,7	b
Feijão de porco	1,6	a	4,1	ab	10,6	ns	16,3	ns	9,6	a	25,5	ns	64,9	ab
CV	14,51		17,94		14,69		8,98		17,44		21,04		9,06	
<i>5 – 10 cm</i>														
Pousio	0,1	b	2,4	b	12,4	a	14,9	ns	0,8	b	16,3	c	82,9	a
Crotalaria juncea	1,4	a	4,4	ab	9,8	ab	15,6	ns	9,4	a	28,3	b	62,4	b
Lab – lab	0,9	b	6,2	a	8,4	b	15,7	ns	6,0	a	40,4	a	53,6	c
Feijão de porco	1,8	a	4,8	ab	12,3	ab	18,9	ns	9,6	a	25,7	bc	64,7	b
CV	31,22		19,88		12,74		12,62		23,99		13,05		4,54	
<i>10 – 20 cm</i>														
Pousio	0,2	b	4,3	b	23,3	ns	27,8	ns	0,7	b	15,3	b	84,1	a
Crotalaria juncea	0,5	b	9,5	a	19,9	ns	29,9	ns	1,8	b	31,5	a	66,7	b
Lab – lab	0,9	ab	10,9	a	18,4	ns	30,1	ns	2,9	b	36,3	a	60,9	b
Feijão de porco	2,1	a	8,7	a	20,4	ns	31,3	ns	6,6	a	28,3	ab	65,0	b
CV	49,38		9,56		12,85		8,21		37,06		16,80		6,15	
<i>0 – 20 cm</i>														
Pousio	0,7	c	9,6	b	47,0	ns	57,3	ns	1,2	b	16,7	b	82,0	a
Crotalaria juncea	3,4	b	19,0	a	41,3	ns	61,2	ns	5,5	a	31,1	ab	67,5	b
Lab – lab	3,2	b	22,5	a	36,6	ns	62,3	ns	5,1	a	36,1	a	58,7	b
Feijão de porco	5,5	a	17,7	a	43,6	ns	66,6	ns	8,2	a	26,5	ab	65,5	b
CV	19,70		11,04		12,33		7,69		24,39		15,20		7,74	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

Para os estoques de C da FP e do COT não foram constatadas diferenças significativas entres os tratamentos (Tabela 10). Os estoques de C da FP não foram influenciados pelos sistemas de plantas de cobertura de verão, provavelmente em decorrência do curto período de tempo de instalação do experimento (três anos). A FP é constituída por materiais orgânicos, fortemente ligados à fração mineral que se encontra em estágio avançado de humificação, sendo altamente estáveis, devido a sua estabilidade química, pela interação

com a fração mineral e a proteção física pela sua localização no interior de microagregados estáveis do solo, além de serem intrinsecamente recalcitrantes (BAYER, 1996). Segundo Bayer et al. (2004), a FP da MO apresenta uma ciclagem lenta, e por isto requer um período maior de experimento para que sejam detectadas as alterações, em função do manejo do solo.

Na Tabela 9, os mecanismos de estabilidade da MO podem ser verificados pelas razões entre os estoques das frações em relação ao estoque COT. Com exceção do tratamento com o pousio a FLL representou, em média, 6,3% do estoque de COT do solo, a FLO com 30,6% e a FP, representando 41,5%, indicando que o mecanismo de recalcitrância molecular da MO, estabilidade pela proteção física decorrente da oclusão em agregados do solo e a interação do material orgânico com os minerais são os processos de proteção apresentados pelos solos argilosos. A proteção física e coloidal demonstraram-se importantes para a estabilidade da MOS, esses resultados indicam que tais mecanismos são predominantes frente à recalcitrância molecular para solos argilosos (CONCEIÇÃO et al., 2008). Em relação à razão da FP/COT do tratamento com pousio observa-se que 76,6% do C está na forma mais recalcitrante e pouco disponível para as plantas repercutindo em baixa produtividade no milho.

Para as culturas de inverno somente o estoque de FLL e o COT tiveram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 10). O tratamento com a aveia apresentou-se menos interessante com 3,9 Mg ha⁻¹ na FLL e com estoque de COT 62,0 Mg ha⁻¹. O sistema de inverno que favoreceu maior aporte de MO facilmente decomponível (FLL de 10,4 Mg ha⁻¹) foi o consórcio aveia + ervilhaca + nabo/milho. Este mesmo sistema apresentou estoque COT de 68,8 Mg ha⁻¹ não diferindo significativamente do tratamento ervilhaca/milho. Alguns estudos demonstram que determinados compartimentos da MOS são sensíveis as mudanças nos conteúdos de C do solo associado ao manejo. Nem sempre o estoque de COT sofre alterações e mesmo quando se observa alterações no estoque total sem o seu fracionamento é difícil comparar tratamentos sem discutir a qualidade promovida a MOS (FREIXO et al., 2002; JANZEN et al., 1992).

Tabela 10: Estoque de carbono nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO), pesada (FP), e no solo (COT), e relações de cada fração com o COT, em solo com plantas de cobertura de inverno, sob plantio direto (PD). UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de cobertura	FLL				FLO				FP				COT				FLL/ COT		FLO/ COT		FP/ COT	
	-----Mg ha ⁻¹ -----																-----%-----					
<i>0 – 5 cm</i>																						
Aveia	2,2	ns	5,7	b	10,9	ns	18,8	b	11,8	ns	30,3	ns	57,9	ns								
Aveia + ervilhaca + nabo	3,9	ns	5,9	b	8,8	ns	18,6	b	21,4	ns	32,1	ns	46,5	ns								
Ervilhaca	3,9	ns	7,7	a	9,1	ns	20,8	a	18,7	ns	37,0	ns	44,3	ns								
CV	29,80		7,83		17,24		3,17		33,85		8,48		16,61									
<i>5 – 10 cm</i>																						
Aveia	0,9	b	5,4	ns	11,6	ns	17,9	ns	5,4	b	30,6	ns	63,9	ns								
Aveia + ervilhaca + nabo	2,9	a	6,2	ns	10,6	ns	19,7	ns	15,1	a	32,4	ns	52,5	ns								
Ervilhaca	2,5	a	6,5	ns	10,7	ns	19,7	ns	12,7	a	32,9	ns	54,3	ns								
CV	12,03		15,66		20,13		9,54		18,53		20,91		12,40									
<i>10 – 20 cm</i>																						
Aveia	0,7	b	6,4	ns	18,1	ns	25,2	b	2,8	b	25,4	ns	71,4	ns								
Aveia + ervilhaca + nabo	3,6	a	10,1	ns	16,7	ns	30,4	a	11,9	a	33,2	ns	54,9	ns								
Ervilhaca	2,1	b	9,9	ns	17,4	ns	29,5	ab	7,3	ab	33,6	ns	59,0	ns								
CV	22,96		14,70		14,85		5,60		24,94		12,40		10,22									
<i>0 – 20 cm</i>																						
Aveia	3,9	c	17,5	ns	40,6	ns	62,0	b	6,3	b	28,2	ns	65,5	a								
Aveia + ervilhaca + nabo	10,4	a	22,3	ns	36,1	ns	68,8	a	15,1	a	32,4	ns	52,5	b								
Ervilhaca	8,5	b	24,2	ns	37,3	ns	70,0	a	12,1	a	34,6	ns	53,3	b								
CV	5,24		11,19		9,36		2,50		10,66		12,15		6,61									

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

Mesmo o tratamento com a aveia apresentando a menor razão FLL/COT do sistema de culturas inverno com 6,3% (Tabela 10) em comparação ao tratamento do pousio com 1,2% (Tabela 9) pode-se verificar que a redução no aporte de resíduo vegetal acarreta mais problemas ao solo que a utilização de um sistema com duas culturas de gramíneas comerciais. Também a relação da FP com o estoque de C total do tratamento com o sistema aveia/milho é menor do que o sistema milho/pousio sugerindo que as demais frações com o tratamento com a aveia contenham entradas de material orgânico mais lábil e disponível as plantas e microorganismos.

Conforme Tabela 11, o IMC estima a partir dos estoques de C das frações lábeis e não lábil da MO os efeitos quantitativos e qualitativos causados pelos sistemas com plantas de cobertura sob PD. Então, quando avaliado o estoque COT das culturas de verão os 20 cm amostrados não apresentaram diferença significativa para as plantas de cobertura em relação ao pousio (Tabela 9). Entretanto, os valores de IEC e ILC dessas culturas foram numericamente superiores ao IEC e ILC do pousio, o lab-lab foi 2,5 e 2,2 vezes, respectivamente, superior ao pousio (Tabela 12).

Tabela 11: Relação entre as médias do estoque de carbono nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) e no solo (COT) entre os sistemas de culturas de verão e inverno sob plantio direto (PD). UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de cobertura	IMC							
	0 – 5 cm		5 – 10 cm		10 – 20 cm		0 – 20 cm	
Pousio	100	c	100	b	100	b	100	b
Crotalaria juncea	228	bc	344	ab	351	ab	308	ab
Lab-lab	314	bc	522	ab	438	ab	425	ab
Feijão de porco	242	bc	384	ab	407	ab	344	ab
Aveia	401	abc	387	ab	263	ab	350	ab
Aveia + ervilhaca + nabo	550	ab	779	a	679	a	670	a
Ervilhaca	778	a	636	ab	551	ab	655	a
CV%	40,41		45,12		47,98		37,92	

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

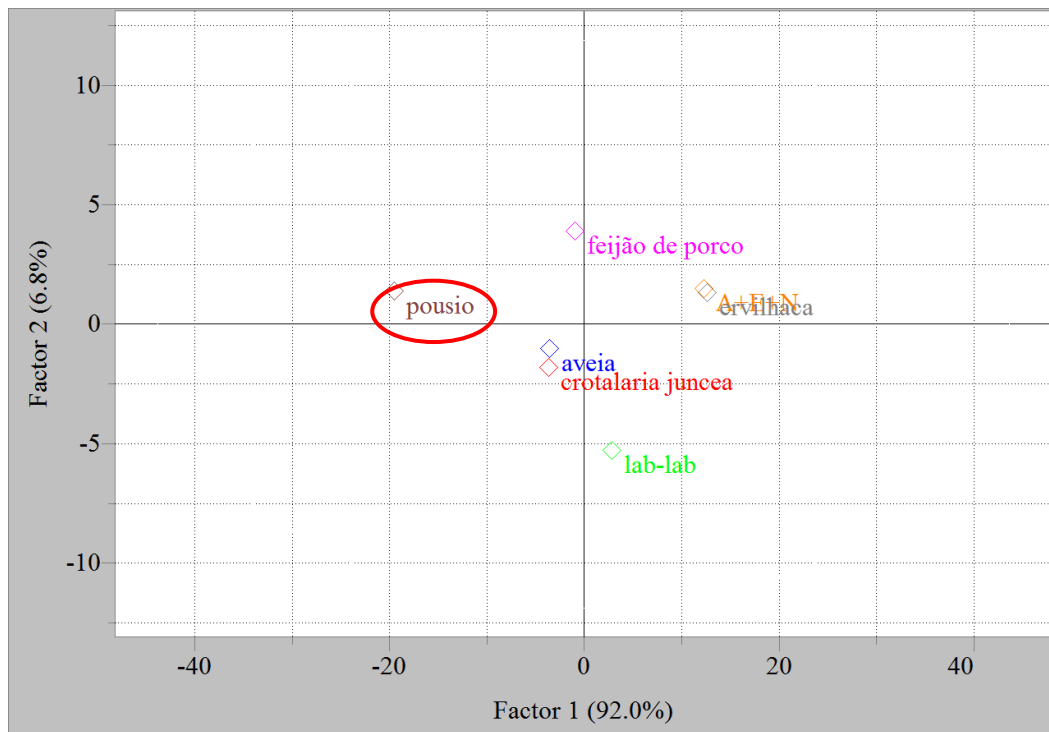
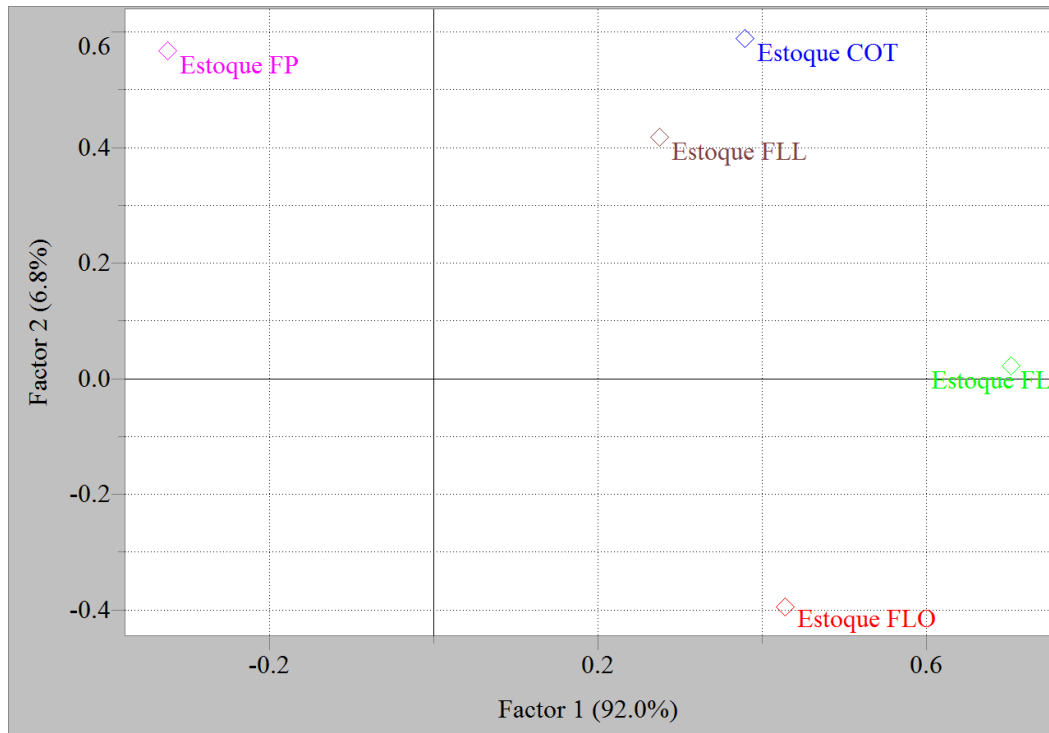
Tabela 12: Estoque de carbono na fração leve (FL) e pesada (FP) e no solo (COT), labilidade do carbono (LC), índice de labilidade do carbono (ILC), índice de estoque de carbono (IEC) e índice de manejo de carbono (IMC) do solo entre os sistemas de culturas de verão e inverno sob plantio direto (PD) na camada de 0-20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de cobertura	FL		FP		COT		IEC		LC		ILC		IMC	
	-----Mg ha ⁻¹ -----													
Pousio	10,4	c	47,0	ns	57,3	b	1,0	d	0,34	b	1,0	c	100	b
Crotalaria juncea	21,1	b	40,1	ns	61,2	ab	1,1	cd	0,51	ab	2,1	bc	308	ab
Lab-lab	26,0	ab	36,6	ns	62,3	ab	1,2	bcd	0,72	ab	2,7	ab _c	425	ab
Feijão de porco	23,4	b	43,4	ns	66,6	ab	1,1	bcd	0,55	ab	2,2	bc	344	ab
Aveia	21,4	b	40,6	ns	62,0	ab	1,3	ab	0,73	ab	3,1	ab _c	350	ab
A + E + N	32,6	a	36,1	ns	68,8	a	1,3	abc	1,25	a	4,3	ab	670	a
Ervilhaca	32,8	a	31,3	ns	70,0	a	1,4	a	1,28	a	5,5	a	655	a
CV%	11,10		10,28		5,69		6,25		36,61		36,47		37,92	

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

As plantas de cobertura de verão e inverno influenciaram positivamente a MO do solo em relação ao pousio (Tabela 11; Tabela 12 e Figura 22b). Quanto ao IMC dos sistemas de plantas de cobertura o consórcio obteve valor de 670 e ervilhaca de 655 valores próximos e que demonstram qualidade de ambos os materiais aportados ao solo. A PCA apresentado na figura 22a constata que os estoques de C da FL foram superiores as demais plantas de cobertura, estes tratamentos conseguiram aumentar em 20% e 22%, respectivamente o C lábil (LC). As frações mais lábeis são fontes de nutrientes e energia para plantas e microorganismos demonstrando sua importância para a manutenção e incremento da MO do solo.

Figura 22: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score das amostras das culturas de verão e inverno.



4.6 CONCLUSÕES

1- Após três anos de cultivo sob PD as diferentes culturas de verão e inverno promoveram maiores incrementos na MO do solo em comparação ao sistema com o pousio.

2 - Os estoques das FLL da MO do solo são afetadas pelo manejo de plantas de cobertura sob PD.

3 - A utilização de consórcio com espécies de gramíneas, leguminosas e crucíferas afeta positivamente a FLL da MO do solo.

4 A ervilhaca e o consórcio de inverno apresentaram estoque de C nas FLL maiores em comparação às leguminosas de verão.

5- Com maior estoque de C nas FLL, FLO e maior IMC as culturas de inverno com o sistema consórcio aveia + ervilhaca + nabo/milho e ervilhaca/milho são altamente recomendadas para manutenção e acréscimo de MO do solo.

4.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABBRUZZINI, T. F. Qualidade e quantidade da matéria orgânica do solo em cultivo convencional e orgânico de cana-de-açúcar. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011. 92 p. Dissertação de Mestrado.

BAYER, C. **Dinâmica da Matéria Orgânica em Sistemas de Manejo de Solos**. 1996, 257f. Tese apresentada no programa de Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, 677-683, 2004.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, 237–245, 2006.

BLAIR, G.J. et al. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.46, 1459-1460, 1995.

- CAMBARDELLA, C.A., ELLIOTT, E.T. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*. v. 56, 777–783, 1992.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, 777-788, 2005.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Fracionamento Densimétrico com Politugnstato de Sódio no Estudo da Proteção Física da Matéria Orgânica em Solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 541-549, 2008.
- CONCEIÇÃO, P. C. et al. Eficiência De Soluções Densas No Fracionamento Físico Da Matéria Orgânica Do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, 490-497, 2015.
- DIECKOW, J. et al. Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influenced by land use, cropping and N fertilization, assessed by CP MAS¹³C NMR spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v. 56, 705–715, 2005.
- FREIXO, A. et al. Estoques de Carbono e Nitrogênio e Distribuição de Frações Orgânicas de Latossolo do Cerrado sob Diferentes Sistemas de Cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, 425-434, 2002b.
- INDA JUNIOR, A. V. et al. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.37, 1301-1307, 2007.
- JANZEN, H. H. et al. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, 1799-1806, 1992.
- LEAL, O. A. et al. Organic Matter Fractions and Quality of the Surface Layer of a Constructed and Vegetated Soil After Coal Mining. II - Physical Compartments and Carbon Management Index. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, 895-902, 2015.
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, p. 1-5, 2008.
- MONTEIRO, K. V. Carvão: o combustível de ontem. Núcleo de Amigos da Terra Brasil, 82 p, 2004.
- PILLON, C. N. et al. Carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho sob floresta, pastagem e mata nativa. **Ciência Rural**, v.41, n.3, 447-453, 2011.
- PINHEIRO, E. F. M. et al. **Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, 731-737, 2004

- RIBEIRO, B. T. et al. Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. **Química Nova**, São Paulo, v. 34, n. 1, 5-10, 2011.
- ROSA, C. M. et al. Conteúdo de carbono orgânico no planossolo háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, 1769-1776, 2011.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. EMBRAPA Agropecuária Oeste e EMBRAPA Solos. 86f., Dourados, MS, 2002.
- SILVA, F. de A. S & AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance. IN: World Congress on Computers in Agriculture, 7, Reno-NV-USA: **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.
- SWIFT, R.S. Method of soil analysis: part 3. Chemical methods. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. (Eds.), SSSA Book Series No. 5. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 1011–1069, 1996.

CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO CARBONO NAS FRAÇÕES DENSIMÉTRICAS DA MATERIA ORGÂNICA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO COM PLANTAS DE COBERTURA DE VERÃO E INVERNO

5.1 RESUMO

O manejo do solo com sistemas de culturas de cobertura é uma prática agrícola que fornece quantidades significativas de resíduos ricos em C ao solo, modificando assim a quantidade e qualidade da MO do solo, melhorando a produtividade das culturas. A recomendação do uso de plantas de cobertura resulta de estudos que demonstram aumento no teor da MO do solo, principalmente na fração mais lábil. O objetivo deste trabalho foi de caracterizar as frações da MO do solo qualitativamente, buscando as alterações proporcionadas pelos diferentes sistemas de plantas de cobertura. O experimento foi instalado em 2010 e após *screening* dos oito tratamentos com culturas de verão e oito com culturas de inverno foram escolhidos, num total, sete tratamentos para avaliação e caracterização de suas frações, sendo estes: Pousio (T1), *Crotalaria juncea* (T6), Lab-Lab (T7), Feijão de porco (T8), Aveia (T9), Consórcio de aveia/ervilhaca/nabo (T11) e Ervilhaca (T16). Amostras de solo foram coletadas em 2013, nas camadas de 0 – 5, 5- 10 e 10 – 20 cm, sendo avaliado os IC, IH e H_{FIL} nas frações densimétricas da MOS (fração leve livre – FLL e fração leve oclusa - FLO). Para os índices IC e IH das frações FLL e FLO não foram identificados diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para as três profundidades amostradas. Entretanto, o H_{FIL} foi maior para o tratamento com o pousio em comparação ao feijão de porco na FLL e a aveia também apresentou o maior grau de humificação em relação aos tratamentos de consórcio (aveia+ervilhaca+nabo) e ervilhaca, com diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para as três profundidades na FLL da MOS. Os tratamentos com as diferentes culturas de verão e inverno promoveram qualidade na MOS em comparação ao sistema com o pousio.

5.2 ABSTRACT:

The management of soil with cover crops systems are an agricultural tool that provides significant amounts of waste rich in C to the soil, thereby modifying the quantity and quality of SOM, improving soil productivity. The recommendation of the use of cover crops is the result of studies showing an increase in the SOM content, especially in the more labile fraction. The objective of this study was to characterize the fractions of SOM qualitatively, seeking the changes caused by different systems of cover crops. The experiment was installed in 2010 and after screening of eight treatments with summer crops and eight winter crops were

chosen in a total of seven treatments for evaluation and characterization of its fractions: Fallow (T1), *Crotalaria juncea* (T6), Lab -Lab (T7), pork bean (T8), oats (T9), Consortium of oats / vetch / turnip (T11) and vetch (T16). Soil samples were collected in 2013, in the 0 - 5 -10 and 10-20 cm, and evaluated the condensation index (CI), hydrophobicity (IH) and degree of humification (H_{LIF}) in densimétricas fractions of SOM (free light fraction - FLL; occluded light fraction - FLO, and heavy fraction - FP). For the indices IC and IH of FLL and FLO fractions were identified statist significant difference ($p < 0.05$) for the three depths sampled. However, H_{FIL} was higher for treatment with fallow compared to pork beans in FLL and oats also had the highest degree of humification in relation to consortium treatments (oat + vetch + turnip) and vetch, a statistically significant difference ($p < 0.05$) for the three depths in the SOM of FLL. Treatments with the different cultures of summer and winter promoted quality in SOM compared the system with fallow.

5.3 INTRODUÇÃO

Prática de cultivo contínuo e intensivo combinado com a eliminação de resíduos culturais resulta na redução da MO do solo agravando a degradação e diminuindo as propriedades biológicas do solo (LAL, 2004). A adição de baixa biomassa e retenção para o centro-oeste de culturas juntamente com períodos de pousios longos (chegando a períodos de nove meses) resultam em ambientes adversos que não sustentam os níveis de C no solo. A magnitude da perda ou do incremento da MO do solo está diretamente relacionada ao cultivo contínuo, a busca pelo equilíbrio entre a perda de C, por processos oxidativos, e o ganho de C, através da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais, regendo os estudos do manejo do solo em prol do ecossistema (MAIA et al., 2009).

Como o acúmulo de C no solo é um processo lento, em curto prazo não é possível perceber as modificações qualitativas causadas pelo aumento da MO do solo, sendo necessário buscar informações sobre a estabilização do MO através de outros métodos como o fracionamento (PLAZA-BONILLA et al., 2014). Os métodos de separação podem ser químico, granulométrico, densimétrico e combinação de métodos de fracionamento, entre os quais, o método densimétrico, conforme Helfrich et al. (2006) é capaz de fornecer informações sobre os reservatórios de MO com diferentes composições químicas, sugerindo os estágios de decomposição da MO do solo, bem como, com os seus mecanismos de proteção.

Os resíduos pós-colheita incorporados ao solo são compostos de materiais heterogêneos (raízes, folhas e caules) com diferentes características bioquímicas e são decompostos por microorganismos. Parte do C é oxidado a CO_2 , o restante segue acumulando como MO nas frações lábil e/ou interagindo com a parte mineral do solo (mais estável) (BAYER et al., 2006; DE BONA et al, 2006). A fração lábil da MO é facilmente alterada em

função do manejo do solo em comparação a fração mais estável e por isto a avaliação da fração lábil gera informações importantes para direcionar estratégias de manejo sustentável do solo (PINHEIRO et al., 2004).

As frações densimétricas da MO do solo correspondem a FLL, FLO e FP e são regidas por até três mecanismos de estabilização, conforme o tempo de ciclagem de cada fração, e que estão relacionados com a composição da MO (CONCEIÇÃO et al., 2008). O mecanismo de recalcitrância química é intrínseco a MO e esta baseado nas características de nível molecular, tais como: composição elementar, conformação molecular e presença de grupos funcionais (SOLLINS et al., 1996). O processo de humificação da MO do solo é importante por gerar compostos resistentes a biodegradação sendo marcado por alterações em determinadas estruturas promovendo o aumento de estruturas aromáticas e alquil (KOGEL-KNABNER et al., 1992), e diminuição na concentração de polissacarídeos, do grupo O-alkil (ROSCOE & MACHADO, 2002).

Com a técnica de FIL é possível avaliar a recalcitrância do solo (característica da MO do solo) através do sinal de fluorescência emitido quando amostras do solo são excitadas com radiação ultravioleta. Portanto, a espectroscopia de FIL é útil para avaliar o processo de humificação da MOS, principalmente, em amostras de solo rico em metais paramagnéticos (MILORI et al., 2006) os quais inviabilizam sua caracterização por outras técnicas espectroscópicas, tais como, ressonância magnética nuclear e paramagnética eletrônica.

Conjuntamente, a FTIR é uma técnica rápida, eficiente e precisa, que além de caracterizar as frações densimétricas quanto ao estágio de humificação e grupos funcionais se relacionam com a eficiência do manejo do solo (TIVET et al., 2013).

Estudos com o objetivo de uma melhor compreensão das alterações da MO do solo em áreas sob PD com diferentes sistemas de culturas não devem se restringir a avaliação dos níveis de COT e, sim, estudar os compartimentos da MO do solo, a fim de criar estratégias de manejo do solo para reduzir o impacto da agricultura sobre o meio ambiente.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1 Área de Estudo

A metodologia de condução do experimento adotado foi o mesmo apresentado no tópico 2.4.1, sendo avaliados os tratamentos do estudo com o fracionamento densimétrico

que foram: Pousio/milho (T1), Milho/crotalária juncea (T6), Milho/lab-lab (T7), Milho/feijão de porco (T8), Aveia/milho (T9), Aveia + ervilhaca + nabo/milho (T11) e Ervilhaca/milho (T16). A escolha destes tratamentos foi decorrente dos dados gerados para as culturas de verão e inverno apresentadas nos capítulos 2 e 3.

5.4.2 Amostragem do Solo

A amostragem do solo para as análises quantitativas das frações densimétricas segue o tópico 2.4.2 e a densidade do solo ANEXO A. A diferença na amostragem do solo para fracionamento é que as amostras originaram-se da coleta de blocos indeformados, os agregados foram separados, passados em peneira com malha de 9,51 mm e secos ao ar (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1991).

5.4.3 Fracionamento Densimétrico da MOS

A metodologia para o fracionamento densimétrico das amostras de solo para análise qualitativa segue o tópico 4.4.3.

5.4.4 Fluorescência Induzida a Laser

Para determinação do H_{FIL} da MO do solo as amostras de solo foram moídas em gral de ágata, pesadas, acrescentou-se 10 mL de solução de hidróxido de sódio 1 M (NaOH com pH 14) para extração da MO. A mistura foi homogeneizada empregando-se o vortex por 1 minuto e então centrifugada por 30 minutos. O sobrenadante foi separado para leitura em um espectrômetro de UV-VIS (marca Hitachi F4500) para padronização da concentração das amostras. Após a padronização da concentração de cada amostra a solução foi exposta à radiação laser de argônio com comprimento de onda (λ) igual a 458 nm segundo o tópico 3.4.3.

5.4.5 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

A metodologia de análise espectral por FTIR, bem como, avaliação dos IC e IH segue o tópico 3.4.4.

5.4.6 Análise Estatística

Com a ferramenta estatística Pirouette efetuou-se a classificação de PCA para reconhecer grupos de tratamentos semelhantes e/ou distintos entre si. As variáveis utilizadas no PCA foram: H_{FIL} , IC e IH, para as frações FLL e FLO.

Para a análise estatística semiquantitativa foi realizado análise de variância, considerando um esquema fatorial 4 x 3 e 3 x 3 [quatro tratamentos com as culturas de verão/três tratamentos com as culturas de inverno versus as três repetições], seguindo o teste de média Tukey a 5 % de probabilidade para verificar as diferenças significativas entre os tratamentos adotados. O programa estatístico computacional utilizado foi o Assistat 7.6 Beta (2012) desenvolvido por Silva e Azevedo (2009).

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A PCA das frações FLL e FLO e tratamentos do sistema de cultura de verão com os todos os valores de IC, IH e H_{FIL} apresenta a PC1 a qual explica 73,2% de variância entre as culturas utilizadas como tratamentos e a PC2 a qual explica 26,5% dos casos, assim juntas a PC1 e PC2 explicam 99,7% da variância total dos dados (Figura 23a). Analisando a Figura 23b a PCA demonstra uma diferença sutil em relação às profundidades amostradas. Como não houve diferença estatística ($p < 0,05$) para os IC e IH nas três profundidades amostradas (Tabela 13) a diferença entre as profundidades está relacionada ao H_{FIL} , principalmente o da FLL com correlação de 1 com a PC1 que explica 73,2 % da variância. O H_{FIL} possui uma relação negativa ao longo da PC1, pois com o aumenta da profundidade há o aumento da humificação da MO do solo (Tabela 15). Na camada de 0 – 5 cm com o tratamento do pousio, segundo o capítulo 4, a proporção de FLL é de 2,6% diminuindo para 0,8% na camada de 5 – 10 cm e de 0,7% para 10 – 20 cm demonstrando que a recalcitrância em profundidade ocorre em função da diminuição da fração lábil (CHRISTENSEN, 1992) rica no grupamento C-O alquil. Esta contribuição decresce juntamente com o aumento dos grupos aromáticos que são estruturas mais recalcitrantes e fluorescentes (DIECKOW et al., 2005).

Figura 23: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de verão separadas pela classe de profundidade. Onde: T1 – pousio, T6 – crotalaria juncea, T7 – lab-lab e T8 feijão-de-porco.

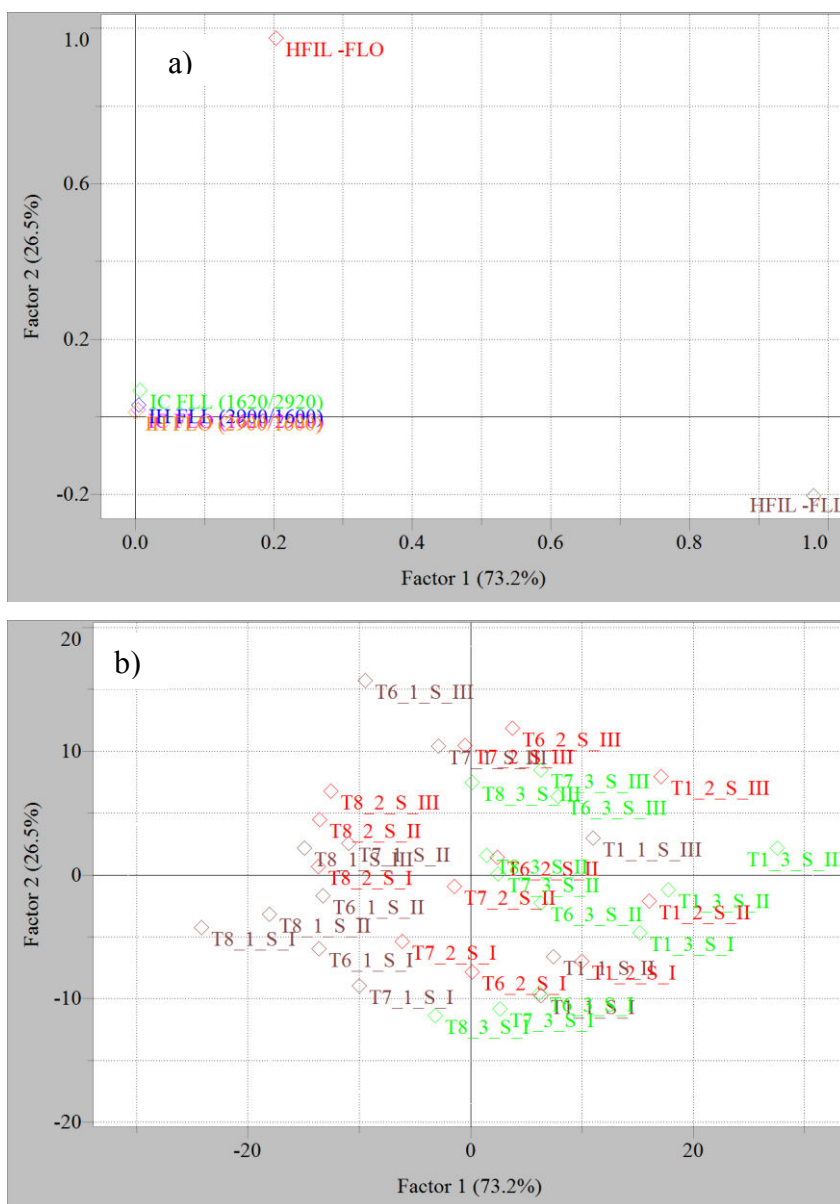


Tabela 13: Índice de condensação (IC) e Índice de hidrofobicidade (IH) para as FLL e FLO, respectivamente em solo sob PD com plantas de cobertura de verão, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de cobertura	FLL				FLO			
	IC (1620/2920)		IH (2900/1600)		IC (1620/2920)		IH (2900/1600)	
<i>0 – 5 cm</i>								
Pousio	1,76	ns	0,71	ns	1,13	ns	0,82	ns
Crotalaria juncea	1,54	ns	0,78	ns	1,05	ns	0,86	ns
Lab-lab	1,49	ns	0,91	ns	0,95	ns	1,01	ns
Feijão de porco	1,09	ns	0,91	ns	1,20	ns	0,82	ns
CV	29,47		58,00		9,74		18,91	
<i>5 – 10 cm</i>								
Pousio	1,89	ns	0,68	ns	1,12	ns	0,91	ns
Crotalaria juncea	0,93	ns	0,62	ns	1,25	ns	0,86	ns
Lab-lab	1,76	ns	0,79	ns	1,09	ns	0,86	ns
Feijão de porco	2,05	ns	0,67	ns	1,14	ns	0,94	ns
CV	40,54		38,62		6,81		10,76	
<i>10 – 20 cm</i>								
Pousio	1,21	ns	0,94	ns	1,23	ns	0,87	ns
Crotalaria juncea	1,33	ns	1,48	ns	1,22	ns	0,88	ns
Lab-lab	1,37	ns	0,84	ns	1,32	ns	0,79	ns
Feijão de porco	1,41	ns	1,02	ns	1,61	ns	0,76	ns
CV	16,89		59,77		35,51		20,94	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

Os valores de $IC_{(1630/2920)}$ variaram de 0,93 a 2,5 para a FLL e de 0,95 a 1,61 para a FLO dos tratamentos de verão. Não houve valores elevados deste índice para ambas as frações indicando pouca contribuição de compostos aromáticos da MOS em relação a cadeias alifáticas. Este resultado pode ser atribuído ao tempo recente do experimento que foi apenas de três anos sob PD (dinâmica), em geral, as propriedades do solo se modificam ao longo dos anos de acordo com o sistema de gestão do solo (BAYER et al, 2000).

Os sistemas de culturas de verão apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para a FLL nas três profundidades amostradas e para o tratamento com o pousio possui o maior valor de H_{FIL} indicando maior grau de humificação do solo (Tabela 14). O tratamento com a leguminosa feijão-de-porco em contrapartida apresentou o menor valor de H_{FIL} evidenciando o aporte vegetal com baixa relação C/N acrescido ao solo (Figura 24a). A quantidade de resíduos vegetais adicionados ao solo provavelmente superou o metabolismo microbiano resultando no acúmulo de compostos alifáticos mais lábeis com menores quantidades de compostos aromáticos (BAYER et al., 2002; DIECKOW et al., 2005). Os resultados mostram que o manejo do solo pode alterar a estrutura e a estabilidade da FLL (HELFRICH et al., 2006). Quando avaliado a FLO para as três profundidades não houve

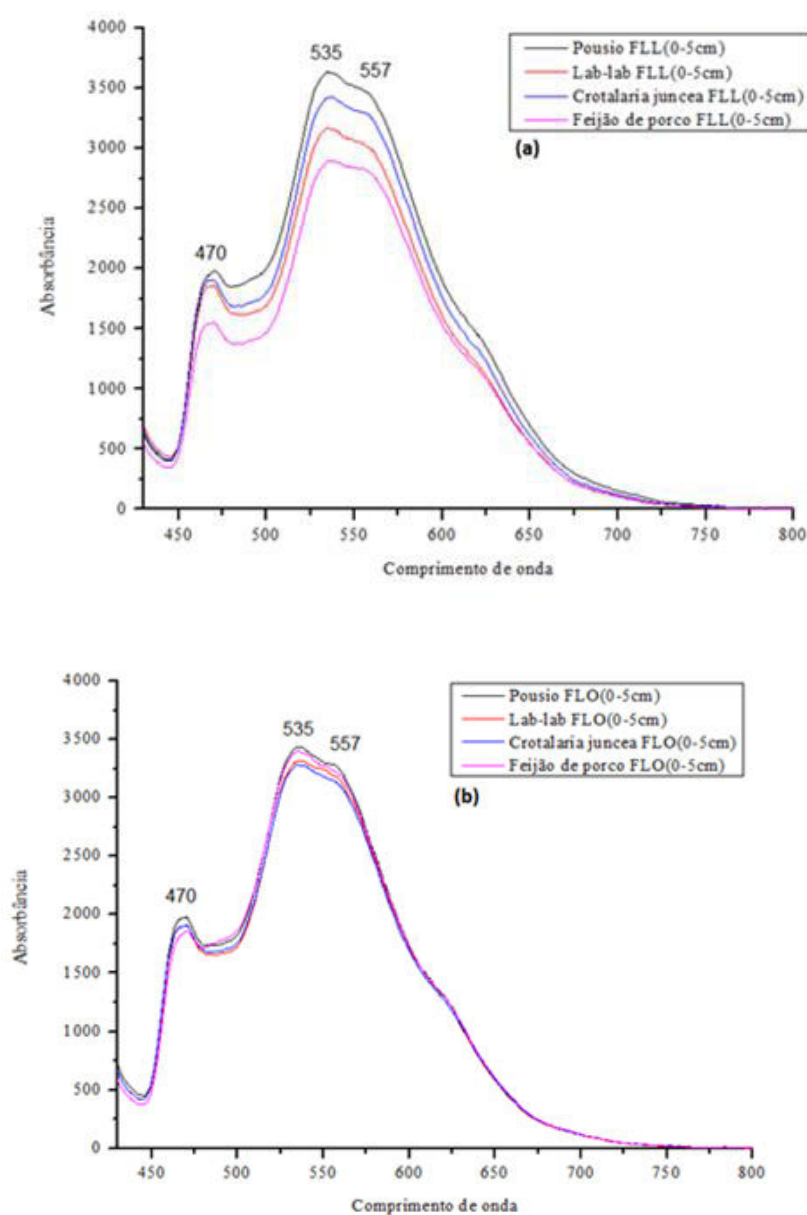
diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos, por se tratar de uma fração menos sensível ao manejo com os diferentes sistemas de culturas em um curto período de tempo (três anos) (Figura 24b) (PINHEIRO et al., 2015).

Tabela 14: Grau de hunificação (H_{FIL}) das FLL e FLO em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de verão e inverno, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de cobertura	FLL	FLO		
H_{FIL}				
<i>Verão</i>				
<i>0 – 5 cm</i>				
Pousio	54.900	a	24.409	ns
Crotalaria juncea	33.518	bc	27.295	ns
Lab-lab	37.860	b	26.817	ns
Feijão de porco	27.611	c	21.535	ns
CV	6,08		14,79	
<i>Inverno</i>				
Aveia	36.295	a	25.424	a
Aveia +ervilhaca+nabo	32.413	b	19.499	b
Ervilhaca	27.105	c	16.128	c
CV				
<i>Verão</i>				
<i>5 – 10 cm</i>				
Pousio	60.064	a	29.662	ns
Crotalaria juncea	47.594	b	29.373	ns
Lab-lab	42.998	c	27.919	ns
Feijão de porco	32.108	d	28.280	ns
CV	3,11		10,99	
<i>Inverno</i>				
Aveia	48.664	a	28.996	a
Aveia +ervilhaca+nabo	42.599	b	20.537	b
Ervilhaca	34.362	c	18.187	c
CV	4,84		3,77	
<i>Verão</i>				
<i>10 – 20 cm</i>				
Pousio	65.905	a	30.049	ns
Crotalaria juncea	52.945	b	26.718	ns
Lab-lab	49.779	b	27.171	ns
Feijão de porco	45.534	b	26.236	ns
CV	6,02		9,88	
<i>Inverno</i>				
Aveia	54.902	a	35.673	ns
Aveia +ervilhaca+nabo	45.820	b	26.427	ns
Ervilhaca	38.705	c	24.783	ns
CV	3,33		5,67	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

Figura 24: Espectros de emissão de fluorescência: (a) FLL e (b) FLO, para os sistemas de cultura de verão na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco III.



Os espectros de fluorescência (Figura 24) representam um solo tropical com dois picos e um ombro para ambas as frações físicas da MOS, sendo: um pico em 470 nm e um pico em 535 nm e um ombro em 557 nm. Segundo Senesi (1991) compostos resultantes da degradação da lignina apresentam fluorescência em torno de 460 nm, enquanto que o pico de excitação mais intensa no comprimento de onda intermédia de 535 nm mais um patamar de 557 nm é atribuído a interações mais complexas entre os compostos orgânicos e minerais (TIVET et al., 2013; ZANATTA, 2006).

Os espectros de FTIR das frações FLL e FLO apresentam semelhanças que são consequência da influência do aporte de resíduos vegetais à fração lábil da MOS (FREIXO et al., 2002). Entretanto, quando sobrepostos os espectros destas frações (Figura 25) observam-se diferenças nas regiões espectrais: (1) 3.850 a 3.000 cm^{-1} que corresponde às vibrações de estiramento dos grupos $-\text{OH}$ e $-\text{NH}$, (2) 1.044 cm^{-1} que corresponde ao estiramento C-O de éster e O-H alcoólico dos polissacarídeos e (3) 930 cm^{-1} correspondente ao grau de substituição de átomos nas ligações de grupos aromáticos (DIAS et al., 2009; FREIXO et al., 2002) (ANEXO B).

Conforme Figura 25a, Figura 25c e Figura 25d na região espectral de 3.850 a 3.000 cm^{-1} a FLL dos tratamentos com o feijão de porco, lab-lab e crotalaria juncea apresentou bandas de absorção mais intensa e nítida indicando a presença de funções nitrogenadas e grupamento O-alquil, característicos do resíduo pouco decomposto com ligações mais livres. Como o tratamento com o pousio teve uma baixa entrada de resíduo vegetal o espectro da FLL não apresentou a mesma intensidade e nitidez tendo nesta faixa espectral uma maior semelhança com a FLO (Figura 25b). Para a faixa de 1.044 cm^{-1} em ambos os tratamentos a FLL apresentou maior quantidade de polissacarídeos em relação à FLO. A absorção em 930 cm^{-1} apresentada nos dois tratamentos indica que a FLO é formada por compostos orgânicos um pouco mais decompostos que a FLL (ROSCOE & MACHADO, 2002). Entre a FLL e a FLO ocorre a diminuição da concentração de polissacarídeos que são facilmente decompostos pelos microorganismos (ADU & OADES, 1978) com o surgimento do pico de absorção em 930 cm^{-1} que demonstra a ocorrência de reações de decomposição dos compostos orgânicos encontrados na FLL (STOTZKY & NORMAN, 1961). Assim, os espectros da FLL, na camada de 0 – 5 cm, nas amostras de solos com as plantas de cobertura, em comparação ao pousio, refletem a maior deposição de resíduos, gerando um compartimento de rápida ciclagem favorecendo a biota do solo (LIMA et al., 2008).

Em relação à profundidade foi observado que a FLL tem um decréscimo significativo na concentração de polissacarídeos, decorrente da influência da dinâmica da MO e da quantidade de resíduos vegetal acumulado na superfície do solo (Figura 26a, Figura 26b e Figura 26c).

Figura 25: Espectros de infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL e FLO do tratamento com a cultura do feijão de porco, (b) FLL e FLO do tratamento com o pousio, (c) FLL e FLO do tratamento com a cultura do lab-lab e (d) FLL e FLO do tratamento com a cultura da crotalaria juncea, para a profundidade de 0 – 5 cm, média dos blocos.

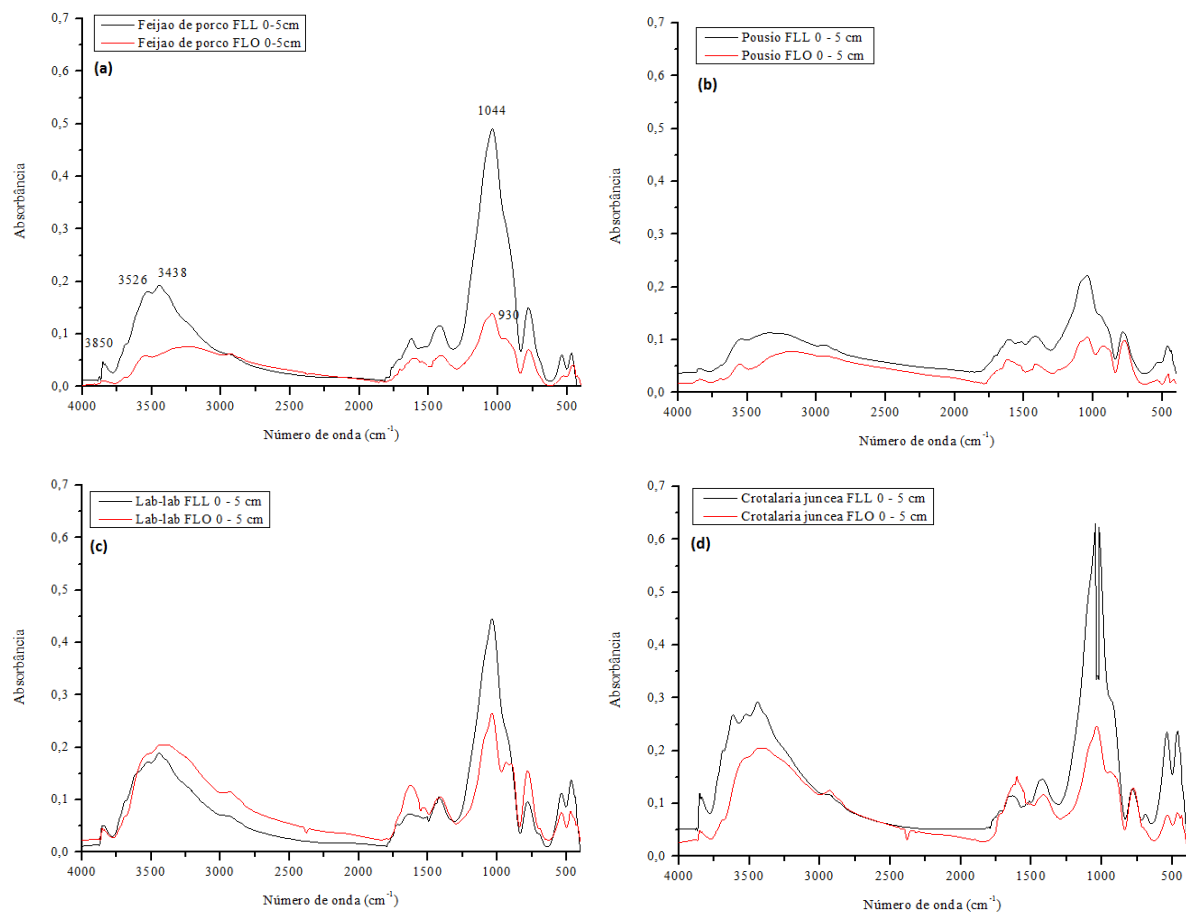
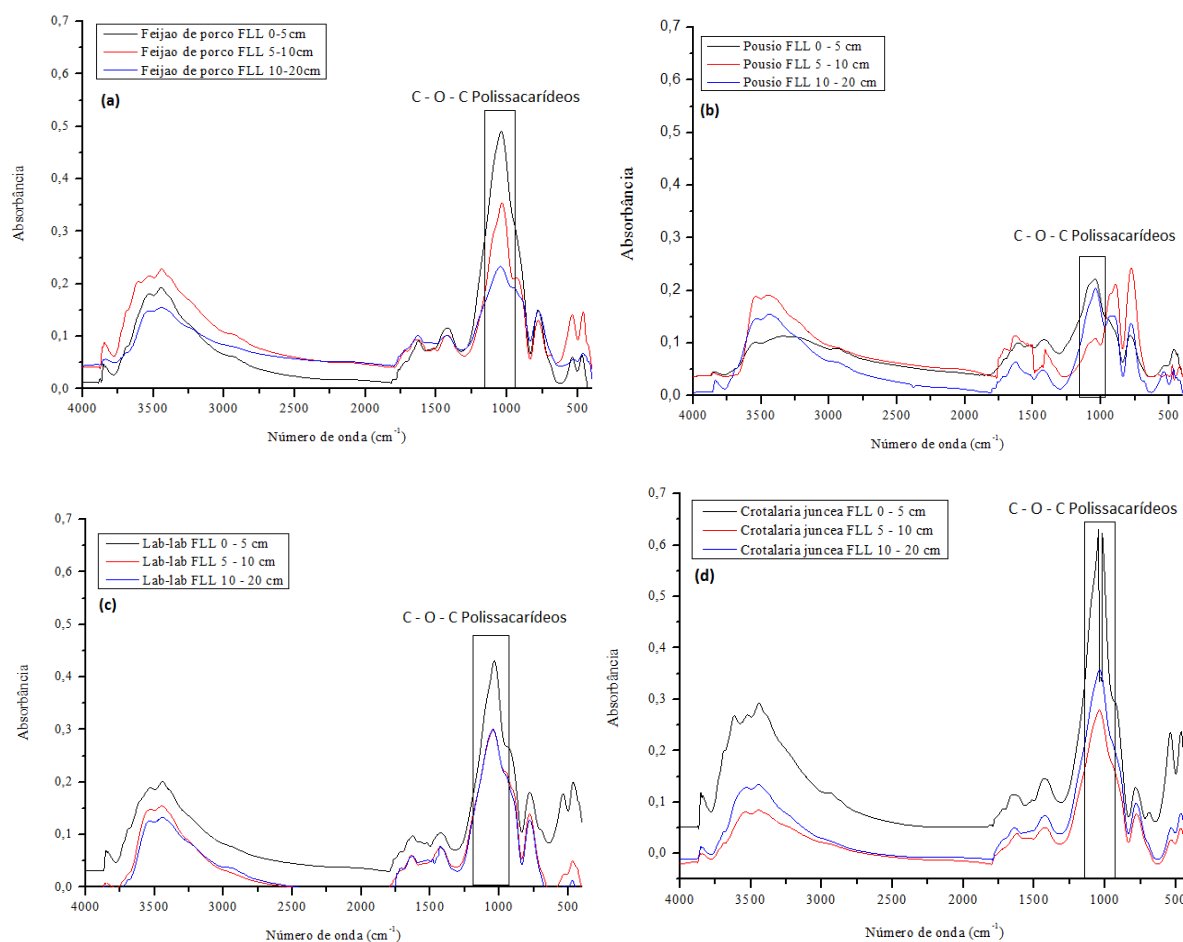
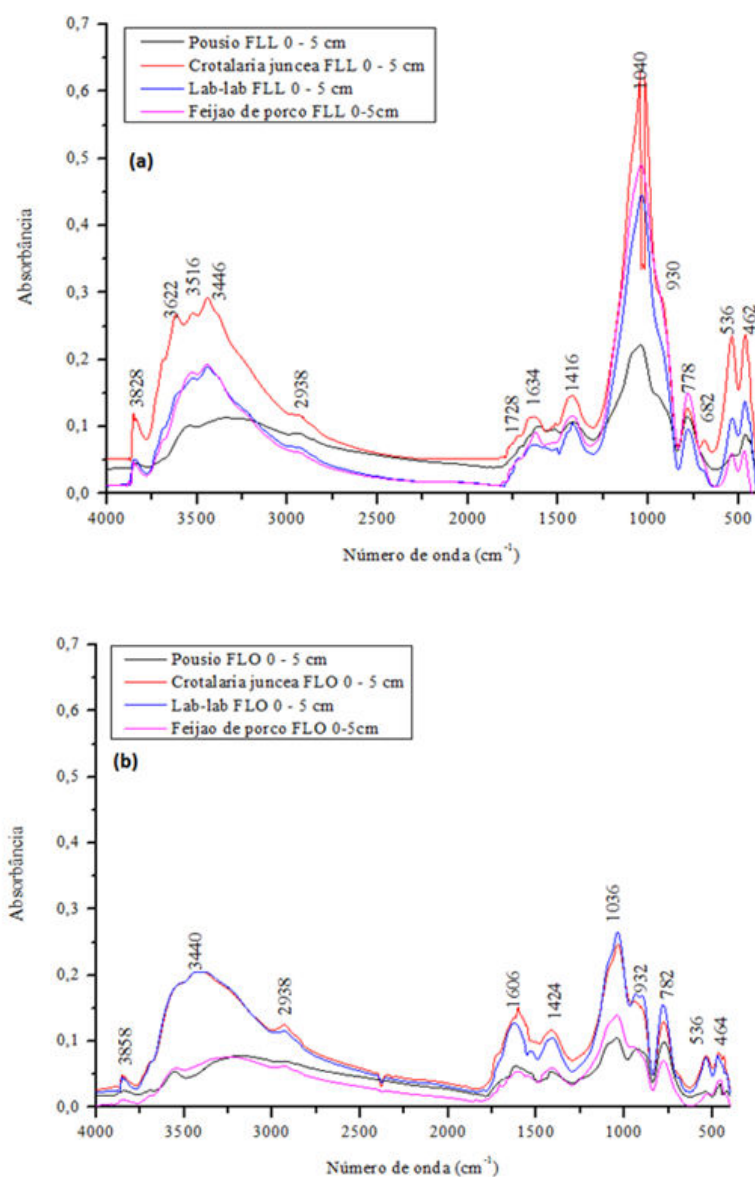


Figura 26: Espectros de infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL do tratamento com a cultura do feijão de porco, (b) FLL do tratamento com pousio, (c) FLL do tratamento com a cultura do lab-lab e (d) FLL do tratamento com a cultura da crotalaria juncea, para as profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm, média dos blocos.



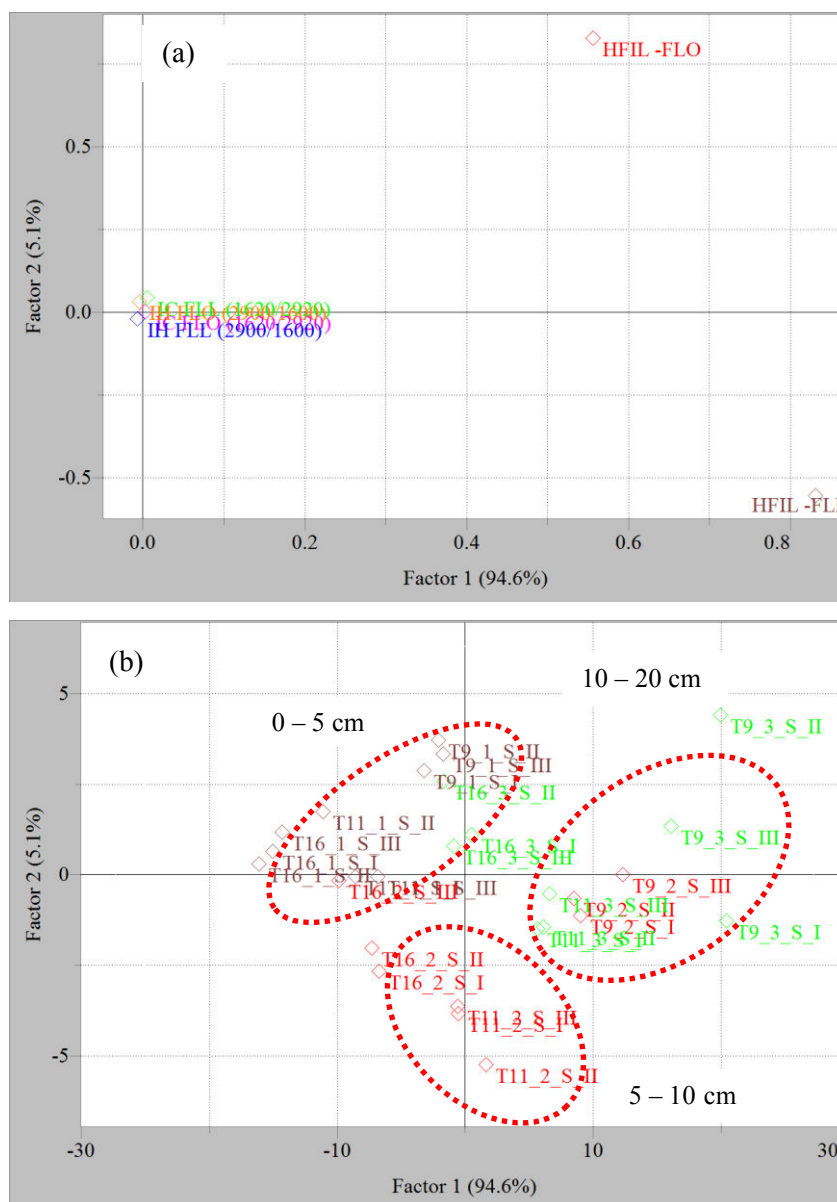
As principais bandas de absorção e respectivas atribuições encontradas nos espectros de FTIR dos tratamentos com as culturas de verão para a FLL (Figura 27a) e para FLO (Figura 27b) foram: em torno 3.800 cm^{-1} devido ao estiramento de ligações de grupamentos -NH, 3.500-3.000 cm^{-1} devido ao estiramento de ligações de grupamentos -OH, 2.930-2.850 cm^{-1} atribuído ao estiramento de C-H alifático, 1.720 cm^{-1} referente ao estiramento de C=O de grupos carboxílicos, 1.630 cm^{-1} devido ao estiramento de C=C aromático, 1.403-1.360 cm^{-1} referente à deformação de C-H alifático, 1040 cm^{-1} devido ao estiramento de ligação C-O de polissacarídeos e 930 a 600 cm^{-1} atribuído ao grau de substituição de átomos nas ligações de grupos aromáticos (REIS et al., 2014).

Figura 27: Espectros de infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL dos tratamentos com cultura de verão e (b) FLO dos tratamentos com cultura de verão, para a profundidade de 0 – 5 cm, média dos blocos.



A PCA das frações FLL e FLO e tratamentos do sistema de cultura de inverno com os todos os valores dos índices de IC, IH e o H_{FIL} apresentou PC1 a qual explica 94,6% de variância entre as culturas utilizadas como tratamentos e PC2 a qual explica 5,1% dos casos, assim juntas a PC1 e PC2 explicam 99,7% da variância dos dados (Figura 28a). Analisando a Figura 28b a PCA demonstra diferenças dos parâmetros avaliados em relação as profundidades amostradas, novamente a diferença está relacionada ao H_{FIL} das frações que aumentam em profundidade (Tabela 14).

Figura 28: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de todas as amostras das culturas de inverno separadas pela classe de profundidade. Onde T9 – aveia, T11 – aveia+ervilhaca+nabo e T16 – ervilhaca.



Os sistemas de culturas de inverno apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para a FLL nas três profundidades amostradas e o tratamento com a aveia apresentou o maior H_{FIL} , indicando maior estabilização da MO do solo (Tabela 14). O tratamento com a leguminosa ervilhaca em contrapartida apresentou o menor valor de H_{FIL} evidenciando que o aporte vegetal com baixa relação C/N acrescido ao solo tem seus resíduos rapidamente decompostos pelos microorganismos, desta forma, o consórcio de espécies diferentes tal como o tratamento com a aveia+ervilhaca+nabo apresenta relação C/N intermediária (SCHERER-LORENZEN, 2008) com uma decomposição um pouco mais lenta que a ervilhaca promovendo o acúmulo de C no solo com maior eficiência (DUVAL et al., 2016) (Figura 29). Scherer-

Lorenzen (2008), observou que num solo homogêneo, com a mesma disponibilidade inicial de nutrientes, após 2-3 anos as comunidades de microorganismos são distintas e este fato promove diferenças de produtividade, de biomassa de N, na disponibilidade de nutrientes e nos processos de decomposição, de acordo com a diversidade das plantas ou consórcio de espécies.

Quando avaliado a FLO para as profundidades de 0 – 5 e 5 – 10 cm há diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos resultado inesperado para uma fração menos sensível ao manejo a curto prazo (Figura 29b).

Os espectros de emissão de fluorescência obtidos para as frações FLL e FLO dos tratamentos com as culturas de inverno (Figura 29a e Figura 29b) apresentaram picos semelhantes aos tratamentos com as culturas de verão (Figura 24). Com o aumento da profundidade o tratamento com o consórcio de aveia+ervilhaca+nabo apresentou elevação nos valores do H_{FIL} para a FLL, isto se deve ao maior aporte de biomassa fornecido a superfície do solo, que conforme Duval et al. (2016), a concentração de MO é proporcional à entrada de MS, mas não o suficiente para aumentar a MO em profundidade em curto prazo (Figura 30).

Figura 29: Espectros de emissão de fluorescência para a FLL e FLO dos sistemas de cultura de inverno na profundidade de 0 – 5 cm, Bloco III.

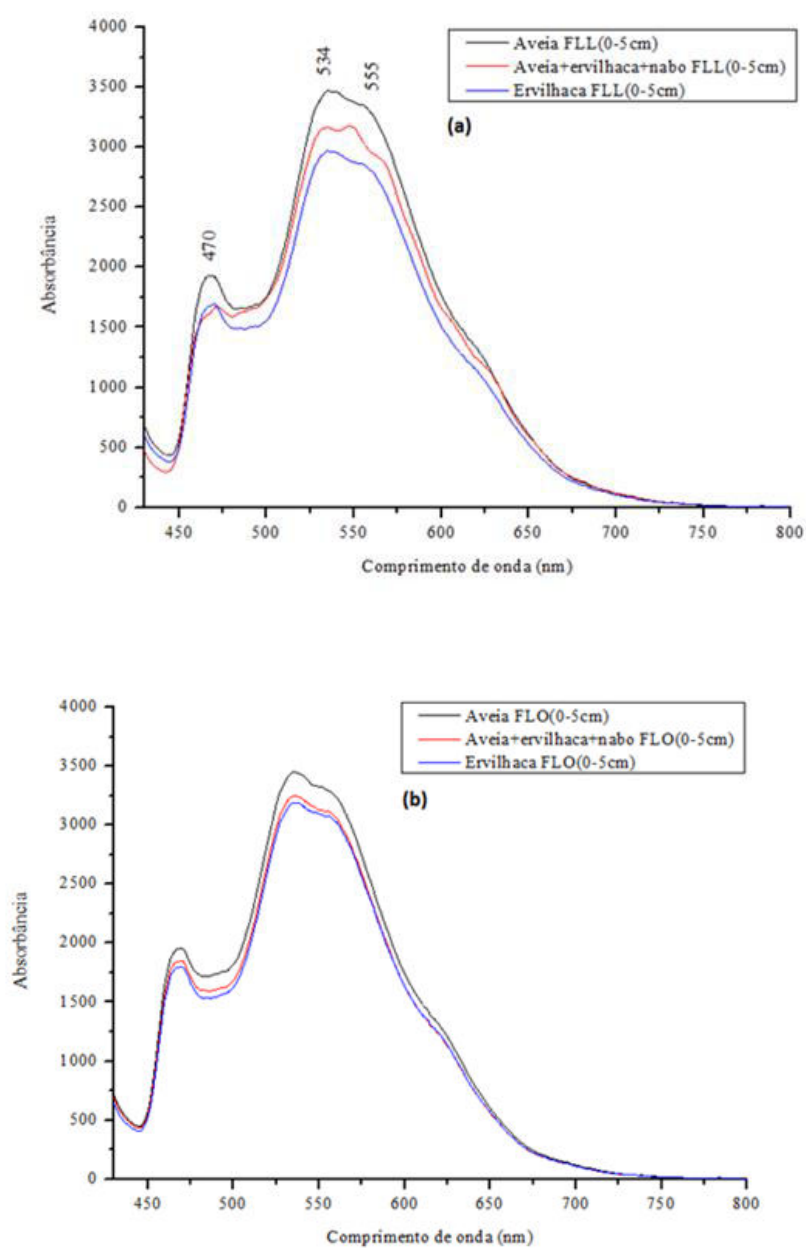
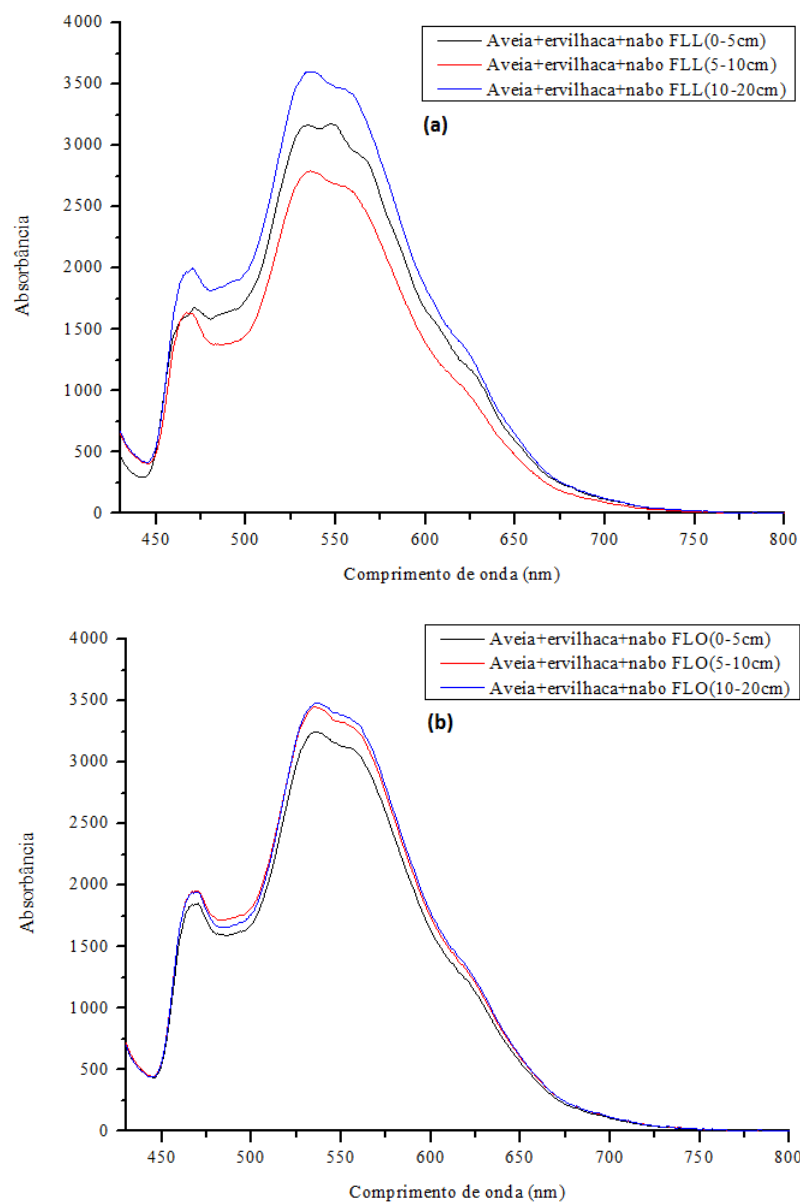


Figura 30: Espectros de emissão de fluorescência: (a) FLL e (b) FLO do tratamento com o sistema de cultura com o consórcio aveia+ervilhaca+nabo nas profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm, Bloco III.



De maneira geral, observa-se que nenhum dos tratamentos apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para os índices IC e IH para as FL nas profundidades de 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 20 cm (Tabela 15).

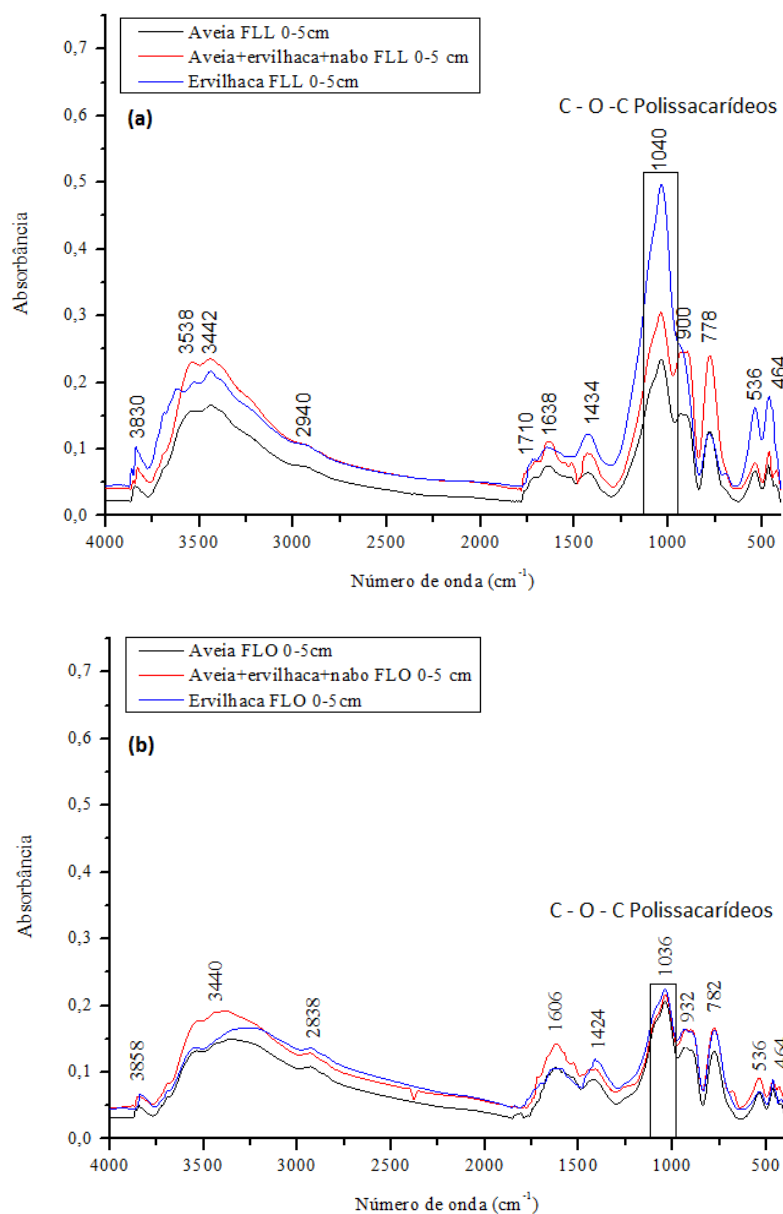
Tabela 15: Índice de condensação (IC) e Índice de hidrofobicidade (IH) para as FLL e FLO, respectivamente em solo sob plantio direto (PD) com plantas de cobertura de inverno, nas camadas de solo, 0-5, 5-10 e 10 – 20 cm. UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Plantas de cobertura	FLL				FLO			
	IC (1620/1920)		IH (2900/1600)		IC (1620/1920)		IH (2900/1600)	
<i>0 – 5 cm</i>								
Aveia	1,13	ns	0,98	ns	1,03	ns	0,94	ns
Aveia +ervilhaca+nabo	1,13	ns	0,98	ns	1,10	ns	0,93	ns
Ervilhaca	1,13	ns	1,18	ns	0,88	ns	1,20	ns
CV	13,31		32,47		8,26		16,36	
<i>5 – 10 cm</i>								
Aveia	1,23	ns	0,88	ns	1,17	ns	0,83	ns
Aveia +ervilhaca+nabo	1,13	ns	0,96	ns	1,05	ns	0,96	ns
Ervilhaca	1,11	ns	0,99	ns	0,93	ns	1,08	ns
CV	16,40		9,05		8,31		8,11	
<i>10 – 20 cm</i>								
Aveia	1,37	ns	0,83	ns	1,00	ns	1,05	ns
Aveia +ervilhaca+nabo	0,96	ns	1,11	ns	0,93	ns	1,13	ns
Ervilhaca	1,71	ns	0,69	ns	0,79	ns	1,67	ns
CV	11,05		17,35		14,15		17,80	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns: médias não apresentaram diferença significativa ao teste F a 5% de probabilidade.

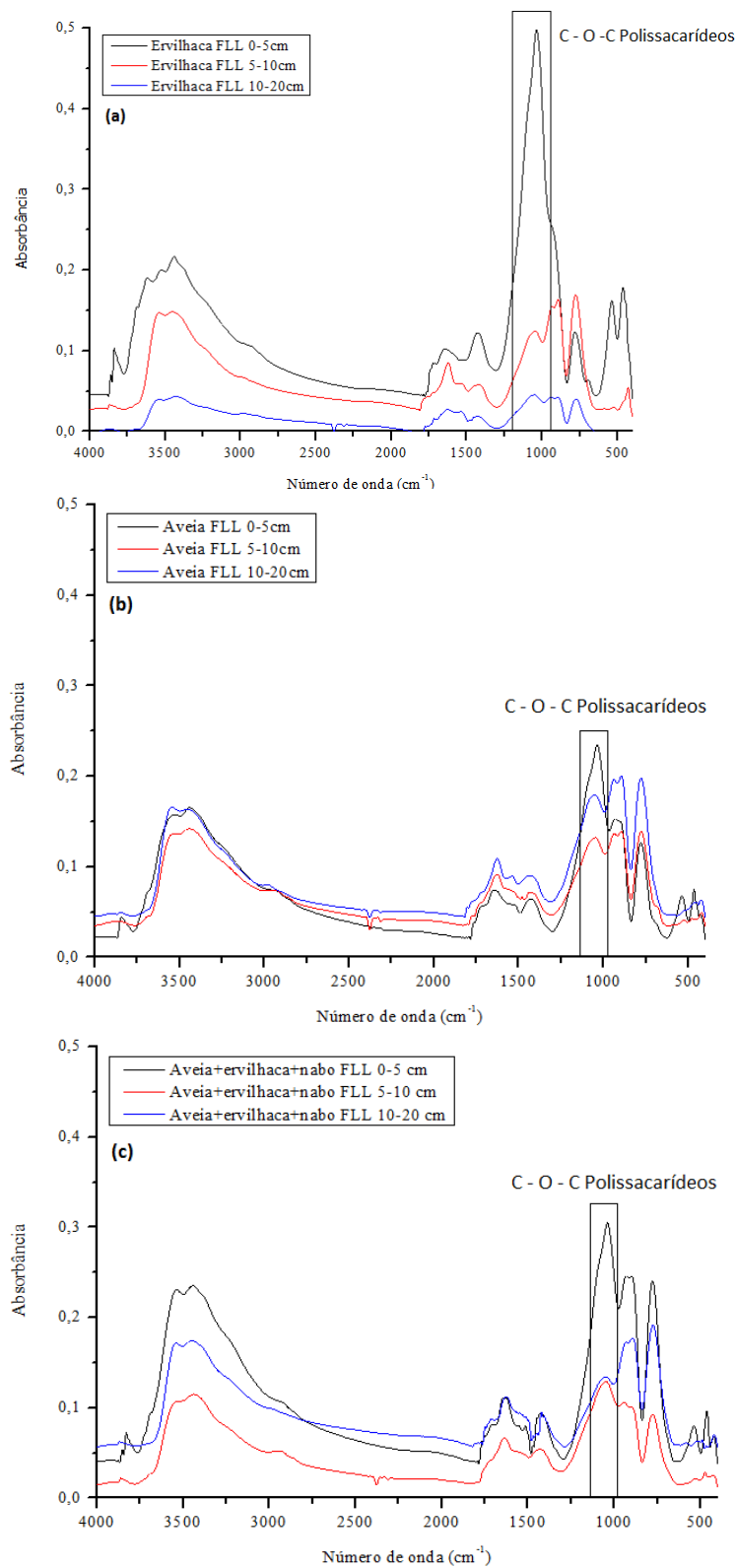
De acordo com o espectro de FTIR das frações FLL e FLO para os tratamentos com sistemas de culturas de inverno (Figura 31) foram observados picos em 3.440-3.380 cm^{-1} correspondentes ao estiramento O-H dos grupos alifáticos e fenólicos, em 2.940 cm^{-1} indicando o nível de saturação correspondente ao estiramento de CH_2 e CH_3 , em 1.730-1.600 cm^{-1} indicando vibrações de carboxilatos alifáticos e aromáticos, os picos em 1.460-1.370 cm^{-1} são atribuídos à deformação de C-H de cadeias alifáticas, em 1.040 cm^{-1} pico associado ao estiramento C-O dos polissacáridos, na região de 900-700 cm^{-1} picos atribuídos à deformação de C-H nos anéis aromáticos (ARTZ et al., 2008; BERNIER et al., 2013). O comportamento espectral da FLO com picos de absorção menos intensos para os polissacarídeos em relação à FLL nos sistemas culturais de verão se repetem nos tratamentos com as culturas de inverno indicando que o material orgânico da FLO é mais humificado, porque está protegido tanto pela recalcitrância quanto pela oclusão nos agregados promovendo maior tempo de ciclagem dos compostos orgânicos (ROSCOE & MACHADO, 2002).

Figura 31: Espectros na região do infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL dos tratamentos com cultura de verão e (b) FLO dos tratamentos com cultura de verão, para a profundidade de 0 – 5 cm, média dos blocos.



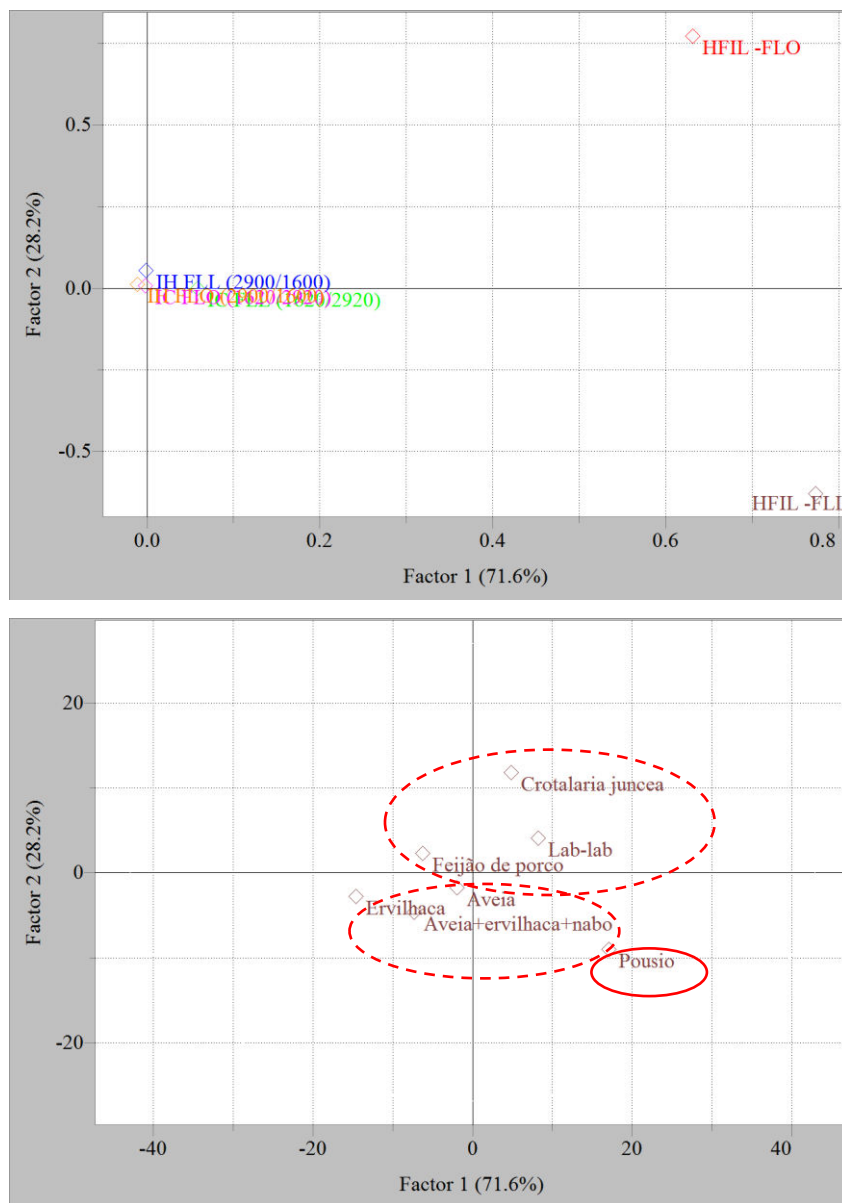
A análise dos espectros gerados para as amostras dos tratamentos com ervilhaca, aveia e consórcio aveia+ervilhaca+nabo em profundidade (Figura 32a, Figura 32b e Figura 32c) demonstra um declínio no pico de absorção em 1.040 cm^{-1} referente aos polissacarídeos e para o tratamento com a aveia aumento das principais bandas atribuídas a lignina ($1.513\text{-}1.450$ e 894 cm^{-1}) e estruturas alifáticas ($2.920\text{-}2.850 \text{ cm}^{-1}$) conforme o aumento no H_{FIL} (ARTZ et al., 2008).

Figura 32: Espectros de infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}): (a) FLL do tratamento com a cultura da ervilhaca, (b) FLL do tratamento com a cultura da aveia e (c) FLL do tratamento com a cultura da aveia+ervilhaca+nabo, para as profundidades de 0 – 5, 5 – 10 e 10 – 20 cm, média dos blocos.



Conforme a PCA realizada com as médias dos três blocos para a profundidade de 0 – 5 cm para os sete sistemas de plantas de cobertura baseados nos valores dos índices IC, IH e H_{FIL} para as frações FLL e FLO da MOS verifica-se que a PC1 explica 71,6% da variância entre as culturas utilizadas como tratamentos e a PC2 28,2%, ambas explicam 99,8% da variância entre os tratamentos (Figura 33a). Na figura Figura 33b observa-se a formação de três grupos sendo o pousio o tratamento que difere dos demais sistemas com plantas de cobertura, porque apresentou valores elevados de grau de recalcitrância para a FLL (H_{FIL}) em função do baixíssimo aporte de resíduos vegetais. Desta forma entende-se que sistemas de lavoura de conservação sob PD com correta retenção de resíduos de culturas promove acúmulo de C no solo, mesmo em diferentes climas (GONZALEZ SANCHEZ et al., 2015; GOVAERTS et al., 2009).

Figura 33: a) Loadings das componentes principais (PC) avaliadas. b) Score de média dos blocos de todos os tratamentos na profundidade de 0 – 5 cm.



5.6 CONCLUSÕES

1-Os espectros de FTIR demonstram que as diferentes culturas de verão e inverno mesmo sob PD de três promove a qualidade da MO do solo.

2-Através dos dados espectrais a FLL da MO do solo foi diretamente afetada pelo manejo com as plantas de cobertura sob PD.

5. 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADU & OADES. Utilization of organic materials in soil aggregates by bacteria and fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, 117-122, 1978.

ARTZ, R. R. E. et al. FTIR spectroscopy can be used as a screening tool for organic matter quality in regenerating cutover peatlands. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, 515–52, 2008.

BAYER, C . et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 54, 101-109, 2000.

BAYER, C. et al. Tillage and cropping systems effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. **Geoderma**, v. 105, 81-92, 2002.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, 237–245, 2006.

BERNIER, M. H. et al. Organic matter composition in soils irrigated with treated wastewater: FT-IR spectroscopic analysis of bulk soil samples. **Geoderma**, v. 209-210, 233-240, 2013.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in soil science**, v. 20, 1-90, 1992.

CONCEIÇÃO, Paulo C. et al. Fracionamento Densimétrico com Politungstato de Sódio no Estudo da Proteção Física da Matéria Orgânica em Solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 541-549, 2008.

DE BONA, F. D. et al. Carbono orgânico no solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, 911-920, 2006.

- DIAS, B. O. et al. Infravermelho na caracterização de ácidos húmicos de latossolo sob efeito de uso contínuo de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, 885-894, 2009.
- DICK, D. P. et al. Organic matter in constructed soils from a coal mining area in southern Brazil. **Organic Geochemistry**, v. 37, 1537–1545, 2006.
- DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, v. 268, 19-328, 2005.
- DUVAL, M. E. et al. Winter cover crops in soybean monoculture: Effects on soil organic carbon and its fractions. **Soil & Tillage Research**, v. 161, 95–105, 2016.
- FREIXO, A. et al. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e intra-agregados de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, 425-434, 2002.
- GONZALEZ-SANCHEZ, E. J. et al. A renewed view of conservation agriculture and its evolution over the last decade in Spain. **Soil & Tillage Research**, v.146, 204–212, 2015.
- GOVAERTS, B et al. Conservation Agriculture and Soil Carbon Sequestration: Between Myth and Farmer Reality. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 28, 97–122, 2009.
- HELFRICH, M. et al. Effect of land use on the composition of soil organic matter in density and aggregate fractions as revealed by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. **Geoderma**, v.136, 331–341, 2006.
- KÖGEL-KNABNER, I. et al. Nature and distribution of alkyl carbon in forest soil profiles: Implications for the origin and humification of aliphatic biomacromolecules. **The Science of the Total Environment**, v. 117-118, 175–185, 1992.
- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, 1–22, 2004.
- LIMA, A. et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 1053-1063, 2008.
- MAIA, S. M. F. et al. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v.149, 84–91, 2009.
- MILORI, D. M. B. P. Organic Matter Study of Whole Soil Samples Using Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, 2006.

- PINHEIRO, E. F. M. et al. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 77, 79–84, 2004.
- PINHEIRO, E. F. M. et al. Tillage systems effects on soil carbon stock and physical fractions of soil organic matter. **Agricultural Systems**, v. 132, 35–39, 2015.
- PIROUETTE versão 4.0. homepage: <http://www.infometrix.com/software/pirouette.html>. Infometrix, Seattle, Washington, USA.
- PLAZA-BONILLA et al. Identifying soil organic carbon fractions sensitive to agricultural management practices. **Soil & Tillage Research**, v. 139, 19–22, 2014.
- REIS, C. E. S. et al. Carbon sequestration in clay and silt fractions of Brazilian soils under conventional and no-tillage systems. **Scientia Agricola**, v.71, 292-301, 2014.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. EMBRAPA Agropecuária Oeste e EMBRAPA Solos. 86f., Dourados, MS, 2002.
- SCHERER-LORENZEN, M. Functional diversity affects decomposition processes in experimental grasslands. **Functional Ecology**, v. 22, 547–555, 2008.
- SENESI, N., M. et al. Characterization, differentiation, and classification of humic substances by fluorescence spectroscopy. **Soil Science**, v. 152, 259–271, 1991.
- SILVA, F. de A. S & AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. IN: World Congress on Computers in Agriculture, 7, Reno-NV-USA: **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.
- SOLLINS, P. et al. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 74, 65-105, 1996.
- TIVET, F. et al. Assessing humification and organic C compounds by laser-induced fluorescence and FTIR spectroscopies under conventional and no-till management in Brazilian Oxisols. **Geoderma**. v. 207–208, 71–81, 2013.
- ZANATTA, J. **Estoque e labilidade do carbono em frações da matéria orgânica de um Argissolo afetados por sistemas de manejo do solo**. Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de Mestre em Ciência do Solo, UFRGS, 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apontou que os sistemas de plantas de cobertura sob PD são responsáveis pelo acúmulo de C no solo e que longos períodos de pousio invernal ou mesmo a baixa entrada de resíduos vegetais no solo afetam negativamente a MO do solo.

O período sob PD de três anos de experimento pode não ter sido suficiente para discriminar todos os parâmetros avaliados quanto às espécies de plantas de cobertura utilizado sendo necessário estudo futuro do experimento para os mesmos parâmetros.

A FLL é um importante parâmetro para avaliação da qualidade do manejo do solo, por ser sensível ao acréscimo de resíduos vegetais.

Dentre as técnicas empregadas neste trabalho o fracionamento da MO do solo demonstrou-se bastante eficiente para identificação dos melhores tratamentos de manejo em relação ao C. Para complementar a técnica de fracionamento as análises das frações com o FTIR , FIL e elementar também foram elucidativas sobre o comportamento do C no solo.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A - Densidade do solo, UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.....	141
ANEXO B - Principais bandas de absorção no infravermelho médio solo integral.	147

ANEXOS

ANEXO A - Densidade do solo, UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos - PR, 2013.

Culturas de Verão	Adubação	Profundidade	Densidade
		----cm----	----g/cm ³ ----
Pousio	Com N	0-5 cm	1,19
Pousio	Com N	5-10 cm	1,23
Pousio	Com N	10- 20 cm	1,24
Pousio	Sem N	0-5 cm	1,08
Pousio	Sem N	5-10 cm	1,25
Mucuna Preta	Com N	0-5 cm	1,22
Mucuna Preta	Com N	5-10 cm	1,03
Mucuna Preta	Com N	10- 20 cm	1,29
Mucuna Preta	Sem N	0-5 cm	1,20
Mucuna Preta	Sem N	5-10 cm	1,08
Mucuna Preta	Sem N	10- 20 cm	1,25
Guandu Anão	Com N	0-5 cm	1,28
Guandu Anão	Com N	5-10 cm	1,-5
Guandu Anão	Com N	10- 20 cm	1,23
Guandu Anão	Sem N	0-5 cm	1,18
Guandu Anão	Sem N	5-10 cm	1,07
Guandu Anão	Sem N	10- 20 cm	1,13
Mucuna Anã	Com N	0-5 cm	1,25
Mucuna Anã	Com N	5-10 cm	1,02
Mucuna Anã	Com N	10- 20 cm	1,30
Mucuna Anã	Sem N	0-5 cm	1,36
Mucuna Anã	Sem N	5-10 cm	1,07

Mucuna Anã	Sem N	10- 20 cm	1,17
Crotalaria spectabilis	Com N	0-5 cm	1,19
Crotalaria spectabilis	Com N	5-10 cm	1,11
Crotalaria spectabilis	Com N	10- 20 cm	1,27
Crotalaria spectabilis	Sem N	0-5 cm	1,28
Crotalaria spectabilis	Sem N	5-10 cm	0,97
Crotalaria spectabilis	Sem N	10- 20 cm	1,17
Crotalaria juncea	Com N	0-5 cm	1,26
Crotalaria juncea	Com N	5-10 cm	0,99
Crotalaria juncea	Com N	10- 20 cm	1,12
Crotalaria juncea	Sem N	0-5 cm	1,18
Crotalaria juncea	Sem N	5-10 cm	1,03
Crotalaria juncea	Sem N	10- 20 cm	1,18
Lab-Lab	Com N	0-5 cm	1,21
Lab-Lab	Com N	5-10 cm	1,23
Lab-Lab	Com N	10- 20 cm	1,29
Lab-Lab	Sem N	0-5 cm	1,20
Lab-Lab	Sem N	5-10 cm	1,06
Lab-Lab	Sem N	10- 20 cm	1,13
Feijão-de-porco	Com N	0-5 cm	1,28
Feijão-de-porco	Com N	5-10 cm	1,10
Feijão-de-porco	Com N	10- 20 cm	1,21
Feijão-de-porco	Sem N	0-5 cm	1,19
Feijão-de-porco	Sem N	5-10 cm	0,97
Feijão-de-porco	Sem N	10- 20 cm	1,28
Aveia	Com N	0-5 cm	1,27
Aveia	Com N	5-10 cm	1,11
Aveia	Com N	10- 20 cm	1,19
Aveia	Sem N	0-5 cm	1,20
Aveia	Sem N	5-10 cm	1,28
Aveia	Sem N	10- 20 cm	1,34
Aveia+ervilhaca	Com N	0-5 cm	1,22
Aveia+ervilhaca	Com N	5-10 cm	1,31
Aveia+ervilhaca	Com N	10- 20 cm	1,29
Aveia+ervilhaca	Sem N	0-5 cm	1,31
Aveia+ervilhaca	Sem N	5-10 cm	1,21
Aveia+ervilhaca	Sem N	10- 20 cm	1,41
Aveia+ervilhaca+nabo	Com N	0-5 cm	1,37
Aveia+ervilhaca+nabo	Com N	5-10 cm	1,17
Aveia+ervilhaca+nabo	Com N	10- 20 cm	1,21
Aveia+ervilhaca+nabo	Sem N	0-5 cm	1,33
Aveia+ervilhaca+nabo	Sem N	5-10 cm	1,28
Aveia+ervilhaca+nabo	Sem N	10- 20 cm	1,29
Nabo	Com N	0-5 cm	1,17
Nabo	Com N	5-10 cm	1,26
Nabo	Com N	10- 20 cm	1,26
Nabo	Sem N	0-5 cm	1,25
Nabo	Sem N	5-10 cm	1,34
Nabo	Sem N	10- 20 cm	1,33
Tremoço	Com N	0-5 cm	1,17

Tremoço	Com N	5-10 cm	1,25
Tremoço	Com N	10- 20 cm	1,33
Tremoço	Sem N	0-5 cm	1,24
Tremoço	Sem N	5-10 cm	1,26
Tremoço	Sem N	10- 20 cm	1,32
Azevem	Com N	0-5 cm	1,26
Azevem	Com N	5-10 cm	1,25
Azevem	Com N	10- 20 cm	1,31
Azevem	Sem N	0-5 cm	1,20
Azevem	Sem N	5-10 cm	1,30
Azevem	Sem N	10- 20 cm	1,35
Centeio	Com N	0-5 cm	1,08
Centeio	Com N	5-10 cm	1,15
Centeio	Com N	10- 20 cm	1,29
Centeio	Sem N	0-5 cm	1,18
Centeio	Sem N	5-10 cm	1,29
Centeio	Sem N	10- 20 cm	1,33
Ervilhaca	Com N	0-5 cm	1,19
Ervilhaca	Com N	5-10 cm	1,26
Ervilhaca	Com N	10- 20 cm	1,25
Ervilhaca	Sem N	0-5 cm	1,28
Ervilhaca	Sem N	5-10 cm	1,38
Ervilhaca	Sem N	10- 20 cm	1,32

ANEXO B - Principais bandas de absorção no infravermelho médio solo integral.

Número de onda (cm^{-1})	Função	Referências
Bandas de absorção		
3.646-3.696	OH deformação axial das hidroxilas exteriores e interiores a superfície da caulinita	Castellano et al. (2010)
3.621	OH deformação axial das hidroxilas na camada interna da caulinita e gibbsite	Bantignies et al. (1997)
3.394-3.440-3.526	OH deformação axial assimétrico da gibbsite	Brinatti et al. (2010)
2.922	C - H deformação axial assimétrico alifático	Ellerbrock et al. (1999)
2.852	C - H deformação axial simétrico alifático	Cocozza et al. (2003), Stevenson (1994)
1.632	C - C vibrações de aromáticos; C - O vibrações ácidos carboxílicos	Stevenson (1994)
1.404	C -H alifático deformação do CH_3 ; C - OH deformação da COOH ; deformação axial simétrica COO^-	Castellano et al. (2010)
1.092	Si - O estiramento em minerais de argila; Si - O - Si de quartzo	Brinatti et al. (2010)
1.030	Si - O - Si deformação axial da caulinita; OH vibrações de gibbsite; C - O deformação dos polissacarídeos	Castellano et al. (2010)
1.006	Si - O - Si no plano que se estende modos de caulinita	Castellano et al. (2010)
914	OH deformação angular assimétrica torção das	Castellano et al. (2010)

	hidroxilas interiores de minerais de argila (caulinita e gibbsita)	
798	vibrações do octaédrica e ânions de caulinita, haloisita e gibbsita; Si - O deformação angular de quartzo	Brinatti et al. (2010), Castellano et al. (2010)
750	Si - O - Al de caulinita, haloisita e Al - OH OH gibbsita	Brinatti et al. (2010)
672	OH deformação axial da gibbsita; Si - O do quartzo	Brinatti et al. (2010)
538	Vibrações do octaedro envolvendo íons Al ³⁺ ; deformações Si- O - Si	Castellano et al. (2010)
