

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**TEOR E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM  
ARGISSOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO  
SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Itauane Oliveira de Aquino  
(Dissertação)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**TEOR E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM  
ARGISSOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO  
SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

ITAUANE OLIVEIRA DE AQUINO  
Engenheira Agrônoma (UFPI)

Dissertação apresentada como um  
dos requisitos para a obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil  
Março de 2019

CIP - Catalogação na  
Publicação

Aquino, Itauane Oliveira  
TEOR E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM  
ARGISSOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO  
SUDEOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA / Itauane Oliveira  
Aquino. -- 2019.  
76 f.  
Orientadora: Deborah Pinheiro Dick.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-RS,  
2019.

1. Plantio direto. 2. Mineralização. 3.  
Biomarcadores. 4. Espectroscopia. 5. Contribuição  
microbiana. I. Dick, Deborah Pinheiro, orient. II.  
Título.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por permitir a conclusão de mais essa etapa;

À minha família pelo apoio em mais essa conquista;

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado;

À minha orientadora prof.<sup>a</sup> Deborah Dick, pela orientação, amizade e confiança;

Ao Dr. Falberni Costa pela disponibilidade de informações e a Embrapa Acre pela implantação e realização do experimento.

Ao Instituto de Química – UFRGS (Laboratórios 110- Físico-química de solo, D-103 Central analítica: cromatografia, D-105- Central analítica: técnicas mistas, CENANO) pela realização das análises durante a execução do projeto.

À professora Maria do Carmo Peralba (IQ/UFRGS) pela contribuição nas análises cromatografia.

A todos os professores do PPGCS/UFRGS, pelas importantes contribuições em mais essa fase da minha formação acadêmica.

Ao CNPq pelo apoio financeiro e pela concessão da bolsa de estudos;

Aos amigos do PPGCS/UFRGS, em especial do LAB-104-B e o grupo de pesquisa do manejo.

# TEOR E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ARGISSOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA<sup>1</sup>

Autora: Itauane Oliveira de Aquino

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Deborah Pinheiro Dick

## RESUMO:

Resultados sobre efeitos do plantio direto (PD) na matéria orgânica do solo (MOS) no Estado do Acre são escassos e, portanto, a investigação do impacto do PD na composição e teor de MOS é essencial. Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar o impacto do sistema de preparo e planta de cobertura e manejo de adubação no teor e composição química da MOS em solo de textura arenosa sob clima tropical úmido do sudoeste da Amazônia Ocidental após 10 anos. O experimento foi realizado em um Argissolo Amarelo distrófico, em Mâncio Lima, Acre. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso dispostos em parcelas subdivididas com três repetições. Nas parcelas principais foram alocados os sistemas de preparo PD e plantio convencional (PC), e nas subparcelas foram dispostos os sistemas manejo de culturas e adubação: testemunha (T), leguminosa+gramínea como plantas de cobertura (LG), e LG com adubação de P e calagem (LGPC). Em amostras coletadas até 1 m foram determinados os atributos químicos e granulométricos. Sendo desenvolvidos dois estudos para alcançar os objetivos. No estudo I, foram determinados os teores de C ( $C_{cs}$ ) e de N ( $N_{cs}$ ) por combustão seca e a assinatura isotópica  $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$ . Os resultados obtidos indicam que após 10 anos, o sistema de preparo PD com planta de cobertura e calagem do solo não alterou os teores de  $C_{cs}$  e de  $N_{cs}$ . Possivelmente as condições climáticas locais (elevadas temperaturas e precipitações) conduzem à rápida mineralização do resíduo das culturas, não havendo contribuição relevante dos mesmos para a MOS. O sistema de preparo do solo não afetou a composição isotópica da MOS, devido provavelmente à rápida ciclagem dos resíduos vegetais nesse ambiente. Porém, independente do manejo, o tratamento LGPC apresentou um enriquecimento em  $^{13}C$  em profundidade sugerindo mineralização da MOS endógena e entrada de material oriundo de gramíneas e milho (plantas  $C_4$ ). No estudo II a composição química da MOS foi investigada por espectroscopia de FTIR e de RMN de  $^{13}C$  RMN CP/MAS é o perfil de *n*-alcanos foi determinado por GC-MS. A composição química da MOS apresentou em média 26 a 36 % de C alquil, 34 a 41 % de C O-alquil, 18 a 24% de C aromático e 11 a 14 % de C carboxílico. As condições climáticas da região e a pouco expressiva interação organo-mineral, levam à elevada taxa de decomposição dos resíduos e enriquecimento de estruturas recalcitrantes. Essa suposição é corroborada pela predominância de lipídios de cadeia curta ( $CMC \leq C_{21}$ ) de origem microbiana e pelo relativamente elevado grau de degradação dos lipídios herdados de plantas ( $1,8 \leq IPC_L \leq 2,2$ ) na MOS.

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (76 p.) Março, 2019. Pesquisa realizada com bolsa do CNPq

# CONTENT AND CHEMICAL COMPOSITION OF ORGANIC MATTER IN ACRISOL IN DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS IN THE SOUTHWEST REGION OF THE BRAZILIAN AMAZON<sup>1</sup>

Author: Itauane Oliveira de Aquino

Adviser: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Deborah Pinheiro Dick

## ASBTRACT

Results about the effect of no-tillage system (NT) on the soil organic matter (SOM) in the State of Acre are scarce and, therefore, investigation of the impact of NT on the SOM composition and content is essential. In this context, the main objective of this work was to evaluate the impact of tillage system, cover crops and fertilizing management on the SOM content and chemical composition in a sandy soil under tropical humid climate located in Southwestern Brazilian Amazon after 10 years. The experiment was carried out in an Acrisol, in Mâncio Lima, Acre. Experimental design was randomized blocks arranged in subdivided plots with three replicates. In the main plots NT and conventional tillage (CT) systems were allocated and in the subplots cover crops and fertilizing management systems were established: testimony (T), legume + grass as cover crops (LG), LG with P fertilization and liming (LGPL). In samples collected down to 1 m, chemical characteristics and texture were determined. Two studies were developed in order to achieve the proposed objectives. In Study I, C ( $C_{DC}$ ) and N ( $N_{DC}$ ) contents by dry combustion and isotopic signature  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$  were determined. The results indicate that after 10 years, NT system with cover crops and liming did not alter C and N contents. Possibly, local climatic conditions (high temperature and precipitation) lead to a rapid mineralization of crops residue and no relevant residues contribution to SOM occurred. Soil tillage system did not affect SOM isotopic composition, and that is assigned to the rapid cycling of plant residues in this environment. However, regardless of the tillage system, LGPL treatment showed a  $^{13}C$  enrichment with depth, suggesting mineralization of the endogenous SOM and simultaneous inputs from grass and corn (C4 plants) residues. In Study II, SOM chemical composition was investigated by FTIR and  $^{13}C$  NMR CP/MAS spectroscopies and n-alkane profile was determined by GC-MS. SOM chemical composition was made up by 26 to 36% alkyl C, 34 to 41% O-alkyl C, 18 to 24% aromatic C and 11 to 14% carboxylic C. The region climatic conditions and the inexpressive organo-mineral interactions, lead to a high decomposition rate of residues and enrichment of recalcitrant structures. This assumption is corroborated by the predominance of short chain lipids (CMC =  $C_{21}$ ) of microbial origin and by the relatively high degree of degradation of lipids inherited from plants ( $1.8 \leq IPCL \leq 2,2$ ) in SOM.

---

<sup>1</sup>Master's Dissertation in Soil Science, Soil Science Graduate Program, Agronomy Faculty, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (76 p.) March, 2019. Research supported by CNPq

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I - Introdução Geral .....	1
CAPÍTULO II – Revisão Bibliográfica.....	3
HIPÓTESES .....	13
OBJETIVO .....	14
CAPÍTULO III - IMPACTO DE SISTEMA DE MANEJO DO SOLO NOS TEORES DE CARBONO E NITROGÊNIO E ASSINATURA ISOTÓPICA DA MATERIA ORGÂNICA EM ARGISSOLO DO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	15
1. Introdução .....	15
2. Material e Métodos.....	17
2.1. Área de estudo, amostragem e preparo das amostras .....	17
2.1. Determinação de atributos químicos e físicos .....	20
2.2. Determinação dos teores de carbono e nitrogênio .....	23
2.3. Determinação da assinatura isotópica $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ .....	23
2.1. Análise estatística .....	24
2. Resultados e Discussão .....	24
3.1. Teor de carbono e de nitrogênio do solo inteiro.....	24
3.2. Matéria orgânica prontamente oxidável.....	26
3.3. Relação entre matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC) 29	
3.4. Assinatura isotópica $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do solo.....	30
3.5. Fração menor que 250 $\mu\text{m}$ : proporção e teores de C e N .....	31
3. Conclusões .....	33
CAPITULO IV– COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ARGISSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO.....	35
1. Introdução .....	35
2. Material e Métodos.....	37
2.1. Área de estudo, amostragem e preparo das amostras .....	37
2.2. Desmineralização das amostras com solução de HF 10% (v/v) .....	37
2.3. Espectroscopia de Infra-Vermelho com transformada de Fourier.....	37
2.4. Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de $^{13}\text{C}$ - estado sólido ( $^{13}\text{C}$ RMN CP/MAS).....	38

2.5. Extração dos lipídios livres .....	38
2.5.1. Cromatografia líquida preparativa .....	39
2.5.2. Cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massa .....	40
3. Resultados e Discussão .....	42
3.1. Composição química da MOS avaliada por espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) .....	42
3.2. Composição química da MOS avaliada por espectroscopia de <sup>13</sup> C RMN CP/MAS .....	44
3.3. Distribuição de Biomarcadores .....	46
4. Conclusões.....	57
CAPÍTULO V – Considerações Finais .....	59
REFERÊNCIAS .....	60
Apêndices .....	70



## RELAÇÃO DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Atributos químicos do Argissolo determinados em 2006. ....	17
<b>Tabela 2.</b> Atributos químicos e físicos ao longo do perfil, após 10 anos de implantação do experimento em Argissolo Amarelo distrófico. (Determinações realizadas na EMBRAPA-Acre) .....	21
<b>Tabela 3.</b> Média (n=3) dos teores de C, N e C/N ao longo do perfil, analisados por camada de solo. ....	25
<b>Tabela 4:</b> Teores $C_{cs}$ e $C_{wb}$ e suas respectivas razões para solo inteiro em profundidade. ....	27
<b>Tabela 5.</b> Assinaturas isotópicas $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ do solo nas camadas de 0-5 e 75-100 cm do solo inteiro. ....	31
<b>Tabela 6.</b> Teores de C e de N e razão C/N da fração menor 250 $\mu m$ , proporção da contribuição $C_{F250}$ em relação da fração $F_{250}$ em relação à massa total do solo. ....	33
<b>Tabela 7.</b> Lista dos n-alcenos identificados no cromatograma de massa do íon m/z 71 da fração hidrocarbonetos alifáticos e seus correspondentes íons moleculares. ....	41
<b>Tabela 8.</b> Distribuição das intensidades relativas (%) dos grupamentos de C identificados por $^{13}C$ RMN CP/MAS e índice C-alquil/C-O-alquil de $MOS_{HF}$ da fração $F_{250}$ . ....	46
<b>Tabela 9.</b> Rendimentos dos extratos de lipídios do solo inteiro, dos hidrocarbonetos n-alcenos e aromáticos em amostras de solo inteiro ao longo do perfil. ....	47
<b>Tabela 10.</b> Índices moleculares de n-alcenos das amostras nos extratos de lipídios em amostras de solo inteiro ao longo perfil. ....	57

## RELAÇÃO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da área experimental no município de Mâncio Lima no Estado do Acre em um experimento de campo com manejo conservacionista do solo com cultivos agrícolas. ....	18
<b>Figura 2.</b> Croqui da área experimental na localidade alto pentecostes no município de Mâncio Lima no Estado do Acre. ....	19
<b>Figura 3.</b> Relação entre os teores ( $C_{cs}$ ) e o ( $C_{wb}$ ), em Argissolo Amarelo distrófico nos tratamentos PC-T, PC-LG, PC-LGPC, PD-T, PD-LG e PD-LGPC ao longo do perfil. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	28
<b>Figura 4.</b> Relação entre o teor $C_{cs}$ e CTC $pH\ 7,0$ , em Argissolo Amarelo distrófico nos tratamentos PC-T, PC-LG, PD-T, PD-LG e PD-LGPC ao longo do perfil. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	29
<b>Figura 5.</b> (A) Sistema de extração Soxhlet. (B) Coluna de Cromatografia líquida preparativa. ....	39
<b>Figura 6.</b> Relação entre os teores de areia e argila e massa recuperada ( $M_R$ ), de um Argissolo nos tratamentos PC-T, PC-LG, PC-LGPC, PD-T, PD-LG e PD-LGPC. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	42
<b>Figura 7.</b> Espectros de FTIR da MOSHF da $F_{250}$ de um Argissolo Amarelo distrófico nos tratamentos PC-T, PC-LGPC, PD-T e PD-LGPC. Legenda dos tratamentos Tabela 2. ....	43
<b>Figura 8.</b> Espectros de $^{13}C$ RMN CP/MAS das amostras na $F_{250}$ nos tratamentos PC-T e PC-LGPC. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	45
<b>Figura 9.</b> Espectros de $^{13}C$ RMN CP/MAS das amostras na $F_{250}$ nos tratamentos PD-T e PD-LGPC. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	46
<b>Figura 10.</b> Perfil dos n-alcanos ( $m/z=71$ ) no tratamento PC-T em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	50
<b>Figura 11.</b> Perfil dos n-alcanos ( $m/z=71$ ) no tratamento PC-LG em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	51
<b>Figura 12.</b> Perfil dos n-alcanos ( $m/z=71$ ) no tratamento PC-LGPC em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	52
<b>Figura 13.</b> Perfil dos n-alcanos ( $m/z=71$ ) no tratamento PD-T em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	54
<b>Figura 14.</b> Perfil dos n-alcanos ( $m/z=71$ ) no PD-LG em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	55
<b>Figura 15.</b> Perfil dos n-alcanos ( $m/z=71$ ) no tratamento PD-LGPC em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2. ....	56

## **CAPÍTULO I - Introdução Geral**

O Acre é uma das últimas fronteiras da Amazônia Ocidental Brasileira, ocupando uma área de aproximadamente 164.221,36 km<sup>2</sup>, correspondente a 4% da área amazônica brasileira e a 1,9% do território nacional. Cerca de 19.200 km<sup>2</sup> de sua área total já foi desmatada (Valeriano et al., 2012). No Acre, o uso da terra baseia-se em grande parte no processo de derruba e queima da floresta primária e secundária, seguido do plantio de pastagens extensivas ou culturas anuais como arroz, milho, feijão e mandioca por um período médio de um a dois anos. Após este período, em razão de fatores como o empobrecimento químico do solo, os agricultores deixam a terra em pousio em ciclos que variam em média, de cinco a dez anos, para recuperação de sua fertilidade. Enquanto isso novas áreas são desmatadas para utilização com culturas anuais (Ferreira et al., 2015). Estas áreas são caracterizadas pelo manejo inadequado do solo, ausência ou baixos níveis de aplicação de insumos como calagem e fertilizantes. Assim, a maioria dessas áreas estão degradada ou em processo de degradação (Dantas de Paula et al., 2015; Barros et al., 2016).

A limpeza das áreas para cultivo feito por agricultores consiste na queima da vegetação seguida da retirada do material para implantação da cultura. Nesta atividade, não há utilização de insumos para fertilização do solo o que agrava o processo de degradação e empobrecimento do solo. O impacto ambiental das queimadas envolve a fertilidade dos solos com perdas de nutrientes devido à sua volatilização (quando a temperatura atinge graus elevados na superfície do solo), a destruição da biodiversidade, a fragilização de agroecossistemas. (Acre, 2010).

A cultura anual que se destaca como o principal produto agrícola em termos de valor econômico do Acre é a mandioca, respondendo por 48% do valor bruto da produção (IBGE, 2004). Entre os produtos agropecuários, a mandioca representa 18% da produção estadual, sendo superada apenas pela produção de bovinos de corte. A mandioca no Acre é cultivada em aproximadamente 41.108 ha, com um rendimento médio de 20,8 t/ha em 2010, valor bem superior à média nacional (13,7 t/ha), ocupando a terceira posição no ranking nacional (Neto et al., 2011). O cultivo é realizado de maneira convencional, onde as lavouras são implantadas após a derruba e queima da vegetação nativa.

No entanto, o Acre ainda possui 87% de áreas cobertas pela floresta amazônica, sendo o Estado visto mundialmente como um caso de sucesso no combate ao desmatamento. Segundo estudo divulgado pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, intitulado "Fatos Florestais da Amazônia", dos nove estados da Amazônia Legal Brasileira, o Acre está em 2º lugar no ranking de cobertura florestal (Imazon, 2010).

São poucos os estudos realizados nessa região sobre a matéria orgânica do solo (MOS) que comparam diferentes sistemas de manejo do solo, e que avaliem o efeito desses sistemas nas propriedades químicas do solo. Existe, portanto, a necessidade de estudos com esse enfoque para que se possam adotar práticas de manejo adequadas.

## **CAPÍTULO II – Revisão Bibliográfica**

### **Matéria orgânica do solo sob clima tropical e subtropical**

A matéria orgânica do solo (MOS) representa uma parcela significativa do ciclo global do carbono (C) e constitui a principal entrada de energia para os processos biológicos dos solos, exercendo importante papel no equilíbrio dos ecossistemas (Wendling et al., 2010). A MOS é todo material originário dos processos de decomposição de resíduos vegetais e animais depositados no solo e influencia suas propriedades químicas, físicas e biológicas, sendo essencial à capacidade produtiva dos solos (Guimarães et al., 2013).

A MOS se encontra em diferentes estados de decomposição, podendo afetar de diferentes formas as propriedades do solo, como por exemplo: agregação e estabilidade de agregados (Conceição et al., 2006), dinâmica de nutrientes, suscetibilidade à erosão do solo, taxa de infiltração e a retenção de água no solo, capacidade de retenção de cátions trocáveis, adsorção e complexação de elementos tóxicos, ciclagem de elementos químicos, sequestro de carbono atmosférico e atividade e diversidade biológica (Souza et al., 2016).

O teor de MOS é influenciado principalmente pelo clima, vegetação original, tipo de solo, uso e sistema de manejo adotado. Nos solos de regiões tropicais, o teor de MOS tende a ser menor do que em solos de regiões subtropicais, e isso ocorre principalmente devido à influência do clima no processo de degradação dos resíduos orgânicos depositados no solo (Costa et al., 2013). Em regiões tropicais, com altos índices de pluviosidade e altas temperaturas, a atividade biológica é favorecida, ocasionando uma rápida mineralização da MOS (Tivet et al., 2013). Os teores de MOS também dependem do sistema de manejo e da cultura utilizada no aporte de resíduos ao solo, sendo que o sistema plantio direto (PD) com alto aporte de resíduos

propicia aumento nos teores de MOS ao solo. Entretanto, em ambientes de clima tropical sob condições de Cerrado o PD nem sempre tem promovido aumento nos teores de MOS, fato atribuído à baixa quantidade e qualidade dos resíduos adicionados ao solo (Bayer et al., 2006; Veloso et al., 2018). Assunção et al. (2019) observaram em Latossolo subtropical de textura argilosa sob cerrado e em diferentes sistemas de manejo, um decréscimo no conteúdo de C do solo em áreas convertidas para uso agrícola, sendo que o solo sob floresta nativa manteve os maiores estoques de carbono ao longo do perfil até 1 m de profundidade. Entretanto, estes mesmos autores constataram que o sistema PD com rotação de soja e milho na estação chuvosa e leguminosa como planta de cobertura na estação seca, tende a recuperar os teores de C no solo após 17 anos da implantação, comparado ao sistema plantio convencional (PC) em que foram necessários 41 anos para ser atingido o mesmo efeito. Esses resultados evidenciam a importância do PD para aumento dos teores de C no solo.

Fujisaki et al. (2017) concluíram que após cinco anos de implantação dos sistemas de manejo PC e PD com cultivo de soja em Latossolo de textura arenosa não houve diferença significativa nos teores de MOS quando comparado com solo sob floresta nativa. Porém, mesmo com taxas de sequestro de C relativamente baixas em regiões tropicais úmidas, a adoção de sistema conservacionista pode melhorar a conservação do solo e recuperação de áreas degradadas (Araújo et al., 2004).

Em regiões de clima tropical úmido incluindo o bioma amazônico tem ocorrido a conversão de floresta para agricultura convencional impulsionada pela demanda agrícola, contribuindo para emissões de CO<sub>2</sub> principalmente devido à queima da vegetação e à redução no sequestro de carbono pela MOS (Lapola et al., 2013). O desmatamento dessas áreas promove redução nos estoques de carbono do solo, que pode ser explicado pelo aumento da taxa de mineralização da MOS, pelos fatores climáticos e de solo, como as altas temperaturas e precipitação e a textura e mineralogia destes solos.

Nesse contexto, é indispensável o entendimento dos fatores que afetam a composição da MOS e o teor de C no solo, buscando-se assim, desenvolver ou selecionar estratégias que possam promover o aumento de MOS no solo nessas regiões após introdução do uso agrícola.

### **Uso agrícola dos solos da Amazônia Ocidental Brasileira**

Os solos da região amazônica ocidental são muito heterogêneos no que diz respeito à classe, com predominância de Argissolos, Cambissolos e solos de textura média a arenosa (Wadt, 2002). Os solos são predominantemente de baixa fertilidade natural e acidez elevada, e com ocorrência de horizontes superficiais arenosos, o que, associado à sua ocorrência em ambientes de ecossistemas frágeis, favorece à degradação destes solos (Barros et al., 2016). As áreas agrícolas dessa região são destinadas basicamente à agricultura familiar e à pecuária, que faz uso de grandes áreas com pastagem extensiva. Para a conversão de áreas de floresta em lavouras e, principalmente em áreas de pastagem extensiva, as principais práticas agrícolas adotadas são o corte e a queima da vegetação natural (Rittl et al., 2017).

Essas práticas afetam principalmente os solos de textura arenosa e que apresentam capacidade de trocas de cátions (CTC) intimamente relacionadas ao seu conteúdo de MOS (Souza et al., 2007). Siqueira Neto et al. (2009), em um Latossolo tropical de textura argilosa, observaram que o teor de C apresentou alta correlação com a CTC em solo sob condições de cerrado nativo e em diferentes sistemas de manejo, evidenciando a importância da MOS como condicionador de cargas nestes solos em clima tropical. Dessa forma a MOS é a principal fonte de contribuição da CTC nestes solos em ambiente de clima tropical úmido, nos quais são adotadas práticas semelhantes às adotadas no bioma amazônico para conversão de cerrado nativo para uso agrícola (Hunke et al., 2015).

No entanto, no Acre, os agrossistemas são ainda pouco estudados, necessitando-se de mais informações sobre as alterações químicas geradas pela adoção dessas práticas agrícolas. Adicionalmente, O Estado do Acre apresenta vastas áreas com solos de textura média e arenosa, as quais configuram ecossistemas frágeis. Para se alcançar uma agricultura conservacionista nessas áreas, onde o clima é quente e úmido, é indispensável a adoção de práticas agrícolas com ausência ou revolvimento mínimo do solo, rotação de cultura e cultivos de plantas de cobertura que promovam aumento

significativo nos teores de MOS. Essas práticas agrícolas devem ter como objetivo principal evitar as perdas de C do solo.

### **Sistema de manejo do solo e sua relação com o teor de matéria orgânica do solo**

Em sistemas agrícolas, os teores de C e N no solo são influenciados pelo sistema de manejo adotado. Em solos com intenso revolvimento, além das perdas por erosão, ocorre também aumento da atividade microbiana promovida pela maior exposição dos resíduos aos microrganismos e suas enzimas (Reis et al., 2014). Nesse contexto, sistemas que fazem uso intensivo do preparo convencional, degradam o solo pela redução de sua cobertura, pela redução dos estoques de MOS e da estabilidade de agregados, e pelo aumento da compactação e erosão, resultando em queda na sua capacidade produtiva (Barreto et al., 2009; Wang et al., 2018).

Em regiões tropicais e subtropicais ocorre rápida degradação da fração orgânica do solo em condições impróprias de manejo, sendo seguida pela degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo (Bayer & Mielniczuk, 2008). Essa degradação inicia-se com a remoção da vegetação natural e acentua-se com os cultivos subsequentes, removendo MOS e nutrientes que não são repostos na mesma proporção ao longo do tempo (Gmach et al., 2018). Em dado momento, os teores de nutrientes podem se tornar tão baixos que inviabilizam a produção agrícola, caracterizando um estágio avançado da degradação.

A cobertura promovida pelos resíduos vegetais na superfície do solo associada ao sistema PD também tem uma forte influência nas condições ambientais e nos processos biológicos do solo (Melo et al., 2016). A decomposição e mineralização do N dos resíduos, aumenta o suprimento de N para as plantas que estão presentes no sistema de rotação ou sucessão de culturas (Velooso et al., 2018). Assim, é necessária a inclusão de leguminosas e gramíneas em sistemas de manejos para a recuperação dos estoques de C e N do solo.

Em estudo sobre diferentes sistemas de preparo em um Latossolo tropical em condições de Cerrado, Nascente et al. (2013) não encontraram diferença significativa nos sistemas PC e PD com gramíneas como planta de



cobertura após 4 anos. Esses resultados foram influenciados pelo baixo aporte de resíduos das culturas e condições climáticas que são favoráveis à rápida decomposição dos resíduos. Em solo de textura argilosa em condições de Cerrado, Andrade et al (2009) observaram incremento no teor de C do solo ao longo dos 12 anos de cultivo de PD com gramíneas como planta de cobertura, comparado aos teores obtidos sob PC. Segundo Stone et al. (2006) as gramíneas, quando em condições adequadas de manejo e adubação, produzem grande quantidade de raízes com alta relação C/N. Estas se decompõem mais lentamente do que as raízes de leguminosas que tem menor relação C/N. Por esse motivo nota-se efeito do PD com gramíneas como planta de cobertura no conteúdo de MOS.

### **O papel das leguminosas e gramíneas como planta de cobertura**

Sistemas de manejos conservacionistas, como o sistema PD que se baseia na rotação de culturas e no uso de plantas de cobertura (gramíneas e leguminosas) para aumento e/ou manutenção da palhada (Cavalcante et al., 2012), favorecem os processos bioquímicos do solo. Esses processos têm efeitos sobre as propriedades físicas e químicas do solo e se refletem no desenvolvimento das plantas, produtividade agrícola e qualidade ambiental (Moreti et al., 2007).

As leguminosas como planta de cobertura participam do processo de fixação biológica de N a partir da simbiose com as bactérias diazotróficas (Cotrufo et al., 2015). Essas bactérias são capazes de reduzir  $N_2$  atmosférico à forma de amina ( $R-NH_2$ ). Os microrganismos heterotróficos mineralizam  $R-NH_2$  em amônio ( $NH_4^+$ ), o qual na forma de nitrato ( $NO_3^-$ ) torna-se disponível para as plantas (Moreira & Siqueira, 2006).

A inclusão de leguminosas nas rotações como planta de cobertura é uma importante ferramenta para reduzir as perdas de N, e os períodos de pousio entre as culturas, para aumentar rendimento da cultura, assim como diminuir a dependência de fertilizantes nitrogenados (Zanatta et al., 2007; Carvalho et al., 2010).

A manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, o não-revolvimento do solo e a rotação de culturas no sistema PD proporcionam uma decomposição lenta e gradual do material vegetal depositado que, associado

com a fração mineral do solo, favorece o acúmulo da MOS (Torres et al., 2008). Para isso, é fundamental selecionar plantas de cobertura com maior potencial em produzir biomassa e acumular principalmente C e N, além de se conhecer a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes destes resíduos culturais (Hickmann & Costa, 2012).

Andrade et al. (2012) mostraram que a inclusão de leguminosas no sistema PD aumentou os teores de C e N total na camada superficial do solo de textura argilosa em comparação ao cultivo sem rotação no PC. Canellas et al. (2004) avaliaram a qualidade da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho amarelo tropical cultivado com diferentes espécies de leguminosas herbáceas perenes, e concluíram que o uso das leguminosas não modificou o conteúdo de C orgânico total do solo, mas promoveu o acúmulo de ácidos húmicos na camada superficial.

Resultados sobre o efeito do PD e de plantas de cobertura obtidos em solos brasileiros são controversos, o que pode ser atribuído às diferenças em textura, clima e tipo de solos usados nos diferentes estudos. No caso específico de solos arenosos da região do sudoeste da Amazônia Brasileira, informações sobre efeito do manejo no teor e composição química da MOS ainda são escassos, o que leva à necessidade de realização de mais estudos nessa região, e principalmente por esta representar uma das últimas fronteiras agrícolas do Brasil.

### **Composição química da matéria orgânica do solo e sua relação com os sistemas de preparo do solo**

A composição química da MOS é constituída de maneira geral por cadeias alquilas, estruturas aromáticas, estruturas tipo carboidratos e por grupos funcionais carboxílicos, aminas e carbonílicos (Dick et al., 2008). Estruturas hidrofóbicas, compostas por estruturas aromáticas e cadeias lipídicas representam a fração bioquimicamente recalcitrante da MOS por serem mais resistentes à decomposição microbiana, podendo residir no solo por um longo período. Por outro lado, estruturas tipo carboidratos são bioquimicamente mais lábeis e, portanto, consumíveis rapidamente pelos microrganismos (Dick et al., 2005; Knicker et al., 2013).

Atualmente existem várias técnicas espectroscópicas que podem ser empregadas para identificar estas estruturas presentes na MOS, proporcionando informações sobre os processos de decomposição da MOS. A caracterização da composição química da MOS por técnicas espectroscópicas demanda o pré-tratamento com ácido fluorídrico (HF) para a dissolução dos minerais (Gonçalves et al., 2003; Dick et al., 2005). Ao longo do tratamento com solução HF 10%, ocorrem perdas de MOS e essa fração corresponde àqueles compostos orgânicos de baixo peso molecular e hidrofílicos, que se encontram associados aos minerais nas condições naturais do solo (Dick et al., 2005; Hanke & Dick., 2017). A composição química da MOS pode ser avaliada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e por espectroscopia de ressonância magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  (RMN  $^{13}\text{C}$ ) no estado sólido (CP/MAS).

A espectroscopia de FTIR é uma técnica utilizada para identificar os grupos funcionais e sua distribuição relativa. No entanto, estudos tem demonstrado que para informações mais detalhadas sobre as mudanças da composição química da MOS em solos de textura média e arenosa, a FTIR pode não ser a técnica mais indicada (Perez et al., 2004). Nesses casos é necessário uso da técnica como o RMN de  $^{13}\text{C}$  CP/MAS.

Nesse contexto, Perez et al. (2004), usando RMN de  $^{13}\text{C}$  CP/MAS em amostras de ácidos húmicos de um Latossolo subtropical concluíram que há um aumento nas proporções de grupos alifáticos a partir da incorporação de resíduos vegetais no sistema PD com cultivo de milho e diminuição nos compostos aromáticos. Em contrapartida, Reis et al. (2014), usando a técnica FTIR em amostras de solo no sul do Brasil identificaram efeitos do sistema de manejo na composição química da MOS, onde a MOS sob PD apresentou maior proporção de estruturas tipo carboidratos do que sob PC.

O tipo de cultivo agrícola influenciou a composição química em um solo franco arenoso de clima subtropical no norte da Itália (Courtier-Murias et al., 2013). Esses autores observaram efeitos do cultivo de milho (planta  $\text{C}_4$ ) no verão e de trigo (planta  $\text{C}_3$ ) no inverno. Por meio dos espectros de RMN  $^{13}\text{C}$  CP/MAS, os autores mostraram que o solo cultivado com duas gramíneas de metabolismo diferente, apresentou maior proporção de estruturas do tipo carboidratos (45% de C-O-álquil) e com presença de estruturas alifáticas (26 %

C-alquil) em comparação com o solo sem cultivo. Os resíduos da palha das culturas também apresentaram maior proporção de C-O-alquil (60%) e com baixas proporções de gupos alifáticos (em torno 8%).

Dieckow et al. (2005) encontraram resultados diferentes em um Argissolo subtropical de textura média, e concluíram que o sistema de cultivo com milho e rotação com leguminosas como planta de cobertura não alterou a composição química da MOS. Nesse estudo a composição química da MOS foi mais influenciada pelo sistema de preparo do solo. Estes estudos mostram que além do clima e tipo solo, o sistema de manejo e a interação entre estes fatores influencia no acúmulo de MOS, o que leva a necessidade de estudos para as diferentes regiões brasileiras.

### **Assinatura isotópica de $^{13}\text{C}$ e $^{15}\text{N}$ da matéria orgânica do solo**

A análise da composição isotópica dos isótopos estáveis  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  na MOS contribui para o entendimento de sua origem a partir de resíduos de plantas com metabolismo  $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$  (Dümig et al., 2011). A assinatura isotópica da MOS é semelhante à assinatura isotópica dos resíduos vegetais, o que permite utilizar a abundância desses isótopos como uma importante informação sobre a origem da MOS como um traçador do destino do material orgânico produzido (Urquiaga et al., 2007).

O valor da assinatura isotópica de C ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da MOS está diretamente relacionado às proporções de C derivado de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  que contribuem para as estruturas da MOS (Liu et al., 2019). Portanto, este marcador natural de C orgânico produzido *in-situ* tem provado ser uma técnica útil para estudar a composição e dinâmica da MOS ao longo prazo (Canção et al., 2017). As plantas  $\text{C}_3$ , que são representadas pelas as árvores e maioria dos arbustos, ou seja, quase todas as espécies lenhosas de regiões tropicais e temperadas úmidas, têm valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  da ordem de  $-27\text{‰}$ , os quais são menores do que os do  $\text{CO}_2$  atmosférico. Já as plantas  $\text{C}_4$ , as gramíneas de ambiente de clima tropical, apresentam valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  mais próximo ao da atmosfera ( $-13\text{‰}$ , valor médio) devido à fixação mais eficiente de  $\text{CO}_2$  (Vogts et al., 2009; Mosquera et al., 2012). Resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  obtidos por Liu et al. (2019) em Utisol subtropical de textura arenosa à média (36% de argila) mostraram mudança na composição da MOS após 30 anos da conversão de

cultivo das plantas  $C_3$  para milho (planta  $C_4$ ). Os valores de  $\delta^{13}C$  variaram de -23,30 para -18,56‰, evidenciando a entrada do resíduo do milho na composição da MOS.

A assinatura isotópica de  $^{15}N$  no solo geralmente é usada para diferenciar entrada de N na MOS dos resíduos derivados de plantas. Processos em que o N é perdido por volatilização levam ao enriquecimento de  $^{15}N$  na MOS. Portanto plantas fixadoras de  $N_2$  geralmente têm valores de  $\delta^{15}N$  ligeiramente mais baixos do que as plantas não fixadoras de  $N_2$  (Zaccone et al., 2011; Mapope et al., 2016). Dessa forma, o  $\delta^{15}N$  pode informar a respeito do processo de transformação do N na MOS.

### **Lipídios do solo como biomarcadores**

Os biomarcadores são compostos orgânicos complexos, encontrados em betumes, petróleos e sedimentos, cujas estruturas moleculares apresentam uma estrutura inequívoca com compostos naturais presentes em organismos vivos, como bactérias e vegetais superiores (Lichtfouse et al., 1995; Kogel-Knabner, 2002). Os biomarcadores podem ser hidrocarbonetos (saturados, insaturados e aromáticos), compostos funcionais (álcoois, ácido, cetona, ésteres) ou podem conter outros heteroátomos (N e S) (Quénéa et al., 2004). A partir da fração lipídica do solo, se calculam índices moleculares que são específicos para a determinação de fonte de plantas e microrganismos (Gleixner et al., 2001).

Essa fração no solo compreende compostos herdados de plantas, que são caracterizados por grandes proporções de ácidos graxos de cadeia longa, hidrocarbonetos alifáticos e álcoois, enquanto os lipídios derivados de microrganismos são caracterizados por maiores proporções de ácidos graxos de cadeia curta (Bull et al., 2002; Wiesenberg et al., 2010). A cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massa (CG / MS) é umas das técnicas utilizada na caracterização de lipídios em plantas e em solo. Vários estudos utilizaram essa técnica para avaliar as concentrações e padrões de distribuição de lipídios e interpretar a origem e taxa decomposição da MOS (Wiesenberg et al., 2004b; Jandl et al., 2004; Wang et al., 2014; Sristava & Wiesenberg, 2018)

. Wiesenberg et al. (2008) investigaram a distribuição de lipídios em solo sob gramíneas e leguminosas em ambiente de clima temperado e

observaram predominância de *n*-alcanos de cadeia longa (C máximo em C<sub>31</sub>) e ímpar, evidenciando contribuição de lipídios oriundos de resíduo vegetal fresco com grau de degradação pouco avançado.

Em um solo agrícola sob cultivo de milho em ambiente de clima temperado, Quénea et al. (2006) analisaram *n*-alcanos nas frações físicas do solo e determinaram uma distribuição unimodal e predominância de *n*-alcanos de cadeia curta com C máximo em C<sub>14</sub> na fração areia e silte. Esses resultados comprovam contribuição de lipídios derivados de produto microbiano. A fração argila apresentou distribuição bimodal e predominância de cadeias longas com C máximo em C<sub>23</sub>, o que evidencia maior contribuição do material herdado de vegetal.

Os estudos da composição lipídica em solo inteiro tropical úmido são, todavia, escassos, sendo esses compostos primordiais para várias características do solo, tais como estabilidade de agregados e estabilização da MOS (Jandl et al., 2002; Nierop et al., 2005). Considerando uso agrícola do solo em ecossistemas frágeis no bioma amazônico, espera-se que a distribuição de biomarcadores possa refletir o impacto do manejo do solo (principalmente a influência do resíduo da planta) sobre os processos de decomposição da MOS.

## **HIPÓTESES**

O plantio direto com planta de cobertura e manejo de adubação irá promover aumento do teor de C e N em comparação ao plantio convencional, e maior contribuição dos resíduos das culturas na composição da MOS.

No que diz respeito à composição química da MOS, o sistema de preparo plantio direto associados a plantas de cobertura, levará ao enriquecimento relativo de estruturas bioquimicamente mais lábeis (carboidratos) e maior contribuição relativa de alcanos oriundos de produtos microbianos.

### **OBJETIVO**

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o impacto do sistema de preparo e planta de cobertura e manejo de adubação no teor e composição química da MOS em Argissolode textura arenosa sob clima tropical úmido do sudoeste da Amazônia Ocidental após 10 anos.



## **CAPÍTULO III - IMPACTO DE SISTEMA DE MANEJO DO SOLO NOS TEORES DE CARBONO E NITROGÊNIO E ASSINATURA ISOTÓPICA DA MATERIA ORGÂNICA EM ARGISSOLO DO SUDOESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

### **1. Introdução**

No Brasil tem ocorrido uma maior expansão das áreas agrícolas em regiões do norte do país onde predominam clima tropical úmido e ecossistemas relativamente frágeis aos processos de degradação do solo. A conversão dessas áreas de floresta amazônica em agricultura resultou em mudanças na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) a longo prazo (Cerri et al., 2018). Nesse contexto, há necessidade da adoção de sistemas de manejo conservacionistas que preze pelo mínimo revolvimento do solo e emprego da rotação de culturas para promover o maior aporte de resíduos e carbono (C) ao solo, conforme já verificado em Argissolos subtropicais (Bayer et al., 2006; Zanatta et al., 2007). Em regiões com elevadas precipitações e temperaturas, isso se torna um grande desafio, pois essas condições favorecem um acelerado metabolismo microbiano e resultam na alta taxa de decomposição dos resíduos vegetais.

Dieckow et al. (2009) e Veloso et al. (2018) observaram diferença significativa no aumento do teor de C do solo após 17 anos da implantação do PD com leguminosa como planta de cobertura cultivada em um Argissolo de textura média em região de clima subtropical. O mínimo revolvimento do solo diminui as taxas de decomposição da MOS e induz à proteção física da mesma. Já as plantas leguminosas se associam com bactérias capazes de fixar  $N_2$  atmosférico e seu resíduo, por possuir baixa relação C/N, contribui para o aumento da disponibilidade de N no sistema solo, tanto para a microbiota

edáfica como para a planta subsequente do sistema de rotação (Cotrufo et al., 2015).

Em solos tropicais, a rápida decomposição dos resíduos vegetais e baixa entrada de matéria seca pelo aporte da cultura de cobertura, levam à necessidade de estratégias que permitam o aumento da MOS (Boeni et al., 2014). As gramíneas são mais eficientes em aumentar o teor de MOS do que as leguminosas, e, portanto, contribuem mais relevantemente para agregação do solo e proteção física da MOS. Isso ocorre devido à sua maior relação C/N, a qual leva a menor taxa de decomposição do resíduo e ao maior sistema radicular (Calonego et al., 2008; Torres et al., 2008). Resultados encontrados por Raphael et al. (2016) em um Latossolo tropical sob condições de Cerrado, observaram que após 10 anos de PD com gramínea como planta de cobertura ocorreu aumento da MOS.

A abundância dos isótopos estáveis  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  em relação aos seus isótopos mais abundantes na natureza  $^{12}\text{C}$  e  $^{14}\text{N}$ , determinada por espectrometria de massa fornece informações sobre a origem da MOS (Zaccone et al., 2011; Dümig et al., 2011). Resultados obtidos por essa técnica permitem relacionar a MOS com o material de origem e avaliar as diferentes fontes de contribuição para sua composição. Araújo et al. (2011) em Argissolo tropical constataram incremento de  $\delta^{13}\text{C}$  da MOS com o tempo de utilização da pastagem, sendo maior alteração após 20 anos da conversão de floresta amazônica (predominância de plantas com metabolismo  $\text{C}_3$ ) para pastagem com plantas de metabolismo  $\text{C}_4$ . Em solo de clima temperado após nove anos com cultivo de milho e trigo, Mendez-Millan et al. (2012) observaram um enriquecimento de  $^{13}\text{C}$  no solo sob cultivo de milho comparado ao solo sob cultivo de trigo, Dessa forma, assinatura isotópica de  $^{13}\text{C}$  reflete a contribuição relativa de plantas com metabolismo  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  no solo.

Nos últimos 20 anos estudos sobre os sistemas de manejo conservacionista vêm sendo conduzidos no Brasil buscando elucidar os efeitos dos diferentes sistemas de manejo sobre o aporte de MOS no solo (Bayer et al., 2000; Bayer et al., 2002; Dieckow et al., 2009; Reis et al., 2014; Veloso et al., 2018). Entretanto, na região norte do País, ainda são escassas informações sobre os aspectos qualitativos e o impacto do sistema de manejo na MOS de solos de textura arenosa à média. Estas informações são importantes para se

determinar práticas de manejo adequadas a serem adotadas nessa região. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do sistema de manejo nos teores C e N e na composição isotópica da MOS de Argissolo do sudoeste da Amazônia de textura arenosa sob clima tropical úmido.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo, amostragem e preparo das amostras

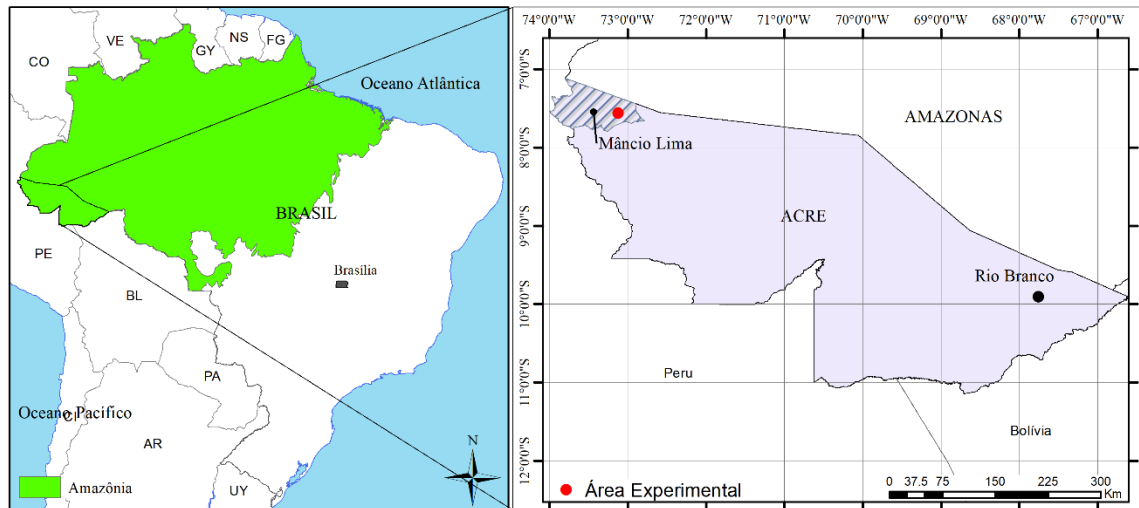
Foram estudadas amostras de um experimento conduzido de 2006 a 2017 no município de Mâncio Lima, Estado do Acre (07°28' S, 72°56' O e altitude de 189 m acima do nível do mar) (Figura 1). A região apresenta clima Aw (tropical úmido e quente) com precipitação pluvial entre 1.600 e 2.700 mm ano<sup>-1</sup>, temperatura média anual de 24,5° C e umidade relativa do ar média de 90% (INPE, 2017). O solo da área experimental foi classificado como ARGISSOLO AMARELO distrófico (EMBRAPA, 2013).

A área do experimento encontrava-se até 1990 sob floresta amazônica quando foi realizado desmatamento seguido de queima para introdução de lavoura, que foi conduzida até 2003 de forma convencional. A partir de 2003 a área esteve em pousio e encontrava-se degradada quando o experimento foi estabelecido em 2006. As principais características do solo antes da implantação do experimento em 2006 encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Atributos químicos do Argissolo determinados em 2006.

Atributos	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
pH (H <sub>2</sub> O)	4,1	3,9	4,1
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,1	0,6	0,4
m (%)	63	80	84
CO (g kg <sup>-1</sup> )	14,6	10,7	8,3

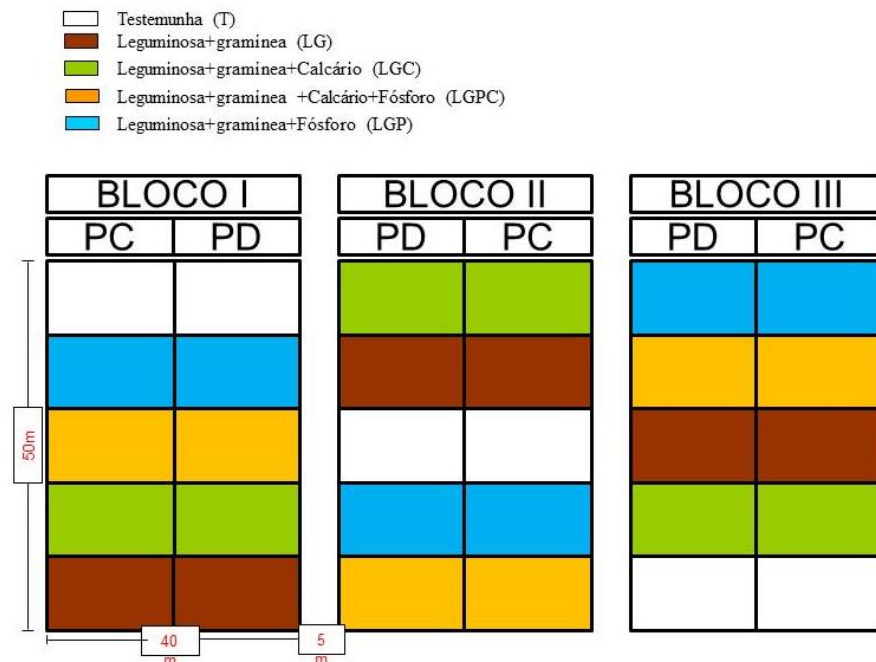
pH 1:2,5 (H<sub>2</sub>O); SB: soma de bases ; m (%): saturação por alumínio trocável; CO: carbono orgânico.



**Figura 1.** Localização da área experimental no município de Mâncio Lima no Estado do Acre em um experimento de campo com manejo conservacionista do solo com cultivos agrícolas.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso dispostos em parcelas subdivididas com três repetições, sendo que nas parcelas principais (20 m x 50 m) foram alocados dois sistemas de preparo do solo : plantio convencional (**PC**) e o plantio direto (**PD**); e nas sub-parcelas (10 m x 20 m) foram dispostos os manejos de culturas e de adubação: solo cultivado com culturas comerciais sem correção do pH e sem adubação, sem cultivo de planta de cobertura e com limpeza da área com corte e queima da vegetação no PC (**T**); solo cultivado com culturas comerciais e com plantas de cobertura (gramíneas e leguminosas) e adubação de potássio (**LG**); solo cultivado com culturas comerciais e planta de cobertura com correção do pH com calcário dolomítico e sem adubação e sem corte e queima da vegetação – (**LGC**); solo cultivado com culturas comerciais planta de cobertura sem correção do pH, com adubação de fósforo e sem corte e queima da vegetação – (**LGP**); solo cultivado com culturas comerciais e plantas de cobertura, com correção do pH com calcário dolomítico, e com adubação de fósforo e adubação de potássio (**LGPC**) (Figura 2). Dentre os cinco manejos de culturas e de adubação instalados no experimento foram escolhidos para a dissertação o T, LG e LGPC (Figura 2). As culturas comerciais implantadas no experimento foram mandioca (*Manihot esculenta*) com quatro safras no período (2007–2008, 2009-2010, 2014-2015 e 2016-2017) e três safras de milho (*Zea mays*) (2011–2012, 2012–2013 e 2013–2014), Na rotação com plantas de cobertura foram

utilizados mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) semeada no início do experimento em 2006-2007, e a utilização da ressemeadura natural de 2008 até 2014, e sorgo (*Sorghum bicolor*) semeado a partir de 2014. A partir de 2015 houve utilização de consórcio de mandioca com feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e feijão-gandu-anão solteiro (*Cajanus cajan*).



**Figura 2.** Croqui da área experimental na localidade alto pentecostes no município de Mâncio Lima no Estado do Acre.

A amostragem foi realizada em 2016 após 10 anos de implantação do experimento em cada parcela nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 30-40, 50-75 e 75-100 cm. Como área de referência foram coletadas amostras em área adjacente sob floresta amazônica em três trincheiras nas mesmas profundidades. Foram coletadas também amostras de vegetação seca de folha e maniva (caule) de Mandioca e palha de milho. Posteriormente as amostras foram secas ao ar, passadas em peneira de malha 2,0 mm e homogêneas para compor a terra fina seca ao ar (TFSA). Cerca de 20 g de TFSA de cada amostra foi passada em peneira com malha de 250  $\mu\text{m}$  e a fração com granulometria menor que 250  $\mu\text{m}$  (areia fina, silte e argila) foi denominada  $F_{250}$ . A partir da massa da fração  $F_{250}$  ( $m_{F_{250}}$ ), e da massa total (mt) de solo inteiro usada no peneiramento, calculou-se a proporção de  $F_{250}$  (F %) conforme (Equação 1):

$$F (\%) = \frac{m F250}{mt} 100 \quad (\text{Eq.1})$$

### 2.1. Determinação de atributos químicos e físicos

O pH do solo em água destilada ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) foi determinado na relação 1:2,5 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) por potenciômetro, a acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) extraída com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  foi quantificada por titulação com hidróxido de sódio  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ . O fósforo (P) disponível e o potássio ( $\text{K}^+$ ) disponível foram extraídos com Mehlich 1 e determinados a partir da absorbância a  $660 \text{ nm}$  em espectrofotômetro UV/Vis, e fotometria de chama, respectivamente. Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis foram extraídos com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$  e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O teor de Carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método Walkley-Black sem aquecimento externo. Foram determinados teor de areia, silte e argila. As análises químicas e físicas foram determinadas segundo Manual de Métodos de Análise de Solos (Embrapa, 1997). Posteriormente foram calculadas a capacidade de troca de cátions CTC ( $\text{pH } 7,0$ ) e a saturação por alumínio (m%) (Embrapa, 1997). Os resultados encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2.** Atributos químicos e físicos ao longo do perfil, após 10 anos de implantação do experimento em Argissolo Amarelo distrófico. (Determinações realizadas na EMBRAPA-Acre)

Tratamentos	Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	CTC (pH 7,0)	P	V	m	Areia	Silte	Argila
			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	----- mg dm <sup>-3</sup> -----	----- mg dm <sup>-3</sup> -----	----- %----- -----	----- %----- -----	----- g kg <sup>-1</sup> -----	----- g kg <sup>-1</sup> -----	----- g kg <sup>-1</sup> -----
PC-T	0-5	5,2	1,5	1,2	0,1	7,7	9,5	35,09	13,7	794	87	119
	5 10	5,0	1,0	0,6	0,1	6,5	4,2	25,15	33,6	794	86	120
	10 15	4,8	0,4	0,4	0,0	5,9	2,2	14,35	60,2	746	110	144
	30-40	4,7	0,1	0,0	0,0	4,3	1,5	2,08	95,8	678	118	204
	50-75	4,5	*	0,3	0,0	3,6	1,9	0,45	95,6	670	114	216
	75-100	4,5	*	0,4	0,0	3,3	1,6	0,59	94,5	669	105	226
PC-LG	0-5	4,6	*	*	0,2	6,6	6,3	16,2	91,3	629	238	133
	5 10	4,4	*	*	0,2	6,3	4,1	13,0	93,3	642	238	120
	10 15	4,4	*	*	0,1	5,7	2,1	6,9	95,9	586	262	152
	30-40	4,6	*	*	0,0	4,2	3,0	1,2	97,1	581	228	191
	50-75	4,5	*	*	0,0	3,4	1,3	2,9	98,3	663	130	208
	75-100	4,4	*	*	0,0	3,0	1,0	3,9	98,8	661	126	213
PC-LGPC	0-5	5,0	1,3	1,3	0,1	5,9	14,8	37,2	16,0	777	108	114
	5 10	5,0	1,3	1,0	0,1	6,6	7,8	37,1	16,5	725	159	116
	10 15	4,9	0,7	0,9	0,1	6,0	5,6	28,1	37,3	730	131	139
	30-40	4,9	*	0,3	0,0	4,6	4,1	12,1	64,9	588	235	178
	50-75	4,5	0,2	0,2	0,0	3,3	1,7	9,5	82,4	603	190	207
	75-100	4,4	0,1	0,3	0,0	3,3	1,4	10,5	82,1	570	214	216
PD-T	0-5	4,7	0,3	0,3	0,1	5,0	7,0	10,6	66,6	757	98	145
	5 10	4,4	0,1	0,1	0,1	4,6	3,5	4,8	86,7	730	109	161
	10 15	4,4	0,0	0,1	0,1	4,5	2,7	3,5	91,2	697	134	170
	30-40	4,7	*	0,1	0,0	3,9	2,1	2,4	94,6	626	138	236
	50-75	4,7	*	0,2	*	3,3	1,5	2,7	95,4	630	135	235

Continuação Tabela 2

Tratamentos	Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	CTC (pH 7,0)	P	V	m	Areia	Silte	Argila
			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			mg dm <sup>-3</sup>		-----%-----		-----g kg <sup>-1</sup> -----		
PD- T	75-100	4,5	*	0,1	*	2,9	1,5	1,8	97,2	613	149	239
PD-LG	0-5	4,5	0,2	0,2	0,2	6,1	8,1	7,6	76,6	759	115	125
	5 10	4,4	0,0	0,1	0,1	6,6	4,5	3,6	90,1	711	139	149
	10 15	4,4	0,0	0,1	0,1	6,0	2,8	3,2	92,1	702	143	155
	30-40	4,4	*	0,1	0,0	4,6	1,7	1,9	95,0	645	141	214
	50-75	4,4	*	0,2	0,0	3,9	2,1	2,2	95,2	671	138	191
	75-100	4,5	*	0,3	0,0	3,3	1,1	3,5	94,2	635	143	222
PD-LGPC	0-5	5,4	2,4	1,7	0,1	8,6	15,0	60,1	3,1	803	106	92
	5 10	5,3	2,1	1,5	0,1	6,8	4,7	37,2	23,9	759	113	127
	10 15	5,0	0,8	1,0	0,1	6,1	3,4	21,9	50,7	707	132	161
	30-40	4,6	0,0	0,1	0,0	4,3	3,0	4,1	91,2	620	168	212
	50-75	4,5	0,1	0,2	0,0	4,0	1,8	7,7	84,1	625	141	235
	75-100	4,4	0,1	0,2	0,0	3,5	1,5	9,8	84,7	639	127	234

V % = saturação por bases; m %= saturação por alumínio; (\*) valores abaixo do limite detecção pelo método; CTC (pH 7,0) capacidade de troca de cátions a pH 7,0; P e K+= disponível; Ca<sup>2+</sup>; Mg<sup>2+</sup> = trocável. PC-T: plantio convencional e testemunha; PC-LG: plantio convencional e leguminosa+gramínea; PC-LGPC : plantio convencional e leguminosa+gramínea e fósforo; PD-T: plantio direto e testemunha; PD-LG: plantio direto e leguminosa+gramínea; PD-LGPC: plantio direto e leguminosa+gramínea e fósforo;



## 2.2. Determinação dos teores de carbono e nitrogênio

Os teores de carbono ( $C_{cs}$ ) e de nitrogênio ( $N_{cs}$ ) nas amostras de solo inteiro e na fração  $F_{250}$  ( $C_{F250}$  e  $N_{F250}$ ) foram determinados em amostras moídas em almofariz de ágata por combustão seca a 975 °C (analisador elementar Variol EI). A partir destes dados foi calculada a razão C/N.

A contribuição de C e N contido na fração  $F_{250}$  para o teor determinado no solo inteiro ( $C_F$  e  $N_F$ , respectivamente) foi calculada conforme equações 2 e 3, respectivamente:

$$C_F = C_{F250} \times F (\%) \quad \text{Eq. (2)}$$

$$N_F = N_{F250} \times F (\%) \quad \text{Eq. (3)}$$

## 2.3. Determinação da assinatura isotópica $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$

A determinação da assinatura isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  do solo inteiro nas camadas de 0-5 e 75-100 cm dos tratamentos testemunha e LGPC nos manejos PC e PD, e da floresta nativa, bem como em amostras de vegetação (folhas e maniva de mandioca, palha de milho) foi realizada por analisador elementar acoplado a espectrômetro de massas (equipamento modelo Thermo Finnigan Delta Plus), em material previamente moído e peneirado em malha de 0,2 mm.

O cálculo da composição isotópica de C foi realizado da seguinte forma:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \frac{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{Amostra}} - {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{Padrão}}}{{}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}_{\text{Padrão}}} \times 1.000 \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde PDB = C no  $\text{CO}_2$  produzido no fóssil belemnita da formação calcária Pee Dee.

Por sua vez, o cálculo da composição isotópica de N foi realizado da seguinte forma:

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \frac{{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}_{\text{Amostra}} - {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}_{\text{Padrão}}}{{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}_{\text{Padrão}}} \times 1.000 \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde o padrão =  $\text{N}_2$  atmosférico.

## **2.1. Análise estatística**

Os resultados de teores de C, N e razão C/N em solo inteiro e F<sub>250</sub> dos tratamentos foram submetidos à análise de variância, sendo considerada interação entre as parcelas principais (sistemas de preparo) e as subparcelas (manejos de culturas e de adubação), desconsiderando a profundidade como fator (Apêndice 1). Os dados apresentaram distribuições normais e homogeneidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov e Levene. Os valores médios foram testados pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) quando houve a significância, analisado no software R.

## **2. Resultados e Discussão**

### **3.1. Teor de carbono e de nitrogênio do solo inteiro**

O teor de C<sub>CS</sub> das amostras sob floresta variou de 16,4 g kg<sup>-1</sup> na camada de 0-5 cm a 5,5 g kg<sup>-1</sup> na camada 75-100 cm, enquanto o teor de N<sub>CS</sub> variou de 1,4 a 0,4 (Tabela 3). Esses teores são compatíveis com os observados para Argissolo Vermelho Amarelo sob floresta tropical aberta (Araujo et al., 2011) e Latossolo Amarelo de textura arenosa sob floresta nativa da região amazônica (Johnson et al., 2001). Teores maiores de C foram observados para Latossolo Vermelho Amarelo do leste do Estado do Acre sob floresta tropical densa, em que o aporte de resíduos é comparativamente maior do que o observado no presente estudo (Araújo et al., 2011).

Entre as amostras de solo sob cultivo, o teor de C<sub>CS</sub> variou de 3,9 a 16,3 g kg<sup>-1</sup> e de N<sub>CS</sub> de 0,3 a 1,2 g kg<sup>-1</sup> e ambos decresceram em profundidade (Tabela 3), não havendo diferença entre os tratamentos e interação entre sistema de preparo e manejo de culturas e de adubação. Nesse solo de textura arenosa, o efeito protetor na MOS por associação organo-mineral é baixo, e as temperaturas elevadas e intensa precipitação levam à rápida mineralização do resíduo vegetal. Adicionalmente, a produtividade do milho do experimento (em média 2,5 Mg ha<sup>-1</sup>) é relativamente baixa em comparação à produção de outras regiões (Dieckow et al., 2005; Veloso et al., 2018) e, portanto, a quantidade de resíduo da cultura aportado ao solo é insuficiente para se sobrepor ao efeito do clima em 10 anos de experimento. Em Neossolo de textura arenosa sob clima tropical do Estado do Mato Grosso também não foi observado aumento do teor de MOS após 10 anos de cultivo com gramíneas e leguminosas (Caetano et

al., 2013). Já em clima subtropical, após 10 anos de manejo sob PD em Argissolo de textura média a arenosa (RS), ocorreu incremento do teor de C em comparação ao PC (Amado et al., 2001). A maior produção de resíduos devido à maior produtividade e o clima mais ameno na região subtropical, comparativamente às condições de nosso trabalho, explicam a diferença de resultados entre os dois trabalhos. Por outro lado, em Latossolo tropical argiloso sob clima tropical (MS), foi observado o efeito do sistema de manejo PD em aumentar o estoque de C do solo após 9 e 11 anos (Salton et al., 2011), evidenciando a importância do efeito estabilizador via associação organo-mineral em ambientes de clima quente e úmido, em adição à maior produtividade agrícola.

A razão C/N não diferiu entre os tratamentos e, em geral, aumentou até 40 cm ( $13 < C/N < 16$ ). A partir dessa profundidade, a relação C/N diminuiu até 90 cm ( $11,5 < C/N < 14$ ) indicando enriquecimento de estruturas nitrogenadas ao longo do perfil (Tabela 3). Esse resultado pode ser associado ao processo de humificação em que ocorre acúmulo de estruturas contendo N de origem microbiana (Hanke & Dick, 2017). Esse comportamento é observado também na floresta nativa e, portanto, pode ser relacionado às condições ambientais locais.

**Tabela 3.** Média (n=3) dos teores de C, N e C/N ao longo do perfil, analisados por camada de solo.

Tratamento	C (g kg <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	C/N
0-5 cm			
Floresta	16,4	1,1	15,0
PC-T	16,3 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	13,7 <sup>ns</sup>
PC-LG	15,7	1,1	14,0
PC-LGPC	15,1	1,1	13,6
PD-T	14,0	0,9	15,0
PD-LG	13,9	1,0	14,5
PD-LGPC	16,0	1,1	14,3
5-10 cm			
Floresta	18,5	1,2	15,0
PC-T	14,1 <sup>ns</sup>	1,1 <sup>ns</sup>	13,7 <sup>ns</sup>
PC-LG	13,7	1,0	14,1
PC-LGPC	11,8	0,8	14,0
PD-T	11,9	0,8	14,0
PD-LGPC	14,1	1,1	14,5
PD-LG	12,1	0,8	14,5
10-15 cm			

Continuação Tabela 3			
Tratamento	C (g kg <sup>-1</sup> )	N (g kg <sup>-1</sup> )	C/N
Floresta	14,8	1,0	15,0
PC-T	11,4 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	14,6 <sup>ns</sup>
PC-LG	10,9	0,7	14,7
PC-LGPC	11,3	0,9	14,3
PD-T	11,5	0,8	14,0
PD-LG	12,3	0,8	14,5
PD-LGPC	12,3	0,9	14,1
30-40 cm			
Floresta	10,8	0,7	15,8
PC-T	8,2 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	15,6 <sup>ns</sup>
PC-LG	7,8	0,5	16,0
PC-LGPC	8,5	0,6	15,2
PD-T	7,9	0,5	15,0
PD-LG	7,9	0,5	15,7
PD-LGPC	8,2	0,3	13,6
50-75 cm			
Floresta	5,5	0,4	14,0
PC-T	5,2 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	14,6 <sup>ns</sup>
PC-LG	5,0	0,4	13,9
PC-LGPC	5,2	0,4	13,7
PD-T	5,4	0,4	14,4
PD-LG	5,5	0,4	14,3
PD-LGPC	4,6	0,3	13,6
75-100 cm			
Floresta	5,5	0,4	13,6
PC-T	4,3 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>	13,6 <sup>ns</sup>
PC-LG	4,0	0,3	11,7
PC-LGPC	3,9	0,3	12,2
PD-T	4,4	0,3	12,8
PD-LG	5,1	0,4	14,3
PD-LGPC	3,9	0,3	12,7

ns: não significativo a teste de tukey a  $p < 0,05$ . Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

### 3.2. Matéria orgânica prontamente oxidável

O teor de C do solo determinado pelo método Walkley-Black ( $C_{WB}$ ) variou entre 2,0 e 14,0 g kg<sup>-1</sup> e foi, em geral, inferior ao respectivo  $C_{Cs}$  (Tabela 4), indicando que o método de oxidação úmida não foi eficiente em oxidar totalmente a MOS das amostras e corroborando resultados reportados por outros autores (Conyers et al., 2011; Sato et al., 2014; Enang et al, 2018).

Obeve-se alta correlação entre os teores de  $C_{wb}$  e os de  $C_{cs}$  ( $R^2 = 0.9168$ ) (Figura 3), indicando que a subestimação do método WB tende a ser regular para esse grupo e amostras.

Segundo o ajuste matemático obtido entre o teor de  $C_{wb}$  e  $C_{cs}$  (Figura 5), para valores de  $C_{cs} \leq 0,72 \text{ g kg}^{-1}$ , o método de combustão úmida não detecta C do solo. A subestimação do método de combustão úmida varia de 24 % para valores da ordem de  $3 \text{ g kg}^{-1}$  a 10 % para valores da ordem  $14 \text{ g kg}^{-1}$ . O método de combustão seca, além de ser mais preciso, gera menor volume de resíduos do que o de combustão úmida, e não utiliza o Cromo como reagente, tendo, portanto, um impacto ambiental bem menor.

**Tabela 4:** Teores  $C_{cs}$  e  $C_{wb}$  e suas respectivas razões para solo inteiro em profundidade.

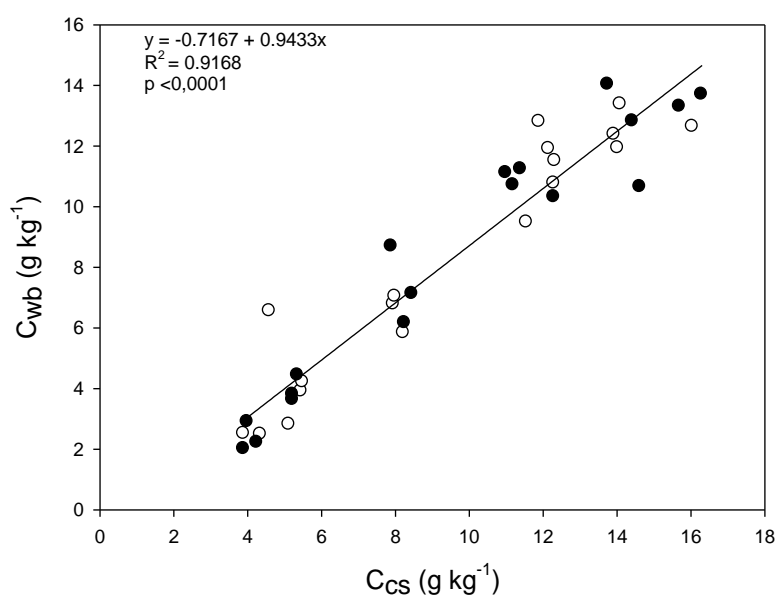
Tratamento	Prof. cm	PC			PD		
		$C_{cs}$ ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$C_{wb}$ ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$C_{wb}/C_{cs}$	$C_{cs}$ ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$C_{wb}$ ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$C_{wb}/C_{cs}$
T	0-5	16,3 <sup>ns</sup>	13,7 <sup>ns</sup>	0,8	14,0 <sup>ns</sup>	12,0 <sup>ns</sup>	0,9
	5 10	14,1	12,8	0,9	11,9	12,8	1,1
	10 15	11,4	11,3	1,0	11,5	9,5	0,8
	30-40	8,2	6,2	0,8	7,9	6,8	0,9
	50-75	5,2	3,8	0,7	5,4	3,9	0,7
	75-100	4,3	2,2	0,5	4,4	2,5	0,6
LG	0-5	15,7 <sup>ns</sup>	13,3 <sup>ns</sup>	0,9	13,9 <sup>ns</sup>	12,4 <sup>ns</sup>	0,9
	5 10	13,7	14,1	1,0	12,1	11,9	1,0
	10 15	10,9	11,1	1,0	12,3	11,5	0,9
	30-40	7,8	8,7	1,1	8,0	7,1	0,9
	50-75	5,0	4,5	0,9	5,5	4,2	0,8
	75-100	4,0	2,9	0,7	5,1	2,8	0,6
LGPC	0-5	15,1 <sup>ns</sup>	10,7 <sup>ns</sup>	0,7	16,0 <sup>ns</sup>	12,7 <sup>ns</sup>	0,8
	5 10	11,8	10,7	0,9	14,1	13,4	1,0
	10 15	11,3	10,3	0,9	12,3	10,8	0,9
	30-40	8,5	7,2	0,8	8,2	5,9	0,7
	50-75	5,2	3,7	0,7	4,6	6,6	1,4
	75-100	3,9	2,0	0,5	3,9	2,5	0,7

ns: não significativo a teste de tukey a  $p < 0,05$ . Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

Em função da subestimação do teor de C pelo método Wakley-Black, a forma de C determinado por essa técnica pode ser denominada de “C prontamente oxidável” (Conyers et al., 2011). A oxidação parcial da MOS pela combustão úmida pode ser atribuída à presença de formas quimicamente recalcitrantes e/ou devido à proteção da MOS por interações organo-minerais

(Skjemstadt & Taylor, 1999; Carmo et al., 2001; Gatto et al., 2009; Fernandes et al., 2015; Sato et al., 2014).

A razão  $C_{WB}/C_{CS}$  na camada 0-5 cm variou 0,84 a 0,89 nos tratamentos T e LG e de 0,71 a 0,79 nos tratamentos com LGPC (Tabela 4). Possivelmente a fração particulada que costuma ocorrer nessa camada superficial em maior proporção do que no resto do perfil não é atacada pelo método WB (Conceição et al., 2008). A partir da profundidade de 0-5 cm, a razão  $C_{WB}/C_{CS}$ , tende em geral, a diminuir em profundidade e o menor valor em todos os tratamentos ocorre em 75-100 cm (Tabela 4).



**Figura 3.** Relação entre os teores ( $C_{cs}$ ) e o ( $C_{wb}$ ), em Argissolo Amarelo distrófico nos tratamentos PC-T, PC-LG, PC-LGPC, PD-T, PD-LG e PD-LGPC ao longo do perfil. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

Esse resultado pode ser associado ao aumento da estabilização da MOS via interação organo-mineral com o aumento do teor de argila (Tabela 2), bem como ao aumento do grau de humificação já discutido pela razão C/N. Bayer et al. (2002) obtiveram uma relação com MOS associada aos minerais, indicando que grau de humificação avançado é provavelmente devido à interação organo-mineral. Também foi observado em Latossolos de textura média em ambientes de clima tropical e subtropical, a estabilização da MOS em profundidade associada à interação organo-mineral (Dick et al., 2005).

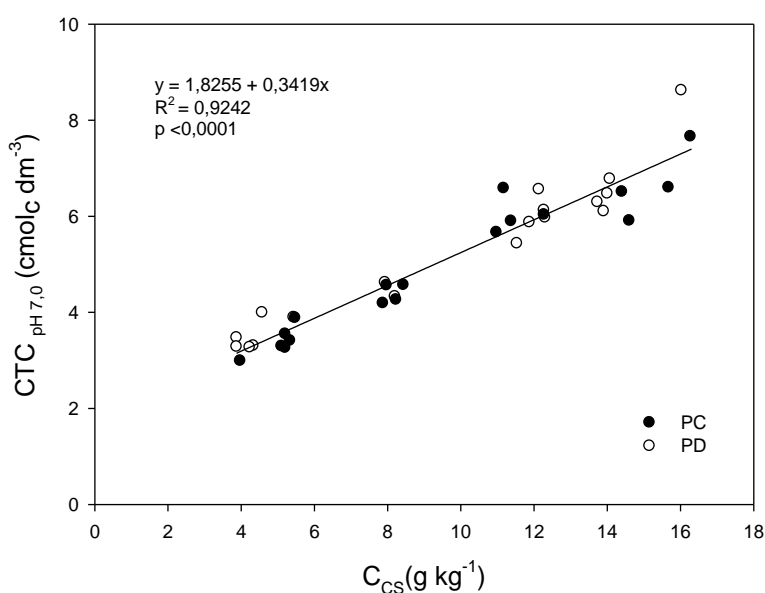
### 3.3. Relação entre matéria orgânica e capacidade de troca catiônica (CTC)

A CTC a pH 7,0, que informa sobre a capacidade máxima de troca catiônica a pH 7,0, variou de 5,0 a 8,6  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  na camada 0-5 cm e de 2,9 a 3,5  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  na camada de 75 a 100 cm (Tabela 2). Esses valores de CTC indicam que para este tipo de solo tropical de textura média, com intemperismo avançado e com baixa densidade de carga superficial, a retenção de cátions é baixa.

A correlação linear entre  $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$  e  $C_{\text{CS}}$  foi positiva ( $R^2 = 0,9242$ ) (Figura 4), evidenciando que neste solo arenoso a MOS é o principal responsável pela CTC. A contribuição relevante da MOS para a CTC em solos de textura arenosa (Yusoff et al., 2017; Jiang et al., 2018), bem como em solos de avançado estágio de intemperismo tem sido reportada na literatura (Ciotta et al., 2003; Souza et al., 2007).

Não foi verificado efeito dos tratamentos na CTC pH7,0 no presente estudo. Esse resultado era esperado uma vez que não houve efeito do sistema de preparo e manejo de culturas e de adubação no teor de C.

A contribuição da fração mineral para a CTC foi de 1,83  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , que é inferior à contribuição da MOS que variou de 2,5 a 7,5  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . A variação de uma unidade de C ( $\text{g kg}^{-1}$ ) promove uma variação de 0,34  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  na CTC (Figura 4).



**Figura 4.** Relação entre o teor  $C_{\text{CS}}$  e  $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ , em Argissolo Amarelo distrófico nos tratamentos PC-T, PC-LG, PD-T, PD-LG e PD-LGPC ao longo do perfil. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

### 3.4. Assinatura isotópica $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ do solo

A assinatura isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  na camada 0-5 cm variou de -27,10‰ a -23,62‰ (Tabela 5). Esses valores indicam contribuição de resíduos originários de vegetação de metabolismo  $\text{C}_3$  (floresta e leguminosas) nesses ambientes (Vogts et al., 2009). Na área de Floresta Nativa e nos tratamentos PC-T e PD-T,  $\delta^{13}\text{C}$  da camada de 75-100 cm variou de -25,95‰ a -22,53‰, representando um aumento de 1 a 2,6 unidades. Essa variação em profundidade é devido à discriminação da decomposição microbiana que enriquece a MOS em  $^{13}\text{C}$  (Marshall et al., 2007) e indica que na área de T, tanto os resíduos da cultura do milho como o de gramínea presente no solo sob cultivo (ambos  $\text{C}_4$ ) pouco afetaram a composição da MOS após 10 anos de manejo.

Já para os tratamentos com LGPC,  $\delta^{13}\text{C}$  aumentou para -22,20 e -20,52 ‰ na camada de 75 a 100 cm representando um aumento de ordem de 4,9 a 5,9 unidades. Nesse caso, além da discriminação microbiana, está ocorrendo contribuição de resíduos vegetais de milho (planta  $\text{C}_4$ ) levando ao enriquecimento de  $^{13}\text{C}$ . O comportamento diferente entre tratamentos PC-LGPC e PD-LGPC e T se deve à maior produtividade de milho em LGPC ( $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) em relação à da Testemunha (sem produtividade), acarretando maior aporte de resíduos dessa cultura e consequente maior contribuição para a composição da MOS. Devido à elevada precipitação e textura arenosa do solo, essas estruturas são lixiviadas para camadas mais profundas e são estabilizadas via interação organo-minerais e/ou auto-associação da MOS humificada.

O  $\delta^{15}\text{N}$  variou de 5,52 a 31,0 ‰ e os maiores valores foram observados no solo sob floresta nativa (Tabela 5), indicando que nesse ambiente a proporção do isótopo  $^{15}\text{N}$  é maior do que nos outros ambientes estudados. Essa razão isotópica é usualmente empregada em estudos da dinâmica de N, em que a proporção do isótopo  $^{15}\text{N}$  no solo é comparada com a proporção do  $\text{N}_2$  atmosférico (Nadelhoffer & Fry, 1994). Portanto, os resultados de  $\delta^{15}\text{N}$  do solo sob floresta podem ser um indicativo de uma menor taxa de mineralização de N em comparação aos outros ambientes estudados (Zaccone et al., 2011).

Nas duas profundidades analisadas, os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  sob PD são sempre maiores do que os respectivos no sistema PC, sugerindo que no



manejo conservacionista ocorre uma ciclagem mais intensa de N, e conseqüente enriquecimento do isótopo mais pesado. Com exceção do tratamento LGPC do manejo PC, ocorreu um aumento de  $\delta^{15}\text{N}$  em profundidade (Tabela 5) e isso deve-se provavelmente ao maior grau de decomposição da MOS em profundidade em relação à superfície levando ao enriquecimento de  $^{15}\text{N}$  (Zaccone et al., 2011). Essa interpretação é corroborada pela menor razão C/N da camada 75-100 cm em comparação à da superfície, como pode ser constatado na Tabela 3.

**Tabela 5.** Assinaturas isotópicas  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  do solo nas camadas de 0-5 e 75-100 cm do solo inteiro.

Manejo	Tratamentos	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
<b>0-5 cm</b>			
Referência	Floresta	-26,35	14,0
PC	T	-26,16	7,56
	LGPC	-27,10	5,97
PD	T	-23,62	11,5
	LGPC	-26,46	10,7
<b>75-100 cm</b>			
Referência	Floresta	-23,95	31,0
PC	T	-25,15	14,58
	LGPC	-22,20	5,52
PD	T	-22,53	16,9
	LGPC	-20,52	25,6

Floresta: solo sob floresta amazônica; legenda dos tratamentos na Tabela 2.

### 3.5. Fração menor que 250 $\mu\text{m}$ : proporção e teores de C e N

A proporção de  $F_{250}$  variou 12,1 a 23, 8% da massa do solo (Tabela 6). Esses valores são bem inferiores à soma dos teores de argila e silte (Tabela 2), e, portanto, no peneiramento a seco, agregados formados por partículas de argila, silte e areia fina permanecem na peneira. Em todos os tratamentos analisados  $F_{250}$  diminui em profundidade atingindo valores entre 12 e 18 % na camada 75-100 cm. Esses resultados sugere que com o aumento do teor de argila em profundidade ocorre maior formação de agregados. Interessante observar que até a profundidade de 15 cm, a proporção de  $F_{250}$  é menor nos tratamentos sob PD em comparação aos tratamentos sob PC, e esse comportamento pode ser associado ao menor revolvimento sob PD que favorece a agregação.

O teor de C na fração  $F_{250}$  ( $C_{F250}$ ) variou de 5,94 a 30,80 g kg<sup>-1</sup> e o de N ( $N_{F250}$ ) de 0,44 a 2,35 g kg<sup>-1</sup>, não diferindo entre tratamentos (Tabela 6). Nos tratamentos sob PC, a contribuição do  $C_{F250}$  para o C do solo inteiro ( $C_{F250}/C_{CS}$ ) variou de 0,5 em superfície a 0,2 em profundidade, enquanto nos tratamentos sob PD essa razão variou entre 0,3 e 0,2 (Tabela 6). Esses resultados sugerem que nos tratamentos sob PD, a MOS participa de maneira mais relevante na agregação do que sob PC. Também o fato da maior contribuição de  $C_{F250}$  em relação ao  $C_{CS}$  em superfície pode estar relacionado à presença da fração particulada. A relação C/N da fração  $F_{250}$  variou entre 12,3 e 15,7 (Tabela 4), não diferindo dos valores obtidos para o solo inteiro numa dada camada e tratamento.

O método do peneiramento a seco foi eficiente em concentrar o material orgânico uma vez que houve enriquecimento de aproximadamente duas vezes nos teores de  $C_{F250}$  e  $N_{F250}$  em relação aos teores de C e N do solo inteiro (Tabela 3). Esse enriquecimento possibilitou uma maior eficiência na separação da MOS da fração mineral por meio do tratamento com HF 10 % (v/v) e conseqüentemente melhor resolução das análises espectroscópicas (Estudo II).

**Tabela 6.** Teores de C e de N e razão C/N da fração menor 250  $\mu\text{m}$ , proporção da contribuição  $C_{F250}$  em relação da fração  $F_{250}$  em relação à massa total do solo.

Tratamento	Prof. cm	$C_{F250}$ ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$N_{F250}$ ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$(C/N)_{F250}$	$C_{F250}/CCS$	$N_{F250}/NCS$	$F_{250}$ (%)
PC-T	0-5	30,8 <sup>ns</sup>	2,3 <sup>ns</sup>	13,1 <sup>ns</sup>	0,5	0,5	23,8
	5-10	29,8	2,2	13,6	0,5	0,5	21,4
	10-15	22,9	1,6	14,6	0,5	0,5	24,4
	30-40	12,2	0,8	15,7	0,3	0,3	21,0
	50-75	8,8	0,6	15,0	0,3	0,3	19,6
	75-100	6,9	0,5	14,1	0,3	0,3	18,2
PC-LGPC	0-5	25,1	1,9	13,0	0,4	0,4	22,1
	5-10	25,3	1,9	13,7	0,4	0,4	18,5
	10-15	22,3	1,6	13,9	0,3	0,3	15,3
	30-40	16,2	1,1	15,1	0,3	0,3	14,3
	50-75	8,6	0,6	14,1	0,3	0,2	15,2
	75-100	5,9	0,5	12,5	0,2	0,2	13,8
PD-T	0-5	29,7	2,0	14,6	0,3	0,3	13,6
	5-10	24,0	1,6	14,6	0,3	0,3	13,1
	10-15	20,3	1,4	13,9	0,3	0,2	13,7
	30-40	13,1	0,9	15,0	0,2	0,3	18,3
	50-75	8,5	0,6	14,8	0,2	0,2	14,8
	75-100	6,5	0,5	13,4	0,2	0,2	14,1
PD-LGPC	0-5	29,5	2,1	13,8	0,3	0,3	14,7
	5-10	27,9	1,9	14,2	0,3	0,3	16,0
	10-15	22,5	1,6	14,1	0,3	0,2	12,9
	30-40	12,0	0,8	14,7	0,2	0,2	14,5
	50-75	8,0	0,6	14,3	0,3	0,3	14,1
	75-100	5,6	0,4	12,3	0,2	0,2	12,1

ns: não significativo pelo teste de Tukey a  $p < 0,05$  para uma dada camada entre tratamentos. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

### 3. Conclusões

O sistema conservacionista plantio direto (PD) com plantas de cobertura e a correção da acidez do solo não promoveu incremento dos teores de C e de N de Argissolo Amarelo distrófico sob clima tropical úmido após 10 anos em comparação ao sistema de preparo convencional.

A estabilização da MOS, avaliada indiretamente pela razão  $C_{WB}/C_{CS}$ , não diferiu entre os tratamentos, confirmando que o manejo pouco afeta o teor de MOS nesse solo de textura média a arenosa sob clima tropical úmido. Nesse tipo de solo, a MOS é o principal fator do solo que promove a CTC.

O sistema de preparo do solo não afetou a composição isotópica da MOS, devido provavelmente à rápida ciclagem dos resíduos vegetais nesse ambiente. Porém, independente do sistema de preparo, o tratamento LGPC apresentou um enriquecimento em  $^{13}\text{C}$  em profundidade.

## **CAPITULO IV– COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM ARGISSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO**

### **1. Introdução**

O estudo da composição da matéria orgânica do solo (MOS) pode ser limitado quando feito apenas com base nos teores de C e N. A heterogeneidade e complexidade da MOS demanda o uso de técnicas e informações mais específicas para sua caracterização mais detalhada, como o uso de técnicas espectroscópicas e marcadores moleculares (Wiesenberg et al., 2004b; Abreu et al., 2009). Essas técnicas vêm sendo empregadas em amostras de solo inteiro e de seus compartimentos químicos e físicos para caracterizar a MOS em sistemas de cultivo e ambientes naturais (Dick et al., 2008; Wiesenberg et al., 2010; Hanke & Dick et al., 2017).

O uso dessas técnicas tem permitido observar as alterações na composição e origem da MOS nos principais sistemas de cultivo, reforçando a identificação dos efeitos benéficos promovidos pelos sistemas conservacionistas para a MOS (Dieckow et al., 2005). O efeito do plantio direto (PD) na composição química da MOS em ambiente de clima tropical e subtropical em preservar uma MOS menos decomposta, já foi relatado por alguns estudos (Milorí et al., 2006; Dieckow et al., 2009). No entanto, informações sobre os efeitos do sistema PD na composição química da MOS em solos de textura arenosa a média em clima tropical úmido no bioma amazônico ainda são escassas.

Considerando que a Amazônia é o maior bioma brasileiro e que a expansão agrícola nessa área (seja por vias legais ou ilegais) tem avançado nos últimos anos (Rittl et al., 2017), o conhecimento sobre os mecanismos de estabilização da MOS nesse ambiente, são extremamente importantes.

Nos estudos de composição e origem da MOS, os lipídios do solo destacam-se como excelentes biomarcadores, podendo-se inferir a partir de sua distribuição sobre a contribuição das fontes vegetais e microbianas para a composição química da MOS (Wiesenberg et al., 2004b; Sristava & Wiesenberg, 2018). A fração lipídica é composta por substâncias orgânicas insolúveis em água e passíveis de serem extraídas com solventes orgânicos. Em geral lipídios do solo herdados de plantas possuem maior proporção de *n*-alcanos de cadeia longa, enquanto que os derivados de microrganismos se caracterizam por apresentar maior proporção de *n*-alcanos de cadeia curta (Wiesenberg et al., 2010; Wang et al., 2014).

A partir da relação dos índices de preferência de carbono (IPC) para cadeia curta e longa, é uma relação entre a abundância de *n*-alcanos com número ímpar de C e a abundância *n*-alcanos com número par de C. É possível identificar a contribuição de material vegetal herdado da vegetação ou contribuição de produto de atividade microbiana. Os lipídios herdados de plantas apresentam predomínio de  $IPC > 1,0$ , enquanto herdados de produto microbianos apresentam  $IPC < 1,0$  (Wiesenberg et al., 2004b; Wiesenberg et al., 2010).

Wiesenberg et al. (2010) constataram em Cambissolo sob clima temperado e cultivado com trigo, que os alcanos herdados de planta ( $IPC_L > 1,0$ ) ocorreram principalmente na fração leve oclusa e a fração mineral, o que foi atribuído a proteção dessas estruturas via adsorção. Os lipídios de menor cadeia, derivados de combustão incompleta da vegetação, por sua vez, foram mais abundantes na fração particulada leve livre em solo sob floresta de clima temperado, a predominância de *n*-alcanos de cadeia longa ( $C_{29}$  e  $C_{31}$ ), foi atribuída a maior contribuição de estruturas lipídicas herdadas de resíduo vegetal fresco pouco degradado (Sristava & Wiesenberg, 2018).

Na região norte do país (última fronteira agrícola do Brasil), onde predominam solos de textura arenosa, informações sobre origem e a composição química da MOS são importantes para que se possa inferir sobre

sua dinâmica e estabilização. Dessa forma o objetivo desse estudo foi investigar o efeito do sistema plantio direto com planta de cobertura e correção da acidez do solo, em comparação ao plantio convencional, na composição química da MOS em solo de textura arenosa à média sob clima tropical úmido.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Área de estudo, amostragem e preparo das amostras**

As informações referentes ao experimento de campo e procedimento de coleta e preparo das amostras de solo estão descritas no Estudo I (Material e Métodos).

### **2.2. Desmineralização das amostras com solução de HF 10% (v/v)**

A determinação da composição química da MOS foi realizada em amostras de solo da  $F_{250}$  (Equação 1, no estudo I) que foram agrupadas formando uma amostra composta. A desmineralização das amostras foi realizada segundo Gonçalves et al. (2003), visando eliminar elementos paramagnéticos que podem interferir na espectroscopia de RMN de  $^{13}\text{C}$ , e concentrar o C das amostras. Em uma massa de 2 g de cada amostra foram adicionados 30 mL de solução de HF 10 % (v/v). A suspensão foi agitada por 2 horas em agitador mecânico horizontal e a seguir centrifugada (10 minutos, 1118 g). Após descarte adequado do sobrenadante, o procedimento foi repetido três a quatro vezes até o resíduo tornar-se escuro. Ao final do procedimento, o resíduo sólido contendo a matéria orgânica concentrada ( $\text{MOS}_{\text{HF}}$ ) foi lavado três vezes com água destilada e secado em estufa a 60 °C.

### **2.3. Espectroscopia de Infra-Vermelho com transformada de Fourier**

As amostras de  $\text{MOS}_{\text{HF}}$  foram analisadas por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) (Shimadzu 8300), em pastilhas de KBr (1:100), empregando-se 32 *scans* e uma resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$  no intervalo espectral de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

Os espectros foram interpretados segundo Tan (1996) e Dick et al. (2003), permitindo identificar os principais grupos funcionais orgânicos que compõem estas frações da MOS.

#### **2.4. Espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de $^{13}\text{C}$ - estado sólido ( $^{13}\text{C}$ RMN CP/MAS)**

Os espectros de  $^{13}\text{C}$  RMN CP/MAS no estado sólido das amostras de  $\text{MOS}_{\text{HF}}$  da  $F_{250}$  foram obtidos em espectrômetro *Agilent Technologies*, modelo DD2 com frequência de ressonância 125.7 MHz. As medidas foram realizadas com tempo de contato de 1 ms, largura do pulso de  $^1\text{H}$  de 2,9  $\mu\text{s}$  e intervalo entre pulsos de 100 a 200 ms, número de *scans* em torno de 50.000, tempo de aquisição 2h54 min e giro 10 KHz.

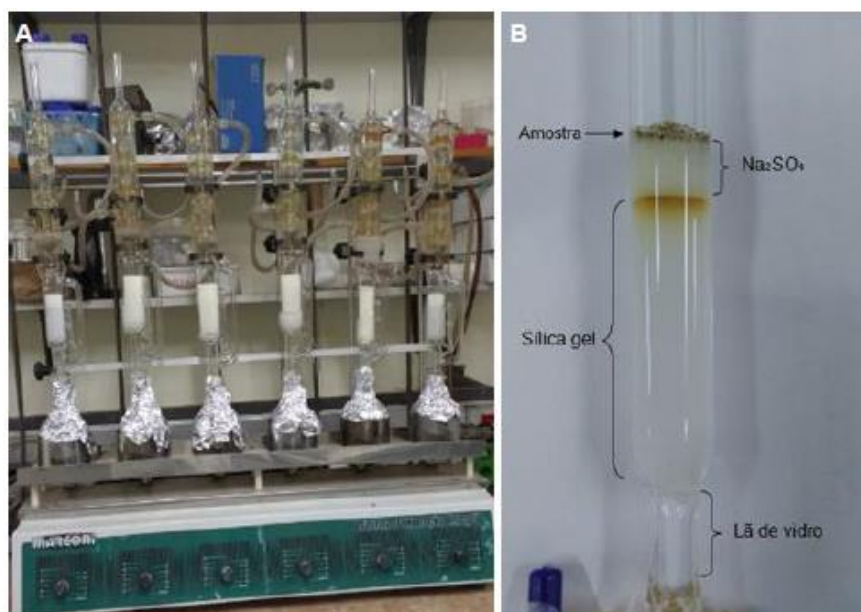
Os espectros obtidos foram interpretados segundo Knicker et al. (1995) e as principais regiões e atribuições identificadas foram: 0–45 ppm, atribuída a grupos C-alquil; 45–60 ppm, atribuída a N-O-alquil/C-metoxil; 60–90 ppm, atribuída a C-O-Alquil; 90–110 ppm, atribuída aos grupos de C- di-O-alquil; 110–140 ppm, atribuída ao C-aromático não susbtituído; 140–160 ppm, atribuída aos grupos O-aril; 160–185 ppm, atribuída a C-carboxil, e 185–220 ppm, atribuída a C-carbonil. A intensidade relativa (%) do sinal de cada grupo funcional foi obtida por integração da respectiva região espectral, por meio do *software* Mestrenova® e com base nessa proporção foi calculado o índice C-alquil (0-45 ppm) / C-O-alquil (45-110 ppm), que permite inferir sobre o grau de decomposição da MOS (Baldock et al., 1997).

#### **2.5. Extração dos lipídios livres**

Para determinação dos lipídios foram selecionadas amostras compostas do solo inteiro das profundidades 0-5, 5-10, e 75–100 cm. Para esse procedimento foram retiradas alíquotas de solo de mesmo volume das três repetições e misturadas em proporções equivalentes

A extração dos lipídios foi realizada por extração em *Soxhlet* (Figura 5A), utilizando solução de diclorometano/metanol, grau HPLC, na proporção de 3:1 (v/v), por 24 horas (Wiesenberg et al., 2004a). O material utilizado internamente ao *Soxhlet* (algodão, pedras de ebulição e cobre) foi previamente extraído por 24 horas com solução diclorometano/metanol objetivando evitar a contaminação das amostras de solo.





**Figura 5.** (A) Sistema de extração Soxhlet. (B) Coluna de Cromatografia líquida preparativa. Fonte: (Martins, 2017)

Em razão do baixo teor de C presente nas amostras de solo, foi utilizada a quantidade máxima de solo que coube no cartucho de celulose, aproximadamente 30 g por cartucho. Nos balões do *Soxhlet* foram adicionados fios metálicos de cobre para remoção do enxofre elementar que possa por ventura estar presente na amostra, juntamente com pedras de porcelana para auxiliar na ebulição. Após 24h, os extratos obtidos foram concentrados ao volume de 1 mL em evaporador rotativo e então transferidos para frascos de vidro âmbar. Em capela de fluxo laminar, o solvente foi evaporado até o extrato atingir peso constante para cálculo do rendimento da extração:

$$\text{Extrato lipídico (mg g}^{-1} \text{ solo)} = \text{massa lipídica (mg)} / \text{massa de solo (g)}$$

### 2.5.1. Cromatografia líquida preparativa

Na cromatografia líquida preparativa à pressão atmosférica procedeu-se o fracionamento da amostra para obtenção das frações de interesse: hidrocarbonetos alifáticos saturados (*n*-alcanos) e hidrocarbonetos aromáticos. Para preparação da coluna de fracionamento, utilizou-se sílica gel (ativada a 200 °C por 3 horas), sulfato de sódio anidro (ativado a 400 °C por 14h) e lã de vidro, previamente extraída com diclorometano/metanol grau HPLC.

A coluna de fracionamento foi preparada em uma coluna de vidro de 1 cm de diâmetro, à qual foi adicionada lã de vidro suficiente para cobrir a base

e adicionados 5 mL de hexano grau HPLC, e acrescentada sílica gel lentamente até completar 4 cm na coluna. Em seguida adicionou-se 1 cm de sulfato de sódio anidro (Figura 5B).

Finalizada a montagem da coluna, adicionou-se a amostra extraída que havia sido re-solubilizada em diclorometano grau HPLC e em seguida foram adicionados 20 mL de hexano grau HPLC. Após 2 min, a fração eluída de *n*-alcanos foi recolhida em balão volumétrico de 100 mL. A seguir foi adicionada a mistura hexano/tolueno (3:2) para separação de hidrocarbonetos aromáticos, a qual foi recolhida em balão volumétrico de 100 mL. As amostras das duas frações foram concentradas em evaporador rotativo, nessa etapa as amostras foram transferidas para *vials* cromatográficos, e evaporadas até atingir pesos constantes em capela de fluxo laminar e em seguida para cálculo do rendimento das frações.

$$n\text{-alcanos (mg mg}^{-1}\text{)} = \text{massa } n\text{-alcanos (mg)} / \text{massa lipídica (mg)};$$

$$\text{aromáticos (mg mg}^{-1}\text{)} = \text{massa aromáticos (mg)} / \text{massa lipídica (mg)};$$

### **2.5.2. Cromatografia gasosa acoplada a espectrômetro de massa**

As amostras extraídas foram analisadas em cromatógrafo gasoso com espectrômetro de massa acoplado (GC-MS) Agilent (modelo 5975C), equipado com coluna HP5-MS (30m x 0,25mm x 25  $\mu$ m) e injetor automático. O gás Hélio (99,999%) foi utilizado como gás de arraste a 1 mL min<sup>-1</sup>. A fração dos *n*-alcanos foi analisada no modo de varredura de íons, sob as seguintes condições de análise: injeção de 1  $\mu$ L no modo *splitless*, temperatura do injetor e interface de 300°C e forno a 40°C por um minuto, seguido de taxa de aquecimento de 8°C min<sup>-1</sup> até 300°C com isoterma de 17 min. A fração de hidrocarbonetos aromáticos foi analisada sob as seguintes condições: injeção de 1  $\mu$ L no modo *splitless*, temperatura do injetor e interface de 290°C e forno a 40°C por um minuto, seguido de taxa de aquecimento de 6°C min<sup>-1</sup> até 290°C, com isoterma de 20 min.

A identificação dos *n*-alcanos foi realizada a partir do estudo dos cromatogramas de massa *m/z* 71. Os íons moleculares obtidos nos espectros de massa e o composto de origem relacionado estão listados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Lista dos *n*-alcanos identificados no cromatograma de massa do íon *m/z* 71 da fração hidrocarbonetos alifáticos e seus correspondentes íons moleculares.

Composto	Íon molecular	Composto	Íon molecular
<i>n</i> -C <sub>18</sub>	254	<i>n</i> -C <sub>26</sub>	366
<i>n</i> -C <sub>19</sub>	268	<i>n</i> -C <sub>27</sub>	380
<i>n</i> -C <sub>20</sub>	282	<i>n</i> -C <sub>28</sub>	394
<i>n</i> -C <sub>21</sub>	296	<i>n</i> -C <sub>29</sub>	408
<i>n</i> -C <sub>22</sub>	310	<i>n</i> -C <sub>30</sub>	422
<i>n</i> -C <sub>23</sub>	324	<i>n</i> -C <sub>31</sub>	436
<i>n</i> -C <sub>24</sub>	338	<i>n</i> -C <sub>32</sub>	450
<i>n</i> -C <sub>25</sub>	352	<i>n</i> -C <sub>33</sub>	464

A partir dos dados obtidos foram calculados os seguintes índices moleculares para diferenciar a contribuição de matéria orgânica derivada de microrganismos e plantas (Wiesenber et al., 2010).

a) Comprimento médio da cadeia (CMC) descrito pela fórmula

$$[(\sum znxn)/\sum zn]$$

Onde *zn* é quantidade relativa de *n*-alcano

b) Índice de preferência de carbono (IPC) ( $\sum C_{\text{ímpar}}/\sum C_{\text{par}}$ ) para cadeia curta (IPC<sub>C</sub>) e para cadeia longa (IPC<sub>L</sub>):

$$IPC_C = [(\sum C_{17-21})/(\sum C_{18-20}) + (\sum C_{17-21})/(\sum C_{18-22})] \times 0,5;$$

$$IPC_L = [(\sum C_{23-29})/(\sum C_{24-26}) + (\sum C_{23-29})/(\sum C_{24-26})] \times 0,5$$

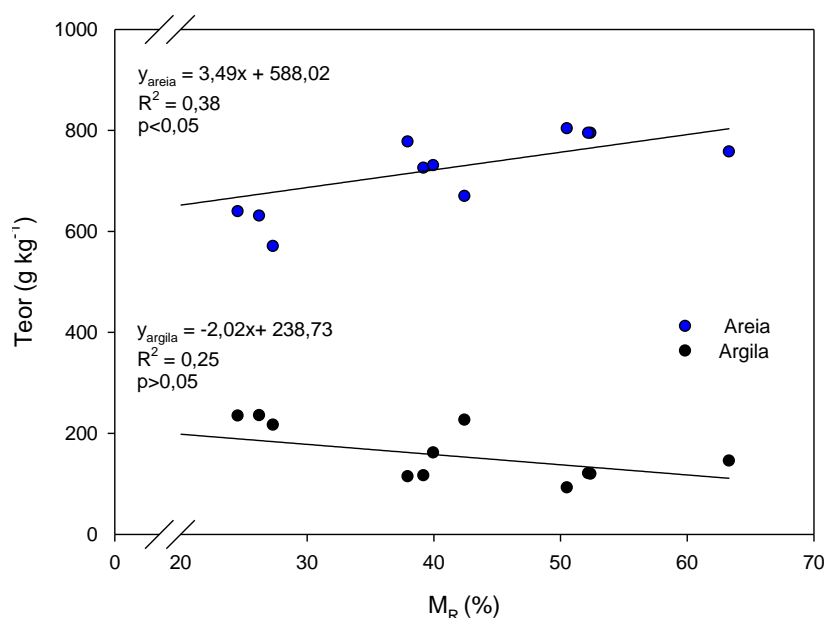
c) Razão entre cadeia curta e longa

$$R_{C/L} = (\sum C_{17-22}/\sum C_{23-29})$$

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Composição química da MOS avaliada por espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

A massa recuperada ( $M_R$ ) após o tratamento com HF 10% variou de 19 a 63 diminuindo em profundidade (Apêndice 2). A correlação significativa ( $p < 0,05$ ) entre o teor de areia, onde  $M_R$  (Figura 6) indica que parte da fração areia não foi solubilizada pelo tratamento com HF 10%. A  $M_R$  não apresentou correlação inversa significativa com o teor de argila (Figura 6), conforme foi constatada em solos argilosos subtropicais em geral a recuperação de massa é baixa em torno de 2 a 14% em função do alto teor de argila (Reis, 2014).

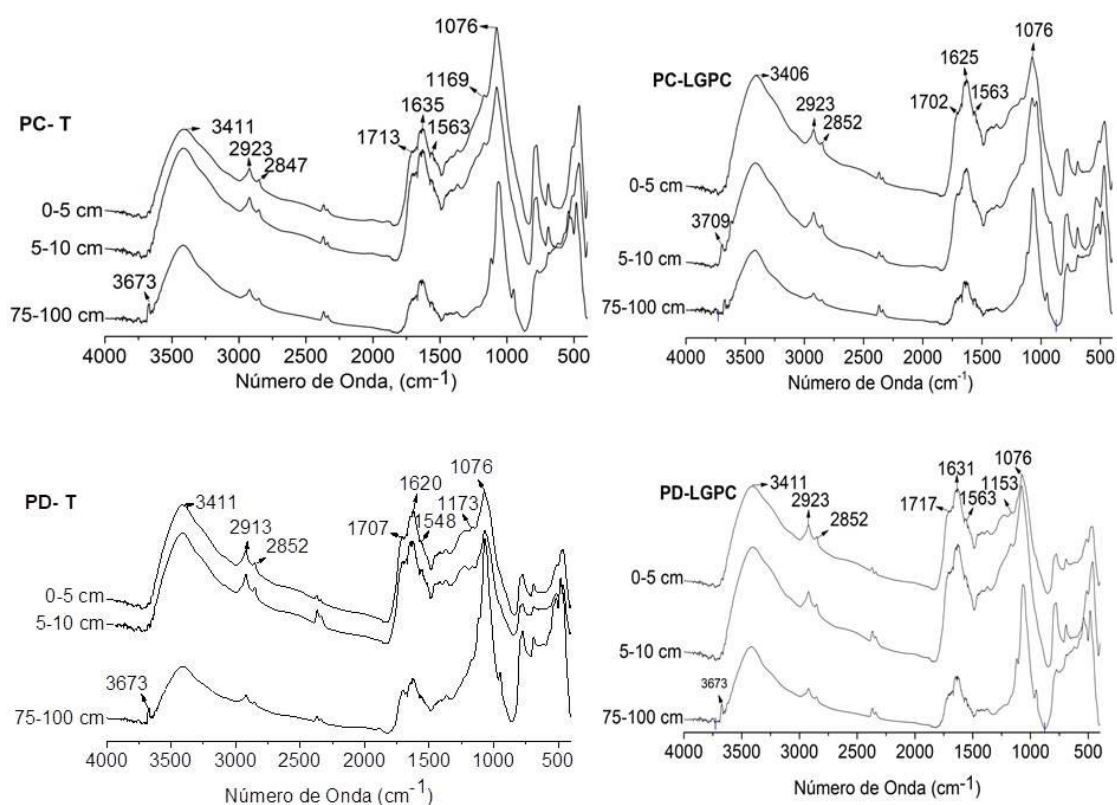


**Figura 6.** Relação entre os teores de areia e argila e massa recuperada ( $M_R$ ), de um Argissolo nos tratamentos PC-T, PC-LG, PC-LGPC, PD-T, PD-LG e PD-LGPC. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

Os espectros de FTIR da  $MOS_{HF}$  da  $F_{250}$  apresentaram o mesmo padrão em todos os tratamentos (Figura 7). As principais bandas observadas e suas respectivas atribuições foram: bandas em  $3709$  e  $3673\ cm^{-1}$ , atribuídos às ligações Si-OH devido à contaminação de material inorgânico; bandas de  $3411$  e  $3406\ cm^{-1}$  atribuídas ao estiramento O-H em ligação de H; bandas de  $2923$  e  $2852\ cm^{-1}$  que são atribuídas aos estiramentos dos grupos C-H alifáticos;  $1717$  e  $1702\ cm^{-1}$  atribuídas ao estiramento C=O de carboxila;  $1620$  e  $1635\ cm^{-1}$

atribuídas à vibração C=C de grupos aromáticos em sobreposição à banda da água do retículo cristalino; bandas em 1548 e 1563  $\text{cm}^{-1}$  referente à deformação N-H e ao estiramento C=N, e bandas em 1173 e 1076  $\text{cm}^{-1}$  correspondem às vibrações do Si-O de estruturas silicatadas precipitadas durante tratamento com HF 10%.

Por interferência desse produto inorgânico de Si-O não foi possível inferir sobre as proporções das intensidades relativas, e o índice de aromaticidade dos grupos funcionais da matéria orgânica. Essa contaminação das estruturas silicatadas que reprecipitam durante o tratamento com HF 10% também foi observada em amostras de Neossolo Litólico com elevado teor de silte em estudo realizado por Potes et al. (2010).



**Figura 7.** Espectros de FTIR da MOSHF da F<sub>250</sub> de um Argissolo Amarelo distrófico nos tratamentos PC-T, PC-LGPC, PD-T e PD-LGPC. Legenda dos tratamentos Tabela 2.

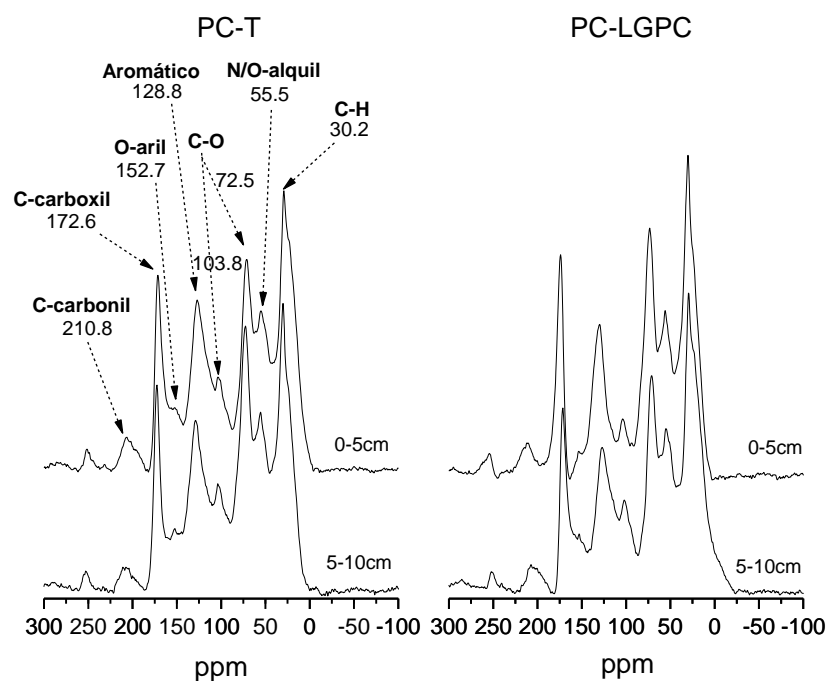
### 3.2. Composição química da MOS avaliada por espectroscopia de $^{13}\text{C}$ RMN CP/MAS

Os espectros de  $^{13}\text{C}$  RMN CP/MAS de  $\text{MOS}_{\text{HF}}$  de  $F_{250}$  dos tratamentos PC-T, PC-LGPC, PD-T e PD-LGPC (Figura 8 e 10) apresentaram mesmo padrão, diferindo na intensidade relativa dos deslocamentos químicos. As principais intensidades relativas e os grupamentos de C identificados foram grupos C-O-alquil (34 a 41 %), seguido por C-alquil (22 a 33 %), C-aromático (18 a 24 %) e C-carboxil (11 a 13 %) (Tabela 8). Esses resultados evidenciam a predominância de estruturas tipo carboidratos na MOS, apesar de sua baixa recalcitrância bioquímica. No entanto, a proporção dessas estruturas é menor do que a observada na composição química de MOS de Argissolo subtropical ( $40\% < \text{C O-alquil} < 45\%$ ), a qual apresenta comparativamente menor proporção de grupos aromáticos (em torno de 15%) (Dieckow et al., 2005). Essas diferenças na composição química da MOS podem ser relacionadas ao clima tropical quente e úmido da região amazônica que estimula o consumo de carboidratos e conseqüente acúmulo de estruturas aromáticas mais recalcitrantes, em comparação ao clima subtropical.

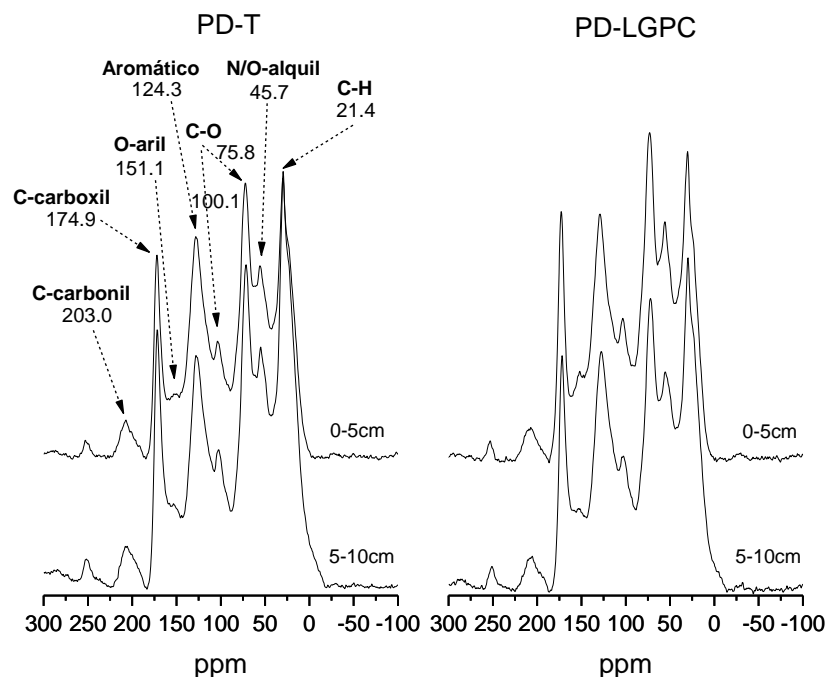
O efeito do tratamento LGPC na camada 0-5 cm se manifestou no sistema de preparo PC, em que houve diminuição dos grupos C-O-alquil e aromáticos e aumento dos grupos C-alquil. Esses resultados podem estar relacionados com o menor teor de C em PC-LGPC em relação ao de PC-T (Tabela 3 do estudo I), levando a uma diminuição das estruturas bioquimicamente lábeis sob LGPC. O aumento da razão C-alquil/C-O-alquil de PC-T para PC-LGPC indica aumento da decomposição e corrobora essa inferência. Já no sistema de preparo PD existe uma tendência de aumento de estruturas C O-alquil e diminuição de C-alquil com a implantação de LGPC. A menor razão C alquil /C O-alquil em PD LGPC em comparação à PD-T na camada 0-5 cm corrobora a menor decomposição da MOS no manejo com planta de cobertura e correção do solo.

Em comparação à camada superficial, na camada de 5-10 cm foi observada uma diminuição dos grupos C-O-alquil e aumentos expressivos dos grupos C-alquil em todos os tratamentos (Tabela 8). Adicionalmente houve aumento da razão C alquil/ C O-alquil em profundidade confirmando o maior grau de decomposição da MOS nessa camada.

Interessante observar que a razão C-alquil/C-O-alquil sob PC é sempre maior ou igual ao respectivo valor sob PD, sinalizando que o manejo PD tende a manter uma MOS menos decomposta do que em PC nessa área, concordando com os resultados observados em solos de clima subtropical (Dieckow et al., 2009).



**Figura 8.** Espectros de  $^{13}\text{C}$  RMN CP/MAS das amostras na  $F_{250}$  nos tratamentos PC-T e PC-LGPC. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.



**Figura 9.** Espectros de  $^{13}\text{C}$  RMN CP/MAS das amostras na  $F_{250}$  nos tratamentos PD-T e PD-LGPC. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

**Tabela 8.** Distribuição das intensidades relativas (%) dos grupamentos de C identificados por  $^{13}\text{C}$  RMN CP/MAS e índice C-alquil/C-O-alquil de  $\text{MOSH}_F$  da fração  $F_{250}$ .

Tratamentos	C- alquil 0-45 ppm	C- O-alquil 45-110 ppm	C- aromático 110-160 ppm	C- Carboxil 160-220 ppm	C-alquil/C- O-alquil
	%				
0-5 cm					
PC-T	26,4	41,1	21,1	11,4	0,6
PC-LGPC	30,1	37,5	18,9	13,5	0,8
PD-T	25,7	38,7	24,3	11,3	0,7
PD-LGPC	22,9	41,3	24,4	11,4	06
5-10 cm					
PC-T	30,1	34,8	22,5	12,6	0,9
PC-LGPC	33,9	34,8	19,7	11,6	1,0
PD-T	31,4	36,1	21,0	11,4	0,9
PD-LGPC	27,1	38,0	23,9	11,0	0,7

Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

### 3.3. Distribuição de Biomarcadores

O rendimento nos extratos lipídicos totais variou entre 0,61 a 54,0  $\text{mg g}^{-1}$  (Tabela 9). Em geral, esses valores são maiores do que os obtidos por



Eckemeir et al. (2009) & Wiesenberg et al. (2010) em solos agrícolas de clima temperado.

Entre os tratamentos analisado, em geral os maiores valores foram obtidos para o tratamento LGPC, o que pode ser atribuído à maior produtividade na cultura do milho que favorece maior aporte de resíduos no sistema comparativamente aos tratamentos T e LG. Em solo cultivado com leguminosa e solo cultivado gramínea, Wiesenberg et al. (2008) encontraram menor massa de extrato lipídico em solo cultivado em leguminosa devido a esse tratamento apresentar comparativamente menor produtividade. Sristava & Wiesenberg (2018) também observaram a massa de extratos lipídicos está diretamente relacionada com biomassa vegetal.

**Tabela 9.** Rendimentos dos extratos de lipídios do solo inteiro, dos hidrocarbonetos *n*-alcanos e aromáticos em amostras de solo inteiro ao longo do perfil.

Tratamentos	Extrato lipídico (mg g <sup>-1</sup> solo)	<i>n</i> -alcanos (mg mg <sup>-1</sup> )	Aromáticos (mg mg <sup>-1</sup> )
<b>0-5 cm</b>			
PC-T	1,37	0,01	0,01
PC-LG	1,13	0,00	0,00
PC-LGPC	37,86	0,00	0,00
<b>Média</b>	<b>13,45</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
PD- T	1,80	0,02	0,00
PD- LG	0,70	0,00	0,09
PD- LGPC	54,0	0,00	0,00
<b>Média</b>	<b>18,83</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>
<b>5-10 cm</b>			
PC-T	1,07	0,02	0,00
PC-LG	1,09	0,02	0,00
PC- LGPC	12,86	0,00	0,00
<b>Média</b>	<b>5,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
PD- T	1,50	0,01	0,01
PD- LG	1,13	0,00	0,02
PD- LGPC	0,32	0,00	0,01
<b>Média</b>	<b>0,98</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>75-100 cm</b>			
PC-T	0,61	0,00	0,01
PC-LG	6,21	0,00	0,00
PC- LGPC	35,85	0,00	0,00
<b>Média</b>	<b>14,22</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
PD- T	0,88	0,02	0,00
PD- LG	5,05	0,00	0,01
PD- LGPC	-	0,00	0,00
<b>Média</b>	<b>2,97</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

Os rendimentos das frações de hidrocarbonetos *n*-alcanos e de aromáticos separadamente foram muito baixos o que pode estar relacionada à manipulação da amostra na separação das frações que leva à perda considerável de material.

A distribuição de *n*-alcanos nos cromatogramas em todas as amostras de solo apresentou padrão unimodal assimétrico, com predominância de cadeias curtas ( $C_n \leq C_{22}$ ) e número máximo de C variando entre  $C_{18}$ ,  $C_{20}$  e  $C_{22}$ . Cadeias alifáticas de até  $C_{22}$  em lipídios de solos são associadas a produtos de degradação microbiana, enquanto cadeias com  $C_n \geq C_{23}$  são atribuídas a estruturas herdadas diretamente do tecido vegetal (Wiesenberg et al., 2010; Wang et al., 2017).

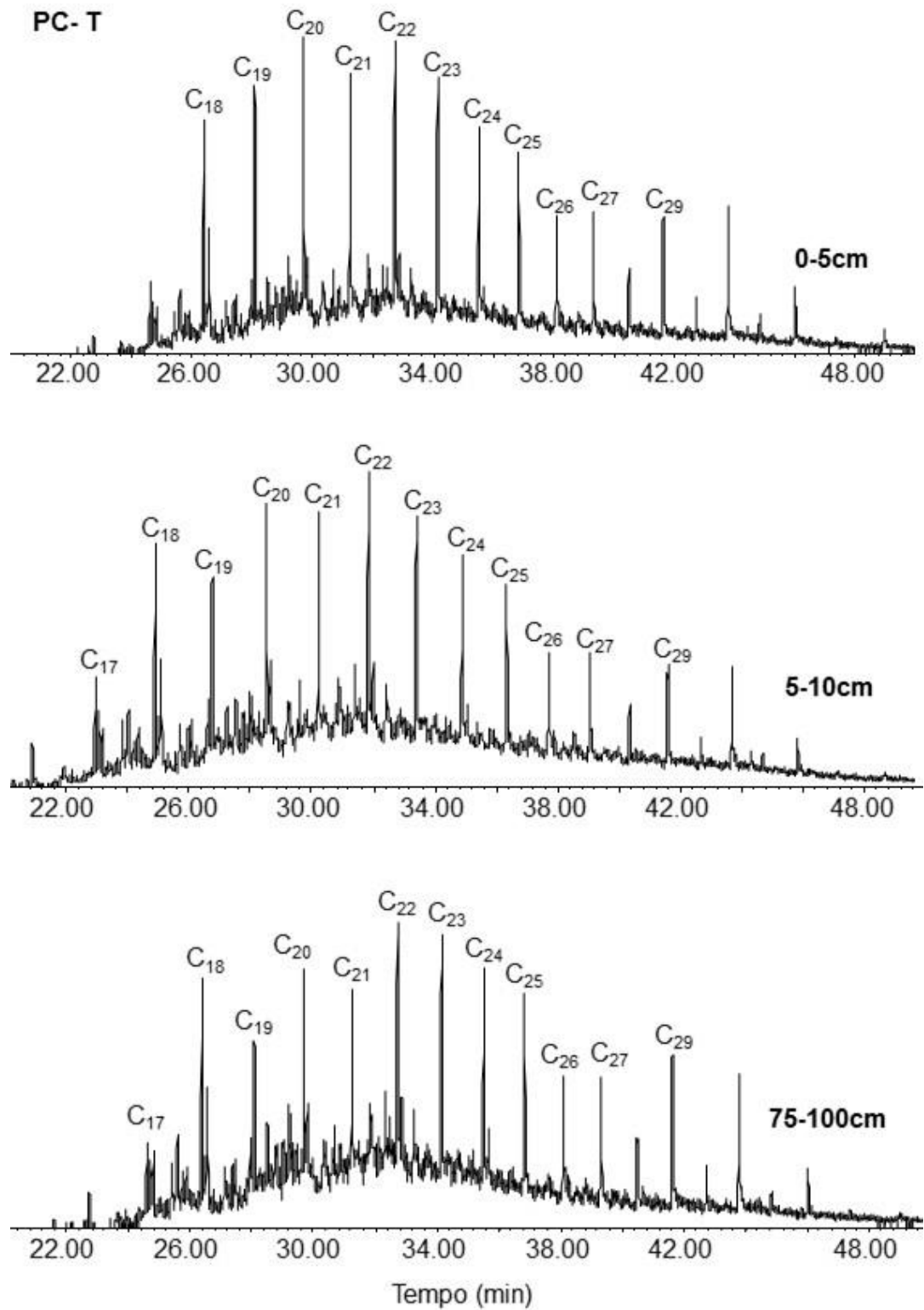
Entre os picos  $C_{25}$  e  $C_{26}$  de algumas amostras (Figuras 12a, 14b, 14c e 15b), observa-se um pico elevado que corresponde ao composto ftalato que foi extraído da embalagem plástica do acondicionamento dos solos. Como não houve sobreposição desse pico com os picos de interesse, a contaminação não prejudicou a interpretação dos dados.

O CMC situou-se em torno de 20,9 a 21,7 e não diferiu relevantemente entre as amostras estudadas (Tabela 10). Esse valor indica predominância de lipídios de origem microbiana em todas as profundidades. O clima quente e úmido da região leva à decomposição rápida do resíduo vegetal e, associado à pouco expressiva interação organo-mineral, restam principalmente lipídios de origem microbiana. Em Argissolo sob clima subtropical Veloso et al. 2019 (submetido) constataram que os lipídios presentes na fração fina do solo e, portanto, associado a interação organo-mineral é oriundo de produtos microbiano.

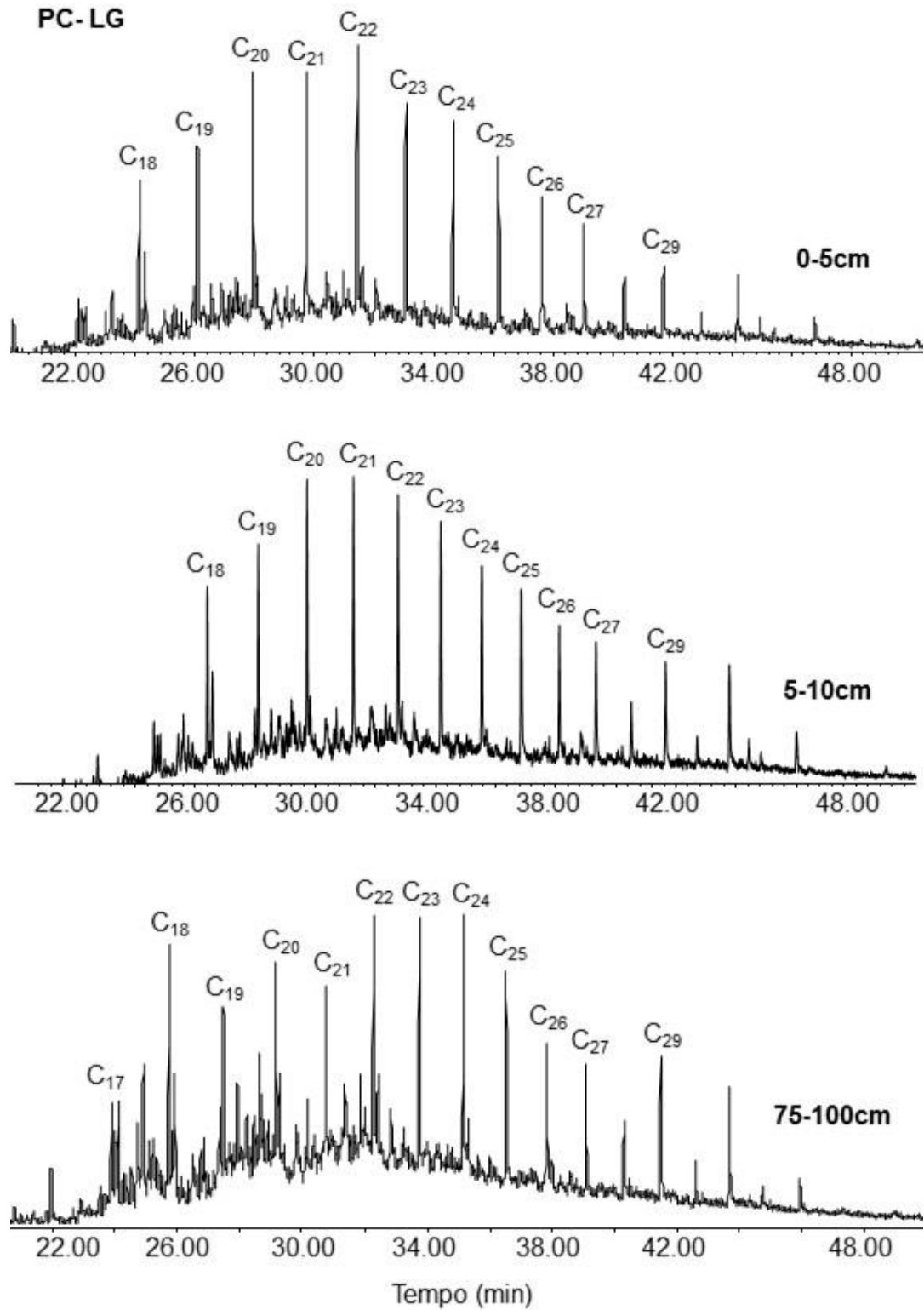
Os valores de IPC, calculado para todo o conjunto dos lipídios, variou entre 0,9 e 1,1 (Tabela 10), não discriminando as amostras quanto a sua origem e grau de degradação (Wiesenberg et al., 2008). Os lipídios oriundos de microrganismos são caracterizados pela predominância de alcanos de cadeia curta par, e sua presença é associada à incorporação de C de biomassa microbiana (Jansen et al., 2008).

A fim de analisar as duas regiões de lipídios separadamente (*n*-alcanos curtos e longos) foram calculados IPC para cadeia curta e outro para cadeia longa de *n*-alcanos, conforme recomendado por Wiesenberg et al.

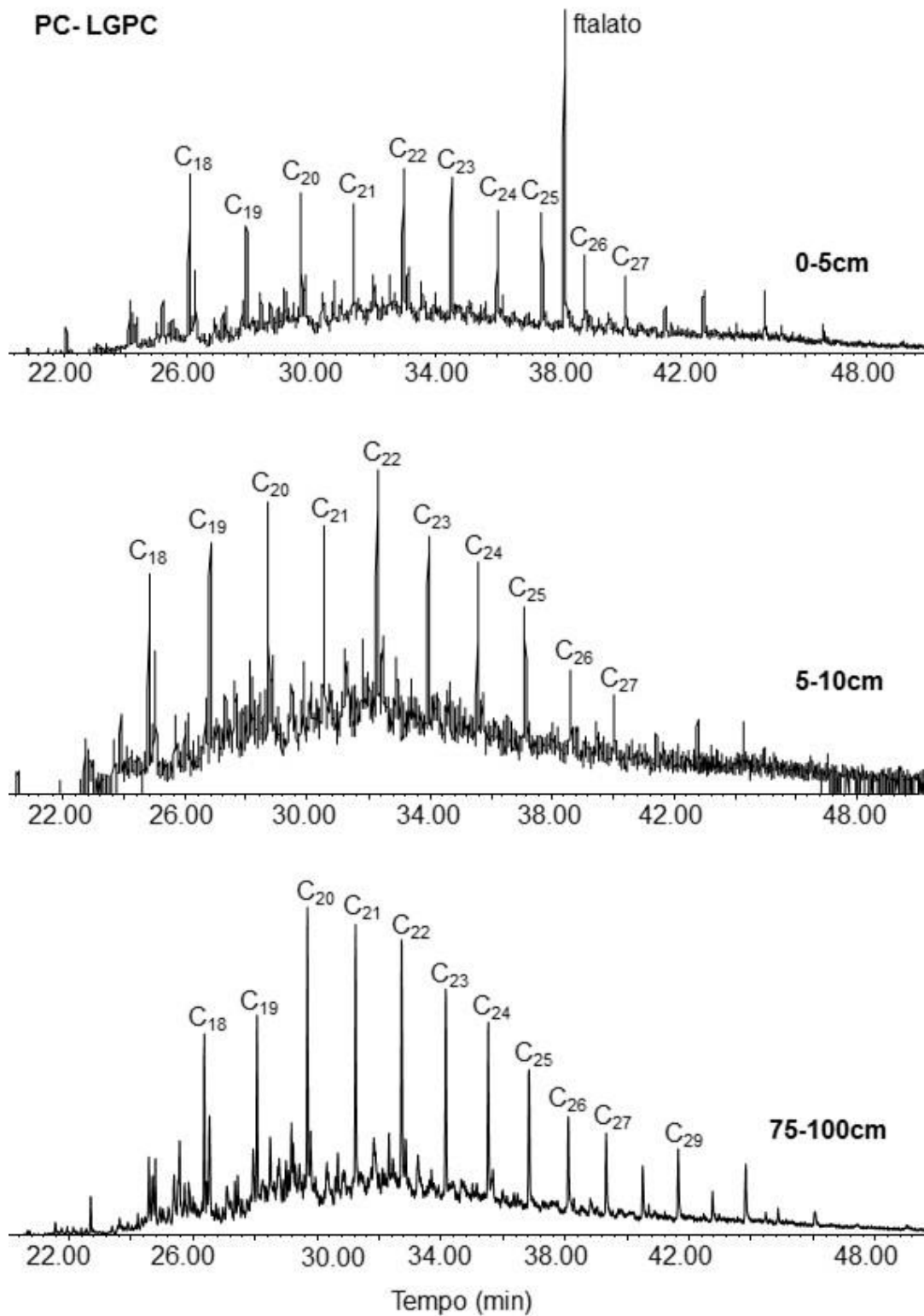
(2008). Os valores de  $IPC_c$  ( $C_n \leq 22$ ) foram relativamente baixos (0,6 a 1,0) e são comparáveis àqueles observados em Cambissolo da Alemanha (Wiesenberg et al., 2010). Os valores relativamente baixos sugerem não apenas a degradação da MOS nesta fração, mas também uma contribuição da MOS de origem pirogênica, em que há predomínio de alcanos de cadeia par curta (Eckemeir et al., 2009; Wiesenberg et al., 2010) e confirmam os dados de RMN de  $^{13}C$  CP/MAS.



**Figura 10.** Perfil dos *n*-alcanos ( $m/z=71$ ) no tratamento PC-T em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.



**Figura 11.** Perfil dos *n*-alcanos ( $m/z=71$ ) no tramento PC-LG em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.



**Figura 12.** Perfil dos *n*-alcanos ( $m/z=71$ ) no tratamento PC-LGPC em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

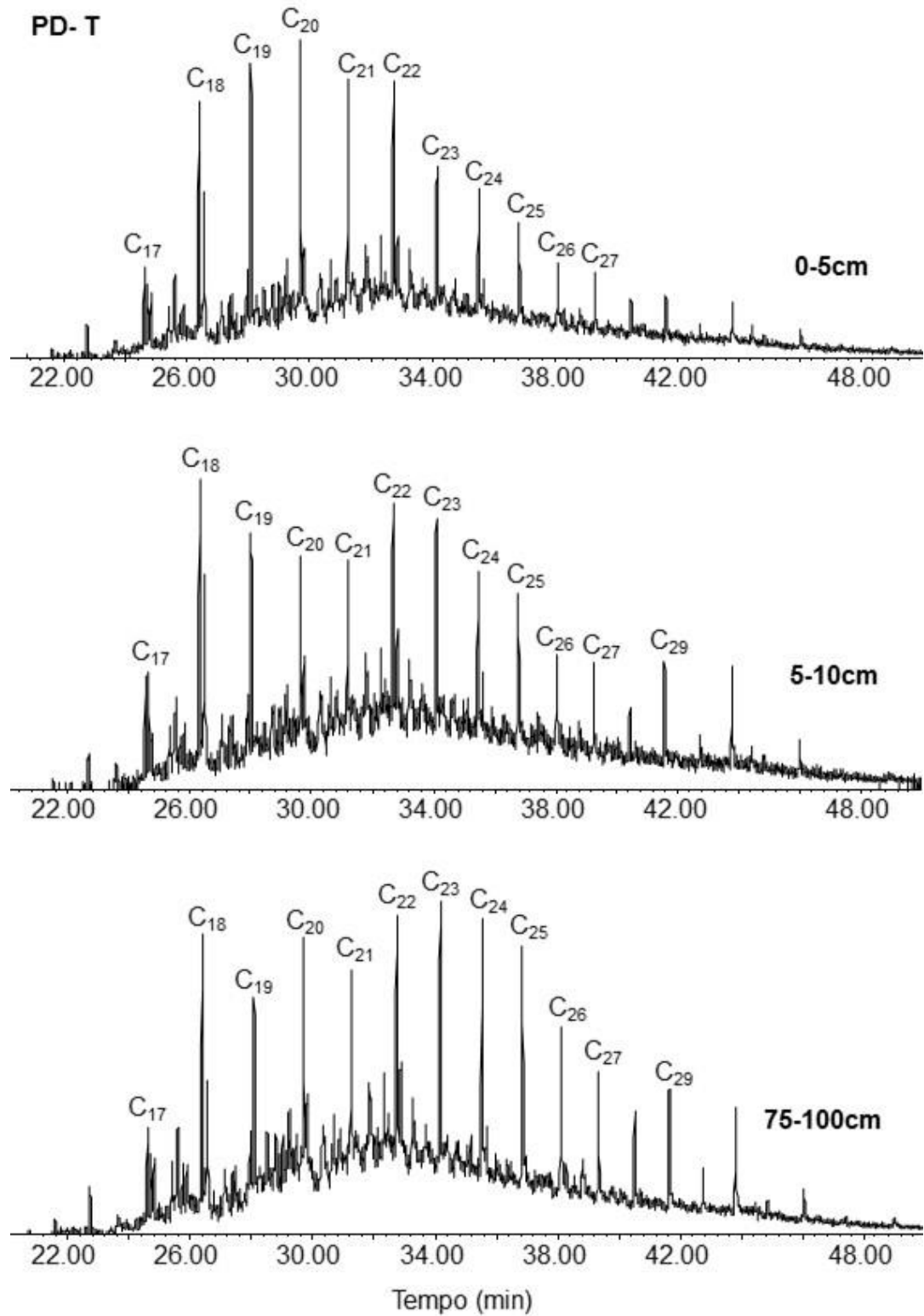
Em relação aos *n*-alcanos de cadeia longa, os valores de  $IPC_L$  variaram de 1,6 a 2,7 foram maiores do que os observados para  $IPC_C$  (Tabela 10), como era esperado, porém inferiores aos de  $IPC_L$  obtidos em outros estudos (Wisenberg et al., 2008). Esse comportamento indica uma forte contribuição de lipídios herdados com estágio decomposição avançada.

No presente estudo,  $R_{C/L}$  foi elevada (1,7 a 3,1) confirmando a predominância de produtos de origem microbiana (Eickmeir et al., 2009). A falta de predominância de *n*-alcanos de cadeia longa (biomassa vegetal) na camada superficial que geralmente é observada sob floresta em clima subtropical (Martins, 2018), é atribuída à decomposição relativamente intensa de resíduos promovida pelo clima tropical local.

Em geral, e especialmente sob PD, ocorre diminuição de  $R_{C/L}$  em profundidade, mostrando a diminuição dessa contribuição microbiana ao longo do perfil. Veloso et al. (2019 submetido) encontraram resultados semelhantes em solo de clima subtropical onde valores de  $R_{C/L}$  foram maiores em superfície e decresceram em profundidade indicando menor contribuição microbiana.

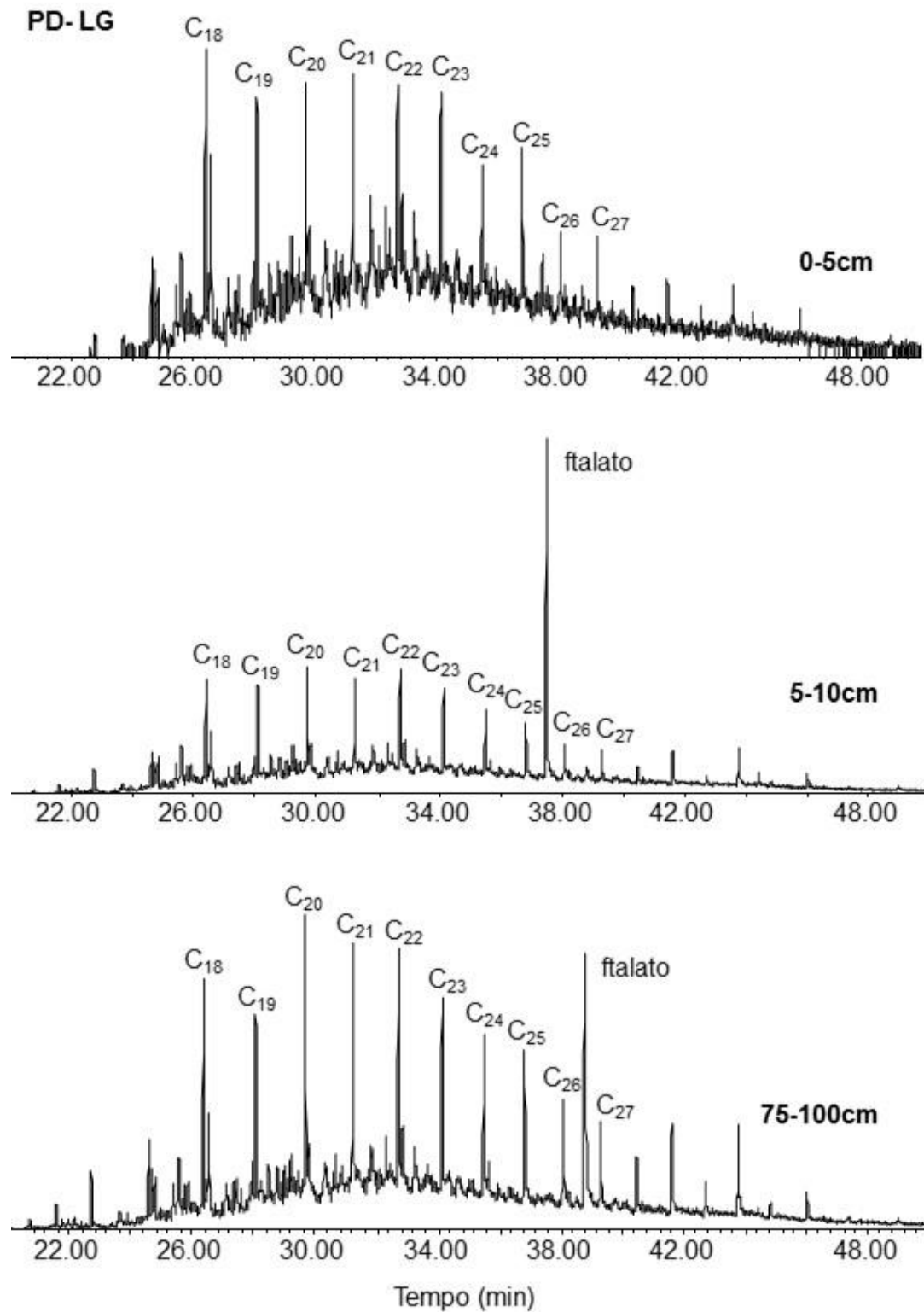
Na camada de 0-5 cm, o  $R_{C/L}$  foi sempre maior no PD do que sob PC (Tabela 8), e esse resultado pode ser atribuído ao estímulo da atividade microbiana em superfície promovida pelo plantio direto e proteção dessas estruturas quando não há revolvimento do solo (Wiesenberg et al., 2010; Veloso et al., 2019 submetido). Esse comportamento se repete em profundidade indicando que nesses solos esse efeito do PD repercute em camadas mais profundas (Veloso et al., 2019 submetido).

A fração dos hidrocarbonetos aromáticos não foi possível identificar porque estava abaixo do limite detecção do equipamento, devido à baixíssima concentração lipídica na amostra.

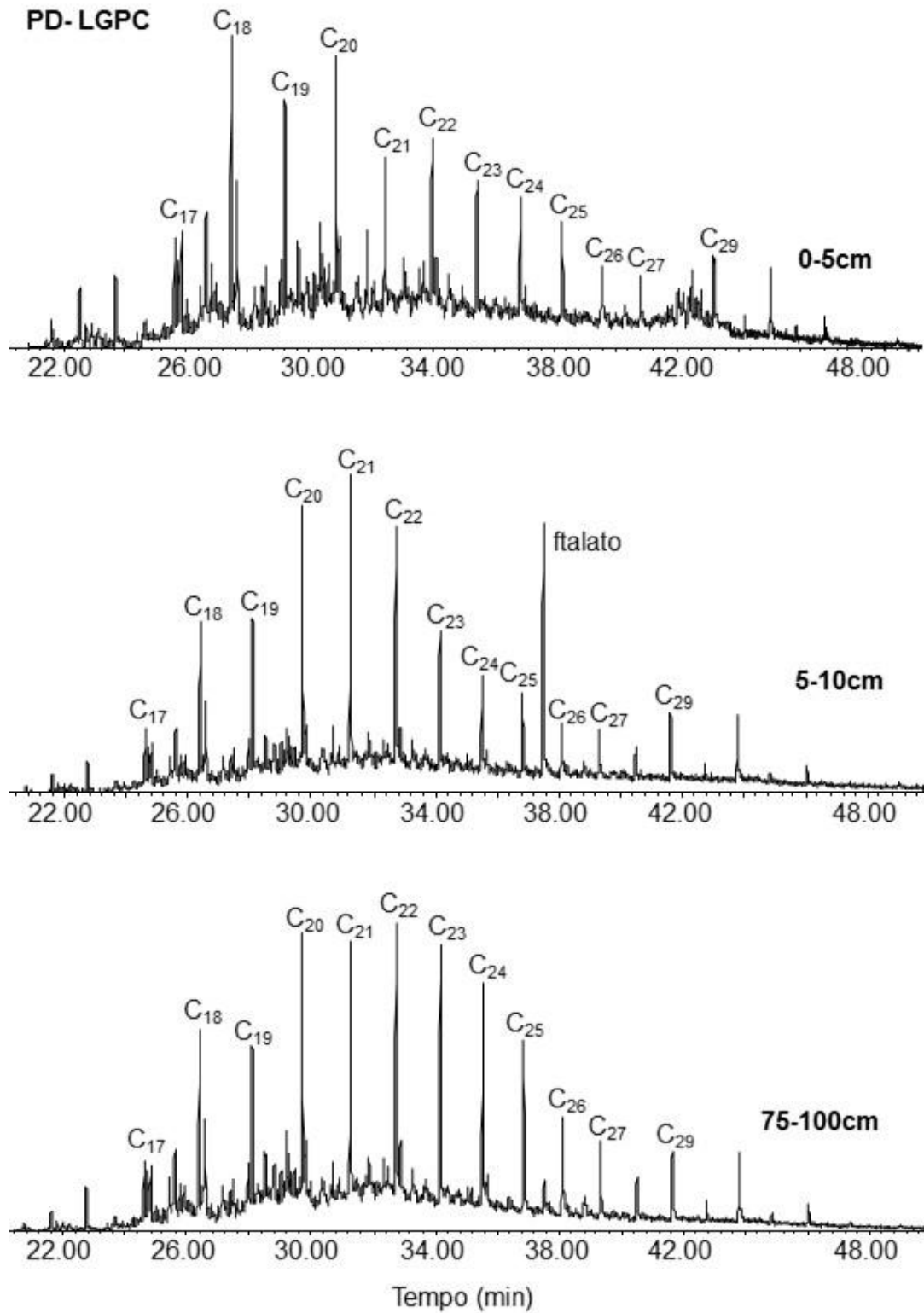


**Figura 13.** Perfil dos *n*-alcanos ( $m/z=71$ ) no tratamento PD-T em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.





**Figura 14.** Perfil dos *n*-alcanos ( $m/z=71$ ) no PD-LG em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.



**Figura 15.** Perfil dos *n*-alcanos ( $m/z=71$ ) no tratamento PD-LGPC em profundidade. Legenda dos tratamentos na Tabela 2.

**Tabela 10.** Índices moleculares de *n*-alcanos das amostras nos extratos de lipídios em amostras de solo inteiro ao longo perfil.

Tratamentos	R <sub>C/L</sub>	CMC	IPC	IPC <sub>C</sub>	IPC <sub>L</sub>
<b>0-5 cm</b>					
PC-T	2,0	21,4	1,0	0,8	2,1
PC-LG	1,7	21,7	1,0	0,8	1,8
PC-LGPC	1,8	21,6	1,1	0,6	2,7
<b>Média</b>	<b>1,8</b>	<b>21,6</b>	<b>1,0</b>	<b>0,7</b>	<b>2,2</b>
PD- T	3,2	21,0	0,9	0,9	1,9
PD- LG	3,3	21,0	1,0	0,8	1,6
PD- LGPC	2,8	20,9	1,0	0,8	2,0
<b>Média</b>	<b>3,1</b>	<b>21,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>1,8</b>
<b>5-10 cm</b>					
PC-T	2,1	21,5	1,0	1,0	2,3
PC-LG	1,1	21,5	1,0	0,9	2,1
PC- LGPC	3,0	21,4	1,0	0,8	1,8
<b>Média</b>	<b>2,1</b>	<b>21,5</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>2,0</b>
PD- T	2,2	21,3	0,9	0,8	2,3
PD- LG	2,5	21,4	1,1	0,8	2,3
PD- LGPC	3,2	21,8	1,0	1,0	1,7
<b>Média</b>	<b>2,6</b>	<b>21,5</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>2,1</b>
<b>75-100 cm</b>					
PC-T	1,5	21,6	0,9	0,8	2,1
PC-LG	1,4	21,7	0,9	0,8	2,0
PC- LGPC	2,4	21,4	1,0	0,9	2,2
<b>Média</b>	<b>1,7</b>	<b>21,6</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>2,1</b>
PD- T	1,5	21,7	1,0	0,8	2,0
PD- LG	2,6	21,3	1,0	0,9	2,1
PD- LGPC	2,0	21,3	0,9	0,8	1,6
<b>Média</b>	<b>2,0</b>	<b>21,4</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>1,9</b>

Índice de preferência de carbono de *n*-alcanos -  $IPC = [(\sum C_{\text{ímpar}} / \sum C_{\text{par}})]$ , cadeias curtas IPC<sub>C</sub> e cadeias longas IPC<sub>L</sub>; Relação entre cadeia de *n*-alcanos curta e longa - R<sub>C/L</sub>; Comprimento médio da cadeia - CMC. Legenda dos tratamentos na tabela 2.

#### 4. Conclusões

A composição química da MOS de Argissolo sob uso agrícola em clima tropical é constituída por 22 a 24 % de grupos C alquil, de 34 a 41 % de C O-alquil, de 19 a 24 % de grupos C aromáticos e de 11 a 14 % de C aromáticos. As condições climáticas da região e a pouco expressiva interação organo-minerais, levam à elevada taxa de decomposição dos resíduos e enriquecimento de estruturas recalcitrantes.

A intensa decomposição dos resíduos nas áreas analisadas é corroborada pela predominância de lipídios de cadeia curta ( $CMC \leq C_{21}$ ) de origem microbiana e pelo relativamente elevado grau de degradação dos lipídios herdados de plantas ( $1,8 \leq IPCL \leq 2,2$ ) na MOS.

O sistema de manejo PD com plantas de cobertura e correção da acidez levou a uma maior proporção de grupos C-O alquil e menor proporção de C-alkil do que o respectivo PC. O manejo de adubação e calagem afeta o grau de decomposição de MOS diferentemente em PC e em PD.

Esse resultado associado ao maior valor de  $R_{CL}$  sob PD indica que no manejo conservacionista ocorre uma comparativamente maior atividade microbiana com maior proporção de estruturas tipo carboidratos de origem microbiana. Também a maior proporção de grupos aromáticos na camada 0-5 cm sob PD em relação ao PC é indicativo de preservação seletiva de estruturas oriundas da queima da vegetação por ocasião da implantação do experimento.

## CAPÍTULO V – Considerações Finais

O incremento de MOS promovido pelo PD em comparação ao PC, e usualmente observado em Argissolo de clima subtropical, não ocorreu em Argissolo tropical de textura arenosa após 10 anos de cultivo. Isso é devido provavelmente à menor produção agrícola e, portanto, menor aporte de resíduo no PD, associado à maior taxa de mineralização no ambiente tropical, em comparação ao observado em ambientes subtropicais.

Independente do sistema de preparo, na camada de 75 a 100 cm dos tratamentos com planta de cobertura e com adubação e calagem, ocorreu entrada de estruturas orgânicas oriundas dos resíduos de gramíneas e milho (planta C<sub>4</sub>) na MOS. Possivelmente, ocorreu mineralização preferencial da MOS endógena em superfície e essa fração da MOS com nova composição migra ao longo do perfil. Essa migração é propiciada pelas chuvas intensas e textura arenosa.

A composição química da MOS de Argissolo de textura arenosa sob clima tropical úmido apresenta maior proporção de grupos alifáticos e aromáticos do que usualmente observado em Argissolos sob clima subtropical. As condições climáticas da região e a pouco expressiva interação organo-minerais, levam a elevada taxa de decomposição dos resíduos e enriquecimento de estruturas recalcitrantes.

Alcanos de origem microbiana (C<sub>n</sub> < C<sub>21</sub>) contribuíram predominantemente para a fração lipídica da MOS em todos os tratamentos e profundidades corroborando a intensa decomposição dos resíduos da cultura. Essa contribuição foi mais relevante no sistema de preparo PD, sugerindo maior atividade microbiana em comparação ao PC conforme já evidenciado em Argissolos subtropicais.

## REFERÊNCIAS

- ABREU JÚNIOR, C. H. *et al.* Métodos analíticos utilizados em química do solo. *In: ALLEONI, L. R. F.; MELO, V. F. (ed.). Química e mineralogia do solo: parte II: aplicações.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2009. cap. 21, p. 529-685.
- ACRE. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. COMISSÃO ESTADUAL DE GESTÃO DE RISCOS AMBIENTAIS. **Plano integrado de prevenção, controle e combate de queimadas e aos incêndios florestais do Estado do Acre.** 3.ed. Rio Branco: SEMA, 2013. Disponível em: [http://imc.ac.gov.br/wp-content/uploads/2016/09/Plano\\_Integrado\\_Queimadas.pdf](http://imc.ac.gov.br/wp-content/uploads/2016/09/Plano_Integrado_Queimadas.pdf). Acesso em: 11 abr. 2019.
- ALBUQUERQUE, A. W. *et al.* Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v. 17, n. 7, p. 721–726, 2013.
- AMADO, T. J. *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**, Viçosa, v. 25, n.1, p. 189-197, 2001.
- ANDRADE NETO, R. C. A. *et al.* Estado da arte e desafios da mandiocultura no Acre. Rio Branco: Embrapa Acre, 2011. (Embrapa Acre. Documento, 122). 39 p.
- ANDRADE, A. P. *et al.* Atributos químicos de um Cambissolo Húmico após 12 anos sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 5, p. 814-821, 2012.
- ANDRADE, R. S *et al.* Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v. 13, n. 4, p. 411–418, 2009.
- ARAÚJO, E. A. *et al.* Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 41, n. 1, p- 103-114, 2011.
- ARAUJO, E. A. *et al.* Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 307-315, 2004.
- ASSUNÇÃO, S. A. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 658, p. 901-911, 2019.
- BALDOCK, J. A. *et al.* Assessing the extent of decomposition of natural organic

materials using solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 35, n. 5, p. 1061-1083, 1997.

BARRETO, R. C. *et al.* The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as  $\text{CO}_2$  in the surface layer of a Rhodic Ferrasol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 132, p. 243- 251, 2009.

BARROS, H. S.; FEARNSTIDE. Soil carbon stock changes due to edge effects in central Amazon forest fragments. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 379, p. 30-36, 2016.

BAYER, C. *et al.* Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 95–104, 2000.

BAYER, C. *et al.* Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 401-406, 2002.

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

BAYER, C; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da MO. In: SANTOS, G. A. *et al.* **Fundamentos da matéria orgânica do solo do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. 2008. p. 7- 19.

BOENI, M. *et al.* Organic matter composition in density fractions of Cerrado Ferrasols revealed by  $\text{CPMAS}^{13}\text{C}$  NMR: Influence of pastureland, cropland and integrated crop-livestock. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 80-86, 2015.

BORNEMISZA, E. *et al.* Organic carbon determination by the Walkley- Black and dry combustion methods in surface soils and Andept profiles from Costa Rica. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 78-83, 1979.

BULL, I. D. *et al.* Organic geochemical studies of soils from the Rothamsted classical experiments – VI. The occurrence and source of organic acids in an experimental grassland soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 32, p.1367–1376, 2000a.

CALONEGO, J. A.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.1399–1407, 2008.

CALONEGO, J. A.; ROSOLEM, C.A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 33, p. 242-249, 2010.

CANELLAS, L. P. *et al.* Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 53-61, 2004.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p.1211-1220, 2012.

CARVALHO, A. M. *et al.* Characterization by solid-state CPMAS <sup>13</sup>C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in Central Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, p. 144-150, 2009.

CARVALHO, J. L. N. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, p. 175-186, 2010.

CATEANO, J. O. *et al.* Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1245-1255, 2013.

CAVALCANTE, V. S. *et al.* Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v.16, n.5, p.521–528, 2012.

CERRI, C. E. P. *et al.* Reducing amazon deforestation through agricultural intensification in the cerrado for advancing food security and mitigating climate change. **Sustainability**, Basel, Switzerland, v. 10, p. 1-18, 2018.

CIOTTA, M. N. *et al.* Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, 2003.

CONCEIÇÃO, P. C. **Agregação e proteção da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**. 2006. 138 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

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**, Viçosa, v. 32, p. 541-549, 2008.

CONYERS, M. K. *et al.* Comparison of three carbon determination methods on naturally occurring substrates and the implication for the quantification of 'soil carbon'. **Soil Research**, Collingwood, v. 49, p. 27-33, 2011.

COSTA, E. M. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n.17, p. 1842, 2013.



COTRUFO, M. F. *et al.* Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. **Nature Geoscience**, London, v. 7, p. 776–779, 2015.

COURTIER-MURIAS, D. *et al.* Unraveling the long-term stabilization mechanisms of organic materials in soils by physical fractionation and NMR spectroscopy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 171, p. 9-18, 2013.

DANTAS DE PAULA, M. *et al.* Tropical forest degradation and recovery in fragmented landscapes: simulating changes in tree community, forest hydrology and carbon balance. **Global Ecology and Conservation**, Amsterdam, v. 3, p. 664-667, 2015.

DICK, D. P. *et al.* FERRANTI, E. Chemical characterization and infrared spectroscopy of soil organic matter from two southern Brazilian soils. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 29–39, 2003.

DICK, D. P. *et al.* Impacto da queima nos atributos químicos do solo, na composição da matéria orgânica e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n.5, p.633-640, 2008.

DIECKOW, J. *et al.* Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influenced by land use, cropping and N fertilization, assessed by CPMAS<sup>13</sup>C NMR spectroscopy. **European Journal Soil Science**, Oxford, v. 705, p. 705–715, 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**, Oxford, v. 60, p. 240-249, 2009.

DONEDA, A. *et al.* Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1714-1723, 2012.

DÜMIG, A. *et al.* The role of lignin for the  $\delta^{13}\text{C}$  signature in C<sub>4</sub> grassland and C<sub>3</sub> forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 57, p. 1-13, 2013.

ECKMEIER, E.; WIESENBERG, G. L. B. Short-chain n-alkanes (C<sub>16–20</sub>) in ancient soil are useful molecular markers for prehistoric biomass burning. **Journal of Archaeological Science**, London, v. 36, p. 1590-1596, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p. (EMBRAPA- CNPS, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.

ENANG, R. G. *et al.* Assessing the effectiveness of the walkley-black method for soil organic carbon determination in tephra soils of Cameroon.

**Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 49, n. 19, p. 2379-2386, 2018.

FERREIRA, R. M. *et al.* **Calagem do solo e adubação no estado do Acre: uso atual e perspectivas futuras**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2015. (Documentos, 140).

FUJISAK, K. *et al.* Soil organic carbon changes after deforestation and agrosystem establishment in Amazonia: An assessment by diachronic approach. **Agriculture, ecosystems and environment**, Amsterdam, v. 245, p. 63-73, 2017.

GLEIXER, G. *et al.* Plant compounds and their turnover and stabilization as soil organic matter. *In*: SCHULZE, E. –D. *et al.* (ed.). **Global biogeochemical cycles in the climate system**. San Diego: Academic Press, 2001. p. 201-215.

GMACH, M. R. *et al.* Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 14, p. 1-8, 2018.

GONÇALVES, C. N. *et al.* The effect of 10% HF treatment in the resolution of CPMAS <sup>13</sup>C NMR spectra and on the quality of organic matter in Ferralsols. **Geoderma**, Amsterdam, v.116, p. 373-392, 2003.

GUIMARÃES, D. V. *et al.* Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 126, p. 177-182, 2013.

HANKE, D.; DICK, D. P. Aggregate stability in soil with humic and histic horizons in a toposequence under araucaria forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, p. 1–18, 2017.

HICKMANN, C.; COSTA, L, M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v. 16, n. 10, p. 1055–1061, 2012.

HUNKE, P. *et al.* Soil changes under different land-uses in the cerrado of Mato Grosso, Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 4, p. 31-43, 2015.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. v 31. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam\\_2004\\_v31\\_br.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2004_v31_br.pdf). Acesso em: 12 abr. 2019

IMAZON-INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. Belém, PA, 2018. Disponível em: <http://amazon.org.br>. Acesso em: 01 mar. 2018.

INPE- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos, SP, 2017. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 07 set. 2017.

- JANDL, G. *et al.* Quantification of long-chain fatty acids in dissolved organic matter and soils **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 165, p. 133–139, 2002.
- JANDL, G. *et al.* The concentrations of fatty acids in organo-mineral particle-size fractions of a Chernozem. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 55, p. 459–469, 2004.
- JANSEN, B.; WIESENBERG, G. L. B. Characteristic straight-chain lipid ratios as a quick method to assess past forest páramo transitions in the Ecuadorian Andes. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 262, p. 129-139, 2008.
- JIANG, J. *et al.* Soil organic matter is important for acid buffering and reducing aluminum leaching from acidic forest soils. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 501, p. 86-94, 2018.
- KNICKER, H. *et al.* Biodegradability of organic matter in fire-affected mineral soils of Southern Spain. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 56, p. 31-39, 2013.
- KNICKER, H.; LÜDEMANN, H.D.  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  CPMAS and solution NMR studies of  $^{15}\text{N}$  enriched plant material during 600 days of microbial degradation. **Organic Geochemistry**, Amsterdam, v. 23, n. 4, p. 329-34, 1995.
- KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, n. 2, p.139–162, 2002.
- LAPOLA, D. M. *et al.* Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, London, v. 4, n.1, p. 27–35, 2013.
- LICHTFOUSE, É. *et al.* Unexpected  $^{13}\text{C}$ -enrichment of organic components from wheat crop soils: evidence for the in situ origin of soil organic matter. **Organic Geochemistry**, [Oxford], v. 23, p. 865-868, 1995.
- LIMA, J. J. *et al.* Influência da adubação orgânica nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico e na produção de matéria seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, p. 715-719, 2007.
- LIU, S. *et al.* Temporal dynamics and vertical distribution of newly –derived carbon from a C3 e C4 conversion in an Udisol after 30 years fertilization. **Geoderma**, Amsterdam, v. 337, p. 1077-1085, 2019.
- LIU, Y. *et al.* Soil aggregate-associated organic carbon dynamics subjected to different types of land use: Evidence from  $^{13}\text{C}$  natural abundance. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 122, p. 295-302, 2018.
- MARSHALL, J. D. *et al.* Sources of variation in stable isotopic composition of plants. *In*: MICHENER, R.; LAJTHA K. (ed.). **Stable isotopes in Ecology and Environmental Science**. Hong Kong: Blackwell publishing, 2007. p. 22-59.

- MARTINS, J. G. **Matéria orgânica em solo arenoso subtropical com diferentes manejos dos resíduos de colheita do eucalipto**. 2018. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- MELO, G. B. *et al.* Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1511-1519, 2016.
- MENDEZ-MILLAN, M. *et al.* Contribution of maize root derived C to soil organic carbon throughout an agricultural soil profile assessed by compound specific  $^{13}\text{C}$  analysis. **Organic Geochemistry**, [Oxford], v. 42, n. 2, p.1 1502-1511, 2012.
- MOPOPE, N. *et al.* N<sub>2</sub> fixation, carbon accumulation, and plant water relations in soybean (*Glycine max* L. Merrill) varieties sampled from farmers' fields in South Africa, measured using  $^{15}\text{N}$  and  $^{13}\text{C}$  natural abundance. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 221, p.174-186.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras, MG: Editora UFLA, 2006. 729 p.
- MORETI, D. *et al.* Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007.
- NASCENTE, A. S. *et al.* Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 130, p. 52-57, 2013.
- NIEROP, K.G. J. *et al.* Origin, occurrence and fate of extractable lipids in Dutch coastal dune soils along a pH gradient. **Organic Geochemistry**, [Oxford], v. 36, p. 555-566, 2005.
- PEREZ, M. G. *et al.* Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR,  $^{13}\text{C}$  NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 118, p. 181–190, 2004.
- POTES, M. L. *et al.* Matéria orgânica em neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n.1, p. 23-32, 2010.
- QUÉNÉA, K. *et al.* Molecular and isotopic study of lipids in particle size fractions of a sandy cultivated soil (Cestas cultivation sequence, southwest France): Sources, degradation, and comparison with Cestas forest soil. **Organic Geochemistry**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 20-44, 2006.
- RAPHAEL, J. P. A. *et al.* Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 155, p. 45-53, 2016.

REIS, C. E. S. **Estoque e qualidade da matéria orgânica e retenção de carbono em perfis de dois latossolos subtropicais sob diferentes manejos**. 2014. 131 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

REIS, C. S. *et al.* Carbon sequestration in clay and silt fractions of Brazilian soils under conventional and no-tillage systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, p. 292-301, 2014.

RITTLL, T. F. *et al.* Soil carbon stock change under different land uses in the Amazon. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 10, p. 138-14, 2017.

ROGER, K. E. *et al.* Assessing the Effectiveness of the Walkley-Black Method for Soil Organic Carbon Determination in Tephra Soils of Cameroon. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 49, n.19, p. 2379-2386, 2018.

SALTON, J. C. *et al.* Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p.1349-1356, 2011.

SATO, J. H. *et al.* Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n. 4, p. 302–308, 2011

SIQUEIRA-NETO, M. *et al.* Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SKJEMSTAD, J. O.; TAYLOR, J. A. Does the Walkley–Black method determine soil charcoal?. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 30, p. 2299–310, 1999.

SOUZA, G. P. *et al.* Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1668-1676, 2016.

SOUZA, I. G. *et al.* Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à área superficial específica e à capacidade de troca catiônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p.1355-1365, 2007.

SRIVASTAVA, K.; WIESENBERG, G. L. B. Severe drought-influenced composition and  $\delta^{13}\text{C}$  of plant and soil n-alkanes in model temperate grassland and heathland ecosystems. **Organic Geochemistry**, [Oxford], v. 116, p. 77-89, 2018.

STONE, L. F. *et al.* Evapotranspiração do feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.577-582, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 484 p.

TAN, K. H. Infrared spectroscopy. *In*: TAN, H. K. (ed.). **Soil sampling, preparation and analysis**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 278-298.

TATZBER, M. *et al.* Impact of different tillage practices on molecular characteristics of humic acids in a long-term field experiment-An application of three different spectroscopic methods. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 408, p- 256-268, 2008.

TIVET, F. *et al.* Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 209, p. 214-225, 2013.

TORRES, J. R. L. *et al.* Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 421-428, 2008.

VALERIANO, D. M. *et al.* Dimensões do desmatamento da Amazônia brasileira. *In*. MARTINE, G. **População e sustentabilidade na era das mudanças ambientais e globais: contribuições para uma agenda brasileira**. Belo Horizonte: ABEP, 2012. p. 223-238.

VELOSO, M. G. *et al.* High carbon storage in a previously degraded subtropical soil under no-tillage with legume cover crops. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 268, p. 15-23, 2018.

VELOSO, M.G. **Mecanismos de estabilização de carbono em Argissolo subtropical sob sistemas de manejo de longa duração**. 2018. 135 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011.

WADT, P. G. S. **Manejo de solos ácidos do Estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2002. (Embrapa Acre. Documento, 79). 28 p.

WANG, N. *et al.* An examination of the fidelity of n-alkanes as a palaeoclimate proxy from sediments of Palaeolake Tianyang, South China. **Quaternary International**, Oxford, v. 333, p. 100-109, 2014.

WANG, N. *et al.* Hydrogen isotope and molecular alteration of n-alkanes during heating in open and closed systems. **Organic Geochemistry**, [Oxford], v. 112, p. 47-58, 2017.

WANG, Y. *et al.* Aggregate stability and associated organic carbon and nitrogen as affected by soil erosion and vegetation rehabilitation on the Loess plateau. **Catena**, Cremlingen, v. 167, p. 257-265, 2018.

- WENDLING, B. *et al.* Organic-matter pools of soil under pines and annual cultures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 41, 1707–1722, 2010.
- WIESENBERG, G. L. B. *et al.* Plant and soil lipid modifications under elevated atmospheric CO<sub>2</sub> conditions: I. Lipid distribution patterns. **Organic Geochemistry**, [Oxford], v. 39, p. 91-102, 2008.
- WIESENBERG, G. L. B. *et al.* Sources and turnover of organic matter in agricultural soils derived from n-alkane/n-carboxylic acid compositions and C-isotope signatures. **Organic Geochemistry**, [Oxford], v. 35, p. 1371–1393, 2004a.
- WIESENBERG, G. L. B. *et al.* Improved automated extraction and separation procedure for soil lipid analyses. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 55, p. 349–356, 2004b.
- WIESENBERG, G. L. B. *et al.* Source determination of lipids in bulk soil and soil density fractions after four years of wheat cropping. **Geoderma**, Amsterdam, v. 156, p. 267–277, 2010.
- WIESENBERG, G.L.B.; SCHWARK, L. Carboxylic acid distribution patterns of temperate C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> crops. **Organic Geochemistry**, [Oxford], v. 37, p. 1973–1982, 2006
- YUSOFF, K. H. M. *et al.* Influence of agricultural activity on soil morphological and physicochemical properties on sandy beach ridges along the east coast of Peninsular Malaysia. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Chillán, v. 63, n. 1, p. 55–66, 2017.
- ZACCONE, C. *et al.* Evaluating the ‘conservative’ behavior of stable isotopic ratios ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ , and  $\delta^{18}\text{O}$ ) in humic acids and their reliability as paleoenvironmental proxies along a peat sequence. **Chemical Geology**, Amsterdam, v. 285, n. 1-4, p. 124-132, 2011.
- ZANATTA, J. A. *et al.* Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 510–519, 2007.

## Apêndices

**Apêndice 1.** ANOVA das variáveis C, N, C/N, para os sistemas de preparo PC e PD, manejos de culturas e adubação (T, LG e LGPC) analisadas por camada de solo.

<b>Análise de variância</b>				
<b>Variável resposta C</b>				
<b>0-5 cm</b>				
<b>Fonte variação</b>	<b>GL</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>CV %</b>
Bloco	2	1.582	0.3873	-
Sistema de preparo	1	0.886	0.4460	-
Sistemas de culturas e adubação	2	0.083	0.9212	19,8
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.779	0.4907	18,7
<b>Variável resposta N</b>				
Bloco	2	3.656	0.2148	-
Sistema de preparo	1	2.770	0.2379	-
Sistemas de culturas e adubação	2	0.147	0.8653	17,4
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	1.411	0.2987	15,3
<b>Variável resposta C/N</b>				
Bloco	2	2.391	0.2949	-
Sistema de preparo	1	4.330	0.1729	-
Sistemas de culturas e adubação	2	1.379	0.3059	3,4
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.240	0.7921	7,9
<b>5-10 cm</b>				
<b>Variável resposta C</b>				
Bloco	2	18.937	0.0502	-
Sistema de preparo	1	7.553	0.1108	-
Sistemas de culturas e adubação	2	0.415	0.6738	6,5
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	3.427	0.0841	15,1
<b>Variável resposta N</b>				
Bloco	2	15.857	0.0593	-
Sistema de preparo	1	14.286	0.0634	-
Sistemas de culturas e adubação	2	0.000	1.0000	6,7
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	4.769	0.0433	12,9
<b>Variável resposta C/N</b>				
Bloco	2	0.210	0.8261	-
Sistema de preparo	1	0.828	0.4589	-
Sistemas de culturas e adubação	2	1.944	0.2051	9,2
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	2.848	0.1164	5,0
<b>10-15 cm</b>				
<b>Variável resposta C</b>				

Continuação apêndice 1



<b>Fonte de variação</b>	<b>GL</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>	<b>CV %</b>
Bloco	2	13.423	0.0693	-
Sistema de preparo	1	5.151	0.1513	-
Sistemas de culturas e adubação	2	0.101	0.9050	6,6
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.323	0.7331	11,1
<b>Variável resposta N</b>				
Bloco	2	8.143	0.1094	-
Sistema de preparo	1	7.000	0.1181	-
Sistemas de culturas e adubação	2	1.135	0.3682	7,6
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.054	0.9477	12,4
<b>Variável resposta C/N</b>				
Bloco	2	9.159	0.0984	-
Sistema de preparo	1	0.198	0.6998	-
Sistemas de culturas e adubação	2	1.955	0.2035	4,8
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.883	0.4504	4,1
<b>30-40 cm</b>				
<b>Variável resposta C</b>				
Bloco	2	0.375	0.7272	-
Sistema de preparo	1	0.079	0.8053	-
Sistemas de culturas e adubação	2	0.074	0.9294	38,7
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.074	0.9294	38,7
<b>Variável resposta N</b>				
Bloco	2	0.070	0.9333	15,3
Bloco	2	0.308	0.7647	-
Sistema de preparo	1	0.019	0.9024	-
Sistemas de culturas e adubação	2	1.750	0.2342	31,5
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.250	0.7847	8,6
<b>Variável resposta C/N</b>				
Bloco	2	1.228	0.4488	-
Sistema de preparo	1	1.296	0.3730	-
Sistemas de culturas e adubação	2	1.541	0.2715	13,3
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.125	0.8839	12,1
<b>50-75 cm</b>				
<b>Variável resposta C</b>				
Bloco	2	1.507	0.3989	-
Sistema de preparo	1	0.010	0.9296	-
Sistemas de culturas e adubação	2	0.212	0.8130	23,0
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.414	0.6746	23,0

Continuação apêndice 1				
Fonte de variação	GL	Fc	Pr>Fc	CV %
<b>Variável resposta N</b>				
Bloco	2	7.000	0.1250	-
Sistema de preparo	1	1.000	0.4226	-
Sistemas de culturas e adubação	2	0.063	0.9399	6,5
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.063	0.9399	26,1
<b>Variável resposta C/N</b>				
Bloco	2	1.004	0.4989	-
Sistema de preparo	1	0.000	0.9888	-
Sistemas de culturas e adubação	2	1.388	0.3038	21,1
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	0.116	0.8922	6,4
<b>75-100 cm</b>				
<b>Variável resposta C</b>				
Bloco	2	1.594	0.3855	-
Sistema de preparo	1	0.874	0.4484	-
Sistemas de culturas e adubação	2	2.045	0.1918	18,9
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	1.175	0.3568	14,8
<b>Variável resposta N</b>				
Bloco	2	1.000	0.5000	-
Sistema de preparo	1	0.250	0.6667	-
Sistemas de culturas e adubação	2	1.000	0.4096	14,4
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	1.000	0.4096	14,4
<b>Variável resposta C/N</b>				
Bloco	2	0.812	0.5517	-
Sistema de preparo	1	0.238	0.6737	-
Sistemas de culturas e adubação	2	0.970	0.4197	19,3
Sistema de preparo *sistema de culturas e adubação	2	1.293	0.3262	9,4

GL: grau de liberdade, Fc: F calculado, Pr>Fc: P-value 0,05, CV%: coeficiente de variação. Bloco: repetições (n=3); sistema de preparo (PC e PD); sistemas de culturas e manejo de adubação (T, LG e LGPC); \* (interação sistema de preparo e sistemas de culturas e manejo de adubação).

**Apêndice 2.** Massa recuperada e intensidades relativas dos espectros de FTIR da F<sub>250</sub>, ao longo do perfil do solo.

Tratamento	M <sub>R</sub>	IR <sub>2923-2913</sub>	IR <sub>1713-1702</sub>	IR <sub>1635-1620</sub>	IR <sub>1563-1548</sub>
%					
0-5 cm					
PC-T	52,4	9,4	34,4	40,6	16
PC-LGPC	38,0	7,7	30,8	38,5	23
PD-T	63,3	8,6	34,5	39,7	17
PD-LGPC	50,5	9,5	31,4	39,1	20
5-10 cm					
PC-T	52,2	7,9	31,7	39,7	21
PC-LGPC	39,2	12,7	31,7	39,7	16
PD-T	40,0	10,9	32,8	34,4	22
PD-LGPC	19,5	17,9	37,3	44,8	22
75-100 cm					
PC-T	42,4	10,5	26,3	39,5	24
PC-LGPC	27,3	8,0	28,0	44,0	20
PD-T	26,2	9,8	26,8	43,9	20
PD-LGPC	24,5	10,3	25,6	48,7	15

PC-T (plantio convencional e testemunha); PC-LG (plantio convencional e leguminosa+gramínea); PC-LGPC (plantio convencional e leguminosa+gramínea e fósforo); PD-T (plantio direto e testemunha); PD-LG (plantio direto e leguminosa+gramínea); PD-LGPC (plantio direto e leguminosa+gramínea e fósforo).